

Review

**EL MONOHIDRATO DE CREATINA COMO AYUDA ERGOGÉNICA
PARA AUMENTAR LA HIPERTROFIA MUSCULAR**

**CREATINE MONOHYDRATE AS AN ERGOGENIC AID
TO INCREASE MUSCLE HYPERTROPHY**

López del Campo, R.¹

¹Instituto de Ciencias del Deporte, Universidad Camilo José Cela

Correspondence to:

Roberto López del Campo

Instituto de Ciencias del Deporte, Universidad Camilo José Cela

C/ Castillo de Alarcón 49, Urb. Villafranca del Castillo, 28692 Madrid

Tlf. 918 153 131

E-mail: rlopez@ucjc.edu

López del Campo, R. (2010). Creatine monohydrate as an ergogenic aid to increase muscle hypertrophy. *AGON International Journal of Sport Sciences*. 1(1), 45-57.

RESUMEN

Con la ingesta de monohidrato de creatina los deportistas pretenden emular los beneficios energéticos que proporciona la creatina de producción endógena. Niveles corporales bajos de esta sustancia disminuyen la capacidad de almacenamiento muscular del adenosín trifosfato (ATP), siendo esta molécula la principal fuente de energía en las contracciones musculares por la vía anaeróbica láctica. Analizar la eficacia de la ingesta de monohidrato de creatina es el objetivo principal que pretende el presente artículo. Para ello se exponen de forma sintetizada los resultados de 20 investigaciones llevadas a cabo por distintos autores. Previamente se establece un marco teórico en el que se muestran argumentos a favor y en contra del uso del monohidrato de creatina como suplemento nutricional. De las 30 pruebas que se recogen en las 20 investigaciones, en 23 se evidenció un aumento de la fuerza entre el grupo que había ingerido monohidrato de creatina respecto al grupo que había ingerido un placebo. De lo que se concluye que en el 77% de los casos se ha evidenciado una relación causa efecto entre la suplementación de creatina y el aumento de fuerza, acompañado en la mayoría de los casos por hipertrofia muscular. En todos los casos, parece existir una coincidencia a la hora de establecer una dosis lo suficientemente elevada para que los beneficios de la ingesta de monohidrato de creatina surtan efecto. Las posibles consecuencias insalubres de una suplementación prolongada en el tiempo de monohidrato de creatina no se conocen debido fundamentalmente a la falta de investigaciones al respecto. Algunos autores concluyen que la ingesta de esta sustancia fomenta la aparición de calambres, distensiones y desgarros musculares. En ninguno de los casos se ha podido demostrar mediante el método científico que el uso por personas sanas de monohidrato de creatina en dosis adecuadas provoque daños al organismo.

Palabras clave: monohidrato de creatina, creatina, suplementación, hipertrofia muscular.

ABSTRACT

With the intake of creatine monohydrate, athletes try to emulate the energy benefits provided by endogenous production of creatine. Low body levels of this substance decreases muscle storage of adenosine triphosphate (ATP). This molecule is the main source of energy in muscle contractions over via anaerobic alactic. The analisis the effectiveness of creatine monohydrate ingestion is the main objective sought by the present article. To do so, it presents, in a synthesized way, the results of 20 investigations carried out by different authors. Before that, a theoretical framework is established showing the arguments for and against the use of creatine monohydrate as a nutritional supplement. Of the 30 tests included in the 20 investigations, 23 tests showed that there was an increase of strength among the group that had ingested creatine monohydrate and the group that had ingested a placebo. It is concluded that 77% of cases has shown a causal relationship between creatine supplementation and increased strength, accompanied in most cases of muscle hypertrophy. In all cases, it is shown that a high enough dose of creatine monohydrate ingestion takes effect. The unhealthy consequences of a prolonged supplementation time of creatine monohydrate is not known mainly due to the lack of investigations. Some authors conclude that caffeine intake promotes the appearance of cramps, strains and muscle tears. In neither case has it been demonstrated through scientific method that that the use of creatine monohydrate in adequate doses causes damage to the body.

Keywords: creatine monohydrate, creatine, supplementation, muscle hypertrophy

INTRODUCCIÓN

La creatina es una sustancia de síntesis endógena a partir de aminoácidos que se encuentra en grandes cantidades en el músculo esquelético como resultado de la ingesta en la dieta (Burke, 2010). También se puede sintetizar químicamente en forma de monohidrato de creatina, aunque actualmente no existe unanimidad a la hora de constatar su eficacia como suplemento energético.

Plantearse el consumo de monohidrato de creatina como ayuda ergogénica adquiere sentido si analizamos el papel que desempeña la creatina a nivel muscular. Dos tercios del total de la creatina corporal se encuentra almacenada en forma de fosfocreatina (Wilmore & Costill, 2004). Con un aumento en los niveles de fosfocreatina - también llamada creatina fosfato - se obtendría, al menos a nivel teórico, una mejora en el metabolismo anaeróbico aláctico, al poder mantenerse altos los niveles de ATP muscular. Esta vía energética resulta clave para el entrenamiento de la hipertrofia muscular.

La mayoría de los estudios de investigación que detallaremos más adelante parecen demostrar que el contenido de creatina de los músculos aumenta con la suplementación del monohidrato de creatina. Esta consecuencia conduce necesariamente a un aumento en los niveles de fosfocreatina muscular en base al esquema de producción y utilización de la fosfocreatina en la actividad muscular. "La creatina fosfato actúa como reserva de energía en el músculo de fosfato de alta energía para su uso en la formación rápida de ATP" (Fox, 2003).

