

Research

Suplementación con Creatina y Rendimiento durante el Ejercicio. Hallazgos Recientes

Hugh Lamont¹ y Michael G Bemben¹

¹*Neuromuscular Research Laboratory, Department of Health and Sports Sciences, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, Estados Unidos.*

RESUMEN

El monohidrato de creatina (Cr) es quizás uno de los suplementos más ampliamente utilizados, tomado en un intento de incrementar el rendimiento deportivo. El propósito de esta revisión es actualizar, resumir y evaluar los hallazgos asociados con la ingesta de Cr y el rendimiento deportivo y durante el ejercicio en las investigaciones disponibles más recientes. Debido al gran volumen de literatura científica que trata el tema de la suplementación con creatina y a los recientes esfuerzos por delinear los efectos específicos en el deporte, este artículo se concentra en los artículos de investigación que se han publicado desde 1999. El Cr se produce endógenamente en el hígado o puede obtenerse a partir de fuentes exógenas mediante la ingesta de alimentos tales como las carnes y los pescados. Casi toda la Cr en el cuerpo se encuentra en los músculos esqueléticos tanto en la forma libre (Cr:~40%) como fosforilada (PCr:~60%) y representa una reserva promedio de Cr de aproximadamente 120-140 g para un individuo promedio de 70 kg. La hipótesis actual es que la Cr puede actuar a través de diversos mecanismos en lo que respecta a la Cr como ayuda ergogénica, pero parece ser más efectiva para aquellas actividades que implican la realización de series repetidas de ejercicios de alta intensidad y corta duración. Además, los investigadores han estudiado diversos programas de carga de Cr; el programa más común implica una fase inicial de carga de 20 g/día durante 5-7 días, seguida de una fase de mantenimiento con 3-5 g/día por diferentes períodos de tiempo (1 semana a 6 meses). Cuando el resultado a medir luego de la ingesta de Cr es producción de tensión máxima o fuerza (contracciones dinámicas o isotónicas), en general parece que el Cr provoca un impacto significativo sobre la producción de tensión sin importar cual sea el deporte, el sexo o la edad. La evidencia es mucho más controversial cuando se investiga la producción de tensión isocinética y existe poca evidencia que respalde el uso de Cr para incrementar el rendimiento muscular isométrico. Existe poco beneficio de la ingesta de Cr para la prevención o la supresión del daño o la inflamación muscular luego de la actividad muscular. Cuando se valora el rendimiento en base a la intensidad y la duración de los ejercicios, la evidencia relativa al rendimiento en actividades de resistencia tanto continua como intermitente es contradictoria. Sin embargo, las actividades que implican saltos, sprints o ciclismo generalmente muestran una mejora luego de la ingesta de Cr. Con estos conceptos en mente, el punto central de este artículo es resumir la efectividad de la Cr sobre los diversos resultados específicos del deporte más que sobre los mecanismos de acción propuestos. La última sección de esta revisión trata de los potenciales efectos adversos de la suplementación con Cr. Aparentemente no existe evidencia contundente que respalde cualquiera de los efectos adversos propuestos, pero se debería señalar que no se han publicado estudios hasta la fecha que traten el tema del uso de Cr a largo plazo.

Palabras Clave: creatina, suplementación, efecto ergogénico, rendimiento atlético

ANTECEDENTES

El atractivo de la posibilidad del incremento del rendimiento deportivo o de la mejora del potencial de ejercicio continúa haciendo que la industria de los suplementos dietarios sea un negocio muy lucrativo. Uno de los suplementos dietarios orales más utilizados es el monohidrato de creatina (Cr). La ingesta de Cr en dosis supra fisiológicas se ha generalizado y ya no es solo utilizada por los atletas profesionales sino por los atletas de colegios secundarios. Muchos deportistas recreacionales, atletas de colegios secundarios (1), ancianos (2-5) y niños (6) de ambos sexos han ingerido Cr con la esperanza de mejorar su rendimiento físico. Esta revisión proveerá un resumen y una evaluación de la literatura más reciente (desde 1999 hasta el presente) referida a la suplementación con Cr y al rendimiento durante el ejercicio o al rendimiento deportivo.

¿QUE ES LA CREATINA?

La Cr, es un compuesto dietario no esencial, que puede ser ingerido a partir de fuentes exógenas tales como el pescado y la carne vacuna, o puede producirse endógenamente en el cuerpo, principalmente en el hígado. La Cr es sintetizada en un proceso de dos pasos que implica a tres aminoácidos (arginina, glicina y metionina). Inicialmente, la arginina y la glicina se combinan para formar guanidacetato, y luego el grupo metilo de la S-adenosilmetionina se adiciona para la formación de la creatina. Debido a que la Cr se produce principalmente en el hígado, debe ser liberada a la sangre y luego debe ingresar a la célula muscular, contra un gradiente de concentración, con la ayuda de un transportador dependiente de sodio, el transportador-1 de Cr (7, 8).

Casi toda la Cr en el cuerpo humano se encuentra almacenada en los músculos esqueléticos con aproximadamente el 40% de la Cr en forma libre (Cr) y el 60% restante en la forma fosforilada (PCr). En general un individuo de 70kg con una reserva promedio de Cr de 120-140 g, podría perder aproximadamente 2 g/día de creatina por vía urinaria en forma de creatinina. Esta pérdida es cubierta por el consumo exógeno de aproximadamente 1g/día obtenido a partir de una dieta mixta normal y el otro 1 g/día obtenido mediante la síntesis endógena.

Aparentemente la literatura parece acordar que los niveles de PCr son ligeramente mayores en las fibras musculares glucolíticas tipo II en comparación con las fibras musculares más aeróbicas tipo I y hay poca evidencia para sugerir cualquier diferencia sexual en las concentraciones de PCr (9, 10). Puede producirse una ligera declinación en la concentración de PCr con el avance de la edad, pero no está claro si esto se debe a una reducción en la función física o al proceso de envejecimiento en si mismo (11).

Breve Perspectiva Histórica

La Cr se descubrió inicialmente a principios de 1830 por Chevreul y Liebeg en 1847 confirmó su entidad "real" en la carne. Liebeg también fue el primero en teorizar que la Cr estaba de algún modo vinculada al rendimiento muscular, sin embargo, no fue sino hasta principios de 1900 cuando la extracción de Cr de la carne derivó en la investigación de la Cr como suplemento oral. En la década de los 70' los estados soviéticos y el bloque de países del este comenzaron a utilizar la Cr como un potencial mejorador del rendimiento (7, 12), pero el verdadero avance en el estudio de la suplementación con Cr no ocurriría sino hasta principios de la década de los 90' en EE.UU. y Gran Bretaña (12). Hoy en día, se estima que cada año se utilizan > 2.5 millones de kilogramos de Cr (8), con ventas que superaron los u\$s 200 millones en 1998 (13).

En general, la mayoría de la literatura científica llevada a cabo con hombres jóvenes saludables concuerda en que la suplementación con Cr puede mejorar el rendimiento en ejercicios que implican actividades extremadamente potentes y de corta duración (1-2 segundos), específicamente si la actividad se realiza en series repetidas separadas por breves períodos de recuperación (30 segundos a 1 minuto).

Mecanismo de Acción Propuesto

Se ha sugerido que la suplementación con Cr actúa a través de diversos mecanismos diferentes. Primero, si se incrementa la concentración de PCr en los músculos esqueléticos, entonces la PCr puede ayudar para provocar la rápida refosforilación del difosfato de adenosina (ADP) para formar trifosfato de adenosina (ATP) mediante la reacción de la Cr quinasa durante actividades de alta intensidad y muy corta duración, especialmente si las series de estas actividades intensas son repetidas con períodos de recuperación cortos entre las mismas (7, 8, 14, 15). Ejemplos de estos tipos de actividades incluyen los sprints, los saltos y el levantamiento de pesas. En segundo lugar, puede mejorarse la capacidad de difusión de fosfatos de alta energía entre la mitocondria y las cabezas de la miosina, permitiendo de esta manera

mayores ciclos de puentes cruzados y el mantenimiento de la tensión (7, 9, 16). Tercero, la Cr puede actuar para amortiguar los cambios en el pH provocados por el incremento de la acidosis al utilizar los iones hidrógeno durante la reacción de la Cr quinasa y la refosforilación del ADP al ATP mejorando así la homeostasis celular (7, 9). Cuarto, la reducción en los niveles celulares de PCr debido a la incrementada necesidad de refosforilar el ADP puede estimular a la fosfofructoquinasa, la enzima limitante de la velocidad de la glucólisis, incrementando así la velocidad de esta para provocar la rápida producción de ATP (7, 9). Una vez más, las actividades que duran entre 10 segundos y 2 minutos se verán beneficiadas de este mecanismo, i.e., sprints de 200m, 400m y 800m.

Estrategias de Suplementación

El programa característico de carga de Cr consiste ingerir 20 g/día (cuatro dosis de 5g cada una) seguido de una fase de mantenimiento con 3-5 g/día, aunque dosis menores (2-3 g/día) durante mayores períodos de tiempo (1 mes) pueden ser iguales de efectivas para elevar los niveles celulares de PCr. En general, los mayores incrementos en los niveles celulares de PCr luego de la suplementación suelen observarse en aquellos individuos que tienen menores valores iniciales (11) y la mayor absorción de Cr hacia los músculos ocurre durante las etapas iniciales del régimen de carga. El ejercicio parece incrementar la absorción de Cr, especialmente si la Cr es ingerida luego del ejercicio con una simple bebida a base de carbohidratos (8). La utilización de una bebida a base de carbohidratos parece ser lo más importante durante las fases iniciales de carga de Cr y menos importante a medida que las reservas intracelulares de Cr se aproximan a la saturación. La mayoría de los investigadores también acuerdan que, con la mayoría de los protocolos de intervención, hay sujetos que responden más y otros que responden menos a la suplementación con Cr (21).

EFFECTOS ERGOGENICOS

Aunque la suplementación con Cr ha sido utilizada en diversas situaciones clínicas, tales como con el fallo cardíaco congestivo (22, 23), aterosclerosis, enfermedades neurodegenerativas (24), y enfermedades neuromusculares (25), frecuentemente con resultados variados, esta revisión se concentrará solo en los efectos ergogénicos propuestos en relación al rendimiento deportivo y durante el ejercicio. Las principales bases de datos utilizadas para la búsqueda de artículos relacionados con la suplementación con Cr y el rendimiento deportivo fueron *Medline* y *Sport Discus*. En esta revisión solo se han incluido los artículos publicados desde 1999 y la razón de esta decisión se basó en el abrumador volumen de literatura publicada durante la década de los 90' que trata el tema de la suplementación con Cr, los recientes avances científicos en los mecanismos relacionados a la acción de la Cr, el reciente uso de grupos especializados (ancianos, enfermos) y la mejora en los análisis estadísticos y en su interpretación (Tabla 1).

