

Monograph

Efectos de la Suplementación con Creatina sobre la Potencia Muscular, la Resistencia y la Velocidad en Jugadores de Balonmano

Prof. Mikel Izquierdo¹, Javier Ibañez¹ y Esteban M Gorostiaga¹¹Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte. Gobierno de Navarra. (España).²Centro Olímpico de Estudios Superiores. Comité Olímpico Español, Madrid

RESUMEN

Objetivo: Determinar los efectos de la suplementación con monohidrato de creatina (Cr) (20g d^{-1} durante 5 días) sobre la fuerza máxima, la producción de potencia durante dos series de repeticiones a la máxima potencia (MRPB), series de carreras de velocidad y la resistencia en jugadores de balonmano. **Métodos:** En este estudio participaron diecinueve jugadores de balonmano que fueron divididos, en un diseño de doble ciego, en un grupo creatina ($n=9$) y en un grupo placebo ($n=10$). Antes y después del periodo de suplementación los sujetos realizaron una repetición máxima en los ejercicios de media-sentadilla (1RM_{HS}) y pectoral en banca (1RM_{BP}), 2 series de MRPB que consistían en una serie de 10 repeticiones continuas (R10) seguidas por una serie hasta la fatiga (Rmax) con 2 minutos de descanso entre series, con una resistencia igual al 60% y 70% de la 1RM individual en los ejercicios de media-sentadilla y pectoral en banca, respectivamente. Asimismo, realizaron un test de salto vertical con contramovimiento (CMJ) antes y después de las series de MRPB, seis series de velocidad de 15 m con 60 segundos de recuperación entre series, y un test máximo progresivo discontinuo de resistencia aeróbica corriendo (MDRT). **Resultados:** La suplementación con Cr aumentó significativamente el peso corporal (desde 79.4 ± 8 hasta 80 ± 8 Kg; $p<0.05$), el número de repeticiones realizadas hasta la fatiga y la potencia media total en la serie de Rmax del MRPB en el pectoral en banca (21% y 17%, respectivamente) y en la media sentadilla (33% y 20%, respectivamente), la 1RM_{HS} (11%), además de la altura en el CMJ después de la MRPB en media sentadilla (5%), y el tiempo medio de los primeros 5 m de las seis series de velocidad de 15 m (3%). En el grupo placebo, no se observaron cambios en la fuerza máxima, en la velocidad de carrera y en el peso corporal durante el periodo experimental. **Conclusión:** Los resultados presentados en este estudio muestran que la suplementación aguda con creatina (20g d^{-1} , durante 5 días) en jugadores de balonmano de alto nivel dio lugar a mejoras significativas en la fuerza máxima de la extremidad inferior, en la potencia producida en las dos series de repeticiones y en el número total de repeticiones hasta el agotamiento durante los ejercicios de pectoral en banca y media sentadilla. Estas mejoras fueron mayores en la musculatura de la extremidad superior que en la extremidad inferior. Los jugadores de balonmano que habían tomado creatina incrementaron la velocidad de carrera durante los primeros 5 metros de las series repetidas de 15 m y mostraron atenuada la reducción en la capacidad de salto después de la serie submáxima (R10) de repeticiones a la máxima potencia en el ejercicio de media sentadilla. Asimismo, los resultados muestran que la suplementación con Cr no mejoró ni la fuerza máxima de la extremidad superior, ni la resistencia en el test de carrera.

Palabras Clave: fuerza máxima, potencia muscular, resistencia, monohidrato de creatina

INTRODUCCION

Durante un ejercicio intenso y de corta duración, la energía necesaria para que se produzca la contracción muscular proviene principalmente de la hidrólisis de la moléculas de adenosín-trifosfato (ATP) y fosfocreatina (PCr) ⁽¹⁵⁾. Sin embargo, se calcula que las reservas musculares de PCr pueden llegar a agotarse, prácticamente, durante un ejercicio de 30 segundos realizado a la intensidad máxima posible, lo que provocaría una disminución de la producción de energía, con las consecuencias que ello conlleva sobre el rendimiento físico ^(12,15,19,21). Esto hizo sugerir a algunos autores que si se conseguía aumentar la disponibilidad de Creatina (Cr) en el músculo y aumentar sus reservas musculares mediante la suplementación, se podría 1) retrasar el agotamiento de las reservas de PCr y mantener durante más tiempo producciones elevadas de energía y 2) aumentar la velocidad y capacidad de resíntesis de PCr durante y en la recuperación de un ejercicio repetido de máxima intensidad ^(12,19,21). Numerosos investigadores han encontrado que la suplementación con Creatina se acompaña de un aumento significativo en las reservas de creatina, de la cual casi un 20% es en forma de Fosfocreatina ^(12,14). Así, en diferentes estudios de investigación se ha observado que la suplementación oral con Creatina puede mejorar la capacidad del deportista para realizar acciones musculares repetidas o series de ejercicios de alta intensidad y mantener la producción de potencia muscular, al mismo tiempo que puede retrasar la aparición de la fatiga y promover una más rápida recuperación entre las series de ejercicio intenso ^(4,8,11,21,38). Sin embargo, otros estudios no han observado efectos positivos de la suplementación de la Creatina sobre el rendimiento deportivo ^(10,25,30,36).

Los ejercicios dirigidos al desarrollo de la fuerza muscular constituyen un buen modelo para el estudio de los efectos de la suplementación con Creatina, porque su intensidad es muy elevada, su duración es muy corta y suelen realizarse en series repetidas, con poco tiempo de recuperación ⁽²³⁾. Sin embargo, existen muy pocos trabajos de investigación que hayan examinado la suplementación aguda con creatina (< de 1 semana) sobre la manifestación de la fuerza. Los resultados de estos estudios muestran que la administración de dosis diarias de monohidrato con creatinacomprendidas entre 10 y 25 gramos, durante 5 a 7 días, se acompañó de un aumento de la fuerza máxima dinámica de los brazos (5%) ⁽³⁾, y de los extensores de las rodillas (4%) ⁽³⁾, así como de la fuerza isométrica máxima de los extensores de las rodillas (10%) ⁽⁴⁾, del número de repeticiones hasta el agotamiento realizadas con una carga del 70%-80% de la fuerza máxima dinámica de extensión de los brazos ^(3,5), del número de repeticiones hasta el agotamiento realizadas con una carga del 50 % de la fuerza máxima dinámica de extensión de las rodillas ⁽⁶⁾, del pico de potencia obtenido durante varias series realizadas saltando al 40% de la fuerza dinámica máxima de extensión de la rodilla ⁽³⁾, y del tiempo de fatiga durante una contracción isométrica a un porcentaje de la fuerza isométrica máxima de los músculos extensores de la rodilla ⁽⁴⁾. Sin embargo, no existen trabajos de investigación que hayan examinado el efecto de la suplementación aguda con creatina sobre la producción de potencia muscular durante acciones musculares repetidas en los músculos de las extremidades superiores e inferiores con ejercicios y cargas utilizadas típicamente por deportistas de alto nivel (p.e. ejercicio de media-sentadilla y pectoral en banca con el 60-70% de 1RM). Por eso, uno de los objetivos del presente estudio fue examinar los efectos de la suplementación aguda con creatina sobre la fuerza máxima y la producción de potencia muscular durante acciones musculares realizadas a la máxima potencia, en los ejercicios de media sentadilla y pectoral en banca en deportistas de alto nivel.

Por otro lado, no está claro si la suplementación con creatina tiene algún efecto ergogénico/ergolítico durante actividades en las que una persona desplaza el peso de su propio cuerpo, como, por ejemplo, en el tiempo empleado en correr series repetidas de velocidad o sobre el rendimiento físico en pruebas de larga duración(7,8). Diferentes autores han señalado que la ingestión de creatina se suele acompañar de un aumento del peso corporal, consideración que podría tener efectos negativos en la mayor parte de los ejercicios en los que hay que desplazar el peso del propio cuerpo. Así, el segundo objetivo de este estudio fue examinar los efectos de la suplementación aguda con creatina sobre la velocidad máxima y la resistencia aeróbica en deportistas de alto nivel. El motivo por el que se escogió jugadores de balonmano para investigar los efectos de la creatina sobre la potencia muscular, la velocidad de carrera y la resistencia aeróbica fue que en este deporte se producen fases anaeróbicas de muy corta duración (1-3 s) y de gran intensidad, que suelen ser decisivas en la obtención del triunfo (desmarque, regate, centro, lanzamiento o salto), intercaladas con fases aeróbicas de recuperación. La hipótesis planteada en el presente proyecto de investigación es que la suplementación oral con creatinapodrá mejorar el tiempo de ejecución durante las series de carreras de velocidad y la potencia muscular durante acciones musculares de máxima intensidad en ejercicios específicos de entrenamiento, sin interferir negativamente sobre la resistencia aeróbica.

METODOS

Sujetos

En este estudio participaron diecinueve jugadores de balonmano. Todos ellos pertenecían al mismo equipo, integrado en la primera división nacional y tenían una experiencia previa de 14.5 ± 2 años. Los jugadores habían sido entrenados por el mismo entrenador durante los últimos 3 años. Este estudio se realizó en febrero, durante el periodo de competición (desde octubre hasta mayo) durante la única semana que no había competición oficial. Durante los 5 meses anteriores al comienzo del periodo experimental, los jugadores realizaron cuatro sesiones de entrenamiento de balonmano por semana, además de una sesión de entrenamiento de fuerza y resistencia y compitieron en un partido oficial por semana. Durante el periodo experimental (en la única semana que no se jugó un partido oficial), solamente se realizaron las sesiones de medición y dos sesiones de entrenamiento con balón. La última sesión de entrenamiento tuvo lugar 5 días antes de la primera sesión de medición. Las sesiones de balonmano duraban 90 minutos y consistían en ejercicios con balón a diferentes intensidades, ejercicios de ataque y defensa, y 30 minutos de partido real con breves interrupciones para el comentario del entrenador de las situaciones de juego. Las sesiones de entrenamiento de fuerza se realizaron inmediatamente antes de las sesiones de entrenamiento con balón. El entrenamiento de fuerza consistía en la combinación de ejercicios con pesos libres y con máquinas de musculación, durante 3 series a una intensidad de 10-12 RM. Los ejercicios que realizaban fueron el pectoral en banca, la media sentadilla y ejercicio para los flexores de la rodilla. La duración total de cada sesión fue de 35-40 minutos. El programa de resistencia consistió de una sesión de entrenamiento semanal de 20-30 minutos a una intensidad individualmente escogida. En este estudio sólo se escogieron los sujetos que anteriormente nunca habían tomado monohidrato de creatina/maltodextrina y nunca habían utilizado esteroides anabolizantes o beta-bloqueantes. Esto se realizó para evitar posteriores adaptaciones fisiológicas desconocidas y para evitar que los sujetos estuvieran alerta del tipo de suplementación que estaban recibiendo. Después de las mediciones iniciales y en función de las características antropométricas, y los índices de fuerza máxima, potencia, velocidad y resistencia, los sujetos fueron agrupados aleatoriamente y en doble ciego al grupo creatina ($n=9$) o placebo ($n=10$). Todos los sujetos fueron cuidadosamente informados de los procedimientos de medición y de los posibles riesgos y beneficios de la participación en este estudio. Los procedimientos experimentales fueron aprobados por un comité ético responsable. Cada sujeto firmó un informe de consentimiento previamente a la participación en el estudio.

