Food Science Today 2:1 (2023)
ISSN 2965-1190

REVIEW ARTICLE

FOOD SCIENCE TODAY

Effects of creatine supplementation on strength exercise and its optimization through carbohydrates: A review

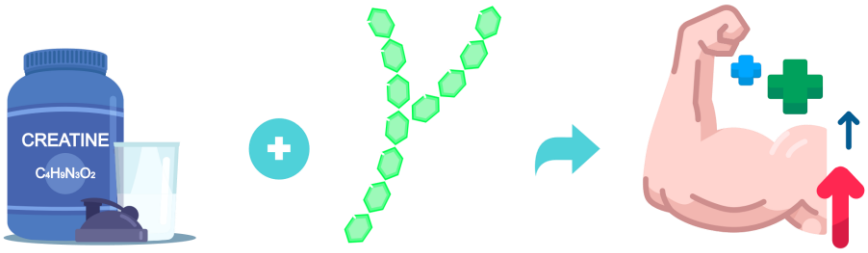
Raul Augusto Lunardello [a], Yago Viccari Agostinho [a], Kelli Cristina Paiva [a], Lucas Duarte Manhas Ferreira do Vales [a], Mariana Pereira Nobrega [a]

[a] Instituto de Ciências e Saúde - ICS, Universidade Paulista - UNIP, Ribeirão Preto, 14024-270, São Paulo, Brasil.

Abstract
Nutritional supplements integrated with any physical or sports activity are substances aimed at increasing physical performance, improving physical effort efficiency, enhancing physical recovery processes after intense exertion, enhancing training quality, and facilitating physiological adaptations. Among the most commonly used supplements is creatine (CR), a non-essential nitrogenous compound formed by three amino acids: glycine, arginine, and methionine, whose main benefit lies in improving performance in high-intensity activities. The consumption of CR along with carbohydrate (CHO) sources promotes supplement absorption compared to isolated consumption due to increased plasma insulin levels. The human body can absorb approximately 25% more CR when ingested with a CHO source. This review aimed to provide an expanded outlook on the consumption of CR combined with CHO sources and its relationship with increased CR transport into muscle cells in individuals engaging in strength exercises. Studies have shown that the increase or improvement in CR absorption by muscle cells may be related to increased blood glucose levels and consequent insulin release, which acts in a co-dependent and direct manner on the membrane transporter that regulates the entry of CR together with sodium into the intracellular environment, demonstrating that CHO supplementation is not necessary every time CR is consumed, but instead that this improvement consists of increased serum glucose and insulin release.

Keywords: Nutritional supplementation, creatine, carbohydrates, high-intensity exercise.

Graphical Abstract



*Corresponding author: Mariana P. Nobrega. E-mail address: mariana.nobrega@docente.unip.br
Received: 31 May 2023; Accepted: 11 Jul 2023; Published: 13 Jul 2023.
© The Author(s) 2023. Open Access (CC BY 4.0).

ROYALDATASET

1. Introdução

A creatina é um aminoácido sintetizado nos rins, fígado e pâncreas. É uma molécula composta a partir dos aminoácidos glicina, arginina e metionina. A creatina pode ser obtida naturalmente ou como suplemento dietético, com grande prevalência de uso por atletas recreativos e profissionais, que buscam uma melhora no desempenho físico (Hall, Manetta, & Tupper, 2021) .

No corpo humano, a creatina pode ser encontrada em duas formas: fosforilada e livre. Cerca de 95% do estoque de creatina do corpo humano é encontrado no músculo esquelético, onde desempenha um papel fundamental na produção e transporte de Trifosfato de Adenosina (ATP), via transporte de fosfocreatina, e fornecimento de energia às miofibrilas musculares. Os 5% restantes estão distribuídos no cérebro, fígado, rins e testículos (Persky & Rawson, 2007).