Estudio	Año	Dosis	Población	Hallazgos
Pico de fuerza Isotónica/Dinámica				
Wilder et al. (26, 27)	2001, 2002	Carga de Cr: Gr ₁ : 3 g/día Gr ₂ : 7 g/día durante 7 días Mantenimiento: 5 g/día durante 12 semanas	Jugadores de fútbol americano universitarios: Gr ₁ = 8; Gr ₂ = 8; Gr ₃ = 9 (PL); entrenamiento de la fuerza	↔ entre grupos
Bemben et al. (28)	2001	Carga de Cr: 20 g/día durante 5 días Mantenimiento: 5 g/día durante 8 semanas	Jugadores de fútbol americano del equipo de casacas rojas: CR = 9; PL = 8; con = 8; entrenamiento de la fuerza	↑ 1RM
Chrusch et al. (29)	2001	Carga de CR: 0.3 g/kg BW durante 5 días Mantenimiento: 0.07 g/kg BW durante 11 semanas	Hombres de 30 años: CR = 16, PL = 14, entrenamiento de la fuerza	↑ 1RM
Tarnopolsky et al (30)	2001	Gr ₁ : 10 g CR + 75 g CHO Gr ₂ : 10 g prot + 75 g CHO durante 8 semanas	Hombres desentrenados: Gr ₁ = 11; Gr ₂ = 8; entrenamiento de la fuerza	↔ entre grupos
Becque et al (31)	2000	Carga de Cr: 5g, 4×/día durante 5 días Mantenimiento: 2g/día guante 5 semanas	Hombres entrenados en la fuerza: CR = 10; PL = 11	↑ de la fuerza en 1RM y de la hipertrofia muscular
Brenner et al (3)	2000	Carga de Cr: 20 g/día durante 7 días Mantenimiento: 2 g/día durante 5 semanas	Mujeres universitarias jugadoras de lacrosse: CR = 7; PL = 99; entrenamiento de la fuerza	↑ 1RM
Larson-Meyer et al (33)	2000	Carga de Cr: 7.5 g 2 ×/día durante 5 días Mantenimiento: 5 g/día durante 12 semanas	Mujeres universitarias jugadoras de fútbol: CR = 7; PL = 7; entrenamiento de la fuerza	↑ 1RM
Rossouw et al (34)	2000	Carga de Cr: 9 g 3 ×/día durante 5 días	Levantadores de potencia entrenados: CR = 8; PL = 5	↑ 1RM
Syrotuik et al (35)	2000	Gr ₁ : 0.3 g/kg durante 5 días Mantenimiento: PL 32 días Gr ₂ : 0.3 g/kg durante 5 días Mantenimiento: 0.03 g/kg durante 32 días Gr ₃ : PL durante 3 días	Hombres y mujeres recreacionalmente activos: Gr ₁ = 7; Gr ₂ = 7; Gr ₃ = 7; entrenamiento de la fuerza	↔ entre grupos
Torque Isocinético Pico				
Stevenson y Dudley (36)	2001	Carga de Cr: 20 g/día durante 7 días Mantenimiento: 5 g/día durante 8 semanas	Hombres y mujeres estudiantes universitarios: CR = 11; PL = 6; entrenamiento de la fuerza	↑ del torque pico

Chrusch et al (29)	2001	Carga de Cr: 0.3 g/kg BW/día durante 5 días Mantenimiento: 0.07 g/kg BW/día durante 11 semanas	30 hombres ancianos: CR = 16; PL = 14; entrenamiento de la fuerza	↑ de la producción de potencia
Tarnopolsky et al (30)	2001	Gr ₁ : 10 g CR + 75 g CHO Gr ₂ : 10 g prot + 75 g CHO durante 8 semanas:	Hombres jóvenes desentrenados: CR = 11; Prot = 8; entrenamiento de la fuerza	↔ entre grupos en el torque pico
Gilliam et al (37)	2000	Carga de Cr: 5g, 4 ×/día durante 5 días	Hombres activos desentrenados: CR = 11; PL = 112	↔ entre los grupos en el torque pico
Rossouw et al (34)	2000	CR: 5g, 3×/día durante 5 días	Levantadores de potencia entrenados: CR = 8; PL = 5	↑ torque pico
Rawson et al (4)	1999	CR: 4 × 5 g/día durante 5 días	Hombre ancianos: CR = 9; PL = 8	↔ entre grupos
Producción de Fuerza Isométrica				
Kilduff et al (38)	2002	CR: 20 g/día durante 5 días	Hombres entrenados en la fuerza: CR = 21; PL = 11	↔
Jakobi et al (39)	2001	CR: 5g, 4 ×/día durante 5 días	Hombres ancianos: CR = 5; PL = 5	↔ para la fuerza máxima o la resistencia
Inflamación o Daño Muscular				
Rawson et al (4)	1999	CR: 4 × 5 g/día durante 5 días	Hombres jóvenes sin experiencia en el entrenamiento de la fuerza: CR = 11; PL = 11	↔ entre grupos
Salto/Esprints				
Izquierdo et al (40)	2002	CR: 5g, 4×/día durante 5 días	Jugadores de handbol: CR = 9; PL = 10	↑ esprint y saltos
Cox et al (41)	2002	CR: 5g, 4×/día durante 6 días	Jugadoras de fútbol de elite: CR: 6; PL = 6	↑ esprint y agilidad
Skare et al (42)	2001	CR: 5g, 4×/día durante 1 día	Velocistas varones: CR = 9; PL = 9	↑ sprint y saltos
Romer et al (43)	2001	CR: 0.075 g/kg, 4 ×/día durante 5 días	Hombres jugadores de squash	↑ sprint
Haff et al (44)	2000	CR: 0.3g/ kg BW durante 6 semanas	Atletas de pista y campo hombres y mujeres: CR = 15; PL = 12	↑ salto vertical
Potencia en Esprints de Ciclismo				
Ziegenfuss et al (45)	2002	CR: 0.35g/kg FFM durante 3 días	Hombres y mujeres atletas universitarios: CR = 110; PL = 10	↑ trabajo total y la potencia pico
Green et al (46)	2001	CR: 5g, 4×/día durante 6 días	Hombres físicamente activos: CR = 9; PL = 10	↑ en el pico de potencia y ↓ en el % de reducción para la resistencia
Wiroth et al (47)	2001	CR: 5g, 3×/día durante 5 días	Hombres sedentarios ancianos: CR = 7; PL = 7 Ciclistas ancianos entrenados: CR = 7; PL = 7 Hombres Jóvenes Sedentarios: CR = 7; PL = 7	↑ en la potencia máxima solo para los grupos CR sedentarios

Rockwell et al (4)	2001	CR: 20 g/día durante 4 días con restricción energética	Hombres jóvenes activos: CR = 8; PL = 8	↑ no significativo para el trabajo total de esprint (restricción energética)
Volek et al (49)	2001	CR: 0.3 g/kg/día durante 7 días	Hombres jóvenes: CR = 10; PL = 10	Pico de potencia y rendimiento en esprint significativamente mejores (alta temperatura y humedad)
Deutekom et al (50)	2000	CR: 5g. 4×/día durante 6 días	Remeros bien entrenados: CR = 11; PL = 12	↔ entre los grupos, pico de potencia, tiempo hasta alcanzar el pico de potencia y trabajo
Vogel et al (51)	2000	CR: 5g. 4 ×/día durante 5 días	Hombres jóvenes activos: CR = 7; PL = 9	↔ rendimiento en ciclismo supramáximo (hipohidratación)
Resistencia Continua en Ciclismo/Remo				
Jones et al (52)	2002	CR: 20 g/día durante 5 días	Hombres y mujeres jóvenes	↔ entre grupos
Syrotuik et al (53)	2001	CR: 0.3 g/kg/día durante 5 días Mantenimiento: 0.03 g/kg/día durante 5 semanas	Hombres y mujeres remeros: CR = 11; PL = 12; entrenados en la fuerza	↔ remo repetido en intervalos o tiempo en la distancia de 2000 m
Rico-Sanz y Marco (54)	2000	CR: 200 g/día durante 5 días	Ciclistas altamente entrenados: CR = 7; PL = 7	Mejoras significativas en el grupo Cr
Resistencia Intermitente en Ciclismo/Carrera				
Yquel et al (15)	2002	CR: 200 g/día durante 6 días	Hombres jóvenes; contracciones isométricas	↑ significativo en la producción total de potencia
Cottrell et al (55)	2002	CR: 0.3 g/kg/día durante 7 días	Ciclistas hombres altamente entrenados: CR = 15; PL = 15	Incremento significativos para la producción de potencia cuando la pausa fue ≤ 3 min
Preen et al (56)	2002	CR: 2 × 15 g. separadas por 1 h	Ocho hombres jóvenes activos	↔ entre los grupos para el ciclismo
Finn et al (57)	2001	CR: 20 g/día durante 20 días	Triatletas activos: CR = 8; PL = 8	↔ entre los grupos para el ciclismo
Edwards et al (58)	2000	CR: 200 g/día durante 6 días	Hombres moderadamente activos: CR = 11; PL = 10	↔ carrera en cinta ergométrica

Tabla 1. Resumen sobre la suplementación con creatina y el rendimiento deportivo y durante el ejercicio. 1RM=una repetición máxima; BW=peso corporal; CHO=carbohidratos; con=grupo control; CR=grupo creatina; FFM=masa libre de grasa; Gr=grupo; PL=grupo placebo; prot=proteínas: ↓ indica reducción; ↑ indica incremento; ↔ indica que no hubo diferencias.

Fuerza Pico

Fuerza Isoinercial y Tasa de Desarrollo de la Fuerza

Numerosos estudios han examinado los efectos agudos de la carga de Cr (20 g/día durante 5 días) como así también los efectos a más largo plazo de un régimen de mantenimiento (3-5 g/día durante 4-16 semanas) conjuntamente con el entrenamiento de sobrecarga. El método más comúnmente utilizado para la valoración de la fuerza isoinercial es la evaluación de la fuerza en una repetición máxima (1RM). Los ejercicios de press de banca en posición supina y de prensa de piernas son los test más comúnmente citados dentro de la literatura referente a la suplementación con Cr.

Russouw et al. (34) investigaron los efectos agudos de la carga de Cr sobre el rendimiento en levantamiento de pesas. Trece sujetos fueron asignados aleatoriamente para recibir tratamiento con Cr (n=8; siete hombres y una mujer; 9 g/día durante 5 días) o con placebo (n=5; cuatro hombres y una mujer; 9 g sucrosa/día durante 5 días). La fuerza en 1RM en el

ejercicio de peso muerto (realizado con la técnica correspondiente a las reglas sancionadas por la asociación nacional de levantamiento de potencia) se incrementó significativamente luego de solo 5 días de suplementación en el grupo Cr, sugiriendo que la carga aguda de Cr puede ser una estrategia dietaria práctica previa a la competición para mejorar el rendimiento en la competencia de levantamiento de potencia (34). Los resultados de este estudio, por lo tanto, tienen aplicaciones prácticas para otros atletas bien entrenados que realizan ejercicios anaeróbicos de alta intensidad. Sin embargo, una de las limitaciones de este estudio fue la utilización de pruebas t para datos apareados solamente para explorar los cambios intragrupales y el falló en evaluar un posible término de interacción, perdiendo de esta manera, o al menos minimizando, la ventaja científica de utilizar un grupo placebo.

Más comúnmente, la suplementación con Cr implica la realización de un período inicial de carga aguda seguido de una fase de carga crónica de mayor duración. Becque et al. (31) examinaron los efectos de la suplementación con Cr conjuntamente con el entrenamiento periodizado de sobrecarga sobre la fuerza en 1RM de los flexores del brazo. Veintitrés sujetos varones con experiencia en el entrenamiento de la fuerza fueron asignados aleatoriamente a un grupo Cr (n=10) o a un grupo placebo (n=13). La carga de Cr consistió en ingerir 5 g de Cr, cuatro veces por día durante 5 días, para luego reducir la dosis a 2 g/día mientras que el grupo placebo recibió 500 mL de una bebida saborizada que contenía 32 g de sucrosa. Las cargas utilizadas durante las dos sesiones semanales de entrenamiento comenzaron con 6 RM y luego fueron reducidas a 2 RM durante la semana seis. Los análisis de seguimiento, incluidos análisis de varianza (ANOVA) para mediciones repetidas, indicaron que tanto el grupo Cr como el grupo placebo tuvieron incrementos significativos en la fuerza en 1RM, pero solo el grupo Cr mostró un incremento significativo en el área muscular del brazo (medida antropométricamente) y en la masa libre de grasa total (medida por pesaje hidrostático). Una limitación de este estudio fue la utilización de antropometría para estimar el área de sección transversal muscular y el gran error asociado con esta técnica. La administración crónica de Cr durante este estudio tuvo un efecto ergogénico significativo sobre la fuerza en 1RM y sobre la masa libre de grasa cuando se compararon los resultados con los obtenidos con el entrenamiento periodizado de sobrecarga solamente.