Diseño experimental

En este estudio participaron dos grupos en un diseño de doble ciego. Antes y después de los cinco días del periodo de suplementación, los sujetos participaron en un protocolo de medición de dos días de duración, realizado en dos sesiones diferentes separadas por 7 días. Previo al comienzo de ambas sesiones de medición se determinó el peso corporal y se estimó el porcentaje de grasa⁽¹⁷⁾, a partir de la medición de siete pliegues cutáneos. Durante la primera sesión de medida se realizó un test de una repetición máxima concéntrica (1RM) desde las posiciones de pectoral en banca ($1RM_{BP}$) y media sentadilla ($1RM_{HS}$). Después de la medición de la 1RM, los sujetos realizaron dos series de repeticiones a la máxima potencia con pesos submáximos en los ejercicios de pectoral en banca y media sentadilla. Se realizó un test de salto con contramovimiento antes y 3-7 segundos después de las repeticiones a la máxima potencia en la posición de media sentadilla. En la segunda sesión de medición, cada sujeto realizó un test máximo progresivo discontinuo de resistencia aeróbica de carrera (MDRT). Para un mismo sujeto, los tests de resistencia y fuerza se realizaron a lo largo de la experiencia a la misma hora del día. Todos los sujetos estaban familiarizados con los protocolos de medición, debido a que previamente todos ellos habían sido valorados en varias ocasiones a lo largo de la temporada, con los mismos tipos de tests. Los coeficientes de correlación intra clase de los procedimientos de medición utilizados en este estudio fueron mayores que 0.91 y el rango de los coeficientes de variación desde el 0.9% hasta el 7.3% (resultados no publicados).

Mediciones del Rendimiento

Fuerza Máxima y Potencia Muscular

En la primera sesión de medida se determinó para cada sujeto el máximo peso con el que podía realizar una repetición concéntrica (1RM) desde una posición de media sentadilla ($1RM_{HS}$) y de pectoral en banca ($1RM_{BP}$). En el protocolo de $1RM_{BP}$ la barra estaba fijada por los soportes del aparato de medición 1 cm. por encima del pecho del sujeto. Desde esta posición inicial se pidió al sujeto que realizase una acción muscular concéntrica, manteniendo los hombros en 90 grados de abducción para asegurar la consistencia muscular del hombro y codo a lo largo del movimiento. Durante el test, no se permitieron movimientos de arqueado de la espalda o rebotes. En el protocolo de $1RM_{HS}$, los hombros estaban en contacto con la barra a la altura adecuada para determinar 90° de flexión inicial de rodillas, manteniendo el tronco en posición vertical y con los pies separados a una distancia similar a la anchura de los hombros. Se pidió a los sujetos que después de oír una señal externa, realizaran una extensión concéntrica (tan rápido como les fuera posible) hasta alcanzar la posición de extensión total de 180 grados. La resistencia fue determinada por los pesos añadidos en ambos extremos de la barra. Todos los intentos fueron realizados en una máquina especialmente diseñada para realizar el ejercicio de sentadilla y pectoral, de tal manera que la barra estaba fijada por los dos extremos y sólo se permitía realizar movimiento en el plano transversal. El calentamiento consistió en una serie de 5 repeticiones con el 40%-60% del máximo estimado. Posteriormente, se utilizaron de cuatro a cinco intentos hasta que el sujeto no podía realizar la extensión de su extremidad

inferior o superior hasta la posición requerida. La última extensión aceptable con el mayor peso posible fue determinada como 1RM.

Series de Repeticiones a la Máxima Potencia con Pesos Submáximos

Después de 5 min. de descanso, los sujetos realizaron un protocolo de dos series de repeticiones a la máxima potencia con pesos submáximos en los ejercicios de media sentadilla y pectoral. El protocolo en la posición de pectoral consistió en una serie de 10 repeticiones (R10) con un peso igual al 60% de $1RM_{BP}$ de cada individuo, seguido después de 2 minutos de descanso entre cada serie por una serie de repeticiones hasta la fatiga. El protocolo en la posición de media sentadilla pectoral consistió en una serie de 10 repeticiones (R10) con un peso igual al 70% de $1RM_{HS}$ individual, seguido por una serie hasta la fatiga con el mismo peso, después de 2 minutos de descanso entre cada serie. Se pidió a los sujetos que moviesen la barra tan rápido como fuera posible durante la fase concéntrica y excéntrica de cada repetición, hasta que ellos no pudiesen alcanzar la posición de extensión de los brazos o piernas. El momento de fatiga fue definido cuando la barra no se pudo mover durante más tiempo, si el sujeto la movía cuando los brazos o piernas estaban en la posición de extensión después de un periodo de pausa mayor a 1 s, o si el sujeto no podía alcanzar la posición de extensión de los brazos o las piernas. La cadencia de cada repetición fue controlada con un metrónomo con una frecuencia de 19 Hz.

Durante las ejecución de los test del miembro inferior, se registró el desplazamiento de la barra, la velocidad media ($m\ s^{-1}$) y potencia (W) por medio de un encoder lineal que se colocaba conectado en un extremo de la barra. El encoder lineal registraba la posición y la dirección de la barra con una sensibilidad de 0.2mm y con una resolución de $1\mu s$. La velocidad instantánea (v ; $m\ s^{-1}$) se calculó cada 0,2 mm (Δd) utilizando la siguiente ecuación;

$$V = \Delta d \cdot \Delta t^{-1}$$

donde Δt es el tiempo (s) en realizar el desplazamiento instantáneo (3mm) con un resolución de $10\mu s$. El cálculo de la potencia instantánea se realizó multiplicando la velocidad en cada período instantáneo de desplazamiento por la fuerza calculada del producto de la masa de la carga y la aceleración de la gravedad⁽⁵⁾. La potencia media de cada repetición fue calculada a partir de la media de los valores instantáneos de potencia durante todo el tiempo necesario para realizar una repetición. En los ejercicios de pectoral en banca y de media-sentadilla se determinó el número total de repeticiones y la potencia media para cada repetición. El valor de la potencia en cada repetición se utilizó para calcular la potencia media total producida durante cada serie. La velocidad media y la potencia fue calculada en todo el rango de movimiento utilizado para realizar un intento valido.

Test de Salto

Antes de la medición de la 1RM en la posición de media-sentadilla y después de cada serie del protocolo de repeticiones a la máxima potencia, se pidió a los sujetos que caminaran hacia una plataforma de contacto (Newtest OY, Oulu, Finland) situada junto a la barra e inmediatamente realizasen dos saltos máximos con contramovimiento (CMJ). El tiempo que se tardaba entre la finalización del protocolo de media sentadilla y el primer salto fue entre 3-7s. El segundo salto se realizó siempre 4 segundos después del primero. Se pidió a los sujetos que realizasen un salto máximo vertical con un movimiento preparatorio previo desde la posición de extensión de piernas hasta la posición de 90 grados de extensión de rodillas. La altura de salto fue calculada a partir del tiempo de vuelo. Se registraron dos saltos máximos separados aproximadamente por 10 s de descanso y el de mayor altura se utilizó para posteriores análisis.

Series de Carreras de Velocidad

El protocolo de las series de carreras de velocidad (RPRT) y el test de resistencia aeróbica corriendo, se realizaron en la segunda sesión de medición, en la cancha de balonmano. Después de una calentamiento estandarizado que incluía 5 minutos de trote, ejercicios de estiramiento, y carreras en progresión, los sujetos realizaron un protocolo de series de carreras de velocidad que consintió en seis series de 15m a la máxima velocidad, separados por 60 s de recuperación. La posición inicial fue la misma para todos los sujetos. Durante los 60 s de recuperación, los sujetos caminaron hasta la posición de salida. El registro de la velocidad se realizó utilizando células fotoeléctricas (Newtest OY, Oulu, Finland), elevadas 0.4 m del suelo, y colocadas a una distancia de 0.5 m, 5.5 m y 15.5 m.

Test de Resistencia Aeróbica de Carrera

Diez minutos después de la finalización del test de RPRT, los sujetos realizaron un test máximo progresivo discontinuo de resistencia aeróbica de carrera (MDRT), alrededor de la pista de balonmano (40 x 20 m), hasta el agotamiento. La velocidad inicial fue de $10\ Km\ h^{-1}$ y fue incrementada en $2\ Km\ h^{-1}$ cada 5 minutos, hasta el agotamiento o hasta que la velocidad de carrera no podía ser mantenida durante más tiempo. Después de cada estadio, el test se interrumpía durante 3 minutos hasta el comienzo del siguiente estadio. Con el propósito de asegurar una velocidad constante, los sujetos debían

seguir el ritmo marcado por una señal sonora preprogramada que estaba conectada a un ordenador personal (Balise Temporelle, Bauman, Switzerland). Durante el test, la frecuencia cardiaca fue registrada cada 15s (Polar Vantage NV, Polar Electro, Finland) y promediada durante los últimos 60 s de cada estadio. Inmediatamente después de cada periodo, se extrajeron muestras capilares de sangre del lóbulo de la oreja para la determinación de la concentración de lactato. Las muestras para la determinación total de lactato en sangre (100 μ l) fueron desproteinizadas, colocadas en unos tubos preservativos (YSI 2315 Blood Lactate Preservative Kit), almacenadas a 4 $^{\circ}$ C, y analizadas (YSI 1500) durante los 5 días posteriores a la realización del test. El analizador de lactato fue calibrado cada 5 muestras con 3 muestras control (5, 15 y 30 mmol l^{-1}).

Creatinina en Orina

El día anterior y la mañana posterior a los 5 días de duración del tratamiento se recogió la orina de 12 horas. Después de la recogida, se determinó el volumen de todas las muestras, y una parte fue inmediatamente analizada para la determinación de la concentración de creatinina en orina por espectrofotometría mediante un aparato Synchron CX7 (Beckman Instruments Inc., Brea, CA).

Procedimiento de Suplementación

Después de las mediciones iniciales, se pidió a los sujetos que tomaran diariamente, 4 dosis de 5 g de monohidrato de creatina (Cr, n= 9) o un volumen equivalente de maltodextrina (placebo, n= 10), durante los siguientes 5 días. Las dosis de suplementación fueron medidas utilizando una balanza electrónica y colocadas en bolsas idénticas herméticamente cerradas. Los sujetos mezclaron el suplemento en aproximadamente 0.25 litros de agua caliente para obtener una mejor disolución de la creatina⁽¹⁴⁾ e ingirieron la solución en el desayuno, comida, merienda y cena. La Cr y el placebo fue administrado en doble ciego. La suplementación se inició inmediatamente después de las mediciones iniciales y terminó el mismo día de la primera sesión de medición después de la suplementación. Este patrón de suplementación con creatina fue escogida en base a estudios previos que han observado que produce incrementos significativos en el músculo de los niveles de reposo de la PCr⁽¹⁴⁾. El grado de cumplimiento con la suplementación fue del 100%. Asimismo, se determinó los niveles de creatinina en orina para confirmar la ingesta de creatina. Los sujetos al final del estudio, no sabían el tipo de suplementación que habían recibido.