Muitos fatores podem influenciar a resposta do tecido à suplementação de creatina, incluindo níveis iniciais de creatina intramuscular, propriedades da fibra muscular ou ingestão habitual de creatina na dieta (Candow et al., 2019). Durante os exercícios de alta intensidade e curta duração, as necessidades de ATP são atendidas tanto pela glicólise anaeróbica quanto pelo transporte de fosfocreatina (Lemon, 2002). Os mecanismos considerados responsáveis por qualquer efeito ergogênico da suplementação de creatina incluem o aumento dos estoques de fosfocreatina muscular, regeneração mais rápida da fosfocreatina durante a recuperação do exercício e aumento da produção de ATP da glicólise secundária ao aumento do tampão de íons de hidrogênio (Smith & Hill, 1991).

Na literatura, existe uma grande quantidade de evidências que apoiam os benefícios da suplementação de creatina no desempenho anaeróbico. A suplementação de creatina aumenta a disponibilidade intramuscular de fosfocreatina para geração mais rápida de ATP através do sistema de transporte anaeróbico de fosfocreatina, minimizando a dependência da via de glicólise anaeróbica. Acredita-se que o aumento dos estoques de fosfocreatina também melhore o processo de recuperação durante curtos períodos de descanso, atenuando assim a fadiga muscular (Valenzuela et al., 2019).

Por outro lado, no desempenho aeróbico, o uso de creatina suplementar não parece provocar nenhuma melhora significativa . No exercício aeróbico, o corpo depende principalmente da fosforilação oxidativa para produção de energia, que é uma via metabólica que não utiliza diretamente a creatina (Cooper et al., 2012).

Regularmente, é relatado que a suplementação de creatina, quando combinada com treinamento de resistência, leva a um melhor desempenho físico, massa livre de gordura e morfologia muscular. Isso pode ser atribuído a diversos fatores, incluindo regeneração de ATP mais rápida para recuperação muscular, aumento da produção de fator de crescimento semelhante à insulina, aumento da sinalização do fator de transcrição miogênica e proliferação de células satélites, que são pensados para aumentar ainda mais o desempenho anabólico (Hespel et al., 2001; Burke et al., 2008).

As autoridades regulatórias, incluindo a Comissão Científica de Alimentos da União Europeia (SCF), a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA), a Agência Francesa de Segurança Sanitária dos Alimentos (AFFSA) e o Instituto Norueguês de Pesquisa sobre Alimentos, Água e Bem-estar Animal (VKM), concluíram que uma ingestão diária de 3 g de creatina, equivalente à taxa endógena diária de 2 g, não representa um risco para a saúde humana. Essas conclusões são baseadas principalmente em estudos limitados com atletas e adultos saudáveis, e há uma falta de informações sobre crianças, mulheres grávidas e lactantes, e pacientes com função renal comprometida (Andres et al, 2017).

A creatina é frequentemente comercializada como parte de produtos de suplementos pré-treino que contêm vários ingredientes ou pode ser consumida em combinação com outros suplementos dietéticos, com o objetivo de aumentar a absorção de creatina e/ou potencializar seus benefícios ergogênicos. Suplementos comumente utilizados em conjunto com a creatina incluem aminoácidos de cadeia ramificada, β-alanina, proteína, glutamina, β-hidroxi β-metilbutirato (HMB), carboidratos e cafeína. Estudos anteriores demonstraram que a cafeína, os carboidratos e o HMB, quando consumidos isoladamente, podem melhorar o desempenho atlético (Jagim, Harty & Camic, 2019). No entanto, a literatura sobre os benefícios adicionais da ingestão concomitante desses suplementos com a creatina tem produzido resultados mistos (Harty et al., 2018).

Os carboidratos consumidos antes da atividade física têm benefícios conhecidos para

aumentar os estoques de energia de glicogênio muscular, melhorar a resistência ao exercício e retardar a fadiga. Existem algumas evidências de que a suplementação conjunta de creatina e carboidratos pode aumentar o armazenamento e a retenção de fosfato de creatina (Steenge, Simpson & Greenhaff, 2000; Green et al., 1996). Da mesma forma, foi observado um aumento no glicogênio muscular quando os carboidratos foram consumidos após o período de carregamento de creatina (Green et al., 1996; Hultman et al., 1996). A maior parte da creatina intramuscular é encontrada nas fibras musculares tipo II (Gualano et al., 2016), e indivíduos com uma proporção e área transversal total de fibras musculares tipo II maior parecem se beneficiar mais da suplementação de creatina (Syrotuik & Bell, 2004; Chilibeck et al., 2017).

