



Artigo de revisão

Francisco Leonardo Torres-Leal ¹
Dilina do Nascimento Marreiro ²

CONSIDERAÇÕES SOBRE A PARTICIPAÇÃO DA CREATINA NO DESEMPENHO FÍSICO

CONSIDERATIONS ON THE ROLE OF CREATINE ON PHYSICAL PERFORMANCE

RESUMO

A creatina é um composto nitrogenado encontrado principalmente em alimentos de origem animal, sendo utilizado como suplemento ergogênico com vista à melhora do desempenho em exercícios físico. O objetivo da presente revisão foi trazer informações atualizadas sobre os aspectos relacionados ao metabolismo da creatina e de sua participação no desempenho físico. Os artigos indexados no banco de dados *Pubmed*, *Scielo* e *Lilacs* foram analisados, dando preferência aos trabalhos randomizados e com controle placebo. As pesquisas já realizadas sugerem que a suplementação com creatina pode aumentar as concentrações musculares deste composto, quer seja na forma livre, ou fosforilada, melhorando o desempenho em atividades de alta intensidade e de curta duração. Os mecanismos envolvidos no armazenamento deste composto ainda não estão totalmente esclarecidos. Várias pesquisas mostram os resultados promissores da suplementação com creatina em jogos esportivos que necessitam de um único e/ou esforços de alta intensidade e curta duração. Porém, as interações bioquímicas envolvidas na atuação da creatina na melhora do desempenho não estão elucidadas. Nesse sentido, novos estudos sobre a participação deste composto em reações que participam do armazenamento e da liberação de energia poderão trazer um melhor entendimento sobre o metabolismo energético no desempenho físico. O desdobramento deste conhecimento poderá nortear outros ensaios experimentais para estabelecer o potencial ergogênico da creatina como estratégia para a melhora da performance.

Palavras-chave: Creatina, Músculo esquelético; Desempenho.

ABSTRACT

Creatine, a nitrogenous compound found mainly in food of animal origin, has been used as an ergogenic supplement with the aim of improving performance in physical exercise. The objective of this review is to provide up-to-date information about aspects related to creatine metabolism and its role in physical performance. Indexed articles from the *Pubmed*, *Scielo* and *Lilacs* database were analyzed, preference being given to randomized placebo-controlled trials. Previous research has suggested that creatine supplementation may increase muscular concentration of this compound either in its free or phosphorylated form, enhancing performance in high-intensity, short-duration activities. The mechanisms involved in the storage of creatine have not been completely elucidated. Several studies have shown promising results regarding creatine supplementation in sports that require a single high intensity and/or short-term effort. In this context, the biochemical interactions related to the action of creatine in performance improvement are not clear. Further studies into the role of this compound in reactions involved in the storage and production of energy may lead to a better understanding of energy metabolism in physical performance. This knowledge could then guide other experimental tests to establish creatine's ergogenic potential as a strategy for performance improvement.

Key words: Creatine; Skeletal muscle; Performance.

¹ Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental, Programa de Pós-Graduação em Nutrição Humana Aplicada – PRONUT – FCF/FEA/FSP - USP. Brasil.

² Departamento de Nutrição, Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Piauí, Piauí – Brasil

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a suplementação com nutrientes vem se tornando cada vez mais comum na prática esportiva. A creatina (Cr), composto produzido a partir dos aminoácidos (glicina, arginina e metionina), parece estar relacionada com o aumento do desempenho em exercício físico^{1,2}.

Muitos estudos mostram resultados positivos sobre a utilização de Cr, evidenciando a sua contribuição para a obtenção de uma melhor performance e/ou desempenho em determinados tipos de exercícios. Associado a isso, têm sido revelado os benefícios da Cr para atletas no retardo da fadiga muscular durante treinamentos, possibilitando a realização das sessões com alta intensidade, principalmente nos esportes de potência^{3,4}.

Apesar do grande número de pesquisas realizadas nos últimos 10 anos, ainda existem controvérsias sobre o conteúdo de fosfocreatina (PCr) no músculo e mais especificamente, sobre a capacidade de gerar trabalho muscular (força-potência) em curtos intervalos de tempo e em diferentes tipos de exercícios. A discordância destes resultados parece estar relacionada às características das metodologias empregadas nas pesquisas, e às respostas individuais à suplementação com Cr, bem como às características específicas do exercício, tais como: duração, intensidade, número de repetições e tempo de recuperação entre as mesmas.

Considerando a relevância do tema, bem como a existência de discordância nos resultados obtidos por meio de diversos estudos, esta revisão visa trazer informações atualizadas sobre os aspectos relacionados ao metabolismo da creatina e de sua participação no desempenho físico. Nessa perspectiva, serão apresentados de forma específica os aspectos metabólicos e fisiológicos da creatina, o papel desse composto no metabolismo energético, bem como o seu efeito na síntese protéica e na performance.