Métodos Estadísticos

Se utilizaron métodos descriptivos convencionales en el cálculo de la media, desviación estándar (D.E.) y el coeficiente de correlación de Pearson. El t-test para muestras independientes no mostró diferencias significativas entre ambos grupos en los valores iniciales de fuerza máxima, en la potencia producida durante las series de repeticiones, en el número de repeticiones durante los ejercicios media sentadilla y pectoral y en las variables de resistencia y velocidad. La significación estadística de las diferentes variables entre los grupos se determinó mediante el t-test de probabilidad ajustada para muestras independientes y el análisis de varianza (ANOVA), utilizando el test de Scheffe para las comparaciones pos hoc. En este trabajo se ha escogido para establecer el nivel mínimo de significación estadística $p < 0.05$. Los correspondientes valores antes y después de la suplementación de todas las variables medidas se realizó utilizando un análisis de varianza de dos vías (ANOVA, grupo x tiempo) para medidas repetidas. Cuando se obtuvo un valor F significativo, utilizando el test de Sheffe para las comparaciones post hoc. En este trabajo se ha escogido para establecer el nivel mínimo de significación estadística $p < 0.05$.

RESULTADOS

Características Antropométricas

Las características de los grupos creatina y placebo fueron (media \pm DE): edad, 20.8 \pm 5 y 23.6 \pm 5 años; altura, 182 \pm 8 y 189.7 \pm 8 cm; peso corporal 79.4 \pm 8 y 87 \pm 12 kg; porcentaje graso, 10.7 \pm 3 y 11.3 \pm 3 %, respectivamente. No se observaron entre los dos grupos diferencias significativas en la edad, altura, y porcentaje graso, antes y después de la suplementación. El incremento observado en el peso corporal en el grupo Cr después del periodo de suplementación, fue significativamente mayor ($p < 0.01$) que en el grupo placebo. En el grupo Cr, el peso corporal aumentó significativamente ($p < 0.05$) desde 79.4 \pm 8 hasta 80 \pm 8 Kg, durante el período de suplementación. En el grupo placebo, no se observaron cambios significativos en el peso corporal a lo largo del período experimental (87 \pm 12 y 86.8 \pm 11 Kg, antes y después de la suplementación, respectivamente). Antes y después del periodo de suplementación, no se observaron cambios significativos en el porcentaje graso en los grupos creatina (10.7 \pm 3 y 10.3 \pm 3 %) y placebo (11.3 \pm 3 y 10.9 \pm 3%), respectivamente.

Fuerza Máxima

En la figura 1 se muestran los valores de 1RMBP y 1RMHS. Después del periodo de suplementación, ninguno de los grupos mostró cambios significativos en el test de 1RMBP. Durante el periodo de suplementación, se observaron en el grupo Cr mejoras significativamente mayores ($p < 0.01$) en 1RMHS que en el grupo placebo. En el grupo Cr, se observaron incrementos significativos en 1RMHS desde 133 ± 11.9 hasta 147.7 ± 14.1 Kg ($p < 0.001$) durante el periodo suplementación. Sin embargo, no se observaron cambios significativos en la 1RMHS en el grupo placebo después del periodo experimental.

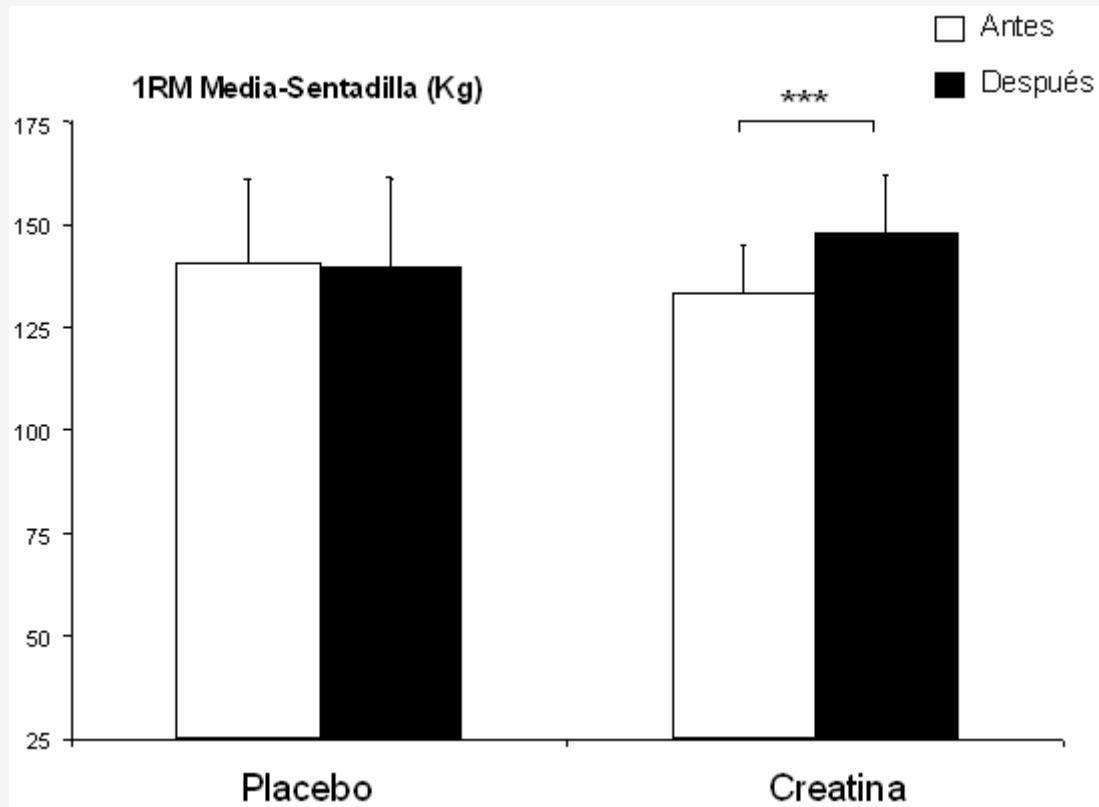
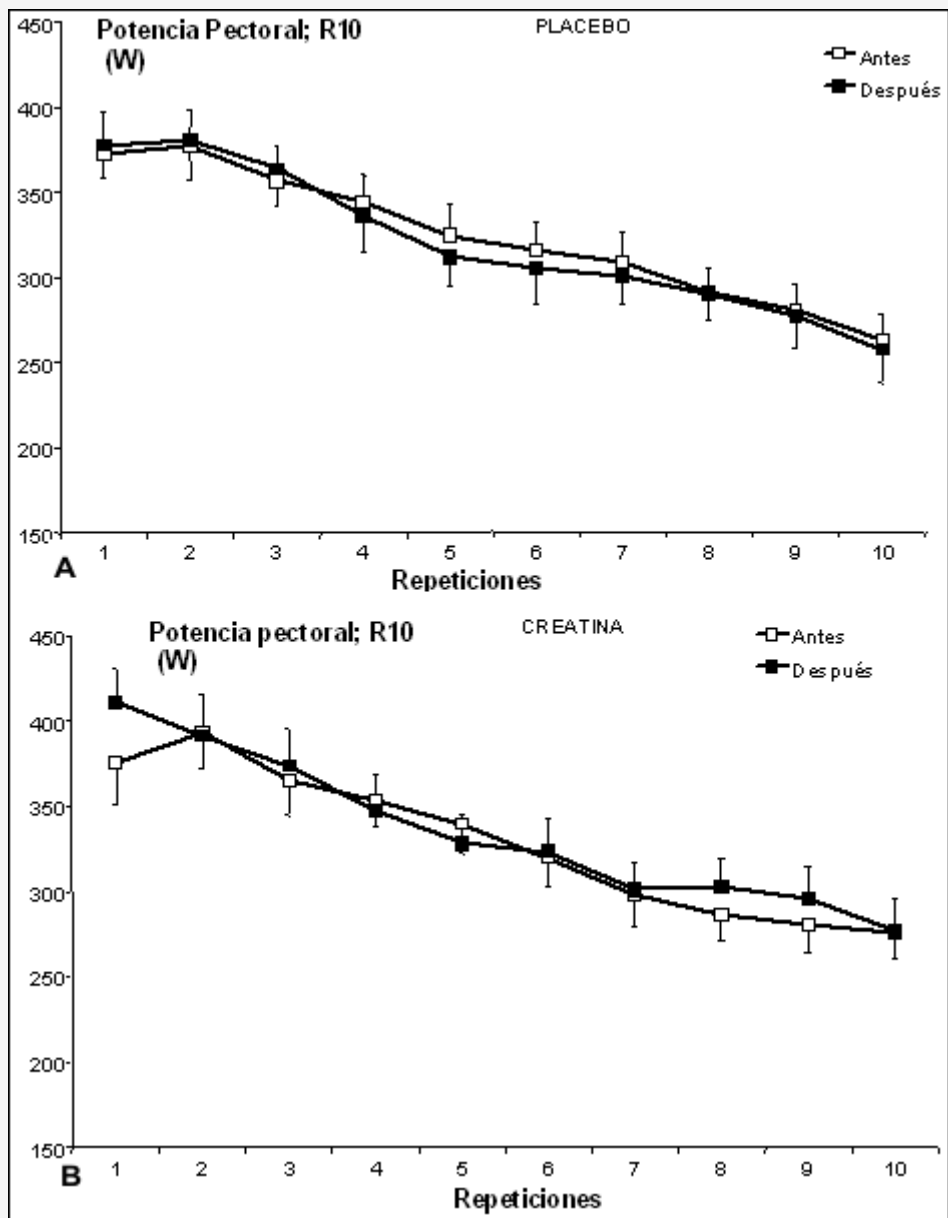


Figura 1. Una repetición máxima (1RM) en el ejercicio de pectoral en banca y media sentadilla, antes y después del periodo de suplementación con creatina o placebo. *** Denota diferencias significativas antes y después de la suplementación ($p < 0.001$). Los valores son Medias \pm DE. Las diferencias significativas antes y después del periodo se realizó después de determinar una interacción significativa (ANOVA, grupo \times tiempo). Ver detalles en el texto.

Series de Repeticiones a la Máxima Potencia con Pesos Submáximos

En la figura 2 se presentan los valores de la potencia media producida durante cada repetición en el protocolo de pectoral en banca (60% de 1RMBP), durante las series de R10 y Rmax antes y después de la suplementación. Después de alcanzar el máximo inicial, la potencia media producida durante cada repetición en la serie de R10 disminuyó consistentemente siguiendo un mismo patrón en ambos grupos (Figura 2A y 2B). No se observaron en ambos grupos, diferencias significativas en la potencia media individual de cada repetición y en la potencia media total durante la serie de R10 en este ejercicio de pectoral en banca, antes y después de la suplementación. En la serie de Rmax, se observaron incrementos significativamente mayores ($p < 0.05-0.01$) después de la suplementación con Cr en el número medio de repeticiones y la potencia media total de las repeticiones realizadas hasta el agotamiento en comparación con el grupo placebo. Durante la segunda serie (Rmax) del protocolo de pectoral en banca, no se observaron cambios significativos en el grupo placebo antes y después de la suplementación en la potencia media producida en cada repetición, en la potencia media total de las repeticiones realizadas hasta el agotamiento ($240 \pm 35,2$ vs. 236 ± 42 W) y en el número de repeticiones realizadas hasta el agotamiento (15.7 ± 3.8 vs. 16.8 ± 4.9 , antes y después de la suplementación, respectivamente) (Figura 2C). La suplementación con Cr incrementó consistentemente la potencia media producida hasta el agotamiento (248 ± 49 vs. 262 ± 63 W; $p < 0.05$, antes y después de la suplementación, respectivamente) y el número de repeticiones realizadas hasta la fatiga (16.1 ± 2.9 vs. 18.8 ± 3.5 ; $p < 0.05$, antes y después de la suplementación, respectivamente) en la serie de Rmax del pectoral en banca.