O consumo de creatina por praticantes de atividade física em busca de melhoria no desempenho tem aumentado constantemente. Diversos estudos buscam identificar as características metabólicas e fisiológicas que podem influenciar a absorção e os efeitos da creatina como suplemento, visando otimizar o desempenho de atletas e indivíduos que consomem creatina regularmente. A presente revisão teve como objetivo avaliar a potencialização dos treinos de força com o consumo de creatina como suplemento alimentar, examinar os estudos que investigam a otimização da absorção de creatina quando associada ao consumo de carboidratos, avaliar os efeitos da potencialização dos treinos e resultados quando os dois são usados em conjunto, e analisar as respostas adaptativas ao treinamento ou recuperação sem o uso da creatina.

2. Metodologia

A presente revisão possui caráter exploratório e qualitativo, e reúne obras de interesse dos pesquisadores e busca a compreensão dos acontecimentos, processos e fenômenos, estabelecendo uma visão ampliada do assunto. Para a coleta de dados foi realizada uma busca nas bases de dados *Scientific Eletronic Library Online* (SciELO), *US National Library of Medicine National Institutes of Health* (PubMed) e Google Acadêmico, que foram publicados entre 1991 e 2021, com abordagem sobre o tema estudado, com o intuito de incluir os artigos relevantes à temática. A busca pelo material foi realizada nos idiomas inglês e português, a partir das *keywords:* supplementation, creatine, carbohydrates, high-intensity exercise. Também foi efetuada pesquisa na na biblioteca da Universidade Paulista – UNIP, *campus* Ribeirão Preto, SP.

Este estudo teve abordagem qualitativa, com construção da explicação, e comparação com literatura conflitante e similar. Para avaliação dos dados encontrados, foi realizada uma pré-análise (fase de organização); exploração do material (leitura dos estudos selecionados) e seguinte categorização e classificação dos estudos e, por fim, o tratamento dos resultados (interpretação e elaboração do conteúdo final). Foi utilizada a técnica de análise de Minayo (2010), que contempla as seguintes fases: pré-análise que é uma fase de organização; exploração do material, onde o pesquisador deve ler os estudos selecionados, adotando procedimentos para codificar, classificar e categorizar; e tratamento dos resultados, fase da interpretação e elaboração do conteúdo final. O processo de inclusão e exclusão dos artigos é apresentado na **Fig. 1**.

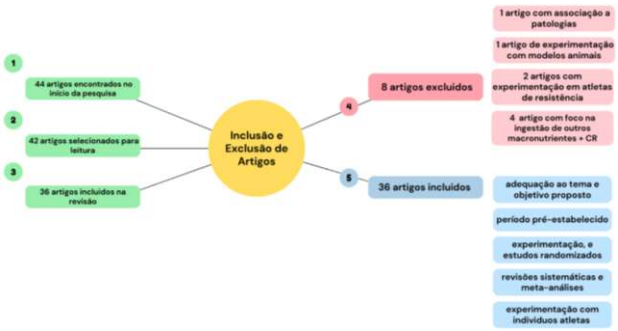


Fig. 1 Fluxograma dos critérios de inclusão e exclusão do estudo.

3. Resultados e Discussão

Foram encontrados 44 artigos, dos quais 36 se adequaram aos critérios pré-estabelecidos (os mais relevantes são apresentados na **Tabela 1**), versando sobre a influência do uso de creatina como suplemento alimentar e a otimização de sua absorção quando consumida em associação com carboidratos e a melhora no desempenho físico. A coleta de dados procedeu a partir da leitura exploratória do material selecionado, seguida de uma leitura seletiva para maior aprofundamento do tema e finalizando com um registro específico das informações extraídas da fonte (autores, ano, método e resultados).