O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases de dados *Pubmed*, *Scielo*, *Lilacs* e capítulos de livros, entre os anos de 1968 a 2007. Resumos, dissertações ou teses foram excluídas deste estudo. O presente estudo incluiu artigos publicados no idioma português e inglês, sejam eles originais em seres humanos ou em modelos animais e artigos de revisão. Os critérios de inclusão foram: (1) estudos randomizados; (2) inclusão do controle placebo; (3) protocolo duplamente cego; (4) estudos que investigaram os aspectos metabólicos e fisiológicos da creatina e sua participação no metabolismo energético; (5) estudos que avaliaram os efeitos da suplementação com Cr sobre a síntese protéica e o desempenho físico.

Além disso, os artigos foram selecionados quanto à originalidade e relevância, considerando-se o rigor e adequação do delineamento experimental, o número amostral, o tipo de medidas fisiológicas e de desempenho realizadas. Os trabalhos clássicos e recentes foram preferencialmente utilizados.

Aspectos metabólicos e fisiológicos da creatina

A Cr é um composto nitrogenado sintetizado num processo de duas etapas, a saber: inicialmente, ocorre a transferência de um grupo amino da arginina para a glicina numa reação de transaminação, formando o guanidinoacetato e ornitina (Figura 1). Este composto é sintetizado nos rins e transportado para o fígado, onde o grupo metil proveniente da metionina forma o S-adenosilmetionina, que é transferido para o guanidinoacetato, formando a Cr⁵.

A partir de pesquisas conduzidas em humanos, foi demonstrada a existência de uma concentração média de Cr no músculo esquelético da ordem de 120 mmol/kg¹ de massa seca^{7,8}, o que representa aproximadamente 95 % da quantidade total deste composto no organismo, sendo que em torno de 5 % são armazenados no coração, fígado, rim e cérebro².

No músculo esquelético, foi verificado que, em média, 60% da Cr total (CrT) encontra-se sob a forma fosforilada. Já a concentração normal de Cr no plasma é da ordem de 40 a 100 µmol/L, sendo que um grama do composto é obtido por meio da ingestão de carnes e da síntese endógena^{2,7}.

O processo de captação da Cr no músculo esquelético é realizado por um transportador (CreaT) de alta afinidade sódio (Na⁺) e cloro (Cl⁻) dependente, que atua contra um gradiente de concentração, semelhante aos transportadores da dopamina, ácido γ-aminobutírico (GABA), serotonina, norepinefrina, glicina e taurina⁹.

A literatura tem demonstrado a participação de alguns fatores contribuintes para a concentração de Cr nas células musculares, dentre eles a sensibilidade dos transportadores e a quantidade de armazenamento do composto na célula, entretanto, os mecanismos pelos quais as células regulam os estoques intracelulares de Cr ainda não estão totalmente esclarecidos¹⁰.

Oddom *et al.*¹¹ mostraram que as catecolaminas, a insulina e ainda o fator de crescimento semelhante a insulina (IGF-1), são hormônios que podem estimular o transporte de Cr para o tecido muscular. Neste tecido, o conteúdo de CrT é dependente do tipo de fibra muscular, sendo que as fibras do tipo II apresentam altas concentrações de Cr e PCr¹². Nesta abordagem, resultados de estudos realizados em humanos demonstraram concentrações intramusculares de Cr em torno de 125 mmol/kg¹ de matéria seca, com aproximadamente 60 % da CrT na forma de PCr¹².

Um aspecto oportuno a ser destacado, diz respeito à forma em que a Cr (1,1 %) e a PCr (2,6 %) são metabolizadas em mamíferos. Estes compostos sofrem reações irreversíveis de ciclização e desidratação. Estas reações ocorrem por meio de um processo espontâneo e não enzimático, tendo como metabólico a creatinina (Crn)⁵ que, por sua vez, apresenta taxa de degradação de aproximadamente 1,7 %/dia¹¹. Na conversão enzimática, cerca de 20 % a 25 % da fosfocreatina é convertida em creatinina por meio da ação da enzima creatinase¹³.

A creatinina, em função de seu caráter não-iônico, se difunde constantemente para o meio extracelular

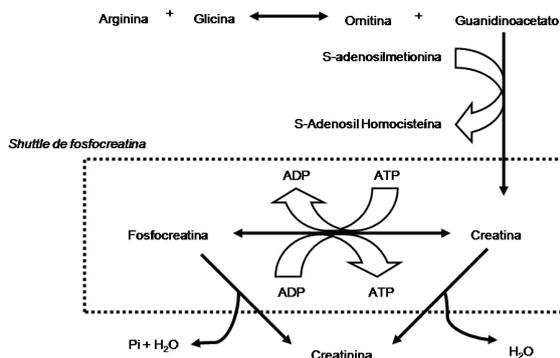


Figura 1. Reações enzimáticas na formação da creatina.