Al ayudar a mantener la concentración de ATP muscular elevada durante el ejercicio, cabe esperar que su ingesta, bien por la vía de alimentos que contengan creatina o bien mediante la suplementación de monohidrato de creatina, retrase la fatiga muscular. Esta circunstancia permite aumentar el rendimiento al poder prolongar el volumen e intensidad del entrenamiento de fuerza. La mejora por el retraso en la aparición de la fatiga a nivel muscular se evidencia sobre todo cuando se realizan series de ejercicios intensos de corta duración en los que la resíntesis de fosfocreatina en las fibras musculares de tipo II es incompleta, pero total en las fibras de tipo I (Baechle & Earle, 2000).

La creatina fosforilada cumple varias funciones importantes relacionadas con la provisión de energía muscular, entre las que destaca ser la fuente más importante de energía para los ejercicios de alta intensidad que duran menos de 10 segundos (Burke, 2010). Si tenemos en cuenta que el entrenamiento más utilizado para conseguir la hipertrofia muscular se estructura en repeticiones de alta intensidad en las que rara vez se superan los 10 segundos de esfuerzo prolongado, tener cargados al máximo los depósitos musculares de creatina se revela de vital para alcanzar el máximo rendimiento.

Los celos existentes entre distintos teóricos sobre la conveniencia de la suplementación de monohidrato de creatina radica no tanto en su demostrado beneficio para aumentar el rendimiento deportivo como en el hecho de que la ingesta de creatina se pueda realizar de forma natural mediante una dieta rica en alimentos con concentraciones elevadas de esta sustancia. (Baechle & Earle, 2000). Los alimentos que más porcentaje de creatina contienen son el pescado, la carne, la leche y los huevos (Mediplan Sport, 1996).

Una investigación dirigida por Green, pone en duda que la producción endógena del organismo compense la falta de ingesta de alimentos con altos índices de creatina. Su trabajo demuestra que una dieta eminentemente carnívora aporta aproximadamente 2 gramos de creatina por día, mientras que los individuos que siguen una dieta vegetariana ven reducidos considerablemente



Figura 1. Producción y utilización de creatina fosfato en la actividad muscular. (Elaboración propia)

dichos porcentajes (Green, Simpson, Littlewood, Macdonald, & Greenhaff, 1996).

Otros autores, como Hultman y Greenhaff, consideran que una ingesta elevada de monohidrato de creatina en la dieta podría llegar a suprimir temporalmente la producción endógena de creatina. Si nos atenemos a esta última evidencia, sería desaconsejable la suplementación exógena (Burke, 2010).

METODOLOGÍA

El trabajo de Revisión Bibliográfica ha constado de una primera fase de búsqueda bibliográfica de manuales relacionados con el monohidrato de creatina y la fuerza en la biblioteca del Instituto Nacional de Educación Física (INEF) de la Universidad Politécnica de Madrid. En la bibliografía del presente estudio están referenciados los manuales en los que finalmente se obtuvo información relevante.

En una segunda fase se ha realizado una búsqueda en distintas bases de datos de Internet de artículos relacionados con el tema de estudio. En este proceso se han analizado los estudios encontrados en los artículos clasificándolos en función de la calidad de la evidencia científica que demuestren. Esta variable hace referencia al valor probatorio que se le puede conceder a los datos que aparecen en los estudios científicos referenciados.

FUENTES DE INFORMACIÓN

La recopilación de estudios sobre los efectos de la ingesta de monohidrato de creatina en relación al aumento de la hipertrofia muscular ha sido exhaustiva, para evitar incurrir en el denominado como sesgo de selección, por lo que se ha intentado acudir al mayor número de fuentes posibles.

Se han revisado las fuentes científicas entre 1994 y 2010 en las siguientes bases de datos bibliográficas:

- Catálogo de la Biblioteca del Instituto Nacional de Educación Física (INEF) de la Universidad Autónoma de Madrid.
- Base de Datos Medline (enero de 2010)

- Base de Datos PubMed (enero de 2010)

ESTRATEGIA DE LA BÚSQUEDA

La estrategia seguida en las Bases de Datos Medline y PubMed es la siguiente:

- Utilizar la combinación de dos términos genéricos "monohidrato de creatina" y "hipertrofia muscular".
- De forma complementaria se han realizado búsquedas con otros términos genéricos menos específicos como "creatina", "suplementación", "hipertrofia" y "ayudas ergogénicas".

Los términos se han ido combinando en base al criterio del investigador y al número de resultados obtenidos en cada búsqueda.

En los casos en que el proceso de reconocimiento automático de términos no ha dado resultados satisfactorios, se ha buscado en todos los campos de la base de datos.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN DE LOS ESTUDIOS

Se han aceptado las investigaciones en inglés y español publicadas en las fuentes ya mencionadas que proporcionen evidencias científicas sobre la suplementación con monohidrato de creatina para la hipertrofia muscular.

Se han obtenido un total de 196 referencias, de las cuales se han desestimado las que no cumplían con los criterios de inclusión establecidos por el investigador. Una vez realizado el primer filtro, han quedado tan solo 68 referencias, de las que finalmente se han seleccionado las 40 citas que aparecen referenciadas en la bibliografía.

SUPLEMENTACIÓN DE MONOHIDRATO DE CREATINA

Las ayudas ergogénicas consisten en una "serie de medios que se utilizan para mejorar el rendimiento deportivo cuando no son las diferentes técnicas de entrenamiento los estímulos empleados para tal fin" (Mediplan Sport, 1996). Cuando hablamos de este tipo de ayudas no debemos limitarnos tan solo a las nutricionales, ya que existe un amplio abanico de métodos de tipo mecánico, psicológico, fisiológico y

farmacológico que también pueden contribuir a un aumento del rendimiento.