Brenner et al. (32) reportaron hallazgos similares a los presentados por Becque et al. (31) utilizando 16 mujeres jugadoras de Lacrosse de nivel universitario. La utilización de un programa de carga y mantenimiento similar al utilizado por Becque et al. (31) resultó en un mayor incremento en las mediciones de 1RM para el grupo Cr (interacción significativa grupo x tiempo) y en una reducción en las mediciones de los pliegues cutáneos cuando se compararon los resultados de este grupo con los del grupo placebo.

La influencia de la Cr sobre las mediciones del rendimiento son más controversiales cuando se utilizan jugadores de fútbol americano de nivel universitario como grupo experimental. Wilder et al. (26, 27) reportaron que ni una dosis baja (3 g/día) ni una dosis alta (20 g/día durante 7 días seguido de 5g/día) de suplementación con Cr durante un programa de entrenamiento de la fuerza periodizado de 10 semanas de duración para jugadores de fútbol americano de nivel universitario tuvo efectos adicionales sobre las ganancias de fuerza cuando se compararon los resultados con los obtenidos por el grupo control. Ambos grupos tuvieron incrementos significativos en la fuerza a lo largo del tiempo, pero no se observó una interacción significativa grupo por tiempo. Sin embargo, utilizando un grupo experimental similar, Bemben et al. (28) hallaron que un programa periodizado para el entrenamiento de la fuerza de 9 semanas combinado con suplementación con Cr (20 g/día durante 5 días seguido de 5 g/día para el resto del estudio) con jugadores de fútbol americano casacas rojas de nivel universitario resultó en mayores incrementos en la fuerza, torque pico, y en la potencia y capacidad anaeróbica, valoradas con el test de Wingate, en comparación con el grupo control y con el grupo placebo (28). La mayor dosis de mantenimiento utilizada en el estudio de Bemben et al. (28) pudo haber sido un factor que contribuyera a las diferencias significativas observadas post-suplementación. Otra posible explicación para los diferentes hallazgos de estos dos grupos de investigación puede estar vinculada con la experiencia de los dos grupos de sujetos. En los dos estudios de Wilder et al. (26, 27), los jugadores pertenecientes a la División I de la *National College Athletic Association* tenían al menos 1 año de experiencia en el fútbol americano universitario, mientras que en el estudio de Bemben et al. (28) se utilizaron ingresantes al equipo de casacas rojas (sin experiencia en el fútbol americano universitario). Los ingresantes al equipo de casacas rojas indicaron que no habían utilizado Cr previamente mientras que los sujetos de los estudios de Wilder et al. (26, 27) reportaron no haber utilizado Cr en las 4 semanas previas a la investigación. Además, la menor dosis utilizada en los estudios de Wilder et al (26, 27) (3 g/día) pudo no haber provisto una adecuada suplementación, especialmente para jugadores con una mayor masa corporal.

Utilizando diferentes deportistas en su diseño de investigación, Larson-Meyer et al. (33) llevaron a cabo un estudio doble ciego controlado con placebo, en el cual 14 jugadoras de fútbol de la División I participaron de un programa de entrenamiento de sobrecarga de 13 semanas en el período fuera de temporada. Siete de las mujeres fueron suplementadas con aproximadamente dos ingestas diarias de 7.5 g de Cr durante 5 días, y luego mantuvieron su ingesta de Cr a 5 g/día por el resto del estudio. Luego de realizar análisis de varianza para medidas repetidas para establecer interacciones grupo por prueba, se determinó la fuerza en 1RM en los ejercicios de press de banca y sentadillas se incrementó en mayor medida en el grupo Cr en comparación con el grupo placebo. Sin embargo, no se hallaron diferencias entre los dos grupos respecto de las ganancias globales en el tejido magro determinado por absorciometría dual de rayos X (DXA) (33).

También se han documentado hallazgos de respaldo utilizando hombres ancianos saludables. Chrusch et al. (29) examinaron los efectos de la ingesta de Cr combinada con entrenamiento de sobrecarga (36 sesiones totales de entrenamiento) sobre los cambios en la composición corporal y en el rendimiento muscular en hombres de 60-84 años de edad. Un total de 30 sujetos fueron aleatoriamente asignados a un grupo Cr (n=16; edad media 71.1 ± 1.6 años) o a un grupo placebo (n=14; edad media 70.4 ± 1.8 años). La fase de carga de Cr consistió de 0.3g/kg de peso corporal (BW) en los primeros 5 días, seguido de una dosis de mantenimiento de 0.07g/kg BW. Los análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas respecto tanto de los efectos principales como en términos de interacción indicaron que el grupo Cr tuvo incrementos significativamente mayores en la fuerza en 1RM en los ejercicios de press de piernas (Cr:+50.1kg vs placebo:+31.3kg) y de extensiones de rodilla (Cr:+14.9kg vs. placebo:+10.7kg) y tuvo un incremento concomitantemente mayor en la masa corporal y en la masa de tejido magro medidos mediante DXA.

La falta de un efecto de la suplementación con Cr sobre la fuerza en el ejercicio de press de banca pudo haber sido resultado del menor volumen de entrenamiento, ya que solo se realizó un ejercicio para el tren superior durante el programa de entrenamiento. Los resultados de este estudio también pudieron estar influenciados por las diferencias en la fuerza inicial de ambos grupos (el grupo Cr era significativamente más fuerte que el grupo placebo).

También existen numerosos estudios que no han sido capaces de detectar un efecto significativo de la Cr luego de la suplementación. Syrotuik et al. (35) asignaron aleatoriamente a 21 hombres a uno de tres grupos de entrenamiento de la fuerza para los cuales el volumen y la intensidad del entrenamiento fueron equiparadas. El primer grupo ingirió Cr (0.3g/kg de BW durante 5 días) y luego un placebo de mantenimiento, el segundo grupo siguió el mismo programa de carga seguido de una fase de mantenimiento (0.03g/kg de BW durante 32 días). El tercer grupo consumió placebo durante todo el período de 37 días. El entrenamiento de la fuerza consistió de un programa periodizado y la fuerza fue valorada mediante la evaluación de la fuerza en 1RM en los ejercicios de prensa de piernas inclinada y press de banca. Estas mediciones también fueron expresadas en relación a la masa corporal dividiendo el valor obtenido en 1RM (kg) por la masa corporal de cada sujeto (kg). Las mediciones de la fuerza en 1RM fueron llevadas a cabo antes de la fase de carga, luego de completar la fase de carga de 5 días y por último luego de la fase de mantenimiento de 32 días. Los análisis de varianza ANOVA de dos vías para medidas repetidas y los análisis post hoc de Newman-Keuls determinaron que cada grupo incrementó significativamente la fuerza en 1RM en todas las mediciones. Se hallaron efectos principales significativos para todos los grupos a lo largo del tiempo para las mediciones de la fuerza en 1RM en los ejercicios de press de banca y prensa de piernas, para el volumen total levantado y para el cociente fuerza/masa, pero no se hallaron efectos grupales o de interacción significativos entre los grupos (35). Los resultados de este estudio indicaron que ni la carga con Cr ni la carga de Cr más una fase de mantenimiento, en combinación con un programa para el entrenamiento de la fuerza controlado respecto del volumen y la intensidad, fueron más efectivos que el entrenamiento por si solo. Estos hallazgos sugieren que la suplementación con Cr no produce un efecto anabólico en los músculos esqueléticos, que es independiente de la calidad y la cantidad del estímulo de ejercicio.

Otro estudio que falló en respaldar la utilización de Cr fue llevado a cabo por Tarnopolsky et al. (30) quienes designaron aleatoriamente a 19 hombres a un grupo Cr + carbohidratos (n=11; 10g + 75g de glucosa) o a un grupo proteínas + carbohidratos (n=8; 10 g de caseína + 75 g de glucosa) utilizando un diseño doble ciego. Previamente a los tratamientos, los sujetos fueron evaluados utilizando 16 tests separados de 1RM para valorar la fuerza isoinercial. El entrenamiento de sobrecarga estuvo dirigido a entrenar la musculatura de todo el cuerpo con 6 sesiones semanales utilizando para esto un programa de rutinas partidas. Las sesiones de entrenamiento duraron 1 hora por un total de 8 semanas. Los resultados indicaron que la fuerza en 1RM, en los 16 ejercicios evaluados, se incrementó post entrenamiento (en el rango del 14.2% al 39.9%) pero no se hallaron diferencias significativas entre los dos grupos (30). Las ganancias de fuerza pudieron ser similares en ambas condiciones debido a la incrementada síntesis proteica (entrenamiento de sobrecarga más Cr) o a la incrementada disponibilidad de proteínas post ejercicio (entrenamiento de sobrecarga más proteínas). Debería señalarse que en este estudio se puso gran cuidado en proveer el mismo contenido energético, un crítica que puede hacerse a varios estudios de suplementación con Cr.

Torque Pico Isocinético

Los efectos de la carga de Cr sobre las mediciones del rendimiento isocinético son más controversiales que para las mediciones de la fuerza máxima dinámica o isoinercial. Rossouw et al (34) llevó a cabo un estudio utilizando 11 atletas altamente entrenados en la fuerza para examinar los efectos de la suplementación aguda con Cr sobre el torque pico isocinético. Los sujetos fueron aleatoriamente asignados a un grupo Cr (n=8; 9 g, tres veces por día) o a un grupo placebo (n=5) durante 5 días de tratamiento. Se requirió que los sujetos realizaran tres series de 25 extensiones de rodilla máximas isocinéticas a 180 grados/segundos con 60 segundos de recuperación entre las series. Las pruebas t para datos apareados indicaron resultados variados, hallándose incrementos significativos en ambos grupos respecto del torque pico para la serie dos, pero observándose un incremento significativo solo en el grupo Cr en la serie tres. La mejora en más de las series repetidas de ejercicio para el grupo Cr fue atribuida al hecho de que este comenzó cada serie de ejercicio con una mayor concentración de PCr en comparación con el grupo placebo. Sin embargo, el uso inapropiado de la prueba t para

datos apareados sin ningún ajuste en los valores p o la incapacidad para evaluar cualquier posible interacción hace que las comparaciones directas entre dos grupos sean imposibles.