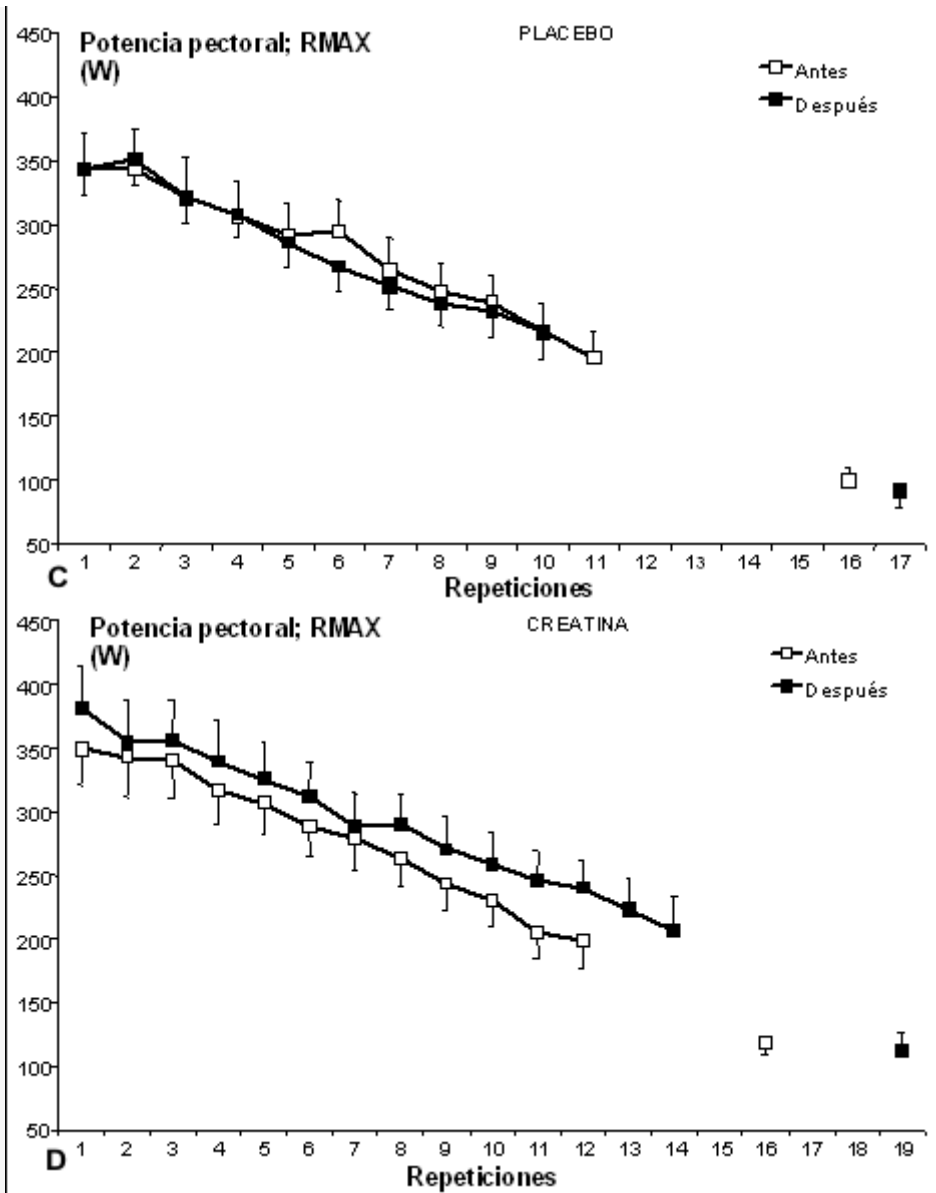
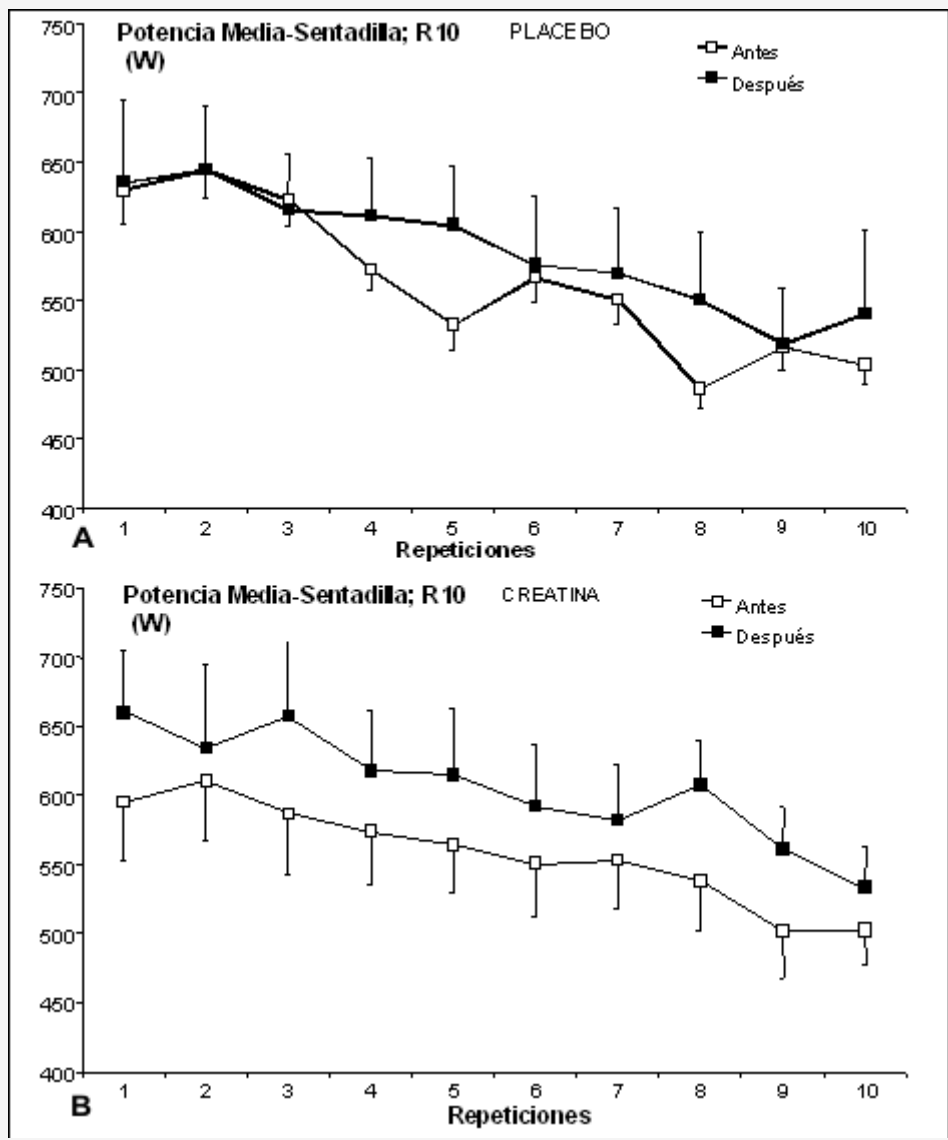


Figura 2. Potencia media antes y después del periodo de suplementación, en cada repetición, durante una serie de 10 repeticiones (R10; A y B), seguido después de 2 minutos de descanso por una serie de repeticiones hasta el agotamiento (Rmax; C y D), con el 60% de 1RM en el pectoral en banca. Los valores son Medias \pm DE. Los valores de cada punto corresponden a la potencia media producida en cada repetición en el pectoral en banca durante la serie de R10 (A y B) y a la potencia media producida en cada repetición que fue cumplimentada por todos los sujetos durante la serie de Rmax (C y D). Los puntos que se representan aislados en los paneles C y D corresponden a la potencia media producida por cada sujeto en la última repetición de la serie de Rmax.

En la Figura 3 se presentan los valores de la potencia media producida durante cada repetición en el protocolo de media sentadilla (70% de 1RMBP), durante las series de R10 y Rmax antes y después de la suplementación. No se observaron en ambos grupos diferencias en la potencia media individual producida en cada repetición durante la serie de R10 y Rmax en el ejercicio de media sentadilla, antes y después de la suplementación. El incremento medio de la potencia media total de las repeticiones realizadas en la serie R10 fue significativamente mayor ($p < 0.01$) en el grupo Cr después de la suplementación que en el grupo placebo. En el grupo placebo, no se observaron diferencias significativas en la potencia media total de las repeticiones realizadas en la serie R10 de media sentadilla, antes y después de la suplementación. (Figura 3A). Sin embargo, después de 5 días de suplementación con creatina, la potencia media total (557 ± 107 vs. 605 ± 123 W, $p < 0.01$) realizada en la serie de R10 de media sentadilla fue significativamente mayor que antes de la suplementación (Figura 3B).