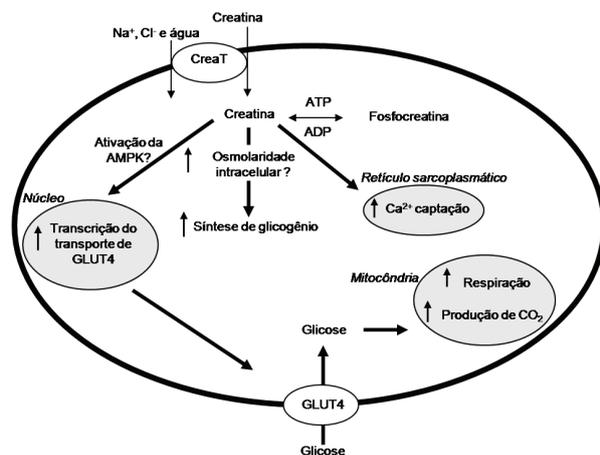


Figura 2. Possíveis mecanismos de ação da Cr nas células do músculo esquelético. A enzima AMPK aumenta a transcrição de GLUT4 para a membrana, permitindo que mais glicose entre no músculo esquelético sem depender da insulina. A Cr também tem sido mostrada como regulador da síntese de glicogênio, porém este mecanismo ainda é desconhecido. Recentemente, propôs-se que o aumento da osmolaridade celular poderia agir como um sinalizador anabólico. Porém, não estão claros se estes sinais são dependentes do exercício (Fonte: Pearlman JP e Fielding⁶).

e para a corrente sanguínea até ser excretada pelos rins¹⁴. A literatura não mostra a existência de um limiar para a excreção renal desse metabólito¹⁵, considerando que os valores encontrados variam de acordo com a massa muscular total do indivíduo.

Nesta perspectiva, os aspectos metabólicos e fisiológicos da Cr têm sido bastante estudados. A literatura traz uma fundamentação clara dos mecanismos que envolvem os processos de digestão, absorção, transporte e a forma de excreção da Cr, bem como a fonte alimentar e a recomendação de ingestão deste nutriente para o indivíduo.

Papel da creatina no metabolismo energético

Os efeitos da Cr sobre a atividade muscular podem ser atribuídos à melhora do desempenho físico em exercícios. Vários mecanismos têm sido propostos para explicar o aumento do desempenho em atividades decorrentes de elevadas concentrações de CrT após o

consumo agudo e crônico de Cr. Aqueles mais aceitos dizem respeito ao aumento da função do tecido muscular associado ao estímulo do metabolismo energético.

O exercício físico promove um aumento da demanda energética visando à manutenção da atividade muscular. Nesse sentido, a energia derivada dos nutrientes ingeridos na alimentação é importante para o fornecimento de ATP, pois contribui para a manutenção do trabalho no músculo a partir da geração desta molécula¹⁶. Na ressíntese de ATP, destaca-se o papel das reservas de substratos energéticos que, por diferentes vias de fornecimento de energia, favorecem a homeostase¹⁶.

A intensidade e/ou a duração do esforço, o estado inicial das reservas de substratos energéticos, bem como o nível de treinamento do atleta, são fatores que podem interferir na ativação de uma ou de outra via metabólica, contribuindo na utilização de um determinado substrato¹⁶. À medida que o ATP perde seu fosfato de alta energia durante uma contração muscular, o mesmo é ressintetizado continuamente a partir de ADP e Pi pela energia gerada durante a desintegração da PCr armazenada¹⁷.

Atualmente, vários pesquisadores têm investigado a participação da Cr na via glicolítica. Partindo desse pressuposto, levantaram a hipótese que a suplementação com Cr exerceria seus efeitos no metabolismo da glicose, aumentando a secreção de insulina¹⁸. Diante disso, vários estudos *in vivo* mostram que os efeitos glicoreguladores da Cr são independentes da ação deste hormônio¹⁸. Sendo assim, vários fatores têm sido propostos, atuando em mecanismos de ação da Cr no metabolismo da glicose, no entanto, ainda existem aspectos obscuros a serem esclarecidos sobre a atuação deste composto na via glicolítica, a qual possui importância fundamental no metabolismo energético, particularmente durante a realização de exercícios que utilizam a glicose de forma predominante como fonte de energia (Figura 2).

Paralelamente, a PCr composto restrito ao citoplasma da célula muscular, está presente numa concentração de aproximadamente 75 mmol/kg¹ de matéria seca. A degradação rápida desta substância no início do exercício submáximo e na atividade de alta intensidade ocorre pelo seu maior potencial de transferência do grupo fosfato do que o ATP¹⁹.

A quantidade de ATP e de PCr existente no músculo esquelético suportam uma atividade de alta intensidade durante um período de 12s. Neste tipo de exercício, a fonte primária de ATP solicitada pela célula muscular é a PCr, e as fibras primeiramente mobilizadas são as do tipo IIb²⁰. Segundo Wiedermann et al.²¹, a demanda metabólica da contração muscular está associada à liberação de um grupo fosfato de alta energia do ATP, que ocorre pelas ações da enzima ATPase. Já a liberação de fosfatos da PCr é realizada por meio da ação da enzima creatina quinase.