Stevenson y Dudley (36) diseñaron un protocolo en el cual se combinó un programa de entrenamiento de la fuerza de 8 semanas de duración con estimulación muscular eléctrica (EMS) aplicada durante la producción de fuerza isocinética a 70 grados/segundo, con y sin suplementación con Cr. Dieciocho sujetos con experiencia previa en el entrenamiento de la fuerza fueron asignados aleatoriamente a un grupo Cr o a un grupo placebo. La carga de Cr consistió de 20 g/día durante 7 días, y luego una dosis de mantenimiento de 5g/día durante 8 semanas. Las EMS, que provocaron acciones máximas acopladas concéntricas y excéntricas fueron aplicadas al cuádriceps femoral izquierdo dos veces por semana (tres a cinco series) mientras los sujetos continuaban con sus rutinas individuales para el tren inferior. Las mediciones de la CSA muscular fueron obtenidas mediante imágenes de resonancia magnética (MRI). Los análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas revelaron que la adición de estimulación eléctrica al cuádriceps izquierdo incrementó la CSA en un 11% independientemente de la suplementación con Cr, probablemente debido al incremento en el agua celular (36). Debido a que ambos grupos mostraron incrementos similares en la producción de fuerza, en la resistencia a la fatiga y en la hipertrofia muscular, los autores concluyeron que la suplementación con Cr no aumenta las respuestas mecánicas o hipertólicas en individuos entrenados (36).

Otro estudio que fue incapaz de detectar la eficacia de la suplementación con Cr sobre los parámetros de la fuerza isocinética fue llevado a cabo por Gilliam et al. (37). Estos investigadores examinaron los efectos agudos de la suplementación con Cr sobre el torque pico isocinético a 180 grados/segundo en 23 hombres activos pero desentrenados. Los sujetos fueron aleatoriamente asignados a un grupo Cr ($n=11$) o a un grupo placebo ($n=12$). El tratamiento consistió de cuatro dosis de 5 g de Cr + 1g de glucosa para el grupo Cr y cuatro dosis de 6g de glucosa para el grupo placebo. La evaluación consistió de cinco series de 30 contracciones voluntarias máximas con 1 min de pausa entre las series. Las mediciones del torque pico fueron llevadas a cabo durante cada una de las 30 contracciones, utilizando el valor promedio para los análisis. El torque pico declinó entre las series cuatro y cinco. El análisis de varianza ANOVA de tres vías determinó que no hubo efectos grupales, de tiempo o de interacción, sugiriendo que la suplementación con Cr no afecta significativamente los índices del torque isocinético a una velocidad constante de 180 grados/segundo (37).

Los estudios isocinéticos con suplementación con Cr en poblaciones de ancianos han producido diferentes resultados de los observados con poblaciones de hombres más jóvenes o con poblaciones de deportistas. Rawson y Clarkson (3) asignaron aleatoriamente a 17 hombres de entre 60 y 78 años a un grupo Cr (5g + 1 de sucrosa cuatro veces al día durante 5 días) o a un grupo placebo (6g de sucrosa cuatro veces por día durante 5 días). Previamente a las evaluaciones y luego de los 5 días de carga con Cr, los sujetos realizaron un test intermitente de fatiga isocinética para los extensores de la rodilla, el cual implicó tres series de 30 acciones voluntarias máximas a 180 grados/segundo separadas por un período de recuperación de 60 segundos. Cada grupo fue analizado por separado utilizando el análisis de varianza ANOVA de dos vías. No se halló una interacción significativa para el rendimiento isocinético en ninguno de los grupos indicando que la Cr no provocó un efecto de mejora del rendimiento en los hombres ancianos quizás debido a la pobre absorción, transporte o consumo por el músculo (3).

Chrusch et al. (29) examinaron los efectos de la ingesta de Cr combinada con entrenamiento de sobrecarga (36 sesiones en total) sobre el rendimiento muscular isocinético en hombres ancianos. Treinta sujetos fueron aleatoriamente asignados a un grupo Cr ($n=6$; edad media 70.4 ± 1.6 años) o placebo ($n=14$; edad media 71.1 ± 1.8 años). La fase de carga de Cr consistió de 0.3g/kg de BW durante los primeros 5 días, seguido de una fase de mantenimiento con dosis de 0.07g/kg de BW. La valoración isocinética consistió de la realización de tres series de diez repeticiones de extensiones de rodilla a una velocidad de 60 grados/segundos con 1min de pausa entre las series. El análisis de varianza ANOVA 2×3 para medidas repetidas determinó una interacción grupo por tiempo significativa para la potencia promedio en la extensión y flexión de rodillas isocinética, demostrando el grupo Cr un incremento significativamente mayor. Estos hallazgos contrastan con los de los otros estudios que no mostraron efectos positivos de la suplementación con Cr sobre el rendimiento utilizando acciones isocinéticas a altas velocidades (180 grados/segundos). Los diferentes hallazgos pueden ser explicados por la mayor duración del estudio de Chrusch et al (29) (36 sesiones totales de entrenamiento), lo cual pudo haber provisto un mayor tiempo para la absorción de Cr en esta población de ancianos.

Fuerza Isométrica Máxima y Tasa de Desarrollo de la Fuerza

Los efectos de la suplementación aguda con Cr sobre la producción de fuerza voluntaria máxima (MVC), han sido tratados en varios artículos. Una MVC se define característicamente como una contracción máxima isométrica específica de un ángulo articular. Jakobi et al (39) reclutaron a 12 hombres ancianos (edad 65-82 años) que fueron aleatoriamente asignados a un grupo Cr (5g de Cr + 5g de maltodextrina; cuatro veces al día; $n=7$) o a un grupo placebo (5 g de maltodextrina; cuatro veces por día; $n=5$). Luego del tratamiento de 5 días, no se observó un incremento significativo ni en la MVC voluntaria ni en la MVC evocada eléctricamente entre los dos grupos, lo cual sugiere que los sujetos ancianos podrían haber requerido un mayor tiempo de suplementación con Cr.

Kilduff et al. (38) investigaron los potenciales efectos ergogénicos de la carga aguda de Cr (20g/día + 180g/día de dextrosa durante 5 días) sobre la composición corporal y la MVC en el ejercicio de press de banca. Treinta y dos hombres entrenados en la fuerza fueron distribuidos de acuerdo con la fuerza isométrica pico y fueron asignados, utilizando un diseño doble ciego, a un grupo Cr o a un grupo placebo. Luego de realizar análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas, se determinó que el grupo Cr no mostró cambios significativos en las medidas de la tensión pico o en la tensión total cuando se lo comparó con el grupo placebo. Sin embargo, cuando el grupo Cr fue dividido en respondedores y no respondedores en base a la estimación del almacenamiento intramuscular de Cr luego de la carga, la producción de tensión isométrica pico y la producción total de tensión fueron significativamente mayores que el grupo placebo. Se reportó que la absorción de Cr fue inversamente proporcional al estatus de entrenamiento ($r = -0.68$) sugiriendo que los individuos menos entrenados absorben la Cr más fácilmente que los sujetos altamente entrenados (38). Esto pudo deberse a la casi saturación de las reservas intramusculares de Cr observada en los individuos altamente entrenados, probablemente debido a una incrementada ingesta de proteínas en la forma de carnes rojas. Los individuos menos entrenados pueden no buscar activamente incrementar su ingesta proteica y, por lo tanto, pueden tener menores niveles de saturación antes de la suplementación con Cr. Además, las mayores reservas intramusculares de Cr pueden ser una adaptación fisiológica al entrenamiento de la fuerza de alta intensidad. Se debería señalar que la división del grupo Cr en respondedores y no respondedores, resultó en una muy diferente interpretación de los datos, y como tal, este método puede ser considerado como una forma sesgada de reportar los datos y por lo tanto debería ser considerada de acuerdo con esto.

Inflamación/Daño Muscular Inducido por Acciones Excéntricas

Las acciones excéntricas inducen inflamación muscular y daño tanto en la membrana del sarcolema como en la membrana reticular sarcoplasmica (59, 60). Un cambio en la actividad del retículo sarcoplásmico puede derivar en un incremento en las enzimas proteolíticas, derivando esto en la degradación de proteínas contráctiles (61). La PCr ha sido asociada con la estabilización de las membranas (62) dando lugar a idea de que la suplementación con Cr puede ayudar a disminuir los efectos degenerativos del daño muscular inducido por acciones excéntricas.

En uno de los pocos artículos publicados en esta área, Rawson et al. (11) investigaron los efectos de la suplementación con creatina sobre el daño muscular inducido excéntricamente. Veintitrés hombres de entre 18 y 36 años de edad fueron aleatoriamente asignados a un grupo Cr ($n=12$; 20 g/día durante 5 días) o a un grupo placebo ($n=11$). Para inducir el daño muscular se utilizaron cincuenta contracciones excéntricas máximas de los flexores del codo y se valoró la MVC de los flexores del codo, el rango de movimiento del codo, la concentración sanguínea de creatinquinasa y lactato deshidrogenasa, la circunferencia distal del brazo, y la inflamación mediante el movimiento y la palpación. No se hallaron interacciones grupales o grupo por tiempo significativas para ninguna de las variables medidas. Estos resultados sugieren que la suplementación con Cr no disminuye los síntomas asociados con el ejercicio excéntrico (11) y la hipótesis de que la suplementación con Cr puede reducir la fluidez de las membranas e incrementar la estabilidad de las membranas no puede ser respaldada.

Potencia

Salto y Esprints

Se ha reportado que la suplementación con Cr incrementa tanto la producción pico de potencia como la producción media de potencia durante la realización de saltos verticales con contramovimiento (CMVJ) y de saltos estáticos (SJ) (63). Haff et al. (44) examinaron los efectos de un programa de entrenamiento de sobrecarga de 6 semanas más suplementación con creatina sobre las tasas dinámicas de desarrollo de la fuerza durante actividades de salto. Treinta y seis atletas bien entrenados (16 hombres y 20 mujeres) fueron asignados aleatoriamente a un grupo Cr ($n=15$; 0.3g/kg de BW durante 6 semanas) o a un grupo placebo ($n=21$). Las sesiones de entrenamiento de la fuerza fueron llevadas a cabo tres veces por semana utilizando principalmente ejercicios balísticos de alta producción de potencia (cargadas de potencia, arranque de potencia) y entrenamiento de esprints en los otros dos días. La evaluación consistió en realizar CMVJ y SJ máximos de manera tal que se pudieran registrar las características de la curva fuerza-tiempo tales como el desplazamiento, la fuerza pico y la tasa de desarrollo de la fuerza. Ambos grupos tuvieron incrementos significativos respecto de las características de la curva fuerza-tiempo para el SJ luego del entrenamiento. Sin embargo, una interacción significativa grupo por tiempo indicó que el grupo Cr tuvo una tasa de mejora significativamente mayor para la altura en el CMVJ en comparación con el grupo placebo.

Izquierdo et al. (40) investigaron los potenciales efectos ergogénicos de la suplementación con Cr sobre la potencia, la resistencia, la fatiga muscular y el rendimiento en esprints. Diecinueve hombres jugadores de handbol entrenados en la fuerza fueron asignados aleatoriamente a un grupo Cr ($n=9$; 20 g/día durante 5 días) o a un grupo placebo ($n=10$). La fuerza máxima fue valorada utilizando los ejercicios de media sentadilla y press de banca, a la vez que también se determinó la producción repetida de potencia máxima en los ejercicios de media sentadilla (70% de 1RM) y de press de

banca (60% de 1RM) realizando una serie de 10 repeticiones seguida de una pausa de 2 min, y a continuación otra serie hasta el fallo muscular. La cadencia de levantamiento fue controlada por un metrónomo a una frecuencia de 19 Hz y las mediciones de la potencia media y de la velocidad promedio fueron registradas por un selector multicontrol giratorio. Una interacción significativa grupo por tiempo indicó un incremento significativamente mayor en las repeticiones realizadas hasta el agotamiento, en la potencia promedio total durante el test de resistencia a la potencia y en la fuerza en RM en el ejercicio de sentadilla en el grupo Cr. Además, se observó una menor declinación en la potencia/velocidad desde los CMVJ 1 a los CMVJ 2 en el grupo Cr y una reducción en los tiempos promedios de carrera en los primeros 5 minutos durante los esprints repetidos.