Tabela 1 Artigos completos selecionados para a revisão.

Título	Referência
Creatine for exercise and sports performance, with recovery considerations for healthy populations	Wax et al. (2021)
Short term creatine loading without weight gain improves sprint, agility and leg strength performance in female futsal players	Atakan et al. (2019)
Variables influencing the effectiveness of creatine supplementation as a therapeutic intervention for sarcopenia	Candow et al. (2019)
Common ingredient profiles of multi-ingredient pre-workout supplements	Jagim, Harty & Camic (2019)
Supplements with purported effects on muscle mass and strength	Valenzuela et al. (2019)
Effects of creatine and carbohydrate loading on cycling time trial performance	Tomcik et al. (2018)
Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine	Kreider et al. (2017)
The effect of combined supplementation of carbohydrates and creatine on anaerobic performance	Theodorou et al. (2017)
Creatine supplementation in the aging population: effects on skeletal muscle, bone and brain	Gualano et al. (2016)
Creatine ingestion augments dietary carbohydrate mediated muscle glycogen supercompensation during the initial 24 h of recovery following prolonged exhaustive exercise in humans	Roberts et al. (2016)
Effects of creatine monohydrate supplementation on simulated soccer performance	Williams, Abt & Kilding (2014)
The effects of creatine monohydrate loading on anaerobic performance and one-repetition maximum strength	Zuniga et al. (2012)
Effect of creatine supplementation and resistance-exercise training on muscle insulin-like growth factor in young adults	Burke et al. (2008)
A creatine-protein-carbohydrate supplement enhances responses to resistance training	Cribb, Williams & Hayes (2007)
Safety of creatine supplementation	Persky & Rawson (2007)
Acute creatine monohydrate supplementation: a descriptive physiological profile of responders vs. nonresponders	Syrotuik & Bell (2004)
Oral creatine supplementation facilitates the rehabilitation of disuse atrophy and alters the expression of muscle myogenic factors in humans	Hespel et al. (2001)
Protein- and carbohydrate-induced augmentation of whole body creatine retention in humans	Steenge, Simpson & Greenhaff (2000)
Carbohydrate ingestion augments skeletal muscle creatine accumulation during creatine supplementation in humans	Green et al. (1996)
Muscle creatine loading in men	Hultman et al. (1996)
Creatine supplementation and dynamic high-intensity intermittent exercise	Balsom et al. (1993)
Influence of oral creatine supplementation of muscle torque during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man	Greenhaff et al. (1993)
Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation	Harris, Söderlund & Hultman (1992)
Contribution of energy systems during a Wingate power test	Smith & Hill (1991)

3.1 Creatina para exercícios com considerações para o desempenho esportivo

A capacidade da creatina de melhorar vários aspectos do desempenho agudo no exercício é amplamente documentada na literatura. Uma revisão realizada em 2017 resumiu os estudos disponíveis e concluiu que aproximadamente 70% deles relataram melhorias em algum aspecto do desempenho (Wax et al., 2021). A magnitude do aumento no desempenho depende de várias variáveis, incluindo a dose utilizada, o estado de treinamento do indivíduo e as características específicas do exercício (intensidade, duração, etc.). Em geral, observa-se um aumento médio de desempenho de cerca de 10% a 15% (Cooper et al., 2012).

A suplementação de creatina é uma estratégia ergogênica eficaz para potencializar o treinamento de resistência e melhorar o desempenho em atividades intensas, de curta duração e intermitentes. No entanto, os efeitos da creatina no desempenho de resistência são menos compreendidos. A suplementação de creatina aumenta as reservas de fosfocreatina nos músculos esqueléticos, melhorando a capacidade de ressíntese rápida de ATP e tamponando o acúmulo de íons hidrogênio. Em combinação com carboidratos, a creatina promove a ressíntese e o conteúdo de glicogênio, além disso, a creatina reduz a inflamação, o estresse oxidativo e pode aumentar a biogênese mitocondrial. No entanto, a suplementação de creatina também está associada a um aumento da massa corporal, o que pode impactar negativamente certas atividades que requerem controle de peso. Observa-se que a suplementação de creatina melhora o tempo até a exaustão em atividades de resistência de alta intensidade, principalmente devido ao aumento da capacidade de trabalho anaeróbico. No contexto de provas de tempo, os resultados são variados, mas a creatina parece ser mais eficaz em melhorar o desempenho em momentos de intensidade elevada e/ou momentos finais decisivos (Forbes et al., 2023).