El monohidrato de creatina se obtiene a partir de un proceso químico, por lo que algunos autores lo consideran una ayuda farmacológica. No obstante, Guillen del Castillo y Linares incluyen la suplementación del monohidrato de creatina dentro de las denominadas ayudas ergogénicas de tipo nutricional (Guillén del Castillo & Linares, 2002).

La creatina es un componente no esencial que puede ser obtenido en la alimentación o sintetizado por el hígado y el páncreas (Walker, 1979). El principal problema radica en que la suplementación no se puede hacer directamente con creatina fosforilada, ya que a pesar de que su síntesis es químicamente viable, la metabolización del producto resultante no es posible al no poder atravesar las membranas celulares. Por este motivo el proceso de síntesis da como resultado el monohidrato de creatina, sustancia que teóricamente si se puede metabolizar (Baechle & Earle, 2000).

El organismo produce de forma endógena entorno a un gramo de creatina al día, siendo necesario ingerir la misma cantidad de manera exógena para cubrir las necesidades básicas de personas con una actividad física moderada. (Barbany, 2002). Pero el cuerpo puede sintetizarla de forma autónoma al detectar una disminución de los niveles normales. Por este motivo, en el en la línea de los autores señalados anteriormente, algunos investigadores defienden la ineficiencia de un aporte externo (Baechle & Earle, 2000).

Cuando los requerimientos energéticos derivados de una alta actividad física son elevados, para poder cubrir dicha demanda de creatina sin menoscabo en el rendimiento, sería necesario ingerir cantidades equivalentes a 4,5 Kg de carne cruda. Es en este aspecto en donde adquiere sentido la suplementación de monohidrato de creatina. Ante la imposibilidad de un aporte dietario tan elevado, la ingesta de monohidrato de creatina podría llegar a mantener concentraciones elevadas de creatina en los músculos esqueléticos, resolviendo así la imposibilidad que tiene el propio organismo de reponer de forma autónoma los depósitos de esta sustancia (Baechle & Earle, 2000).

Pero debemos tener en cuenta que según la investigación dirigida por Greenhaff, la cantidad de creatina que los individuos retienen a nivel muscular varía considerablemente. Es lógico pensar que para aquellos deportistas que tengan un límite de almacenamiento considerablemente bajo, la suplementación carece de sentido (Greenhaff, Bodin, Södertund, & Hultman, 1994). Mientras que para Hespel y Derave la variabilidad de los depósitos de creatina muscular que tiene cada individuo de forma natural depende de factores como el sexo, la edad, o el tipo de fibras que predominan en su sistema muscular (Hespel & Derave, 2007).

Las personas cuya concentración de creatina total aumenta al menos en un 25% sobre los índices iniciales después de 6 días de suplementación, conseguirán acelerar significativamente la resíntesis de fosfocreatina en los dos primeros minutos de reposo después de realizar una actividad muscular intensa. Mientras que las personas que tras una misma toma no muestren un aumento considerable de los depósitos de creatina muscular en los primeros 6 días, no se beneficiarán de una mayor resíntesis de fosfocreatina en los periodos de descanso (Greenhaff, Bodin, Södertund, & Hultman, 1994).

Casey y Greenhaff van más allá al afirmar que el 30% de la población no logra aumentar el contenido muscular de creatina en una cantidad lo suficientemente elevada como para modificar el rendimiento en el ejercicio. Por lo que la respuesta a la suplementación de creatina puede guardar relación con las reservas previas que el individuo tenga, siendo aquellos con unos niveles más bajos los que mejor respuesta obtienen a la ingesta exógena de monohidrato de creatina (Casey & Greenhaff, 2000).

De todo ello se puede deducir la existencia de un umbral de concentración muscular de creatina el cual, una vez alcanzado, se muestra inalterable a sucesivas ingestas de creatina, bien por vía dietaria, bien por suplementación de monohidrato de creatina. Por lo que de ser cierto, sería fundamental poder calcular el umbral de cada individuo, así como investigar si se puede aumentar para poder conseguir unos mayores niveles de creatina en la

musculatura esquelética. De lo contrario, la suplementación de monohidrato de creatina para aquellos deportistas que genéticamente tengan índices de concentración muscular cercanos al umbral, prácticamente carecería de sentido.

Para aquellos casos en los que se esté lejos de dicho umbral, siguiendo las aportaciones de los estudios dirigidos por Preen, la suplementación de creatina si tendría sentido. Pero no hay que perder de vista el hecho de que una vez que el contenido muscular de creatina se satura, el organismo tarda como mínimo 4 semanas en volver a los niveles de reposo, por lo que para mantener los niveles cercanos al umbral, bastaría con una dosis de mantenimiento diaria cercana a los 3 gramos; resultando ineficaces ingestas superiores a dicha cantidad (Preen, Dawson, Goodman, Lawrence, Beilby, & Ching, 2001).

¿REALMENTE FUNCIONA?

El músculo esquelético almacena el 95% de creatina corporal ya que esta sustancia desempeña un papel fundamental en el metabolismo energético que permite su contracción. (Guillén del Castillo & Linares, 2002) sobre todo en la fase inicial de la resíntesis del adenosín trifosfato (ATP) en el metabolismo anabólico láctico (Izquierdo, Ibañez, González-Padillo, & Gorostiaga, 2002). Aunque es la función anabólica la que realmente nos interesa destacar ya que provoca una hipertrofia de las fibras Tipo II. (Rico-Sanz, 1997)

La disminución de los depósitos de creatina anula la resíntesis de ATP muscular, por lo que si se produce una ingesta oral exógena se conseguirá retrasar la fatiga en las contracciones del músculo esquelético a intensidades altas - 85/100% 1RM - de corta duración - de 0 a 30 segundos - (Izquierdo, Ibañez, González-Padillo, & Gorostiaga, 2002) (Barbany, 2002). Pero a la hora de poner en práctica esta teoría surgen las primeras discrepancias entre los autores en cuanto a la metabolización del monohidrato de creatina. En el siguiente cuadro podemos observar 30 pruebas llevadas a cabo por distintos autores en los que se pretende medir el

aumento de la fuerza con diversos protocolos de suplementación de creatina y de ejercicios.