Mejoras similares en el rendimiento de esprints fueron reportados por Skare et al. (42). Dieciocho hombres velocistas de pista, con al menos 3 años de experiencia en competiciones de nivel regional fueron aleatoriamente asignados a un grupo Cr (n=9; 20 g de Cr+ 20 g de glucosa/día) o a un grupo placebo (n=9; 40 g de glucosa/día). Se hallaron incrementos significativos en el rendimiento durante la realización de esprints de 100 m y en el rendimiento durante la realización de esprints repetidos para el grupo Cr, mientras que el grupo placebo no mostró cambios entre las condiciones pre y post. Un problema con el análisis de los datos fue que no quedó claro si se evaluó la interacción grupo por tiempo o si solo se utilizaron pruebas t para analizar los datos.

La mejora en el rendimiento de sprint también fue demostrada por Cox et al. (41) quienes utilizaron jugadores de fútbol de elite. Doce sujetos con una media para la edad de 22.1 años consumieron una dieta estándar que proveía 7g de carbohidratos/kg de BW en un período de 24 hs antes de cada sesión de evaluación. Cada una de las dos sesiones de evaluación estuvo separada por un período de 7 días e incluyeron 11 sprints máximos de 20 metros, dos carreras de agilidad y una ejercitación con balón, cada una separada por caminatas, trotes o carreras en una distancia de 20 metros en un período de 1 hora. Luego de la primera sesión de evaluación, los sujetos fueron asignados aleatoriamente a un grupo tratamiento (5 g de Cr cuatro veces por día durante 6 días) o a un grupo placebo, utilizando un diseño doble ciego, y fueron re evaluados en los ítems originales del test. Se observó un incremento significativamente mayor en la masa corporal en el grupo Cr y aún así estos tuvieron mejores tiempos en los esprints repetidos y en las carreras de agilidad con menores frecuencias cardíacas y menores niveles de lactato en comparación con el grupo placebo (41).

El rendimiento en esprints también se incrementó significativamente en un grupo de jugadores de squash que fueron suplementados con Cr (0.075g/kg de BW, cuatro veces por día durante 5 días) en un estudio con diseño doble ciego cruzado controlado por placebo (43). Los tiempos de sprint valorados con un protocolo que simulaba el juego de squash mejoró en ambos grupos, pero se observó una mayor mejora luego de la suplementación con Cr; sin embargo, a diferencia del estudio de Cox et al (41), la frecuencia cardíaca y los niveles de lactato no fueron por la Cr. En general, la literatura parece respaldar la suplementación con Cr para actividades de alta intensidad y corta duración tales como los saltos y los esprints.

Ciclismo

La cicloergometría para valorar los índices de la potencia anaeróbica ha sido comúnmente utilizada en investigaciones previas acerca de la suplementación con Cr. La suplementación con Cr ha mostrado afectar positivamente las mediciones de la potencia pico y la potencia media (W), del tiempo hasta alcanzar el pico de potencia (segundos), el trabajo total (J) y del índice de fatiga (%) (64). Además, varios estudios han tratado los efectos de la ingesta de Cr sobre los índices de rendimiento en el test de Wingate desde el año 2000.

Green et al. (46) asignaron aleatoriamente a 19 hombres físicamente activos a un grupo Cr (n=9; 20 g/día durante 6 días) o aun grupo placebo (n = 10; 20g de sucrosa + maltodextrina/día). Antes y después de la suplementación, los sujetos realizaron tres test de Wingate para los brazos (AW₁, AW₂, AW₃), y luego tres test de Wingate para las piernas (LW₁, LW₂, LW₃) en días consecutivos. Cada test de Wingate estuvo separado por un período de recuperación de 2 minutos. Las variables comparadas entre los grupos incluyeron el pico de potencia (W), la potencia media (W), y el porcentaje de reducción en la potencia (%). No se hallaron diferencias significativas entre las mediciones pre y post respecto de la producción media de potencia tanto en las pruebas para los brazos como en las pruebas para las piernas. Tampoco se observó cambio en la potencia pico para ninguno de los grupos de test de Wingate; sin embargo, la potencia pico se incrementó significativamente en el grupo Cr durante el test AW₁, y en el grupo placebo durante los tests AW₁ y AW₂. El porcentaje de reducción de la potencia en el grupo Cr se redujo significativamente (desde pre a post test) y fue significativamente menor al del grupo placebo luego de la prueba LW₂ (46). Desafortunadamente, no se evaluó ningún efecto de interacción ya que los autores solo utilizaron pruebas t para analizar los datos estadísticamente.

Ziegenfuss et al. (45) estudiaron a atletas universitarios altamente entrenados anaeróbicamente para valorar los efectos de 3 días de ingesta de Cr sobre la producción de potencia en cicloergómetro. Veinte atletas de la División I (diez hombres y diez mujeres) fueron seleccionados y asignados aleatoriamente a un grupo Cr (n=10; 0.35 g de Cr/kg de masa libre de grasa) o a un grupo placebo (n=10, 0.35g maltodextrina/kg de masa libre de grasa). Los sujetos completaron seis esprints máximos de 10 segundos en cicloergómetro con 60 segundos de pausa entre los esprints antes y después de los 3 días de

tratamiento. Se utilizó la técnica de MRI para obtener diez imágenes transaxiales de ambos muslos, antes y después del tratamiento. El análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas reveló que la suplementación con Cr resultó en incrementos significativos en la masa corporal (0.9 ± 0.1 kg) en comparación con la suplementación con placebo. También se halló un incremento significativo del 6.6% en el volumen del muslo para el grupo Cr que fue atribuido al incremento en el agua intracelular sin cambios observados en el grupo placebo. También se observó un incremento significativo en el trabajo total realizado durante el primer esprint, así como también en la producción pico de potencia durante los esprints dos a seis, en el trabajo total realizado y en la producción pico de potencia durante el protocolo de esprints repetidos. Cuando se examinaron los subgrupos de hombres y mujeres (dentro del grupo Cr), los hombres exhibieron inicialmente el mayor pico de potencia relativo a la masa magra corporal; sin embargo, luego de haberse completado tres esprints, se observó la tendencia inversa, esto es, las mujeres exhibieron la mayor producción de potencia relativa (45). La caída en la potencia relativa a la masa corporal es similar a la observada por Linnamo et al. (65), quienes utilizaron levantamientos de pesas explosivos en forma repetida. Aunque los hombres exhibieron mayores valores de potencia tanto absolutos como relativos, estos también experimentaron una mayor fatiga central en comparación con las mujeres. Además, la mayor producción inicial de potencia observada en los hombres ha mostrado estar relacionada con los mayores niveles sistémicos de testosterona y con una mayor cantidad de masa libre de grasa (63).

Deutekom et al. (50) valoraron los efectos de la suplementación con Cr sobre las propiedades musculares y sobre el rendimiento en esprints. Veintitrés remeros bien entrenados fueron aleatoriamente asignados a un grupo Cr ($n=11$; 20 g/día durante 6 días) o a un grupo placebo ($n=12$). La evaluación consistió de 40 estimulaciones eléctricas consecutivas del cuádriceps a una frecuencia de activación de 150 Hz, la cual fue igual al 30% del torque pico isométrico máximo voluntario. El análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas indicó que hubo un incremento significativo de la masa corporal en el grupo Cr y en comparación con el grupo placebo. Sin embargo, no se hallaron diferencias entre los grupos respecto del torque voluntario máximo, de la activación muscular provocada por estimulación eléctrica y de la recuperación del ejercicio estimulado eléctricamente. Además, no se observaron diferencias entre los grupos respecto de la potencia pico, del tiempo para alcanzar el pico de potencia o del trabajo realizado hasta alcanzar el pico de potencia durante los test de esprint (50).

Wiroth et al. (47) examinaron los potenciales efectos ergogénicos de la suplementación con Cr sobre el rendimiento durante ciclismo de máxima intensidad reclutando tres grupos de sujetos (G_1 =sedentarios, $n=14$, edad media 70.1 años; G_2 =ciclistas entrenados, $n=14$, edad media 66.4 años; y G_3 =sedentarios jóvenes, $n=4$, edad media 26.0 años). Dentro de cada grupo, la Cr fue administrada (5 g tres veces por día durante 5 días) utilizando un diseño experimental doble ciego y aleatorio. Los sujetos realizaron cinco esprints máximos de 10 segundos con 60 segundos de recuperación pasiva entre cada esprint, registrando el pico de potencia, el trabajo realizado y la frecuencia cardíaca durante cada esprint. La potencia máxima se incrementó significativamente solo en los grupos G_1 y G_3 , sugiriendo que la suplementación con Cr fue beneficiosa en los sujetos ancianos y jóvenes previamente desentrenados pero no en los individuos previamente entrenados (47). Esto contrasta con los hallazgos de Rawson et al. (11) quienes reportaron que no hubo incrementos significativos en la fuerza o en la producción de potencia en sujetos ancianos durante un test isocinético luego de un período de carga de Cr de 5 días. Es posible que el incrementado estatus de entrenamiento del grupo de ciclistas entrenados pudiera haber reducido la capacidad de respuesta a la carga de Cr. La valoración de las reservas intramusculares de Cr en los futuros estudios de este tipo podría ayudar a explicar algunas de las discrepancias.

Dentro de la literatura referida al ciclismo, los autores también han intentado delinear los efectos de la suplementación con Cr bajo condiciones que podrían ser exhibidas durante la competencia, tales como la deshidratación y la restricción energética. En uno de dichos artículos, Vogel et al. (51) examinaron los efectos de la suplementación con creatina sobre el rendimiento en ciclismo con dos niveles de hidratación. Dieciséis hombres fueron aleatoriamente asignados a un grupo Cr ($n=7$, 20 g/día durante 5 días) o a un grupo placebo ($n=9$). Se requirió que los sujetos realizaran cinco esprints máximos de 5 segundos en un cicloergómetro dentro de una cámara ambiental con una temperatura de 32° C y una humedad del 50%. Para inducir un estado de hipohidratación, los sujetos realizaron una sesión de ejercicio de 75 minutos seguida por el mismo protocolo de esprints, y luego 75 min adicionales de ejercicio. Se determinó que las dos sesiones de ejercicio de 75 minutos provocaron una pérdida significativa en la masa corporal (- 2.5% para el grupo Cr y -4% para el grupo placebo) así como también del volumen plasmático (-7% para el grupo Cr y - 9% para el grupo placebo) para los grupos Cr y placebo. Además, no se observaron diferencias significativas entre los grupos en ninguna de las mediciones de la potencia. Los reportes de calambres y rigidez muscular no fueron diferentes entre los grupos y se concluyó que la suplementación con Cr no parece afectar negativamente el estatus de hidratación durante ejercicios prolongados de ciclismo (51).