É importante ressaltar que os benefícios da suplementação de creatina não se limitam apenas ao desempenho agudo, mas também têm sido associados a melhorias na recuperação muscular e na adaptação ao treinamento. Além disso, a creatina também tem sido estudada em diferentes populações, incluindo atletas de alto nível e indivíduos mais velhos, demonstrando benefícios em termos de força, potência, massa muscular e função cognitiva (Wax et al., 2021).

A suplementação de creatina (CR) se tornou amplamente utilizada entre atletas de diferentes níveis e modalidades esportivas, com o objetivo de melhorar o desempenho no exercício. Pesquisas indicam que a suplementação de CR pode aumentar o conteúdo de fosfocreatina (PCr)

muscular, embora a resposta possa variar entre os indivíduos. Doses elevadas de 20 g/dia, frequentemente utilizadas em estudos, não são necessárias, pois doses menores de 3 g/dia podem alcançar o mesmo aumento de PCR ao longo do tempo. A ingestão simultânea de carboidratos com CR pode melhorar a captação muscular de CR; no entanto, são necessárias grandes quantidades de carboidratos para obter esse efeito. Embora a suplementação de CR tenha demonstrado melhorar o desempenho em atividades de curta duração e alta intensidade, não há evidências de que melhore a força isométrica máxima, a taxa de produção máxima de força ou o desempenho no exercício aeróbico. A suplementação de CR também está associada a um aumento inicial de peso, possivelmente devido à retenção de água relacionada à captação de CR pelo músculo. No entanto, esse ganho de peso inicial pode estar relacionado a um aumento subsequente na força muscular, que pode ser atribuído a um maior volume e intensidade de treinamento alcançado com a suplementação de CR (Tarnopolsky et al., 2001).

Engelhardt et al. (1998) avaliaram os efeitos da suplementação de nas concentrações de creatina e creatinina em atletas. Foi realizado um teste de exercício especial que combinou resistência e desempenho intervalado antes e após um período de suplementação de creatina de 6 g diárias por 5 dias. Os resultados mostraram que a suplementação de creatina não teve influência no sistema cardiovascular, consumo de oxigênio e concentração de lactato sanguíneo. No entanto, ela reduziu significativamente a queda da glicose sanguínea durante o exercício. Enquanto o desempenho de potência intervalada aumentou em 18%, o desempenho de resistência não foi afetado. Os autores concluiram que a suplementação diária de 6 g de creatina tem efeitos positivos no exercício de curto prazo dentro do contexto do exercício aeróbico de resistência.

3.2 Desempenho: força e potência muscular

Na maioria, mas não em todos os estudos, a suplementação de creatina demonstrou ser uma ajuda ergogênica eficaz para aumentar a força e/ou potência muscular e essas descobertas incluíram homens e mulheres treinados e não treinados, incluindo atletas e não atletas. O principal mecanismo por trás desses resultados ergogênicos para a suplementação de creatina parece ser atribuído, em parte, a aumentos nas concentrações intramusculares de fosfocreatina (PCR) (Atakan et al., 2019; Zuniga et al., 2012).

Devido ao seu potencial não apenas para aumentar a força e a produção de energia, mas também para acelerar a recuperação de exercícios intermitentes intensos, a suplementação de creatina demonstrou permitir maiores volumes de trabalho e maior produção de trabalho durante o treinamento de resistência, o que pode se traduzir em maiores ganhos de força (Lanhers et al., 2016).