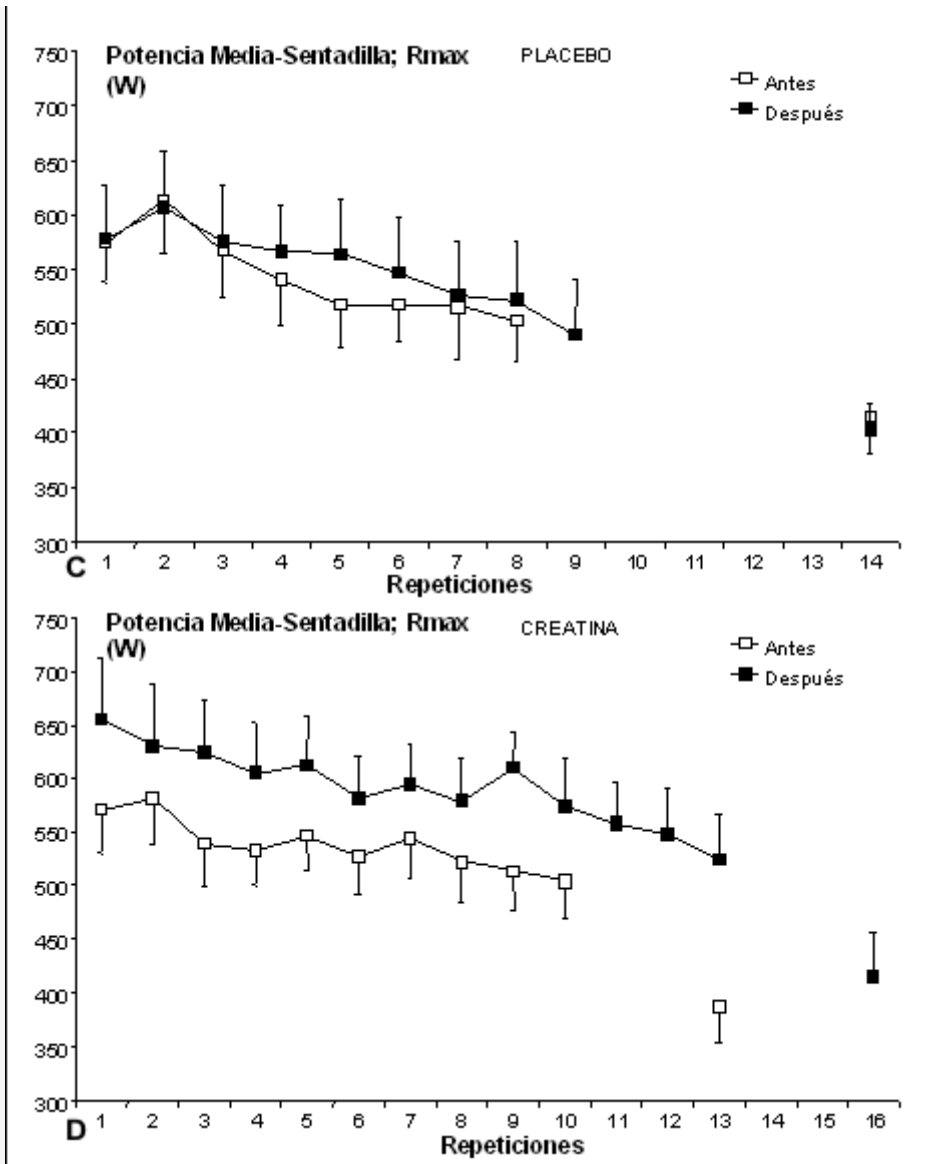


Figura 3. Potencia media en cada repetición antes y después del periodo de suplementación, durante una serie de 10 repeticiones (R10; A y B), seguido después de 2 minutos de descanso por una serie de repeticiones hasta el agotamiento (Rmax; C y D), con el 70% de 1RM en la media sentadilla. Los valores son Medias \pm DE. Los valores de cada punto son similares a los descritos en la Figura 2.

Se observó una interacción significativa “grupo x tiempo” en el número de repeticiones y en la potencia media total de las repeticiones realizadas hasta la fatiga en el ejercicio de media sentadilla. En el grupo Cr, el aumento medio en el número de repeticiones y en la potencia media total de las repeticiones realizadas hasta la fatiga después del periodo de suplementación fueron significativamente mayores ($p < 0.01$) que en el grupo placebo. Durante la serie de Rmax en el ejercicio de media sentadilla, no se observaron antes y después de la suplementación cambios significativos en el grupo placebo en la potencia media producida en cada repetición, la potencia media total de las repeticiones realizadas hasta el agotamiento (514 ± 107 vs. 520 ± 108 W, antes y después de la suplementación) y en el número de repeticiones realizadas hasta la fatiga con el 70% de 1RMHS (13.8 ± 5 vs. 13.5 ± 4.4 antes y después de la suplementación, respectivamente) (Figura 3C). La suplementación con Creatina incremento consistentemente la potencia media total de las repeticiones realizadas hasta el agotamiento (514 ± 99 W vs. 566 ± 118 W; $p < 0.001$, antes y después de la suplementación, respectivamente) y el número de repeticiones realizadas hasta el agotamiento (13.2 ± 3.0 vs. 15.9 ± 2.1 ; $p < 0.01$, antes y después de la suplementación, respectivamente) en la serie de Rmax realizada en el ejercicio de media sentadilla (Figura 3D).

Salto con Contramovimiento (CMJ)

En la Figura 4 se muestran los valores del salto vertical con contramovimiento en reposo, al finalizar la serie de R10 (Post-R10) y al finalizar la serie de Rmax (Post Rmax) con el ejercicio de media sentadilla, en el grupo placebo (Figura 4A) y en el

grupo Cr (Figura 4B). En el grupo Cr, la disminución en la altura de salto vertical realizado en Post-R10 fue significativamente menor ($p < 0.05$) después de la suplementación en comparación al grupo placebo. Al finalizar la primera (Post-R10) y la segunda serie (Post-Rmax) de repeticiones con el ejercicio de media sentadilla, se observó en ambos grupos una reducción significativa en los valores de CMJ. Sin embargo, en el grupo Cr se encontró una disminución en la reducción de la capacidad de salto después de la primera serie de 10 repeticiones. Así, los valores de CMJ al finalizar la primera serie de 10 repeticiones en el ejercicio de media sentadilla se incrementaron después de la suplementación con creatina (desde 31.4 ± 1 hasta 33.1 ± 1 cm ; $p < 0.05$, antes y después de la suplementación, respectivamente), mientras la altura de salto en el grupo placebo permaneció sin cambios (30.1 ± 1 vs. 30.3 ± 1 cm, antes y después de la suplementación, respectivamente). En el grupo placebo y Cr, no se observaron cambios significativos en la altura de salto alcanzada después de la finalización de la serie de máximas repeticiones realizadas hasta la fatiga (Post-Rmax) en el ejercicio de media sentadilla.

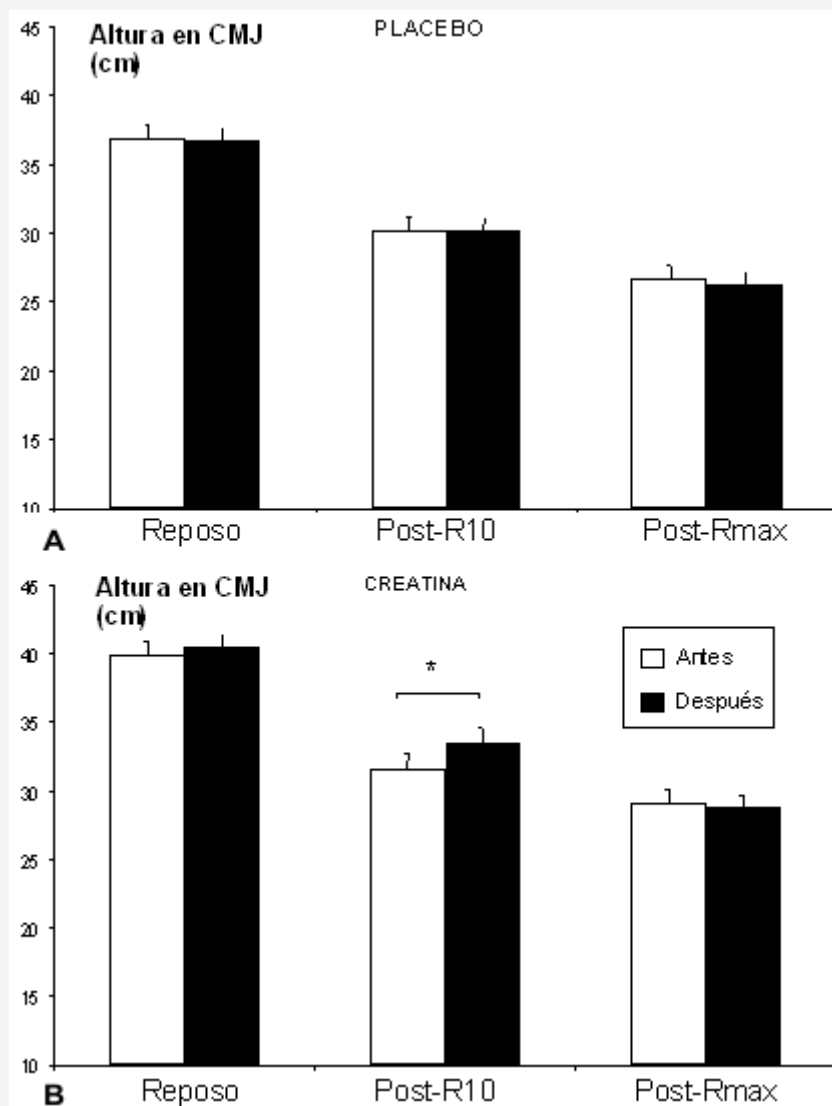


Figura 4. Altura en el salto vertical con contramovimiento (CMJ) en reposo, al finalizar la primera serie de 10 repeticiones en la media sentadilla (Post-R10), y al finalizar la segunda serie (repeticiones hasta el agotamiento) (Post-Rmax), en el grupo placebo (A) y en el grupo Creatina (B), antes y después del periodo de suplementación. * Denota diferencias significativas antes y después del periodo de suplementación ($p < 0.05$). Los valores son Medias + DE. La significación es como la descrita en la Figura 1.

Series de Velocidad de Carrera

El tiempo en las series repetidas de velocidad de 15 m permaneció constante. La suplementación con creatina no mejoró los tiempos medios de las series repetidas de 15 m, sin embargo mejoró el tiempo medio en los primeros 5 metros de las

series de velocidad de 15 m (Figura 5.). La mejora en el tiempo medio en 5 m fue significativamente mayor ($p<0.05$) en el grupo Cr que en el grupo placebo. Los tiempos medios en la distancia de 5-m de las seis series de velocidad también mejoró significativamente ($p<0.05$) en el grupo creatina desde 1.05 ± 0.03 hasta 1.03 ± 0.03 s antes y después de la suplementación, respectivamente. En el grupo placebo no se observaron cambios significativos en los tiempos en 5 m y 15 m a lo largo del experimento.

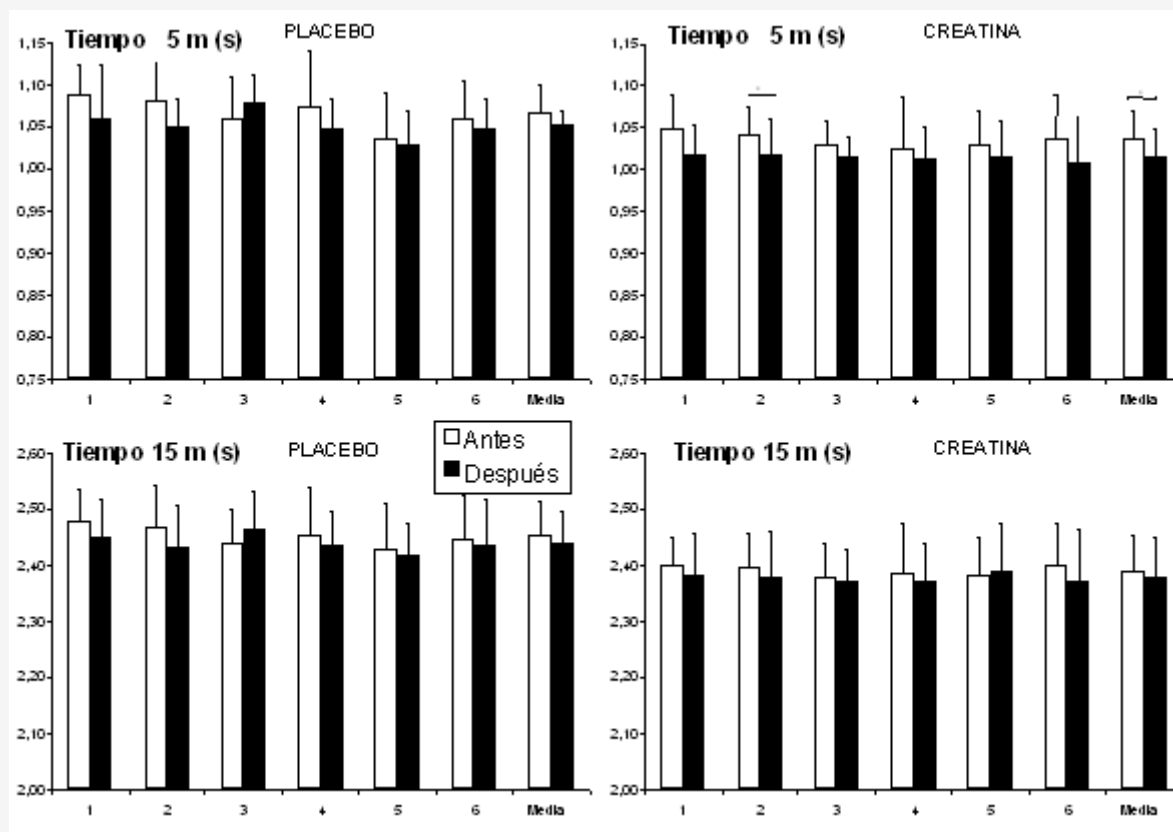


Figura 5. Tiempo de carrera en los cinco y quince metros durante las seis series de carreras de velocidad, antes y después del periodo de suplementación con creatina o placebo. * Denota diferencias significativas antes y después del periodo de suplementación ($p<0.05$). Los valores son Medias + DE. La significación es como la descrita en la Figura 1.