Para examinar el tema de la utilización de Cr durante un período de restricción energética, Rockwell et al. (48) asignaron aleatoriamente a 16 hombres a un grupo Cr o a un grupo placebo. La Cr fue administrada en dosis diarias de 20g y tanto el grupo Cr como el grupo placebo consumieron una formula dietética de 75.3 kJ (18 kcal/kg/día; 57% carbohidratos, 21% proteínas, y 24% grasas). Luego se requirió que los sujetos realizaran diez esprints máximos de 6 segundos con 30 segundos de recuperación entre las series. Tanto el grupo Cr como el grupo placebo perdieron cantidades similares de masa corporal y tuvieron una reducción similar en el porcentaje de grasa, pero el grupo placebo mostró una reducción

significativa en el porcentaje de cambio de masa libre de grasa en comparación con el grupo Cr. Además se halló que la pérdida de nitrógeno (nitrógeno total en la orina y pérdida fecal estimada relativa al contenido de nitrógeno en la dieta) fue similar en ambos grupos. Las concentraciones de Cr y PCr fueron determinadas mediante la extracción de biopsias musculares en el vasto lateral y todas las muestras fueron ajustadas respecto de la mayor concentración de ATP pre- y post-tratamiento. El grupo Cr tuvo una concentración significativamente mayor de Cr en comparación con la medición pre-tratamiento (15-16%), mientras que no se observó cambio en el grupo placebo. Es interesante señalar que no hubo diferencias o interacciones significativas entre los grupos, tanto antes como después de la restricción energética y la suplementación, para ninguna de las mediciones de rendimiento en ciclismo. Los autores sugirieron que el rendimiento en los esprints de 6 segundos, el cual depende del sistema de los fosfágenos es menos afectado que el rendimiento en esprints de mayor duración el cual podría depender de la glucólisis anaeróbica.

Respecto del tema de la suplementación con Cr y el ejercicio en ambientes calurosos, Volek et al. (49) examinaron las respuestas fisiológicas al ejercicio de corta duración realizado a 37° C (80% de humedad) luego de un período de carga con Cr de 7 días. Veintidós hombres fueron aleatoriamente asignados a un grupo Cr (n=10; 0.3 g/ de BW) o a un grupo placebo (n=10) utilizando un diseño doble ciego. La sesión de ejercicio consistió de 30 min de ciclismo al 60-70% del consumo pico de oxígeno, e inmediatamente después tres esprints máximos de 10 segundos. Los análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas revelaron que no hubo diferencias significativas entre los grupos respecto de las respuestas de la frecuencia cardíaca, la presión sanguínea y la sudoración al ejercicio. La tasa de excreción urinaria de Cr, sodio y potasio obtenida en el transcurso de 24 horas tampoco fue diferente entre los dos grupos. Las series de ejercicio provocaron un incremento significativo en los niveles de cortisol, aldosterona, renina, angiotensina I y II, péptido atrial y vasopresina en ambos grupos, pero se halló un término de interacción significativo que indicó que el pico de potencia durante el ciclismo fue mayor durante los tres esprints en el grupo Cr, pero no cambió en el grupo placebo.

Resistencia Continua

La mayor parte de la literatura sobre la suplementación con Cr citada previamente se concentra en las mejoras en la actividad física anaeróbica e intermitente. En términos de rendimiento deportivo, existe menos evidencia para respaldar la utilización de Cr en actividades que tienen una duración superior a los 3 minutos. Los potenciales efectos ergogénicos de la Cr sobre el rendimiento en pruebas submáximas de resistencia han sido investigados solo en unos pocos estudios desde el año 2000. Jones et al. (52) investigaron los efectos de la carga de Cr sobre la cinética del consumo de oxígeno (VO_2) durante la realización de ciclismo submáximo. Cinco sujetos recibieron Cr (20 g/día durante 5 días seguido de una dosis de mantenimiento de 5g/día) mientras que cuatro sujetos sirvieron como controles. Luego de pasar por todas las condiciones de evaluación, 35-50 días más tarde, los cinco sujetos suplementados inicialmente con Cr sirvieron como control y los cuatro sujetos que sirvieron inicialmente como controles fueron suplementados con Cr. Las pruebas t para datos apareados revelaron que no hubieron diferencias significativas entre los grupos respecto de la cinética del VO_2 durante la realización de un protocolo de ejercicio submáximo y que la Cr no tuvo ningún efecto ergogénico. Las limitaciones de este estudio incluyen a los análisis estadísticos y al pequeño tamaño de la muestra.

Sin embargo, resultados similares fueron obtenidos por Syrota et al (53) cuando examinaron los efectos de la suplementación con Cr (0.3g/kg de BW/día, ingeridos en cuatro porciones iguales en el transcurso del día, durante 5 días, y luego una fase de mantenimiento con dosis de 0.03g/kg de BW/día durante 5 semanas) sobre el volumen de entrenamiento de remeros varones. El período inicial de carga con Cr de 5 días de duración no provocó mejoras en el rendimiento de remo en pruebas del tipo de entrenamiento fraccionado, en el tiempo sobre una distancia de 2000 m o en alguna de las mediciones de la fuerza. Luego de las 5 semanas adicionales de suplementación con Cr, no se observaron diferencias entre los grupos respecto de cualquiera de los parámetros de rendimiento.

En contraste a estos dos estudios previos, Rico-Sanz y Marco (54) investigaron los efectos de la suplementación con Cr sobre el VO_2 máx. y el rendimiento durante series alternadas de ejercicio a diferentes intensidades. Catorce sujetos varones fueron asignados aleatoriamente a un grupo Cr (n=7; 20 g/día durante 5 días) o a un grupo placebo (n=7). Se llevaron a cabo pruebas de ciclismo a intensidades del 30% y del 90% de la potencia pico hasta el agotamiento. Luego de una entrada en calor estandarizada, los sujetos pedalearon por un total de cinco etapas de 3 minutos (alternando intensidades del 30% y del 90% de la máxima producción de potencia). Se recolectaron muestras sanguíneas en cuatro ocasiones separadas (en reposo, justo antes y después de cada carga de ciclismo, en el momento del agotamiento y a los 5 minutos post ejercicio). El grupo Cr mostró un mayor VO_2 y menores concentraciones sanguíneas de amoníaco. También se halló una menor concentración plasmática de ácido úrico en el grupo Cr al finalizar el ejercicio y a los 5 min post-ejercicio. Desde el punto de vista del rendimiento, el grupo Cr incremento el tiempo hasta el agotamiento desde 29.9 ± 3.8 minutos a 36.5 ± 5.7 min, mientras que no se observaron cambios en el grupo placebo. Aparentemente, durante este estudio la suplementación con Cr fue capaz provocar el incremento en la cantidad de trabajo que pudo ser realizado durante series alternadas de ejercicio de diferente intensidad afectando la utilización de oxígeno y mejorando la fosforilación oxidativa a estas distintas intensidades (54).

Resistencia Intermitente

El rol de la Cr en la mejora del rendimiento en series intermitentes de ejercicio aeróbico ha sido tratado en varios estudios desde el año 2000 con resultados controversiales. Yquel et al. (15) describieron los efectos de la suplementación con Cr sobre la resíntesis de PCr y la acumulación de fosfatos inorgánicos durante la realización de ejercicios intermitentes. Nueve sujetos varones consumieron 20 g/día de Cr durante 6 días utilizando un diseño no ciego. Utilizando un dinamómetro isocinético, los sujetos realizaron cinco series de flexiones plantares dinámicas de 8 segundos con 30 segundos de recuperación entre las series. Se realizaron dos series adicionales (series seis y siete) de 8 y 16 segundos respectivamente. El intervalo de recuperación entre el final de la serie cinco y el comienzo de la serie seis fue de 1 minuto y de 2 minutos entre las series seis y siete. El contenido muscular de PCr y de fosfatos inorgánicos se estimó cada 16 segundos utilizando espectroscopia de resonancia magnética ³¹P. Los resultados indicaron que luego de la ingesta de Cr, la producción de potencia se incrementó significativamente en un 5% entre las series tres y siete y que la resíntesis total de PCr se incrementó significativamente luego de 10 min de recuperación. También se halló una fuerte correlación positiva entre la concentración de fosfatos inorgánicos y el pH muscular luego de la ingesta de Cr. Aparentemente la ingesta de Cr ayudó a mantener la producción de potencia a lo largo de las series repetidas de actividad anaeróbica intermitente reduciendo la condición de acidosis.

Utilizando un protocolo similar, Cottrel et al. (55) estudiaron los efectos de la ingesta de Cr y del intervalo de recuperación sobre el rendimiento en series múltiples de esprints de ciclismo con adultos varones. Ciclistas bien entrenados fueron asignados aleatoriamente a un grupo Cr (0.3 g/kg de BW/día durante 6 días) o a un grupo placebo. Se llevaron a cabo tres series separadas de esprints máximos de ciclismo. Las series de ciclismo consistieron de ocho esfuerzos máximos de 15 segundos. Los sujetos fueron aleatoriamente asignados a tres grupos diferentes en los cuales el período de recuperación entre las series era de 1, 3 o 6 minutos, y el mismo protocolo fue llevado a cabo nuevamente 7 días después. La utilización de pruebas t para datos apareados indicó que la potencia media entre las pruebas se incrementó significativamente en los grupos que consumieron Cr y que realizaron pausas de 1 y 3 minutos, y en el grupo placebo que realizó pausas de 6 minutos. Aparentemente durante este estudio, la suplementación con Cr tuvo un efecto positivo sobre el mantenimiento de la potencia media siempre y cuando el período de recuperación no fuera mayor a 6 minutos, pero la falta de valoración de un término de interacción luego de la suplementación debería llevarnos a examinar más de cerca la interpretación de estos resultados.

Contrariamente a los estudios previos, Edwards et al. (58) examinaron los efectos de la suplementación con Cr sobre el rendimiento anaeróbico en hombres moderadamente activos. Veintiún sujetos fueron asignados aleatoriamente a un grupo Cr (n=11; 20 g/día durante 6 días) o a un grupo placebo (n=10). Los sujetos fueron evaluados utilizando el test de velocidad anaeróbica (AST), el cual requiere que los sujetos corran hasta el agotamiento en una cinta ergométrica a una velocidad constante de 11 km/h y con un inclinación del 20%. Antes de realizar el test AST, se realizaron cuatro carreras de alta intensidad de 15 segundos de duración, cada una separada por un período de recuperación pasiva de 30 segundos, para asegurar la depleción de las reservas de PCr. Los análisis estadísticos revelaron una interacción significativa para las concentraciones plasmáticas de amoníaco, las cuales se redujeron en el grupo Cr. Estos datos sugieren que, en este estudio, la suplementación con Cr no ofreció ninguna ayuda ergogénica respecto del placebo en relación al rendimiento durante el ejercicio.

Preen et al. (56) tampoco observaron mejoras en el rendimiento cuando estudiaron los efectos de la suplementación pre ejercicio con Cr sobre el rendimiento en esprints intermitentes. Ocho hombres activos, pero no bien entrenados recibieron Cr (15g + agua) o placebo durante su primer día de evaluación. Catorce días después, utilizando un diseño doble ciego cruzado, aleatorio, los sujetos fueron reevaluados antes de recibir el tratamiento que no había sido administrado durante el primer test. Los suplementos de Cr o el placebo fueron ingeridos 60 y 120 min antes de comenzar una serie de sprint de ciclismo de 80 minutos. El protocolo consistió de diez series de múltiples esprints de 6 segundos, con períodos de recuperación que variaron entre los 24 y los 84 segundos. Los sujetos realizaron el mismo protocolo 14 días después y recibieron el tratamiento alternativo al que habían recibido previamente. Las variables registradas y analizadas incluyeron el trabajo realizado y el pico de potencia. También se obtuvieron biopsias musculares tomadas del músculo vasto lateral antes del ejercicio y luego de 1 y 3 min post ejercicio. El análisis de los datos reveló que no hubo cambios significativos en el rendimiento de ciclismo luego de la ingesta de Cr y que las concentraciones musculares de ATP y los niveles totales de Cr no fueron significativamente diferentes entre los grupos.