3.3 Capacidade de exercícios e esforços prolongados de alta intensidade

Os primeiros estudos a demonstrar os efeitos da suplementação de creatina no desempenho físico foram realizados por Harris, Söderlund e Hultman (1992). Nesse estudo, os participantes receberam uma dose de 4 × 5 g/dia de creatina por 5 dias, resultando em um aumento de 50% no conteúdo total de creatina intramuscular, sendo 20% a 40% na forma de fosfocreatina (PCR).

Greenhaff e colegas (1993) analisaram os efeitos da suplementação de creatina no desempenho em um estudo com 12 participantes. Metade do grupo recebeu placebo e a outra metade recebeu creatina (4 × 5 g/dia) por 5 dias. Após a suplementação, os participantes realizaram cinco sessões de contrações musculares máximas de 30 segundos. O grupo que recebeu creatina apresentou um aumento na produção máxima de torque nas últimas dez repetições da primeira sessão e durante as sessões 2 a 4, enquanto o grupo placebo não apresentou alteração significativa no desempenho.

Em outro estudo conduzido por Balsom e colaboradores (1993), 16 indivíduos saudáveis foram suplementados com creatina (5 g/dia) ou placebo por 6 dias. Os participantes realizaram dez sessões de ciclismo de alta intensidade, com duração de 6 segundos e 30 segundos de descanso entre as sessões. Foi observado que a suplementação de creatina resultou em menores declínios na produção de trabalho ao longo das sessões, em comparação com o grupo placebo. Além disso, a perda de ATP foi cerca de 30% menor no grupo que recebeu creatina, indicando uma relação entre a queda no desempenho e o status de PCR intramuscular.

Esses estudos iniciais mostraram os efeitos positivos da suplementação de creatina no desempenho físico. No entanto, foi observada alguma variação individual na resposta à

suplementação. Williams, Abt e Kilding (2014) investigaram a resposta de 25 jogadores de futebol à suplementação de creatina por 28 dias. A combinação de carboidratos (99 g) e creatina (15,75 g) resultou em aumentos na massa livre de gordura e melhorias no desempenho em exercícios como supino, levantamento total e trabalho total realizado em sessões de ciclismo máximo.

A combinação de creatina e carboidratos tem sido objeto de estudos, e pesquisadores relataram benefícios adicionais quando esses dois nutrientes são consumidos juntos. Mielgo-Ayuso e colaboradores (2019) conduziram uma meta analise para avaliar a eficácia da suplementação de creatina no aprimoramento de habilidades relacionadas ao futebol, levando em conta o tipo de metabolismo (aeróbico, fosfagênio e anaeróbico). Através de uma pesquisa estruturada nas principais bases de dados, foram selecionados nove estudos que atenderam aos critérios de inclusão. A meta-análise revelou que a suplementação de creatina não apresentou efeitos benéficos nos testes de desempenho aeróbico e de metabolismo de fosfagênio. No entanto, demonstrou lanaeróbico, especialmente na potência anaeróbica, conforme indicado pelo teste de Wingate. Os autores concluiram que a suplementação de creatina, seguindo as dosagens e protocolos específicos, pode ser benéfica para melhorar o desempenho físico relacionado ao metabolismo anaeróbico em jogadores de futebol.

Além disso, estudos recentes mostraram que a ingestão de creatina combinada com carboidratos pode melhorar a absorção da creatina suplementada. Theodorou e colaboradores (2017) investigaram se a ingestão de creatina combinada com carboidratos afetava a absorção e retenção do aminoácido nas células musculares. Os participantes foram divididos em dois grupos, sendo que o grupo A recebeu 5 g de creatina e o grupo B recebeu 5 g de creatina combinada com 93 g de carboidrato simples. Ambos os grupos receberam as doses experimentais 4 vezes ao dia, durante 5 dias. Os resultados mostraram que a suplementação aumentou os níveis de fosfocreatina e creatina muscular em ambos os grupos, mas o grupo B (creatina + carboidrato) apresentou um aumento de 60% nos níveis de creatina em comparação com o grupo A (apenas creatina). A suplementação de creatina sozinha não teve qualquer efeito sobre a concentração de insulina, porém, a ingestão de creatina associada ao carboidrato aumentou os níveis desse hormônio de maneira significativa. As descobertas encontradas demonstram que a ingestão de CHO aumenta a creatina muscular de forma substancial durante a ingestão de creatina (Theodorou et al., 2017).