Publicación	Protocolo de suplementación	¿Aumenta la fuerza?	Protocolo de ejercicio	Observaciones
Earnest y cols. 1995	4 semanas a 25g/día	Sí	4 semanas: 1RM de press de banca	El grupo creatina aumentó el levantamiento de 1RM en un 6% (p<0,05) y las repeticiones en un 26% (p<0,05). No hubo cambios en el grupo placebo. Aumento en la masa corporal en el grupo creatina
		Sí	4 semanas: repeticiones al fallo de press de banca al 70% RM	
Volek y cols. 1997	1 semana a 25g/día	Sí	4 semanas: 10RM de press de banca (5 series al fallo)	El grupo creatina aumentó las repeticiones de press de banca en un 30% y aumentó la potencia en el salto (p<0,05). No hubo cambios en el grupo placebo. Aumento de la masa corporal de 1,4 Kg en el grupo creatina
		Sí	4 semanas: saltos desde posición de sentadilla (5 series al 30% 1RM)	
Kelly y Jenkins. 1998	1 semana a 20g/día + 3 semanas a 5g/día	Sí	4 semanas: 3RM de press de banca	El grupo creatina aumentó el levantamiento de 3RM en un 8% (p<0,05) y las repeticiones en un 39% (p<0,05), significativamente más que en el grupo placebo
		Sí	4 semanas: repeticiones al fallo de press de banca al 85% RM	
Volek y cols. 1999	1 semana a 25g/día + 11 semanas a 5g/día	Sí	12 semanas: 1RM press de banca	Ambos grupos aumentaron los levantamientos de 1RM para press de banca y sentadilla, con ganancias que fueron mayores en el grupo de creatina (p<0,05). No hubo mejoría de las repeticiones de press de banca en ninguno de los grupos
		Sí	12 semanas: 1RM de sentadilla	
		No	12 semanas: repeticiones al fallo de press de banca al 80% RM	
Peeters y cols. 1999	6 semanas (3 días a 30g/día + 3 días a 10g/día)	Sí	6 semanas: 1RM press de banca	Aumento de press de banca, prensa de piernas y repeticiones de flexiones en ambos grupos, con sólo una ganancia del 10% en press de banca mayor para grupo creatina (p<0,05)
		No	6 semanas: 1RM prensa para piernas	
		Sí	8 semanas: 1RM sentadilla	

Publicación	Protocolo de suplementación	¿Aumenta la fuerza?	Protocolo de ejercicio	Observaciones
Becque y cols. 2000	6 semanas (5 días a 20g/día + 5 semanas a 2 g/día)	Sí	6 semanas: 1RM flexiones de bíceps	28% más de aumento en grupo creatina (p<0,05). 2Kg de aumento de la masa corporal en el grupo creatina incluyendo la masa corporal magra (p<0,05)
Brenner y cols. 2000	1 semana a 20g/día y 5 semanas a 2g/día	Sí	6 semanas 1RM prensa para piernas	Aumento de fuerza de 1RM en el grupo creatina
Publicación	Protocolo de suplementación	¿Aumenta la fuerza?	Protocolo de ejercicio	Observaciones
Larson-Meyer y cols. 2000	1 semana a 7,5g/día 2 veces al día y 12 semanas a 5g/día	Sí	13 semanas 1RM prensa para piernas	Aumento de fuerza de 1RM en el grupo creatina
Rossouw y cols. 2000	1 semana 9g/día 3 veces al día	Sí	1 semana 1RM sentadilla	Aumento de fuerza de 1RM en el grupo creatina
Stevenson y Dudley 2001	1 semana a 20g/día	No	1 semana: 1RM de extensión de piernas	Mejoría en la extensión de piernas y las repeticiones en ambos grupos
Burke, Chilibeck y cols. 2001	1 semana a 0,1g/Kg/día	Sí	6 semanas: 1RM de press de banca	Aumento de un 17-20% más de la press de banca y de la masa corporal magra en el grupo creatina (p<0,05). Aumento en sentadilla igual en ambos grupos
		No	6 semanas: 1RM de sentadilla	
Wilder y cols. 2001	1 semana a 7g/día y 12 semanas a 5g/día	No	13 semanas: 1RM sentadilla	No hubo diferencias significativas entre ambos grupos
Chrusch y cols. 2001	1 semana a 0,3/Kg/día y 11 semanas a 0,07g/Kg/día	Sí	12 semanas: 1RM sentadilla	Aumento de fuerza de 1RM en el grupo creatina
Bemben y cols. 2001	1 semana a 20g/día y 8 semanas a 5g/día	Sí	9 semanas: 1RM sentadilla	Aumento de fuerza de 1RM en el grupo creatina