Neste sentido, no estudo de Apple e Rogers²² foi demonstrado o importante papel da creatina quinase no transporte intracelular de energia para o músculo esquelético, durante a realização de exercícios de

Tabela 1. Estudos envolvendo suplementação de creatina e avaliação do desempenho físico e ganho de peso

Estudo	Protocolo	População	Dosagem	Efeitos
Gotshalk <i>et al.</i> 2008	1-RM no supino e leg press e testes em ergômetros de membros superiores e inferiores	30 mulheres idosas	0,3 g.kg ⁻¹ por 7 dias	Melhora de 1,7 kg no supino e 5,2 kg no leg press. Melhora na potência média de 8,5 % e 8,4 % em ergômetros de membros superiores e inferiores, respectivamente.
Rawson <i>et al.</i> 2007	1-RM no agachamento	22 indivíduos fisicamente ativos	0,3 g.kg ⁻¹ por 5 dias e 0,03 g.kg ⁻¹ por 5 dias	Nenhum efeito ergogênico
Altimari <i>et al.</i> 2006	3 testes de Wingate de 30s separados por dois minutos de recuperação	Sedentários e fisicamente ativos (n=26)	20 g.d ⁻¹ por 5 dias e 3 g.d ⁻¹ durante 51 dias	Melhora de 5,3 % em esforços repetidos de alta intensidade e curta duração.
Mendes <i>et al.</i> 2004	Sprints 3 x 3 x 50 m 30 s de intervalo entre os sprints 150 s de intervalo entre as séries.	18 atletas de natação	5 g de Cr + 20 g de CHO 4 x por dia durante 8 dias	1,5 kg de aumento na massa magra e 1,38 na água corporal.
Delecluse <i>et al.</i> 2003	Corrida 2 x 40 m sprints 5 min de recuperação 6 x 40 m sprints 30 s de recuperação	12 atletas altamente treinados	0,35 g . kg ⁻¹ . d ⁻¹ x 6-dias	Aumento de 0,3 kg na massa corporal.
Izquierdo <i>et al.</i> 2002	Exercício intermitente de alta intensidade de 1-RM	19 jogadores de handebol treinados	20 g . dia ⁻¹ x 5-dias	Melhora de 11 % na força máxima. Aumento de 17 % em repetidas séries de exercícios de alta potência. Aumento de 21 % no total de repetições até a fadiga. Significativo aumento na massa corporal de 0,6 kg.
Finn <i>et al.</i> 2001	4 x 20 s de sprints máximos em cicloergômetros com 20 s de recuperação entre os sprints	16 triatletas	20 g/d x 5-dias	Aumento significativo de 0,81 kg na massa corporal
Preen <i>et al.</i> 2001	10 series de 5 ou 6 sprints de 6 s, com intervalos de 24, 54 e 84 entre os sprints, num período de 80 min.	14 indivíduos fisicamente ativos	20 g/d x 5-dias	Melhora de 6 % no trabalho total. Aumento significativo de 0,9 kg na massa corporal
Rockwell <i>et al.</i> 2001	Sprints de 10 s com 30 s de intervalos.	16 indivíduos fisicamente ativos	20 g/d x 5-dias	Melhora na potência máxima de 4 %.
Becque <i>et al.</i> 2000	Treinamento de força 2 x semanas; 6 semanas de treinamento de força para flexão de braços.	23 indivíduos treinados	20 g . dia ⁻¹ x 5-d + 2 g/d x 6 semanas	29,9 % de aumento de 1-RM na força muscular. Aumento significativo de 2,0 kg na massa corporal e de 1,6 na massa livre de gordura.
Wilder <i>et al.</i> 2000	Exercício de força progressiva 4 x semanas durante 10 semanas.	25 atletas treinados, jogadores de futebol americano	a) 3 g .d ⁻¹ b)20 g/d x 3-d + 5 g/d x 10 semanas	Houve um significativo aumento na MLG (a) 2,46 kg (b) 1,79 kg
Gilliam <i>et al.</i> 2000	Exercício isocinéticos 5 x 30 de contrações voluntárias com 1 minuto de recuperação entre as séries.	23 indivíduos ativos não treinados	20 g/d x 5-dias	Aumento significativo na massa corporal de 0,86 kg.
Deutekom <i>et al.</i> 2000	Estimulação elétrica e sprints de 30 s em cicloergômetro	23 remadores treinados	20 g/d x 6-dias	Aumento significativo na massa corporal de 1,6 kg.
Mujika <i>et al.</i> 2000	Counter Movement Jump e testes de repetidos sprints (5 e 15 m).	17 jogadores de futebol	20 g/d x 6-dias	Melhora de 1,26 % no desempenho durante o Counter Movement Jump. Protelamento da fadiga durante repetidos sprints de 5 e 15 m, em 2,23 % e 1 % respectivamente. Aumento significativo na massa corporal de 0,6 kg.
Theodorou <i>et al.</i> 1999	Sessões máximas intervaladas	22 nadadores	a)25 g . dia ⁻¹ x 4-d b) 5g . dia ⁻¹ x 2 meses	Melhora de 0,29 % no desempenho físico após a fase de sobrecarga de creatina.