Test Progresivo Máximo Discontinuo de Resistencia Aeróbica

Los valores de la curvas concentración media de lactato sanguíneo-velocidad fueron diferentes entre los grupos (Figura 6). Se observó una reducción significativa en la concentración media de lactato en el grupo placebo a las velocidades de 10 Km h^{-1} (desde 2.2 ± 1.1 hasta $1.8\pm 1 \text{ mmol l}^{-1}$, $p<0.05$) y 12 Km h^{-1} (desde 3.1 ± 1.6 hasta $2.7\pm 1.6 \text{ mmol l}^{-1}$, $p<0.01$) antes y después de la suplementación, respectivamente (Figura 6A). En el grupo Cr, no se observaron cambios significativos en las concentraciones medias de lactato sanguíneo a estas velocidades (Figura 6B). En el grupo placebo, la reducción en la concentración media de lactato a la velocidad de 12 Km h^{-1} fue significativamente mayor ($p<0.05$) que en el grupo Cr. El tiempo medio hasta el agotamiento permaneció sin cambios en el grupo placebo (1181 ± 158 vs. 1166 ± 161 s) y en el grupo creatina (1163 ± 125 vs. 1152 ± 133 s). Los valores máximos de la concentración de lactato y la frecuencia cardiaca permanecieron sin cambios a lo largo del estudio en ambos grupos. No se observaron diferencias significativas entre los grupos en el tiempo alcanzado hasta el agotamiento.

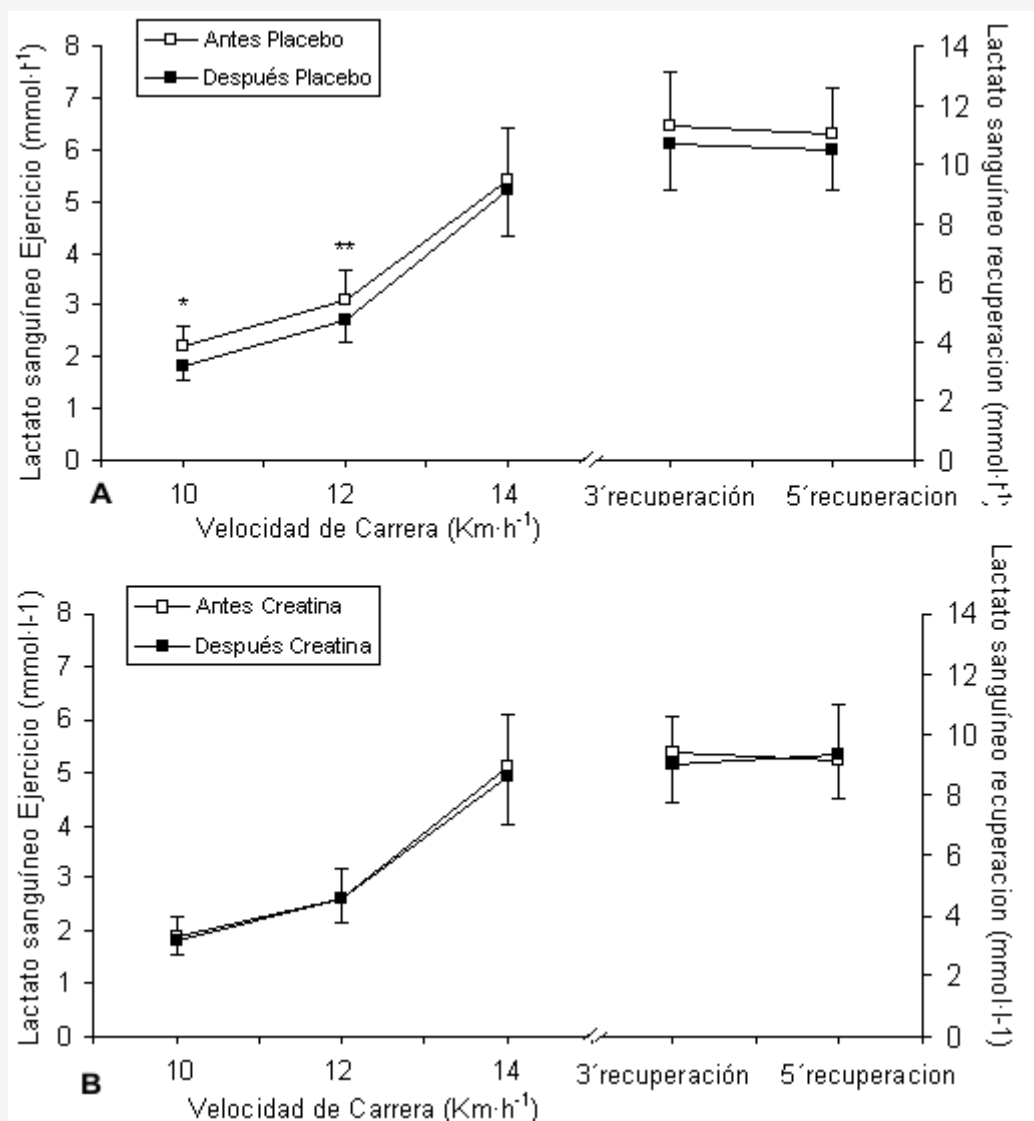


Figura 6. Concentraciones de lactato sanguíneo en valores absolutos durante el test progresivo máximo discontinuo de resistencia aeróbica corriendo antes y después del periodo de suplementación con creatina o placebo (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ entre antes y después del periodo de suplementación). Los valores son Medias \pm DE. La significación es como la descrita en la Figura 1.

Creatinina en Orina

Después del periodo de suplementación, el incremento observado en la concentración de creatinina en orina en el grupo Cr fue significativamente mayor ($p < 0.05$) que en el grupo placebo. Después de 5 días de suplementación, la concentración de creatinina en orina incrementó significativamente en el grupo Cr (141 ± 53 , vs. 248.9 ± 76.1 mg dL⁻¹; $p < 0.001$), mientras permaneció sin cambios en el grupo placebo (155.7 ± 67.7 vs. 157.6 ± 58.9 mg dL⁻¹). El volumen de orina permaneció sin cambios después de 5 días de suplementación en el grupo placebo (45.6 ± 25.2 vs. 56.7 ± 20 ml h⁻¹) y en el grupo creatina (50.2 ± 15 vs. 41.6 ± 15 ml h⁻¹) antes y después de la suplementación, respectivamente.

Efectos Secundarios

Durante el periodo de suplementación, no se observaron síntomas y/o problemas de tipo médico. Asimismo, tampoco se observaron evidencias de dolores o lesiones musculares durante el entrenamiento/partidos de balonmano durante las sesiones de medición.

DISCUSION

Los resultados del presente estudio muestran que la suplementación aguda con creatina (20g d⁻¹ durante 5 días) en jugadores de balonmano de alto nivel dio lugar a una mejora significativa de la fuerza máxima de la extremidad inferior, de la potencia producida en las dos series de repeticiones y del número total de repeticiones hasta el agotamiento en los ejercicios de pectoral en banca y media sentadilla. Estas mejoras fueron mayores en la musculatura de la extremidad superior que en la extremidad inferior. Los jugadores de balonmano tomaron creatina incrementaron la velocidad de carrera durante los primeros 5 metros de las series repetidas de 15 m y mostraron atenuada la reducción en la capacidad de salto después de la serie submáxima (R10) de repeticiones a la máxima potencia en el ejercicio de media sentadilla. Asimismo, los resultados muestran que la suplementación de Cr no mejoró ni la fuerza máxima de la extremidad superior, ni la resistencia en el test aeróbico.

En estudios previos, después de la suplementación aguda con creatinase ha observado, una mejora significativa del número de repeticiones realizadas isotónica e isocinéticamente durante series múltiples de pectoral en banca⁽³⁷⁾ y durante acciones concéntricas de extensión de rodilla⁽¹¹⁾. Los resultados de este trabajo de investigación demuestran que en sujetos previamente entrenados, la suplementación con creatina mejoró significativamente la potencia producida durante series de repeticiones realizadas a la máxima potencia en los ejercicios de pectoral en banca y de media sentadilla. Esto confirma los resultados de Volek y col.⁽³⁷⁾ realizado con saltos verticales y los resultados de Greenhaff y col.⁽¹¹⁾ con acciones isocinéticas de extensión de rodilla, que muestran que la suplementación aguda Cr puede mejorar la producción de potencia durante intentos repetidos con ejercicios utilizados para el desarrollo de la fuerza⁽³⁹⁾. En el presente estudio, a pesar de que no se midió la concentración muscular de creatina, la mejora de la habilidad en el grupo Cr para movilizar un mayor volumen de peso y generar una mayor potencia total y media, sugiere que la suplementación con creatina puede mejorar el rendimiento muscular durante ejercicios intermitentes de fuerza. Este aumento en la capacidad para realizar un mayor número de repeticiones y generar mayor potencia puede reflejar los aumentos en las reservas de PCr intramuscular⁽¹⁴⁾, aumento en la provisión de ATP y una reducción disminuida en ATP durante acciones musculares repetidas^(11,13,20), una reducción de la pérdida de los nucleótidos de adenosina muscular⁽¹¹⁾, un aumento en la velocidad de resíntesis de PCr durante los periodos de recuperación y después de las acciones musculares^(11,13,20) y un aumento del potencial de la PCr para actuar como tampón de los iones H⁺⁽¹⁸⁾. Asimismo, parece que esta habilidad para producir una mayor cantidad de potencia durante acciones musculares repetidas puede permitir a los deportistas realizar sus entrenamientos a una mayor intensidad (3,38) y mejorar la respuesta de adaptación de la estructura y la función muscular⁽⁸⁾.