Publicación	Protocolo de suplementación	¿Aumenta la fuerza?	Protocolo de ejercicio	Observaciones
Izquierdo y cols. 2002	1 semana a 20g/día	Sí	1 semana: 1RM de press de banca	Aumento de fuerza acompañado de aumento de la masa corporal en el grupo creatina
Gothshalk y cols. 2002	1 semana a 0,3g/Kg/día	Sí	1 semana: 1RM de press de banca	Aumento de la fuerza acompañado de aumento de la masa corporal magra en el grupo de creatina
		Sí	1 semana: 1RM de prensa para piernas	
Kilduff y cols. 2002	1 semana a 20 g/día	Sí	1 semana: press de banca 5x1RM	Aumento en la press de banca y de 1,2 Kg en masa corporal en el grupo creatina (p<0,05)
Wilder y cols. 2002	1 semana a 7g/día y 9 semanas a 5g/día	No	10 semanas: 1RM sentadilla	No hubo diferencias significativas entre ambos grupos
Kambis y Pizzedaz. 2003	1 semana a 0,5g/Kg/día	Sí	1 semana: 1RM de extensión de piernas	Aumento de la fuerza sin producirse aumento de la masa corporal en el grupo de creatina
Volek y cols. 2004	6 semanas a 0,3g/Kg/día	Sí	8 semanas: 1RM de press de banca	Aumento de press de banca y sentadilla en grupo creatina acompañado de un aumento en la masa corporal y masa corporal magra (p<0,05)
		Sí	8 semanas: 1RM sentadilla	

De las 30 pruebas que se recogen, en 23 se evidenció un aumento de la fuerza entre el grupo que había ingerido monohidrato de creatina respecto al grupo que había ingerido un placebo. De lo que se concluye que en el 77% de los casos se ha evidenciado una relación causa efecto entre la suplementación de creatina y el aumento de fuerza, acompañado en la mayoría de los casos por un aumento de masa corporal magra.

Analizando más detenidamente los casos en los que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre el grupo de creatina y el grupo placebo, encontramos ciertos matices que pueden explicar dicho resultado negativo:

- Si comparamos el estudio de Volek y cols. de 1999 en el que no se evidencia un aumento de fuerza con los de Kelly y Jenkins; y Earnest en el que dicho aumento sí queda evidenciado, podemos observar como en los tres casos se realiza un protocolo de ejercicios idéntico consistente en repeticiones al fallo de press de banca. La única diferencia la encontramos en la intensidad: 80% del RM en el primero de ellos y 85% - 70% del RM en los dos restantes. Si a esta circunstancia le añadimos el hecho de que en todos ellos la dosis de creatina aportada es similar (25 g/día) podemos concluir que no parece muy lógico el resultado obtenido en la prueba de Volek y cols.
- En todos los casos en los que no ha existido una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de creatina y el grupo placebo, el protocolo se ha realizado con ejercicios que implican principalmente a músculos del tren inferior: prensa para piernas, extensiones para piernas y sentadilla (Volek y cols. 1999; Peeters y cols. 1999; Stevenson y Dudley 2001; Burke, Chilibeck y cols. 2001; Wilder y cols. 2001 y 2002. Salvo en la excepción comentada en el punto anterior cuya validez ha quedado en entredicho). Es probable que la falta de relación positiva se deba a una dosis de creatina excesivamente baja, sobre todo si tenemos en cuenta que se han utilizado dosis similares a los test en los que la musculatura implicada pertenecía al tren superior y es evidente que los músculos esqueléticos implicados del tren inferior (cuádriceps principalmente) necesitan unos mayores aportes de ATP muscular para realizar el movimiento. No obstante, existen diez casos (tres curiosamente llevados a cabo por Volek y cols. en distintos años: 1997, 1999 y 2004; y los realizados por: Brenner y cols. en 2000; Larson-Meyer y cols. en 2000; Rossouw y cols. en 2000; Chrussch y cols. en 2001; Bembem y cols. en 2001; Gothshalk y cols. en 2002; y Kambis y Pizzedaz en 2003) en donde a pesar de estar implicada la musculatura del tren inferior sí se ha evidenciado una relación entre la suplementación de creatina y el aumento de la fuerza. Y en todos ellos la dosis diaria ingerida por el grupo de creatina es superior.

DOSIS DE IMPLEMENTACIÓN

Parece existir una coincidencia a la hora de establecer una dosis lo suficientemente elevada para que los beneficios surtan efecto. Así Barbany establece una primera fase, denominada fase de carga, en la que se debe ingerir dosis elevadas de 20 g/día durante los 6 primeros días previos a una segunda fase en la que sería suficiente con la ingesta de 2-3 g/día (Barbany, 2002). La idea de una primera etapa de carga en la que se aporta al organismo una dosis elevada de 20 g/día durante más o menos una semana es corroborada por investigaciones realizadas por Greenhaff y cols., 1994; Söderlund y cols., 1994; Balsom y cols., 1995; Febbraio y cols., 1995; Casey y cols., 1996 y Hultman y cols., 1996. Aunque hay otros autores como Odland y cols., 1994 que ponen en duda la metabolización del monohidrato de creatina al asegurar que tras la toma de 60 g/día durante 3 días no se han observado aumentos significativos en la cantidad de creatina muscular. (González Boto, García López, & Herrero Alonso, 2003). Esta situación puede deberse a un posible bloqueo cuando se aportan dosis muy elevadas en periodos muy cortos ya que hasta el momento ningún estudio analizado ha superado la cantidad de 30 g/día. En esta línea Hespel y cols., 2001 y Hultman y Greenhaff, 2000 determinan que la ingesta elevada suprime temporalmente la producción endógena de creatina, existiendo un umbral situado en torno a los 150 mmol/Kg de peso muscular magro por encima del cual la suplementación muestra un beneficio adicional (Burke, 2010). Este último dato, de ser cierto, pondría en duda la suplementación de monohidrato de creatina para aquellos individuos que bien de manera endógena o bien por aporte nutricional en la dieta diaria se sitúen en dicho umbral; convirtiéndose en necesario el cálculo de dicho indicador para prescribir o no un aporte endógeno extra de monohidrato de creatina. Ahondando en esta vía, Snow y Murphy, 2003 concluyen que existe una variabilidad considerable en la respuesta a la suplementación con creatina. Idea que ya fue indicada por Casey y cols., 1996 al precisar que el 30% de la población no logran aumentar el contenido muscular de creatina en una cantidad

suficiente para provocar un aumento considerable de la fuerza (Burke, 2010).