Finn et al. (57) tampoco reportaron diferencias en el rendimiento durante la realización de ciclismo intermitente luego de la ingesta de Cr. Dieciséis triatletas activos realizaron cuatro esprints máximos de 20 segundos en un cicloergómetro con freno de aire separados por un período de recuperación de 20 segundos. Se obtuvieron biopsias musculares de manera tal que los sujetos pudieran ser agrupados en relación al contenido intramuscular de Cr antes de ser asignados aleatoriamente a un grupo Cr (n = 8; 20g/día durante 20 días) o a un grupo placebo (n = 8). Los resultados indicaron que la concentración de Cr libre fue significativamente mayor en el grupo Cr en comparación con el grupo placebo el cual no mostró cambios; sin embargo, no se hallaron diferencias significativas entre los grupos respecto de los parámetros de rendimiento de los

tests.

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES

Aparentemente existe un consenso general, respecto del tema de los posibles efectos adversos de la suplementación con Cr, de que no hay evidencia científica contundente que respalde cualquier tipo de efecto adverso. La mayoría de los reportes han sido menores en naturaleza y puramente anecdóticos; sin embargo, es crítico señalar que no se han llevado a cabo estudios bien controlados a largo plazo con humanos y por lo tanto se recomienda precaución si se va a utilizar Cr a largo plazo.

Gastrointestinales (Calambres Estomacales, Nauseas, Diarrea, Vómitos)

Quizás el efecto adverso más comúnmente reportado con la suplementación con Cr es el estrés gastrointestinal (GI). Aparentemente, si la Cr está insuficientemente disuelta (9, 18) o es ingerida durante o inmediatamente después del ejercicio (66) parece haber más reportes de dicha molestia estomacal. Sin embargo, cuando se ha incluido un grupo placebo y el estudio ha sido doble ciego, parece no haber efectos adversos sobre el sistema GI (43).

En un estudio reciente con diseño doble ciego completado por nuestro laboratorio y que examinó los efectos de la suplementación con Cr, la suplementación con proteínas y una combinación de ambos suplementos, y la suplementación con placebo en hombres de 40 a 60 años de edad, no tuvimos esencialmente reportes de molestias GI (nauseas, vómitos o diarrea) cuanto las bebidas fueron consumidas inmediatamente después del entrenamiento de la fuerza diseñado para facilitar la hipertrofia muscular (tres series, diez ejercicios, 80% de 1 RM). Los sujetos entrenaron tres veces por semana y consumieron las bebidas que contenían o 5 g de Cr en 250 ml de Gatorade™ * siguiendo un período de carga de 5 días con 7 g de Cr/día, 35 g de proteínas en 250 mL de Gatorade™ o una combinación de 5 g de Cr y 35 g de proteínas en 250 mL de Gatorade™, o 250 mL de Gatorade™.

* El uso de nombres registrados es solo con el propósito de identificación del producto y no implica el aval del producto.

Función Renal y Hepática

Se ha establecido que los estudios que han investigado la función renal luego de la suplementación con Cr valorando el *clearance* de creatinina en orina no han hallado indicadores de una desmejora en la función (18, 67-72); sin embargo, se ha sugerido que debe tenerse cuidado si el individuo tiene una función renal comprometida preexistente (14).

No existe evidencia científica acerca de que la función hepática se vea desmejorada por la ingesta de altas dosis de Cr a corto plazo o la ingesta de bajas dosis de Cr a largo plazo (8, 73-76).

Calambres Musculares

La mayoría de los reportes de calambres musculares luego de la suplementación con Cr han sido por naturaleza anecdóticos y en general no han tenido sustento, especialmente cuando los diseños de investigación han incluido grupos controles con diseños ciegos. No existe evidencia directa de que la suplementación con Cr pueda inducir calambres musculares y si se experimentan calambres musculares lo más probable es que se deban a la alta intensidad del entrenamiento (8, 9, 18) o la disrupción del equilibrio electrolítico. La mayoría de los autores concuerdan que una adecuada hidratación durante el ejercicio reducirá significativamente la probabilidad de sufrir calambres musculares.

Masa Corporal/Retención de Agua

Los cambios tempranos observados en el BW luego de la ingesta de Cr pueden explicarse probablemente por el incremento en el agua corporal, especialmente en los compartimentos intracelulares (dentro de la célula muscular). Los autores han especulado que la razón del incremento en el agua corporal es el incremento en la carga osmótica asociado con el incremento en la concentración de Cr dentro de la célula (9, 26, 77, 78). Esto tiene implicaciones para las mediciones de la composición corporal obtenidas conjuntamente con los estudios de entrenamiento de la fuerza. Los incrementos en el área de sección cruzada muscular pueden ser atribuidos al incremento en la hipertrofia muscular mientras que el incremento en el tamaño puede deberse principalmente a la retención intracelular de agua. Estos mismos autores han sugerido que la hinchazón celular inicial puede ser una fase preparatoria de la hipertrofia compensatoria en respuesta al entrenamiento de la fuerza. Asimismo, el incremento en la retención de agua en los compartimentos intracelulares puede contribuir al incremento en la producción de tensión incrementando la ventaja del efecto de palanca intersticial.

En resumen, aparentemente la mayoría de los reportes de efectos adversos respecto de la suplementación con Cr han sido anecdóticos. Cuando los estudios emplean diseños de investigación ciegos que incluyen grupo control, no parece haber un hallazgo consistente de cualquier efecto adverso que pueda provocar la suplementación con Cr en individuos normales y saludables.

CONCLUSION

En general, los estudios recientes son similares a los estudios previos que han discutido los efectos de la suplementación con Cr; sin embargo, los mejores análisis estadísticos utilizando diseños con mediciones repetidas y el estudio de términos de interacción son mucho más comunes en la literatura actual. Otras mejoras en las metodologías incluyen los diseños doble ciego, la mayor variedad de sujetos (e.g., mujeres, ancianos) y mayores intentos por entender los mecanismos responsables de la mejora en el rendimiento.

Básicamente, la Cr parece proveer los efectos más beneficiosos para el rendimiento deportivo cuando la actividad implica la realización de series repetidas de ejercicio de alta intensidad y corta duración. Aparentemente los atletas que se desempeñan en deportes que son similares a este tipo de actividad obtendrán el mayor beneficio de la suplementación con Cr. Los deportes tales como el fútbol americano, el fútbol, el squash y el lacrosse son los tipos de deportes más comúnmente involucrados en la utilización de Cr.

Parte de los hallazgos documentados asociados con la suplementación con Cr parecen estar relacionados a las mediciones resultantes seleccionadas para cualquier estudio en particular. Si se valora el pico de fuerza dinámica o isotónica, en general parece que la suplementación con Cr puede proveer ciertos beneficios. Sin embargo, si se miden parámetros isocinéticos parece que la suplementación con Cr ofrecerá pocos beneficios respecto de la mejora del rendimiento.

También parece que tanto los hombres como las mujeres pueden beneficiarse de la suplementación con Cr, así como también los jóvenes y los ancianos, aunque con respecto a estos últimos la evidencia publicada en la literatura es algo conflictiva. El nivel de entrenamiento puede tener cierto impacto sobre la absorción de Cr durante la fase de carga, ya que los individuos altamente entrenados pueden no necesitar períodos de carga, debido a que los niveles intramusculares ya están elevados. Por último, se debería recordar que existen individuos que responden más y otros que responden menos en todos los grupos y que esto puede tener un impacto sobre los potenciales efectos ergogénicos de la Cr.

Agradecimientos

No se utilizaron fuentes de patrocinio para ayudar en la preparación de esta revisión. Los autores no tienen conflictos de interés que sean relevantes directamente con el contenido de esta revisión.

Dirección para el Envío de Correspondencia y el Pedido de Reimpresiones

Dr. Michael G. Bemben; Department of Health and Sport Sciences, Neuromuscular Research Laboratory University of Oklahoma, Norman OK 73019; USA, correo electrónico: mgbemben@ou.edu

REFERENCIAS

1. Grindstaff P. D., Kreider R, Bishop R., et al (1997). Effects of oral creatine supplementation on repetitive spring performance and body composition in competitive swimmers. *Int J. Sport. Nutr.* 7:330-46
2. Berman S, Venembre P, Sachet C, et al (1999). Effect of creatine monohydrate ingestion in sedentary and weight-trained older adult. *Acta Physiol Scand.*, 21:71-5
3. Rawson E. S., Clarkson P. M (1999). Acute creatine supplementation in older men. *Int. J. Sports. Med.*, 21:71-5
4. Rawson E. S., Wehner M. L., Claxson P. M (1999). Effects of 30 days of creatine ingestion in older men. *Eur J. Physiol.* 80:139-44
5. Smith S. A., Montain S. J., Matota R. P., et al (1998). Creatine supplementation and its influence on muscle metabolism during exercise. *J. Appl. Physiol* 85:1349-56
6. Unithan B. V., Bero SHE, Vella C. A., et al (2002). Is there a physiologic basis for creatine use in children and adolescents?. *J. Strength Cond. Res.* 15(4):524-8
7. Demant T. W, Rhodes F. C. Effect (1999). Effects of creatine supplementation on exercise performance. *Sports. Med* 28(1):46-60
8. Terjung R. L., Clarkson P, Eichner E. R., et al (2000). The physiological and health effect of oral creatine supplementation. *Med. Sci*