Después de 5 días de suplementación con Cr, el test de 1RM en media-sentadilla aumentó significativamente (11%), mientras que no se observaron cambios en el grupo placebo. Resulta difícil interpretar este inesperado resultado, ya que generalmente los aumentos en la fuerza máxima muscular (1RM) se consideran que no están limitados por el metabolismo del fosfágeno⁽³⁸⁾. Sin embargo, si se tiene en consideración la duración total de la contracción muscular durante la ejecución de 1RM en la media sentadilla, se puede pensar que durante este tipo de acción muscular se produzca una rápida degradación de la concentración de PCr. De esta manera, en este estudio la duración media de la fase dinámica durante el test de 1RM en la media sentadilla fue de 1.56 s. Si además, se asume la duración de una fase previa a que se produzca el movimiento de tipo isométrico de 0.5 hasta 1 s, resulta que el tiempo total de la contracción muscular durante un test de 1RM en la media sentadilla es de 2.0 hasta 2.5 s. Greenhaff y col.⁽¹³⁾ en un estudio realizado con personas estimó que el pico de la velocidad de producción de ATP a partir de la PCr, comienza a reducirse durante acciones musculares isométricas y dinámicas, después de tan solo 1.3 s de contracción muscular. Una vez que se ha alcanzado este pico, se produce una progresiva reducción en la provisión de ATP y una reducción paralela en la producción de fuerza y potencia muscular⁽¹³⁾. Esto significa que durante el test de 1RM en la media sentadilla, la PCr contribuye en gran medida en la formación de la cantidad total de ATP y que la producción de ATP y la degradación de PCr se produce a una velocidad extremadamente rápida. Esto podría sugerir que si se eleva la concentración total de Cr después de la suplementación de Cr, podría incrementarse no sólo la cantidad de PCr inicialmente disponible, sino también retrasar el momento en el que la velocidad de producción de ATP a partir de la PCr empieza a reducirse. Este retraso mejoraría considerablemente la velocidad de síntesis de ATP y la cantidad de potencia generada durante los primeros segundos de una ejercicio de gran demanda en potencia muscular, como es el caso de la 1RM en la media sentadilla. Así, la mejora en la capacidad para producir potencia muscular durante los primeros segundos del ejercicio después de la suplementación aguda con creatina puede explicar la mejora en el test de 1RM en la media-sentadilla. Otra posible explicación de la mejora observada en el test de 1RM en la media sentadilla, puede ser debida a la reducción que tuvo lugar en la intensidad y duración de las sesiones de entrenamiento de fuerza y resistencia durante la semana del estudio. Finalmente, el protocolo utilizado para la determinación del test de 1RM también pudo influenciar la mejora en los resultados de este test después del periodo de suplementación (3,19). Así, la fuerza dinámica en el test de 1RM se determina después de realizar de 3 a 6 intentos progresivos hasta llegar al máximo, separados por tan sólo 2 minutos de recuperación. En este sentido, el aumento de la velocidad de reposición de PCr (entre los intentos) que se observa durante la recuperación después de la

suplementación con Cr ⁽¹³⁾ podría permitir desarrollar niveles superiores de fuerza máxima durante los intentos posteriores del ejercicio y transformase en una mejora en el test de 1RM en la media sentadilla (3,38).

La suplementación con Cr afectó de manera diferente los cambios en la fuerza de la musculatura de la extremidad inferior y superior. Después de la suplementación con Cr o con placebo no se observaron cambios en el test de 1RM de pectoral en banca, mientras que la suplementación con Cr mejoró los resultados en el test de 1RM en la media sentadilla. Además, la suplementación con Cr aumentó significativamente la potencia media producida durante las dos series realizadas en el protocolo de media sentadilla, a diferencia de lo observado en el protocolo de pectoral en banca, donde sólo aumentó la potencia media producida durante la serie realizada hasta el agotamiento (segunda serie). Las diferencias entre los cambios observados después de la suplementación aguda con Cr en la fuerza máxima y la potencia producida durante dos series de repeticiones con pesos submáximos, también se ha observado en estudios previos realizados con contracciones de tipo isométrico (35). La mayor habilidad que tiene la Cr para aumentar la fuerza máxima y la potencia muscular en actividades que utilizan grandes grupos musculares puede ser explicada por las diferencias en el patrón de cantidad y/o intensidad de la actividad física realizada durante la vida diaria y durante el entrenamiento de balonmano. El grupo muscular cuádriceps femoral se utiliza frecuentemente durante la actividad habitual de la vida diaria (p.e. caminar, subir escaleras) y durante el entrenamiento de balonmano y podría ser utilizado en mayor medida que los músculos de la extremidad superior, cuyo uso es menos frecuente. Se ha mostrado en estudios previos, que realizar ejercicio puede ser un estímulo para la absorción de la Cr muscular durante los periodos de suplementación ⁽¹⁴⁾, de tal manera, que el mayor grado de absorción de la Cr se produce en aquellos músculos que participan más en el ejercicio. Así pues, las mayores ganancias en la fuerza máxima y la potencia muscular producidas en la musculatura de la extremidad inferior pueden estar en parte relacionadas con el aumento de la carga de Cr en los músculos de las piernas, como consecuencia del alto nivel de sollicitación de estos grupos musculares durante la actividad física de la vida diaria y el entrenamiento de balonmano. A pesar de ello el papel potencial que tiene la suplementación con creatina y el metabolismo de los fosfágenos en la mejora de la fuerza máxima de la musculatura de la extremidad superior e inferior necesita que se le preste mayor atención.

A pesar de que la suplementación con Cr aumentó el peso corporal de los sujetos, la altura en el salto vertical en reposo no se modificó en el grupo Cr. Este resultado concuerda con otros estudios realizados con varones (27) y sugiere que la suplementación aguda con creatina parece no afectar significativamente a una acción explosiva aislada, que parece estar más afectada por limitaciones intrínsecas de las proteínas contráctiles (p.e. velocidad de la actividad miosin-ATPasa) o del reclutamiento de las unidades motoras (28). Sin embargo, el grupo Cr tras el periodo de suplementación fue capaz de mantener una mayor altura de salto después de realizar la primera serie de 10 repeticiones con el 70% de la 1RM en la media sentadilla, mientras que después del periodo de suplementación no se observaron cambios significativos en el grupo placebo. Un resultado similar se observó en el trabajo realizado por Mújica y colaboradores (27), que vieron atenuada la reducción en la altura del salto después de realizar un test máximo intermitente específico para el fútbol (40x15 s de series de ejercicio corriendo a la máxima intensidad separados por series de 10 s de carrera a baja intensidad), después de 5 días de suplementación con creatina (20g d⁻¹). Greenhaff y col. ⁽¹¹⁾ encontró después de suplementación con Cr un aumento en la velocidad de resíntesis de la PCr durante la recuperación, después de contracciones musculares intensas. Bogdanis y col. ⁽⁷⁾ observó después de un ejercicio de 30 segundos a máxima intensidad en bicicleta que la resíntesis de la PCr muscular se producía de manera paralela a la restauración del pico de potencia. Si estas observaciones se consideran en conjunto, se puede sugerir que la disminución atenuada en la altura de salto que se observan en el grupo Cr después de la primera serie de 10 repeticiones con el 70% de la 1RM en la media sentadilla, puede estar relacionada con una regeneración optimizada de PCr intramuscular durante la recuperación, probablemente a consecuencia de un incremento en la disponibilidad de Cr.

La suplementación con Creatina mejoró significativamente el tiempo en 5 m en las series de velocidad de carrera en 15 metros. Estos resultados confirman resultados previos con jugadores de fútbol (27) y con jugadores de balonmano ⁽¹⁾ y sugieren que la suplementación con Cr proporciona un beneficio potencial en la provisión de energía durante ejercicios muy intensos y de corta duración, especialmente cuando se producen de manera repetida. Sin embargo, estos resultados discrepan con otros estudios en los que no se han observado efectos ergogénicos (22,31,32) o efectos mixtos (29,34) en la carrera de velocidad después de la suplementación con Cr. El conflicto de los diferentes estudios sobre los efectos de la suplementación de Cr en la velocidad puede ser explicado por las diferencias en el número de series y distancias de los test de carrera realizados. Así, los estudios que no han encontrado efectos o han encontrado efectos mixtos con la suplementación de Cr, realizaron mediciones utilizando una sola serie de velocidad (22,29,34) o varias series con distancias superiores a 15 m (31,32). Como anteriormente se ha mencionado, la mejora más significativa en la velocidad de carrera debería esperarse durante ejercicios repetidos de intensidad supramáxima de 1-2 s de duración. Entre las razones que lo explica está que 1) durante este marco de tiempo la PCr genera el mayor pico de velocidad de producción de ATP ⁽¹³⁾, 2) la disponibilidad de PCr es crítica para la generación de potencia durante los segundos iniciales del ejercicio ⁽⁶⁾, y 3) la carga de Cr puede incrementar la velocidad de resíntesis de PCr durante los periodos de recuperación después de las contracciones musculares (11,13). Cuando se realiza una sola serie de velocidad y/o el tiempo de cada serie es mayor que 1-2 s, los efectos de la suplementación con Cr deberían ser menos pronunciados y podrían estar atenuadas por la ausencia

del efecto de la resíntesis de PCr durante los periodos de recuperación (1 serie), una menor contribución de la provisión de PCr a ATP y por el incremento en el peso corporal que normalmente sucede después de la suplementación con Cr. Desde el punto de vista práctico, es interesante poner de manifiesto que la mejora observada en el presente estudio en el tiempo de las series repetidas de velocidad junto con el aumento en el peso corporal después de la suplementación con Cr, puede ser ventajoso para deportes de gran contacto y velocidad, tal y como sucede en el balonmano.

La mayoría de los estudios que examinan los efectos de la suplementación aguda con creatina sobre la resistencia aeróbica no han observado efectos ergogénicos, o incluso muestran efectos ergolíticos (4,9,27,33). Esto puede ser explicado en parte por el aumento en el peso corporal inducido por la suplementación con Cr y el consiguiente mayor consumo de O₂, y por el pequeño papel que juega el sistema de PCr en la función muscular durante ejercicios de esta naturaleza (3-4,9,27,33). No obstante, el mecanismo teórico que podría explicar un posible efecto ergogénico de la suplementación con Cr sobre el ejercicio de resistencia submáximo se fundamenta en el papel que podría jugar la creatina del citosol como un aceptor del ATP de la mitocondria (6,26). En el presente estudio, durante el test progresivo máximo discontinuo aeróbico se observó en el grupo placebo una reducción en la concentración de lactato sanguíneo a 10 Km h⁻¹ y 12 Km h⁻¹ después del periodo de administración, mientras que no se observaron cambios en el grupo Cr. En la literatura científica se ha sugerido que una reducción en la concentración sanguínea de lactato durante un ejercicio submáximo asociada al entrenamiento está relacionada con una mejora de la resistencia aeróbica (40). La reducción de la concentración de lactato sanguíneo en el grupo placebo resulta sorprendente y difícil de explicar, sin embargo podría estar asociado a un posible efecto "tapering" causado por la reducción del entrenamiento y la ausencia de partidos oficiales de competición durante la semana que tuvo lugar la experiencia. Con esta presunción, se puede realizar la hipótesis de que la ausencia de la reducción de la concentración de lactato sanguíneo en el grupo Cr durante la parte del test submáximo aeróbico sugiere que la suplementación con Cr interfirió con el desarrollo de la resistencia observado en el grupo placebo durante el periodo de administración. Sin embargo, si se observa el tiempo hasta el agotamiento alcanzado durante el test de resistencia no se muestra un efecto negativo de la suplementación de Cr sobre la resistencia, ya que no se observaron en ninguno de los grupo cambios significativos en el tiempo hasta el agotamiento después del periodo de suplementación. Si se consideran en conjunto las respuestas máximas y submáximas durante el test máximo progresivo discontinuo aeróbico, se puede sugerir que la suplementación de Cr no mejoró la resistencia.