Un estudio dirigido por Hultman demostró, mediante la realización de biopsias en el cuádriceps, que tras la ingesta de creatina durante un periodo de 28 días los individuos que realizaron un periodo inicial de carga en relación a los que no lo hicieron tenían niveles de creatina muscular similares (Hultman, Soderlund, Timmons, Cederblad, & Greenhaff, 1996). Hecho que pone en duda la necesidad de realizar la denominado fase de carga inicial.

Otros expertos (Mesa, Ruiz, Hernández, Mula, Castillo, & Gutiérrez, 2001) consideran que la ingesta de creatina debe ser inferior a 10 gramos al día si se quieren minimizar los posibles efectos perjudiciales asociados a su consumo crónico. Aunque si hacemos caso a lo ya señalado por Preen, una vez alcanzado el denominado umbral de suplementación de 3 gramos al día, carece de sentido la toma de dosis superiores debido a la saturación que se produce en los almacenes musculares de creatina.

La combinación con otras sustancias como hidratos de carbono, proteínas o aminoácido; o incluso el propio entrenamiento, pueden ayudar a mejorar la respuesta a la suplementación de monohidrato de creatina sobre todo en aquellos individuos que se encuentren muy por debajo del umbral de reserva muscular (Burke, 2010).

EFFECTOS PERJUDICIALES

El principal problema que existe en la mayoría de las ayudas endógenas de procedencia química radica en la imposibilidad de reproducir fielmente la naturaleza del producto natural que pretenden simular. Durante la síntesis industrial de monohidrato de creatina y en función de cuál sea la materia prima utilizada en el proceso, se pueden originar sustancias potencialmente perjudiciales como la dicianidamida o las dihidrotriacinas; aunque hasta el momento no se han relacionado efectos tóxicos con el consumo de creatina de procedencia industrial (Benzi & Ceci, 2001).

Según la revisión llevada a cabo por (Mesa, Ruiz, Hernández, Mula, Castillo, & Gutiérrez, 2001) la administración de grandes cantidades de creatina durante largos periodos de tiempo provoca que ésta se metabolice como metilamina, sustancia que puede provocar daños a nivel genético relacionados con la aparición de células cancerígenas; así como posibles daños a nivel vascular, complicaciones diabéticas y patologías renales.

Otros efectos secundarios vinculados al consumo endógeno de monohidrato de creatina son (Mesa, Ruiz, Hernández, Mula, Castillo, & Gutiérrez, 2001):

- Incremento de la masa corporal entre un 1% y un 2,3%, debido fundamentalmente al aumento de la masa libre de grasa y del agua corporal.
- Alteraciones gastrointestinales, sobre todo cuando se ingiere justo antes de la práctica deportiva o durante la misma, en cantidades elevadas (40 gramos/día) y durante periodos de tiempo superiores a los 3 meses.
- Disfunciones renales en dosis superiores a 10 gramos al día durante al menos 5 días consecutivos.

En esta misma línea Casey y Greenhaff señalan que muchos deportistas no conocen los protocolos de suplementación adecuados y piensan erróneamente que existe una relación directamente proporcional entre los gramos de ingesta y el rendimiento deportivo que pueden llegar a alcanzar (Casey & Greenhaff, 2000). Lo que les lleva a tomar grandes dosis que pueden llegar a resultar perjudiciales para los fines que se persiguen, ya que la ingesta de cantidades elevadas de monohidrato de creatina aumenta la retención de líquidos con el consiguiente incremento de hasta un kilogramo de peso corporal, lo que resultaría perjudicial en aquellos deportes en los que la relación fuerza - peso resulta clave para obtener el éxito deportivo; o en aquellos en los que existan categorías delimitadas por el peso corporal, como es el caso de la mayoría de los deportes de lucha (Burke, 2010).

A pesar de lo expuesto anteriormente, el consumo de creatina no está prohibido por ningún organismo oficial (Lucía, 1996). Salvo en Francia, en aquellos casos en los que la creatina se obtenga del tejido bovino, debido al riesgo de contagio de la

encefalopatía espongiiforme bovina, vulgarmente conocida como la enfermedad de las vacas locas (Mesa, Ruiz, Hernández, Mula, Castillo, & Gutiérrez, 2001).

Los posibles efectos perjudiciales de una suplementación prolongada de monohidrato de creatina no se conocen debido fundamentalmente a la falta de investigaciones al respecto. Existen, no obstante, informes más divulgativos que científicos en los que se concluye que la ingesta de esta sustancia fomenta la aparición de calambres, distensiones y desgarros musculares. Tampoco se ha llegado a demostrar mediante el método científico, o por lo menos no se ha encontrado en la presente revisión, ninguna investigación que demuestre que el uso en personas sanas de dosis adecuadas de monohidrato de creatina provoque daños al organismo, en especial en la función renal.

DOPAJE

El monohidrato de creatina no está considerado como sustancia dopante en la práctica del deporte profesional, ya que no forma parte del listado de sustancias expresamente prohibidas por la Comisión Médica del Comité Olímpico Internacional u organismos oficiales similares. Este hecho, según el doctor Arne Ljunqvist, reconocido experto internacional, se debe a que la implementación de monohidrato de creatina carece de riesgos para la salud (De la Serna & Romo, 1998). Pero quizá este no sea el verdadero motivo por el que los organismos oficiales que regulan el deporte profesional permitan el consumo de creatina, ya que el Código Mundial Antidopaje viene a definir el dopaje como la ingesta de cualquier sustancia ajena al organismo, o la existencia de cualquier sustancia fisiológica en cantidades anormales, con la sola intención de aumentar artificial y deslealmente el rendimiento deportivo.