Estudo	Protocolo	População	Dosagem	Efeitos
Snow et al. 1998	Sprints de 20 s em cicloergômetro	8 homens ativos	30 g de Cr + 30 g de dextrose, durante 5 dias	Não acarretou melhora no desempenho físico
Vandenberghé et al. 1997	Exercício de força progressivo 3 x sem; 10 semanas + teste isocinético.	19 mulheres sedentárias	20g . dia ⁻¹ x 4-d + 5g . dia ⁻¹ x 10 semanas	Melhora de 2 a 2,5 % no teste de 1-RM. Aumento de 2,6 kg na massa livre de gordura.

Adaptado de Bird⁴⁴ Os estudos citados atendem aos critérios de inclusão definidos para aceitá-los nesta revisão.

resistência, como, por exemplo, corridas de longa duração²². Além disso, a reação de equilíbrio promovida pela creatina quinase ocorre quando a carga energética da célula encontra-se aumentada e com quantidade suficiente de energia disponível para refosforilar a Cr²³.

Efeito da creatina na síntese protéica

Nas últimas décadas, pesquisas têm avaliado a participação de fatores contribuintes para a síntese de Cr no tecido muscular, e têm demonstrado que a suplementação prolongada deste composto pode ser capaz de promover uma maior síntese deste tecido em decorrência do aumento das miofibrilas ou da diminuição da proteólise^{24,25}.

O mecanismo de alteração no metabolismo protéico pela suplementação de Cr ainda não foi esclarecido. Persky e Brazeau²⁴ levantaram a hipótese da hiperosmolaridade a qual é baseada na possibilidade do volume celular ser o fator determinante para a síntese ou degradação de proteínas, e que a Cr atuaria aumentando tal osmolaridade.

Acredita-se que os efeitos ergogênicos provocados pela suplementação de Cr sobre o ganho de massa muscular sejam atribuídos à maior atividade das células satélites²⁶. Esta resposta pode ser consequência da elevação do fluxo sanguíneo, o qual favorece a presença de CrT na membrana do músculo²⁷.

Segundo Steenge *et al.*²⁸, a ocorrência do estímulo da síntese protéica promovida pela Cr, quando associada ao carboidrato, pode ser decorrente de elevadas concentrações de insulina. Para alguns pesquisadores, o mecanismo para tal efeito seria a participação do mediador da insulina e do transportador da Cr, sódio dependente.

Diversos estudos têm investigado o efeito da suplementação com Cr associada ao carboidrato sobre o seu armazenamento no músculo²⁹. Os resultados das pesquisas já conduzidas têm revelado que o aumento da secreção de insulina pode ser o fator contribuinte para este aspecto. Nesse sentido, a insulina atua estimulando a Na⁺, K⁺ - ATPase, para a maior captação de Cr, bem como favorece o aumento do fluxo sanguíneo muscular.

Nessa abordagem, é oportuno destacar os efeitos promovidos pelo armazenamento da Cr no músculo. Até os dias atuais, já foram estabelecidas algumas contribuições do acúmulo de Cr muscular na regulação da produção de ATP durante o exercício físico. Entretanto, existe a necessidade de esclarecimentos sobre os fatores que possam contribuir na captação de Cr no músculo esquelético.

Efeito da suplementação com creatina na performance

Muitos estudos que investigaram o valor ergogênico da suplementação de Cr em atletas demonstraram aumentos significativos da força ou potência durante a realização de corridas de curta duração, e ainda aumento do rendimento em exercícios realizados em séries múltiplas de esforço máximo³⁰⁻³⁵.

Com o intuito de avaliar possíveis alterações nas concentrações iniciais de Cr, muitos estudos têm utilizado um modelo de protocolo experimental com a suplementação de 20 g de Cr/dia durante 5 a 8 dias. Os resultados destes estudos têm demonstrado que a Cr pode ser uma estratégia para aumentar seus estoques intramusculares^{4,7,8,21,36,37}.

De forma clássica, a literatura mostra os benefícios da suplementação com Cr na performance durante a realização de vários exercícios. O que se tem observado é que o aumento das concentrações de CrT e PCr no músculo de indivíduos fisicamente ativos têm contribuído para a ressíntese de ATP, favorecendo uma eficiência metabólica e um melhor desempenho. Alguns estudos têm evidenciado efeitos positivos no ganho de força e de potência em atletas levantadores de peso e fisiculturistas, o que frequentemente é acompanhado por hipertrofia do músculo esquelético^{30,31}.