La suplementación con Cr en el presente estudio aumentó el peso corporal una media de 0.6 Kg, mientras que no se observaron cambios en el grupo placebo. Con muy pocas excepciones, la mayoría de los estudios han observado incrementos en el peso corporal de 0.5-3.0 kg después de la suplementación aguda con Cr (4,24,27,33,37). Los posibles mecanismos que explican el aumento en el peso corporal inducido por la suplementación aguda con creatina son debidos al aumento en la retención de agua en el espacio intramuscular⁽¹⁶⁾, como consecuencia del transporte celular de la Cr con el Na⁺⁽¹⁶⁾. Algunos investigadores también sugieren que el incremento en la hidratación celular inducida por la suplementación aguda con creatina puede incrementar la masa muscular, como consecuencia del aumento de la síntesis de proteína miofibrilar o de una reducción de la degradación proteica (4,37,38). Sin embargo, el aumento en la masa muscular inducida por la suplementación con Cr parece que sea más evidente durante periodos más largos de tiempo y en combinación con entrenamiento para el desarrollo de la fuerza (8,39).

La excreción de creatinina en orina fue significativamente superior después de 5 días de suplementación con Cr en comparación con la ingestión de placebo. Diferentes estudios han demostrado que la administración aguda con creatina produce un aumento significativo de la concentración de creatinina en orina⁽¹⁶⁾, mientras otros estudios no han encontrado diferencias en la eliminación de creatinina después de la suplementación con creatina(24). Esta discrepancia con los estudios que no muestran aumentos en la excreción de creatinina puede estar relacionada con la administración de dosis inferiores con creatina (10g/día en lugar de 20g/día) (26) y con el bajo número de sujeto que han utilizado (n=5) (31). Estudios anteriores demostraron que no hay aumento de la creatinina en orina hasta que una cantidad suficiente de la creatina administrada no ha sido retenida por el organismo⁽⁵⁾. En consecuencia, a pesar de que en el presente estudio no fue medida la creatina muscular (creatina muscular total y PCr), los incrementos inducidos por la creatina en la creatinina en orina, junto con el aumento observado en el peso corporal, sugiere indirectamente que la suplementación de Cr fue efectiva en aumentar las reservas de Cr del organismo.

En resumen, los presentes resultados indican que la suplementación aguda con creatina en jugadores de balonmano de alto nivel mejoró significativamente la fuerza máxima de la extremidad inferior, la potencia producida en las dos series de repeticiones y el número total de repeticiones realizadas hasta el agotamiento durante 2 series realizadas en los ejercicios de pectoral en banca y media sentadilla. Los jugadores de balonmano que habían tomado creatina aumentaron la velocidad de carrera durante los primeros 5 metros de las series repetidas de 15 m y disminuyeron la reducción en la capacidad de salto después de la serie submáxima (R10) de repeticiones a la máxima potencia en el ejercicio de media sentadilla. Asimismo, los resultados muestran que la suplementación de Cr no mejoró, ni la fuerza máxima de la extremidad superior, ni la resistencia en el test corriendo.

REFERENCIAS

1. Aaserund, R., P. Gramvik, S. R. Olsen, J. Jensen (1998). Creatine supplementation delays onset de fatigue during repeated bouts de sprint running. *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 8: 247-251
2. Alexander, M.J., S.L. Boreskie (1989). An analysis de fitness and time characteristics of handball. *Am. J. Sports Med.* 76-82
3. ASCM (2000). The physiological y health effects of oral creatine supplementation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32: 706-717
4. Benedict, S.R., E. Ostergerg (1923). The metabolism de creatine. *J. Biol. Chem.* 56: 229-230
5. Bessman, S.P., C. L. Carpenter (1985). The creatine-creatine phosphate energy shuttle. *Annu. Rev. Med.* 54: 831-862
6. Bogdanis, G.C., M.E. Nevill, L. H. Boobis, A. M. Nevill (1995). Recovery de power output y muscle metabolites following 30 s de maximal sprint cycling in man. *J. Physiol.* 482: 467-480
7. Earnest, C.P., P.G. Snell, A.L. Rodriguez, A. L. Almada, K. Mittleman (1995). The effect de creatine monohydrate ingestion on anaerobic power indices, muscular strength and body composition. *Acta Physiol. Scand.* 153:207-209
8. Engelhardt, M., G. Neumann, A. Berbalk, I. Reuter (1998). Creatine supplementation in endurance sports. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30: 1123-1129
9. Gilliam, J. D., C. Hohzonrn, D. Martin, y M.H. Trimble (2000). Effect de oral creatine supplementation on isokinetic torque production. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32: 993-996
10. Greenhaff, P. L., A. Casey, A.H. Short, R. Harris, K. Soderlund, y E. Hultman (1993). Influence de oral creatine supplementation on muscle torque during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *Clin. Sci.* 84:565-571
11. Greenhaff, P. L., K. Bodin, K. Soderlund, E. Hultman (1994). Effect de oral creatine supplementation on skeletal muscle phosphocreatine resynthesis. *Am. J. Physiol.* 266: E725-E730
12. Greenhaff, P. L., C. Bodin, A. Casey y col (1996). Dietary creatine supplementation y fatigue during high-intensity exercise in humans. In: *Maughan R.J., Shireffs, S.M. (Eds.), Biochemistry de Exercise (IX). Human Kinetics*, 219-242
13. Hirvonen, J., S. Rehunen, H. Rusko, y M. Harkonen (1987). Breakdown de high-energy phosphate compounds y lactate accumulation during short supramaximal exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 56: 253-259
14. Jackson, A. G. y M. L. Pollock (1977). Prediction accuracy de body density, lean body weight y total body volume equations. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 9: 197-201
15. Kelly, V.G., D. G. Jenkins (1998). Effect de oral creatine supplementation on near-maximal strength and repeated sets of high-intensity bench press exercise. *J. Strength Cond. Res.* 12: 109-115
16. Kraemer, W.J. y J.S. Volek (1999). Creatine supplementation: Its role in human performance. *Clin. Sports Med.* 18:651-661
17. Kreis, R., M. Kamber, M. Koster, J. Felbliger, J. Slotboom, H. Hoppeler, C. Boesch (1999). Creatine supplementation - Part II: in vivo magnetic resonance spectroscopy. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31, 1770-1777
18. Kreider, R.B., M. Ferreira, M. Wilson, P. Grindstaff, S. Plisk, J. Reinhardy, E. Cantler, A. Almada (1998). Effects de creatine supplementation on body composition, strength and sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30: 73-82
19. Lefavi, R.G., J.L. McMillan, P.J. Kahn, J.F. Crosby, R.F. Digioacchino, J.A. Streater (1998). Effects de creatine monohydrate on performance of collegiate baseball and basketball players. *J. Strength Cond. Res.* 12, 275-279
20. MacDougall, J. D., G.R. Ward, D.G. Sale, J.R. Sutton (1977). Biochemical adaptation de human skeletal muscle to heavy resistance training y immobilization. *J. Appl. Physiol.* 43: 700-703
21. Maganaris, C.N., R.J. Maughan (1998). Creatine supplementation enhances muscle strength y endurance capacity in resistance-trained med. *Acta Physiol. Scand.* 17: 560-567
22. McKenna, M. J., J. Morton, S.E. Selig, R.J. Snow (1999). Creatine supplementation increases muscle total creatine but not maximal intermittent exercise performance. *J. Appl. Physiol.* 87 (6): 2244-2252
23. Meyer, R.A., H.L. Sweeney, M. J Kushmerick (1984). A simple analysis de the "phosphocreatine shuttle". *Am. J. Physiol.* 246:C365-C377
24. Nielsen, O.B., y K. Overgaard (1998). Ion gradients y contractility in skeletal muscle: the role de active Na⁺, K⁺ transport. *Acta Physiol. Scand.* 156:247-256
25. Noonan, D., K. Berg, R.W. Latin, J.C. Wagner, K. Reimers (1998). Effects de varying dosages de oral creatine relative to fat free body mass on strength and body composition. *J. Strength Cond. Res.* 12:104-108
26. Odland, M. L., J.D. Macdougall, M.A. Tarnopolsky, A. Elorriaga, A. Borgmann (1997). Effect de oral creatine supplementation on muscle [PCr] and short-term maximum power output. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29: 216-219
27. Redondo, D.R., E. A. Dowling, B. L. Graham, A. L. Almada, M.H. Williams (1996). The effect de oral creatine monohydrate supplementation on running velocity. *Int. J. Sports Nutr.* 6:213-221
28. Smart, N.A., S.G. McKenzie, L.M. Nix, S.E. Baldwin, K. Page, D. Wade, P.K. Hampson (1998). Creatine supplementation does not improve repeated sprint performance in soccer players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30: S140
29. Stroud, M.A., D. Holliman, D. Bell, A.L. Green, I.A. McDonald, P.L. Greenhaff (1994). Effect de oral creatine supplementation on gas exchange y blood lactate accumulation during steady-state incremental treadmill exercise and recovery in man. *Clin. Sci.* 87:707-710
30. Stout, J. R., J. Echerson, D. Noonan, G. Moore, D. Cullen (1999). Effects de creatine supplementation on exercise performance and fat-free weight in football players during training. *Nutr. Res.* 19: 217-225
31. Urbanski R.L., S. F. Loy, W. J. Vincent, B. B. Yaspelkis III (1999). Creatine supplementation differentially affects maximal isometric strength y time to fatigue in large and small muscle groups. *Int. J. Sports Nutr.* 9: 136-45
32. Vandenberghe, K., N. Gillis, M. Van Leemputte, P. Van Hecke, F. Vanstapel, P. Hespel (1996). Caffeine counteracts the ergogenic action de muscle creatine loading. *J. Appl. Physiol.* 80: 452-7
33. Volek, J. S. y col (1997). Response of testosterone and cortisol concentrations to high-intensity resistance exercise following creatine supplementation. *J. Strength Cond. Res.* 11: 182-7

34. Volek, J. S., W. J. Kraemer, J. A. Bush, M. Boetes, T. Incledon, K. L. Clark, J. M. Lynch (1997). Creatine supplementation enhances muscular performance during high-intensity resistance exercise. *J. Amer. Diet. Assoc.* 97: 765-770
35. Volek, J. S., N. D. Duncan, S. A. Mazzetti, y col (1999). Performance and muscle fiber adaptations to creatine supplementation and heavy resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31: 1147-56
36. Weltman, A (1995). The blood lactate response to exercise. *Champaign: Human Kinetics*, 1-115