Del análisis de esta definición se deduce que el hecho de que una sustancia sea perjudicial o no para la salud del deportista carece de interés a los meros efectos de prohibir o permitir su uso. Lo verdaderamente relevante es si aumenta o no el rendimiento deportivo por el mero hecho de

ingerirla. De lo que podemos concluir que quizá el monohidrato de carbono esté permitido no porque la Asociación Mundial Antidopaje (AMA) considere que su ingesta no provoca daños a la salud, sino porque los técnicos de este organismo consideran que la suplementación de creatina no provoca por sí misma un aumento significativo del rendimiento deportivo.

CONCLUSIONES

Del análisis de los datos expuestos en la presente revisión bibliográfica se puede concluir que a igualdad de entrenamiento, la suplementación con monohidrato de creatina favorece la consecución de una mayor hipertrofia muscular.

Un análisis más pormenorizado de los resultados obtenido nos permite matizar distintos aspectos relacionados con esta mejora de la hipertrofia muscular. A continuación se detallan los más relevantes:

- De las 30 pruebas que se recogen en las 20 investigaciones, en 23 se evidenció un aumento de la fuerza entre el grupo que había ingerido monohidrato de creatina respecto al grupo que había ingerido un placebo. Este dato fundamenta la conclusión principal de la investigación.
- En el 77% de los estudios se ha evidenciado una relación causa efecto entre la suplementación de creatina y el aumento de fuerza, acompañado en la mayoría de los casos por una hipertrofia muscular.
- En todos los casos en los que no ha existido una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de creatina y el grupo placebo, el protocolo se ha realizado con ejercicios que implican principalmente a músculos del tren inferior: prensa para piernas, extensiones para piernas y sentadilla. Aunque es probable que la falta de relación positiva se deba a una dosis de creatina excesivamente baja, sobre todo si tenemos en cuenta que se han utilizado dosis similares a los test en los que la musculatura implicada pertenecía al tren superior y es evidente que los músculos esqueléticos implicados del tren inferior (cuádriceps principalmente) necesitan unos mayores aportes de

ATP muscular para realizar el movimiento. Por todo ello, parece existir una coincidencia a la hora de establecer una dosis lo suficientemente elevada para que los beneficios de la ingesta de monohidrato de creatina surtan efecto.

- En cuanto a la dosis, parece existir una coincidencia en 20 gramos/día como dosis ideal de suplementación. El único caso en el que con esta dosis no se han producido efectos beneficiosos para la hipertrofia muscular, puede estar condicionado por el corto periodo de ingesta, ya que fue de tan solo una semana.

- Si comparamos los resultados en los que se realizó la denominada fase de carga inicial con los que no se realizó, parece no existir diferencias significativas. Por lo que podríamos concluir que no se ha demostrado la eficacia de la ingesta de dosis elevadas de creatina en la fase de carga previa al periodo de suplementación normalizado.

- Las posibles consecuencias insalubres de una suplementación prolongada en el tiempo de monohidrato de creatina no se conocen debido fundamentalmente a la falta de investigaciones al respecto.

- Algunos autores concluyen que la ingesta de esta sustancia, sobre todo en dosis altas; fomenta la aparición de calambres, distensiones y desgarros musculares. No obstante, en ninguno de los casos se ha podido demostrar mediante el método científico que el uso por personas sanas de monohidrato de creatina en dosis adecuadas provoque daños al organismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Volek, J., Duncan, N., Mazzetti, S., Staron, R., Putukian, M., Gómez, A., et al. (1999). Performance and muscle fiber adaptations to creatine supplementation and heavy resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(8), 1147-56.
2. Volek, J., Kraemer, W., Bush, J., Boetes, M., Incledon, T., Clark, K., et al. (1997). Creatine supplementation enhances muscular performance during high-intensity resistance exercise. *Journal of American Dietetic Association*, 97, 765-770.
3. Volek, J., Ratamess, N., Rubin, M., Gómez, A., French, D., McGuigan, M., et al. (2003). The effects of creatine supplementation on muscular performance and body composition responses to short-term resistance training overreaching. *European Journal of Applied Physiology*, 5(91), 628-637.
4. Walker, J. (1979). Creatine: biosynthesis, regulation and function. *Advances in Enzymology and Related Areas of Molecular Biology*, 50, 177-242.
5. Wilder, N., Deivert, R., Hagerman, F., & Gilders, R. (2001). The effects of lowdose creatine supplementation versus creatine loading in collegiate football player. *Journal of Athletic Training*, 36(2), 124-129.
6. Wilder, N., Gilders, R., Hagerman, F., & Deivert, R. (2002). The effects of a 10-week, periodized, off-season resistance-training program and creatine supplementation among college football player. *International Journal of Health Research*, 16(3), 343-352.
7. Wilmore, J., & Costill, D. (2004). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Barcelona: Paidotribo.
8. World Anti-Doping Agency. (2009). *World Anti-Doping Code*. Montreal: World Anti-Doping Agency.
9. Burke, D., Chilibeck, P., Davidson, K., Candow, D., Farthing, J., & Smith-Palmer, T. (2001). The effect of whey protein supplementation with and without creatine monohydrate combined with resistance training on lean tissue mass and muscle strength. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 11(3), 349-364.
10. Burke, L. (2010). *Nutrición en el deporte. Un enfoque práctico*. Madrid: Panamericana.
11. Baechle, T., & Earle, R. (2000). *Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico*. Madrid: Panamericana.