Nessa abordagem, a ingestão de suplementos alimentares com vista à obtenção de ganhos de força durante o treinamento, pode ser particularmente benéfica. No estudo de Willoughby e Rosene³⁰ foi verificado que a suplementação com 6g.dia⁻¹ de Cr, durante 12 semanas, resultou num aumento de aproximadamente 54% na força de 1-RM em indivíduos não treinados. Este fato foi associado à elevação da síntese dos canais pesados de miosina, indicando que a suplementação durante o treinamento resistido promove ganhos de força.

Assim como Casey *et al.*¹², vários pesquisadores avaliaram o efeito da suplementação de Cr sobre o desempenho de atletas que realizaram 30s de exercício em cicloergômetro e que foram submetidos à ingestão de 20g. dia⁻¹ de Cr, durante 5 dias. Os resultados destes estudos demonstraram existir uma relação positiva entre o aumento nas concentrações de CrT no músculo com a melhora da performance durante o exercício de desempenho. A opinião dos autores é de que o efeito ergogênico observado pode ser atribuído a ressíntese de ATP durante o exercício, sendo consequência de uma maior disponibilidade de PCr nas fibras musculares do tipo II.

Os atletas de futebol podem ser beneficiados com a suplementação com Cr. Alguns pesquisadores têm

realizado investigações com este grupo populacional. No estudo de Mujika *et al.*³, foi demonstrado que o efeito ergogênico da Cr pode protelar a queda da performance nas mais variadas atividades realizadas por um jogador de futebol.

A suplementação com Cr tem sido conduzida com a finalidade de aumentar a capacidade de trabalho durante contrações musculares de esforço máximo, podendo melhorar a realização de repetidos *sprints*. Este fato pode ser resultante do aumento na quantidade de CrT armazenada e da capacidade de ressíntese de PCr. Dessa forma, a suplementação com Cr melhora o desempenho em *sprints* únicos e repetidos, particularmente, naqueles com duração de 6 a 30 segundos que possuem um período de recuperação de 30 segundos a 5 min^{4,32}.

Recentemente, Altimari *et al.*³⁴ investigaram o efeito da suplementação com 20 g.d⁻¹ de Cr por 5 dias em indivíduos fisicamente ativos. Posteriormente, estes sujeitos consumiram 3g.d⁻¹ do composto, durante 51 dias subseqüentes, sobre o trabalho total relativo em esforços máximos intermitentes. Os autores verificaram que a suplementação resultou num aumento da produção de trabalho total neste tipo de exercício, demonstrando melhora no desempenho físico em esforços repetidos de alta intensidade e de curta duração.

Hopwood *et al.*³⁸, descrevendo uma revisão que trata da suplementação com Cr em atletas de natação, os autores chamam a atenção para a falta de publicações, envolvendo esta modalidade com a utilização deste composto, bem como para as limitações nas metodologias empregadas nas pesquisas já realizadas. No entanto, segundo os autores, existem tendências para obtenção de benefícios com a suplementação com Cr em repetidas séries desta modalidade esportiva.

Segundo Williams e Branch³⁹, a vasta literatura abordando o efeito da suplementação com Cr sobre o desempenho físico, mostra ainda a existência de controversas sobre o tema. Os estudos realizados demonstram a falta de efeitos ergogênicos deste composto sobre o desempenho físico. A maioria das pesquisas já conduzidas trazem a variabilidade individual como um fator contribuinte para a não obtenção do efeito exercido pela Cr na performance^{8,40-43}, sendo que os efeitos ergogênicos são melhores observados em indivíduos não treinados quando comparados com os atletas que apresentam alto grau de treinabilidade⁴⁰⁻⁴³.

Dentro desta mesma perspectiva, Snow *et al.*⁸ destacam a carência de dados que esclareçam as diferentes concentrações nos estoques musculares de Cr, encontrados logo após a realização da suplementação. Segundo os autores, a melhora no desempenho parece estar diretamente relacionada ao aumento do conteúdo muscular de CrT. Todavia, poucos resultados têm determinado simultaneamente o desempenho físico e as concentrações de Cr intramuscular após o período de suplementação. Portanto, estudos que envolvam estes dois parâmetros poderiam contribuir significativamente para elucidar o papel da suplementação com Cr sobre o desempenho físico.