9. Mesa J. L. M., Ruiz J. R., Gonzalez-Gross M. M. , et al (2002). Oral creatine supplementation and skeletal muscle metabolism in physical exercise. *Sports. Med: 32(4):903-44*
10. Pastoris O., Roshi F., Verri M., et al (2000). The effects of aging on enzyme activities and metabolito concentrations in skeletal muscle fro sedentary male and female subjects. *Exp. Gerontol 35:95-104*
11. Rawson E. S., Jun B., Clarkson P. M (2001). The effects of creatine supplementation on exercise-induced muscle damage. *J. Stregth. Cond. Res. 15(2):178-84*
12. Silber M. L (1999). Scientific facts venid creatine monohydrate as a sport nutrition supplement. *J. Sports. Med.Phys. Fitness 39:179-88*
13. Andre L. P., andy J. Sachek A. J., et al (1999). A review of creatine supplementation: side effects and improvements in athletic performance. *Nutr. Clin. Care 2(2):78-81*
14. Hespel P., Eijinde B. O., Derave W., et al (2001). Creatine supplementation: exploring the role of creatine kinase/Phosphocreatine system in human muscle. *Can J. Appli Physiol 26 Suppl.: S79-S102*
15. Yquel R. J., Arsac L. M., Thiaudiere E.,et al (2002). The effects of creatine supplementation phosphocreatine resynthesis, inorganic phosphate accumulation and ph during intermittent maximal exercise. *J Sports. Sci., 20:427-37*
16. Wyss M., Kaddurah-Daouk. R (2000). Creatine and creatinine metabolism. *Physiol. Rev., 80:1107-213*
17. Haussinger D., Rath E., Lang F., et al (1993). Cellular hydration state:an important determination of protein catabolism in health and disease. *Lancet: 341:133-2*
18. Poortmans J. R., Francaux M (2000). Adverse effects of creatine supplementation: fase or fiction. *Sport Med: 30 (3):155-70*
19. Van Leemputte M., Vanderberghe K., Hespel P (1999). Shortening of muscle relaxation time alter creatine loading. *J. Appl Physiol 86:840-4*
20. Hespel P. Eijinde B., Van leemputte M (2002). Opposite antions of caffeine and creatine and creatine on muscle relaxation time in humans. *J. Appl Physiol 92:513-8*
21. Greenhaff P. L., Bodin K., Soderlund K.,et al (1994). Effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle PCr resynthesis. *Am J. Physiol 266:E725-30*
22. Grordon A. Hultman E., Kaijser L.,et al (1995). Creatine supplementationin chronic hear failure increases skeletal muscle creatine phosphate and muscle performance. *Cardiovasc Res 30:413-8*
23. Andrew R., Greenhaff P. L., Curtis S.,et al (1998). The effect of dietary creatine supplementation on skeletal muscle metabolism in congestive heart failure. *Eur Heart J. 19:617-22*
24. Matthew R. T. Yang L., Jenkins B. G., et al (1998). Neuroprotective effects of creatine and cytochrome in animal models of Huntington's disease. *J. Neurosci 18:156-63*
25. Tarnopolsky M. A., Roy B. D., MacDolnald j. R (1997). A randomized, controler trial of creatine monohydrate in patients with mitochondrial cytopathies. *Muscle Nerve 20:1502-9*
26. Wilder N. Deiuerth R. G.,Hagerman F., et al (2001). The effects of lowdose creatine supplementation versus creatine loading in collegiate footbal placer. *J. Athl Train 36(2):124-9*
27. Wilder N. Gilders R., G.,Hagerman F., et al (2002). The effects of a 10-week, perodized, off-season resistance-training program and creatine supplementation among collage footbal placer. *J. Health Res. 16(3):343-52*
28. Bember M. G., BemberD. A., Loftiss D. D. et al (2001). Creatine supplementation during resistance training in collage footbal athletes. *Med Sci Sports Exerc 33(10):1667-73*
29. Chruch M. J., Chiliberk P. D., Chad K. E., et al (2001). Creatine supplementation combined with resistance training in older men. *Med Sci Sport Exerc 33:2111-7*
30. Tarnopolsky M. D.,Parise G., Yardley N. J., et al. (2001). Creatine-dextrose and protein-dextrose induce similar stregyh gains during trainig. *Med Sci Sports Exerc.33:2044-52*
31. Becque M. D. Lochmann J. D., Melrose D. R (2000). Effect of oral creatine supplementation on muscular strength and body composition. *Med Sci Sports Exerc 32:654-8*
32. Brenner M. Rankin J. K., Sebolt D (2000). The effectof creatine supplementation during resistance training in women. *J. Strength Cand Res, 14(2):207-13*
33. Larson-Meyer D. E., Hunder G. R., Trowbridge C. A., et al (2000). The effect of creatine supplementation on muscle stregth and body composition during off-season training in femanle soccer players. *J. Strength Cond, Res 14(4):434-42*
34. Rossouw F., Kruger P. e., Rossouw J., et al (2000). Effect of creatine monohydrate loading on maximal intermittent exercise and sport.specific strength in well trainer power-Lifters. *Nutr Res 20(4):434-42*
35. Syrotuik D. G., Bell G. J., Burnham R., et al (2000). Absolute and realative stregth performance following creatine monohydrate supplementationcombined with perodized resistance trainig. *J. Strength Cond Res 14(2):182-90*
36. Stevenson S. W., Dudley G (2001). A. Dietary creatine supplementation and muscular adaptation to resistive overload. *Med Sci Sports Exerc 33:1304-10*
37. Gillian J. D., Hohzorn C., Martn D., et al (2000). Effect of oral supplementation opn isokinetic torque production. *Med Sci Sports Exerc 32:993-6*
38. Kilduff L. P., Vidalkovic P., Cooner G., et al (2002). Effect of creatine on isometric bench-press performance in resistance [trained humans. *Med Sci Sports Exerc 34:1176-83*
39. Jakobi J. M., Rice C. L., Curti S. V., et al (2001). Neuromuscular propesties and fatigue in older men following acute creatine supplementation. *Eur J. Appl Physiol 84:321-8*
40. Izquierdo M., Ibaez J., Gonzales. Badillo J. J., et al (2002). Effect of creatine supplementation on muscle power, endurance, and spring performance. *Med Sci Sports Exerc 34:332-43*
41. Cox G., Mujika I., Turnilty D., et al (2002). .Acute creatine supplementation during a fixer tedt simulation match play in elite female soccer player. *Int J. Sports nutr Exerc Metab 12:33-46*
42. Skare O. C., Skadberg O., Wisnes a. R (2001). Creatine supplementation improves sprint performance in male sprinteras. *Scan*

43. Romer L. M., Barrington J. P., Jenkendrup A. E (2001). Effect of oral creatine supplementation on high intensive intermittent exercise performance in competitive squash player. *Int J Sports Med* 22:546-52
44. Haff G. G., Kirksey K. B., Stone M. H., et al (2000). The effect of 6 weeks of creatine monohydrate supplementation on dynamic rate of creatine monohydrate supplementation on dynamic rate of force development.. *J. Strength Cond. Res* 14(4):426-33
45. Ziegenfuss T. N., Roger M., Lowery L., et al (2002). The effect of creatine loading on anaerobic performance and skeletal muscle volume in SCAA. *Division I Athletes Appl Nutr Invest* 18:397-402
46. Green J. M., McLester Jr J. R., Smith J. E., et al (2001). The effect of creatine supplementation on repeated upper and lower-body wingate performance. *J. Strength Cond Res* 15(1):36-41
47. Wiroth J. B., Bermon S., Andri S., et al (2001). The effect of creatine supplementation on maximal pedaling performance in older adults. *Eur J Appl Physiol* 84:533-9
48. Rocwell J. A., Rankin J. W., Toderico B (2001). The effect of creatine supplementation affect muscle creatine during energy restriction. *Med Sci Sport Exerc* 33:61-8
49. Volek J. S., Mazzetti S. A., Farquhar W. B., et al. (2001). Physiological responses to short-term exercise in the after creatine loading. *Med Sci Sports Exerc* 33:1101-8
50. Duetekom M., Beltman JGM, de Ruiter C. J., et al (2000). No acute effects of short-term creatine supplementation on muscle properties and sprint performance. *Eur J Appl Physiol* 82:223-9
51. Vogel R. A., Webster M. J., Erdmann L. D., et al (2000). Creatine supplementation: Effect on supramaximal exercise performance at two level of acute hypohydration. *J. Strength Cond Res* 14(2):214-9
52. Jones A. M., Carter H., Pringle J. S. M., et al (2002). Effect of creatine supplementation: effect on supramaximal cycle exercise. *J Appl Physiol* 92: 2571-7
53. Syrotuik D. G., Game A. B., Gillies E. M., et al (2001). Effect of creatine monohydrate supplementation during combined strength and high intensity rowing training on performance. *Can J. Appl Physiol* 62(6): 527-42
54. Rico-Sanz J., Marco M. T. M (2000). Creatine enhances oxygen uptake and performance during alternating intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc* 32:379-85
55. Cottrell G. T., Coast J. R., Herb R. A (2002). Effect of recovery interval on multiple-bout sprint cycling performance after acute creatine supplementation. *J Strength Cond Res* 16(1):109-16
56. Preen D., Dawson B., Goodman C., et al (2002). Press-exercise oral creatine ingestion does not improve prolonged intermittent sprint exercise in humans. *J Sports Med Phys Fitness* 42:320-9
57. Finn J. P., Eber T. R., Wither R. T., et al (2001). Effect of creatine supplementation on metabolism and performance in humans during intermittent sprint cycling. *Eur J. Appl Physiol* 84:238-43
58. Edwards MR, Rhodes ED, Mc Kenzie DC, Et al (2000). Effect of creatine supplementation on anabolic in moderately active men. *Jstrength Cond Res* 14:(1): 75-9
59. Lieber RL, Thornell L., Frieden J (1996). Muscle cytoskeleton disruption occurs within the first 15 min. Of cyclic eccentric contractions. *J. Appl Physiol* 80:278-84
60. Yasude T., Sakamoto K., Nosaka, et al (1997). Loss of sarcoplasmic reticulum membrane integrity after eccentric exercise. *Acta Physiol Scand* 161:581-2
61. Ingalls CP, Warren GL, Armstrong R. B (1998). Dissociation of force production from MHC and actin contacts in muscle injury by eccentric contraction. *J. Muscle Res Cell Motil* 19:215-24
62. Clark JF (1999). Use of creatine phosphate and creatine supplementation for the athletes. In Conway MA, Clark JF, editors. *Creatine and creatine phosphate:scientific and clinical perspective*. San Diego (CA): Academic Press, 1999:217-26
63. Bosco C, Tihanyi J, Poespck J, et al (1997). Effect of creatine supplementation on injury and running performance. *Int J Sports Med* 18:369-72
64. Eanest CP, Snell PG, Rodriguez R, et al (1995). The effect of creatine monohydrate ingestion on anaerobic power indices, muscular strength, and body composition. *Acta Physiol Scand* 153:207-5
65. Linnamo V, Hakkinen K, Komi PV (1998). Neuromuscular fatigue and recovery in maximal compared to explosive strength loading. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 77:176-81
66. Vanderberie F., Vandeneinde BM, Vandonberghe K, et al (1998). Effect of creatine on endurance capacity and sprint power in cyclists. *Int J Sport Med* 8:2005-63
67. Papadopoulos C, Imamura R, Brandon LJ (2001). Effect of creatine supplementation on repeated bouts high-intensity exercise in the heat (abstract). *Med Sci Sport Exerc* 33:s203
68. Poortmans JR, Auguer H, Renaut V, et al (1997). Effect of short-term creatine supplementation on renal responses in men. *Eur J Appl Physiol* 76:586-67
69. Poortmans JR, Francaux M (1999). Long-term oral creatine supplementation does not impair renal function in health athletes. *Med Sci Sport Exerc* 31:1108-10
70. Rasmussen C, Kreider R, Melton, et al (1999). Long-term creatine supplementation during football training does not affect markers of renal stress (abstract). *J Strength Cond Res* 13:431
71. Almada Al, Kreider M, Melton C, et al (2000). Long-term creatine supplementation does not affect markers of renal stress in athletes (abstract). *J Strength Cond Res* 14:359
72. Kreider R., Melton C., Rasmussen C., et al (2001). Effect of Long-term creatine supplementation on renal function and muscle and liver enzyme efflux (abstract). *Med Sci Sport Exerc* 33:s207
73. Robinson TM, Sewell DA., Casey A., et al (2000). Dietary creatine supplementation does not affect some hematological indices, or indices of muscle damage and hepatic and renal function. *Br J. Sports Med* 34:284-8
74. Ransom J, Kreider R., Hunt J, et al (1999). Effect of creatine supplementation during training on markers of catabolism and muscle and liver enzymes (abstract). *Med Sci Sport Exerc* 31:s265
75. Ransom J, Kreider R., Hunt J, et al (1999). Effect of long-term creatine supplementation during training on markers of catabolism

and enzyme flux (abstract). *J Strength Cond Res* 13: 431

76. Schilling BK., Stone MH., Utter A., et al (2001). Creatine supplementation and health variables: a retrospective study. *Med Sci Sport Exerc* 33:183-8
77. Mihic S., Macdonald J. R., McKenzie S., et al (2000). Acute creatine loading increases fat free mass , but does not affect blood pressure, plasma creatinine or CK activity in men and women. *Med. Sci Sport Exerc* 32:291-6
78. Ken M., Podewils LJ., Vukovich M., et al (2001). Physiological response to exercise in the heart following creatine supplementation. *J. Exerc Physiol* 4:18-27

Cita Original

Bemben Michael G., Hugh S. Lamont. Creatine Supplementation and Exercise Performance. Recent Findings. *Sports Med.* 35 (2): 107-125, 2005.