12. Barbany, J. R. (2002). *Alimentación para el deporte y la salud*. Barcelona: Martínez Roca.
13. Becque, M., Daniel, M., Lochmann, J., & Melrose, D. (2000). Effects of oral creatine supplementation on muscular strength and body composition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(3), 654-658.
14. Benzi, G., & Ceci, A. (2001). Creatine as nutritional supplementation and medicinal product. *J Sports Med Phys Fitness*, 41(1), 1-10.
15. Bemben, M., Bemben, D., Loftiss, D., & Knehans, A. (2001). Creatine supplementation during resistance training in collage football athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(10), 1667-1673.
16. Brenner, M., Rankin, J., & Sebolt, D. (2000). The effect of creatine supplementation during resistance training in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(2), 207-213.
17. Casey, A., & Greenhaff, P. (2000). Does dietary creatine supplementation play a role in skeletal muscle metabolism and performance? *American Journal of Clinical Nutrition*, 72(2), 607-617.
18. Chrusch, M., Chilibeck, P., Chad, K., Davison, K., & Burke, D. (2001). Creatine supplementation combined with resistance training in older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(12), 2111-2117.
19. Earnest, D., Snell, P., Rodríguez, R., Almada, A., & Mitchell, T. (1995). The effect of creatine monohydrate ingestion on anaerobic indices, muscular strength and body composition. *Acta Physiologica Scandinavica*, 153, 207-209.
20. De la Serna, J., & Romo, I. (1998). Pedalear hasta enfermar. *Revista Electrónica Salud y Medicina*, 305.
21. Fox, S. (2003). *Fisiología Humana*. Madrid: McGraw-Hill.
22. Guillén del Castillo, M., & Linares, G. (2002). *Bases biológicas y fisiológicas del movimiento humano*. Madrid: Panamericana.
23. González Boto, R., García López, D., & Herrero Alonso, J. A. (2003). La suplementación con creatina en el deporte y su relación con el rendimiento deportivo. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 12(3), 242-259.
24. Gotshalk, L., Volek, J., Staron, R., Denegar, C., Hagerman, F., & Kraemer, W. (2002). Creatine supplementation improves muscular performance in older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 3, 537-543.
25. Green, A., Simpson, E., Littlewood, J., Macdonald, I., & Greenhaff, P. (1996). Carbohydrate ingestion augments creatine retention during creatine feeding in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 158(2), 195-202.
26. Greenhaff, P., Bodin, K., Södertund, K., & Hultman, E. (1994). Effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle phosphocreatine resynthesis. *American Journal of Physiology*, 266(5), 725-730.
27. Izquierdo, M., Ibañez, J., González-Padillo, J., & Gorostiaga, E. (2002). Effect of creatine supplementation on muscle power, endurance, and spring performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(2), 332-343.
28. Hultman, E., Soderlund, K., Timmons, J., Cederblad, G., & Greenhaff, P. (1996). Muscle creatine loading in men. *Journal of Applied Physiology*, 81(1), 232-237.
29. Hespel, P., & Derave, W. (2007). Ergogenic effects of creatine in sports and rehabilitation. *Subcell Biochem*, 46, 245-259.
30. Kambis, K., & Pizzedaz, S. (2003). Short-term creatine supplementation improves maximum quadriceps contraction in women. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 2, 332-343.
31. Kelly, V., & Jenkins, D. (1998). Effect of oral creatine supplementation on near-maximal strength and repeated sets of high-intensity

- bench press exercise. *Journal of Strength And Conditioning Research*, 12, 109-115.
32. Kilduff, L., Vidalkovic, P., Cooney, G., Twycross-Lewis, R., Amuna, P., Parker, M., et al. (2002). Effects of creatine on isometric bench-press performance in resistance-trained humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(7), 1176-1183.
33. Lucía, A. (1996). *Ayudas ergogénicas en el deporte*. Madrid: Universidad Complutense.
34. Larson-Meyer, D., Hunder, G., Trowbridge, C., Joanne, C., & Turk, J. (2000). The effect of creatine supplementation on muscle strength and body composition during off-season training in female soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(4), 434-442.
35. Mediplan Sport. (1996). *La suplementación con creatina como ayuda ergogénica para el rendimiento deportivo*. Álava: Diputación foral de Álava.
36. Mesa, J., Ruiz, J., Hernández, J., Mula, F., Castillo, M., & Gutiérrez, A. (2001). Creatina como ayuda ergogénica. Efectos adversos. *Archivos de Medicina del Deporte*, 86(XVIII), 613-619.
37. Peeters, B., Lantz, C., & Mayhew, J. (1999). Effect of oral creatine monohydrate and creatine phosphate supplementation on maximal strength indices, body composition, and blood pressure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(1), 3-9.
38. Preen, D., Dawson, B., Goodman, C., Lawrence, S., Beilby, J., & Ching, S. (2001). Effect of creatine loading on long-term sprint exercise performance and metabolism. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 33(5), 814-821.
39. Rico-Sanz, J. (1997). Efectos de suplementación de creatina en el metabolismo muscular y energético. *Archivos de Medicina del Deporte*, 61, 391-396.
40. Rossouw, F., Kruger, P., & Rossouw, J. (2000). Effect of creatine monohydrate loading on maximal intermittent exercise and sport-specific strength in well trained power-lifters. *Nutrition Research*, 20(4), 505-514.
41. Stevenson, S., & Dudley, G. (2001). Dietary creatine supplementation and muscular adaptation to resistive overload. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 1304-1310.