Considerando a vasta literatura sobre o tema abordado, a tabela 1 mostra a descrição de vários estudos, com detalhamento do protocolo, população, dosagem e os efeitos observados em relação à composição corporal e desempenho físico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem várias evidências experimentais, em modelos animais e mesmo em ensaios em humanos que demonstram a participação da Cr no desempenho físico, por meio de seus efeitos ergogênicos. Esta revisão mostra resultados de diversas investigações sobre a contribuição da creatina no metabolismo energético e na síntese protéica, sendo demonstrado o seu papel no armazenamento de glicogênio e na maior atividade de células satélites no tecido muscular. Várias pesquisas mostram os resultados promissores da suplementação com Cr no desempenho em jogos esportivos que necessitam de um único e ou repetidos esforços máximos de curta duração. Por outro lado, a literatura não evidencia efeitos positivos deste composto em indivíduos que praticam tais atividades, e que não sejam responsivos a tal suplementação. Entretanto, os mecanismos envolvidos na ação da Cr na melhora do desempenho ainda não foram totalmente esclarecidos. Novos estudos sobre os mecanismos de interação deste composto em reações que participam do armazenamento e da liberação de energia poderão trazer bases para o entendimento bioquímico e de sua interação com as alterações hormonais e bioquímicas, envolvidas no metabolismo energético e no desempenho físico. O desdobramento deste conhecimento poderá nortear outros ensaios experimentais para estabelecer o potencial ergogênico da Cr como estratégia para a melhora da performance.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Balsom PD, Soderlund K, Ekblom B. Creatine in humans with special reference to creatine supplementation. *Sports Med* 1994;8(4):268-280.
2. Engelhardt M, Neumann G, Berbalk A, Reuter I. Creatine supplementation in endurance sports. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30(7):1123-1129.
3. Mujika I, Padilla S, Ibañez J, Izquierdo M, Gorostiaga E. Creatine supplementation and sprint performance in soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(2):518-525.
4. Preen D, Dawson B, Goodman C, Lawrence S, Beilby J, Ching S. Effect of creatine loading on long-term sprint exercise performance and metabolism. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(5):814-821.
5. Wyss M, Kaddurah-Daouk R. Creatine and creatinine metabolism. *Physiol Rev* 2000;80(3):1107-1213.
6. Pearlman JP, Fielding RA. Creatine monohydrate as a therapeutic aid in muscular dystrophy. *Nutr Rev* 2006;64(1):80-88.
7. Greenhaff PL, Bodin K, Soderlund K, Hultman E. Effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle phosphocreatine resynthesis. *Am J Physiol* 1994;266(5):E725-730.
8. Snow RJ, Mckenna MJ, Selig SE, Kemp J, Stathis CG, Zhao S. Effect of creatine supplementation on sprint exercise performance and muscle metabolism. *J Appl Physiol* 1998;84(5):1667-1673.

9. Guerrero-Ontiveros ML, Wallimann T. Creatine supplementation in health and disease. Effects of chronic creatine ingestion in vivo: down-regulation of the expression of creatine transporter isoforms in skeletal muscle. *Mol Cell Biochem* 1998;184(1):427-437.
10. Fitch CD, Shields RP, Payne WF, Dacus JM. Creatine metabolism in skeletal muscle. 3. Specificity of the creatine entry process. *J Biol Chem* 1968; 25:243(8):2024-2027.
11. Odoom JE, Kemp GJ, Radda GK. The regulation of total creatine content in a myoblast cell line. *Mol Cell Biochem* 1996; 24:158(2):179-188.
12. Casey A, Constantin-Teodosiu D, Howell S, Hultman E, Greenhaff PL. Metabolic response of type I and II muscle fibers during repeated bouts of maximal exercise in humans. *Am J Physiol* 1996;271(1):E38-43.
13. Horn M, Frantz S, Remkes H, Laser A, Urban B, Mettenleiter A, et al. Effects of chronic dietary creatine feeding on cardiac energy metabolism and on creatine content in heart, skeletal muscle, brain, liver and kidney. *J Mol Cell Cardiol* 1998. 30(2):277-284.
14. Odoom JE, Kemp GJ, Radda GK. Control of intracellular creatine concentration in a mouse myoblast cell line. *Biochem Soc Trans* 1993;21(4):441S.
15. Feldman, EB. Creatine: a dietary supplement and ergogenic aid. *Nutr Rev* 1999. 57(2):45-50.
16. Willmore JH, Costill DL. *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics; 1994.
17. Foss ML, Keteyan SK. *Bases fisiológicas do exercício e do esporte*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2000.
18. Paddon-Jones D, Borsheim E, Wolfe RR. Potential ergogenic effects of arginine and creatine supplementation. *J Nutr* 2004;134(10 Suppl):2888S-2894S.
19. Maughan R, Glesson M, Greenhaff PL. *Bioquímica do exercício e do treinamento*. São Paulo: Ed. Manole; 2000.
20. Riegel RE. *Bioquímica do músculo e do exercício físico*. Rio Grande do Sul: Ed. Unisinos; 1999.
21. Wiedermann D, Schneider J, Fromme A, Thorwesten L, Möller HE. Creatine loading and resting skeletal muscle phosphocreatine flux: a saturation-transfer NMR study. *MAGMA* 2001;13(2):118-126.
22. Apple FS, Rogers MA. Mitochondrial creatine kinase activity alterations in skeletal muscle during long-distance running. *J Appl Physiol* 1986;61(2):482-485.
23. Yoshida T. The Rate of Phosphocreatine Hydrolysis and Resynthesis in Exercising Muscle in Humans using ³¹P-MRS. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 2002;21(5):247-255.
24. Persky AM, Brazeau GA. Clinical pharmacology of the dietary supplement creatine monohydrate. *Pharmacol Rev* 2001;53(2):161-176.
25. Kreider RB. Effects of creatine supplementation on performance and training adaptations. *Mol Cell Biochem* 2003;244(1):89-94.
26. Dangott B, Schultz E, Mozdziak PE. Dietary creatine monohydrate supplementation increases satellite cell mitotic activity during compensatory hypertrophy. *Int J Sports Med* 2000;21(1):13-16.
27. Rooney K, Bryson J, Phuyal J, Denyer G, Caterson I, Thompson CH. Creatine Supplementation Alters Insulin Secretion and Glucose Homeostasis In Vivo. *Metabolism* 2002;51(4):518-522.
28. Steenge GR, Lambourne J, Casey A, Macdonald IA, Greenhaff PL. Stimulatory effect of insulin on creatine accumulation in human skeletal muscle. *Am J Physiol* 1998;275(6):E974-979.
29. Steenge GR, Simpson EJ, Greenhaff PL. Protein- and carbohydrate-induced augmentation of whole body creatine retention in humans. *J Appl Physiol* 2000;89(3): 1165-1171.
30. Willoughby DS, Rosene J. Effects of oral creatine and resistance training on myosin heavy chain expression. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(10):1674-1681.
31. Vandenberghe K, Goris M, Van Hecke P, Van Leemputte M, Vangerven L, Hespel P. Long-term creatine intake is beneficial to muscle performance during resistance training. *J Appl Physiol* 1997;83(6):2055-2063.
32. Rockwell JA, Rankin JW, Toderico B. Creatine supplementation affects muscle creatine during energy restriction. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(1):61-68.
33. Netreba I, Shenkman BS, Popov DV, Tarasova OS, Vdovina AB, Khotchenkov VP, et al. Creatine as a metabolic controller of skeletal muscles structure and function in strength exercises in humans. *Ross Fiziol Zh Im I M Sechenova* 2006;92(1):113-122.
34. Altimari LR, Okano AH, Trindade MCC, Cyrino ES, Tirapegui J. Efeito de oito semanas de suplementação com creatina monoidratada sobre o trabalho total relativo em esforços intermitentes máximos no cicloergômetro de homens treinados. *Rev Bras Cienc Farm* 2006; 42(2):237-238.
35. Cribb, PJ, Williams AD, Stathis CG, Carey MF, Hayes A. Effects of Whey Isolate, Creatine, and Resistance Training on Muscle Hypertrophy. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39(2):298-307.
36. Hultman E, Soderlund K, Timmons J, Cederblad G, Greenhaff PL. Muscle creatine loading in men. *J Appl Physiol* 1996;81(1):232-237.
37. Sewell DA, Robinson TM, Greenhaff PL. Creatine supplementation does not affect human skeletal muscle glycogen content in the absence of prior exercise. *J Appl Physiol* 2008; 104(2): 508-512.
38. Hopwood MJ, Graham K, Rooney KB. Creatine supplementation and swim performance: a brief review. *J Sports Sci & Med* 2006; 5:10-24.
39. Williams MH, Branch JD. Creatine supplementation and exercise performance: an update. *J Am Coll Nutr* 1998;17(3):216-234.
40. Theodorou AS, Cooke CB, King RFGJ, Hood C, Denison T, Wainwright BG, et al. The effect of longer-term creatine supplementation on elite swimming performance after an acute creatine loading. *J Sports Sci* 1999;17(11):853-859.
41. Deutekom MJ, Beltman GM, De Ruyter CJ, De Koning JJ, De Haan A. No acute effects of short-term creatine supplementation on muscle properties and sprint performance. *Eur J Appl Physiol* 2000;82(3):223-229.
42. Finn JP, Ebert TR, Withers RT, Carey MF, Mackay M, Phillips JW, et al. Effect of creatine supplementation on metabolism and performance in human during intermittent sprint cycling. *Eur J Appl Physiol* 2001;84(3):238-243.
43. Mendes RR, Pires I, Oliveira A, Tirapegui J. Effects of creatine supplementation on the performance and body composition of competitive swimmers. *J Nutr Biochem* 2004;15(8):473-478.
44. Bird, SP. Creatine Supplementation and Exercise Performance: A Brief Review, *J Sports Sci Med* 2003;2:123-132.

Endereço para correspondência:

Dilina do Nascimento Marreiro
 Av Marechal Castelo Branco nº 800 apto 1401.
 Bairro Ilhotas
 CEP 64001-810 - Teresina, PI. Brasil
 E-mail: marreiro@usp.br

Recebido em 17/08/07
 Revisado em 11/02/08
 Aprovado em 03/03/08