Tomcik et al. (2018) investigaram os efeitos metabólicos e de desempenho de uma combinaçãode creatina (CR) e carboidratos (CHO) em ciclistas de contrarrelógio (TT). Dezoito homens treinados participaram de três testes de desempenho que consistiam em um TT de ciclismo de 120 km com sprints de 1 km e 4 km intercalados a cada 10 km, seguidos por um percurso inclinado até a fadiga. Os participantes foram divididos em grupos que receberam carga de CR (20 g/d por 5 dias + 3 g/d por 9 dias) ou placebo (PLA) após o primeiro teste. Todos os participantes receberam intervenções de carboidratos, consumindo dietas moderadas (6 g/kg de massa corporal por dia; MOD) ou com carga de CHO (12 g/kg de massa corporal por dia; LOAD) antes dos testes 2 e 3. Biópsias musculares foram realizadas em três momentos diferentes. Os resultados mostraram que não houve diferenças significativas nos tempos do TT ou do percurso inclinado entre os grupos de intervenção. No entanto, observaram que a combinação de CR com MOD ou LOAD resultou em um aumento significativo na potência de saída durante os sprints finais em comparação com o placebo. Além disso, o grupo CR + LOAD apresentou maiores concentrações de CR total e glicogênio muscular em relação ao grupo PLA + LOAD. Esses achados sugerem que a coadministração de CR e carboidratos pode ser uma estratégia benéfica para melhorar o desempenho em momentos de fuga ou sprint em eventos de resistência.

Toda vez que ocorre o consumo de CHO, ocorre o aumento da concentração de glicose sanquínea, o que por sua vez, ocasiona o estímulo para liberação de insulina. A creatina, depende de um cotransportador para entrar na célula muscular. O co-transporte se dá com o sodio (creatina + sódio), entrando juntos no miócito (Kreider et al., 2017; Theodorou et al., 2017). O transportador fica fechado, e só abre a partir do momento que ocorre liberação de insulina (que envia sinalização para abertura do transportador), permitindo a entrada da creatina + sódio na célula e a creatina possa atuar dentro da célula muscular (Kreider et al., 2017), como mostra a **Fig. 2**.

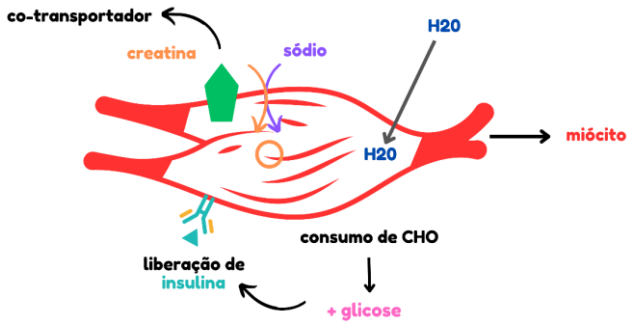


Fig. 2 Transporte da creatina do meio extracelular para o interior da célula muscular, sob co-dependência do transportador.

Cribb, Williams e Hayes (2007) investigaram os efeitos de um suplemento de proteína-carboidrato (PRO-CHO) contendo creatina monohidratada (CRM) em comparação com um suplemento semelhante em nitrogênio e energia na composição corporal, força muscular, hipertrofia específica das fibras e acúmulo de proteínas contráteis durante o treinamento de exercícios de resistência. Participantes masculinos treinados em resistência foram randomizados em três grupos: PRO, PRO-CHO e CR-PRO-CHO. Após um programa de treinamento de 10 semanas, foram realizadas avaliações de força, composição corporal e biópsias musculares. Os resultados mostraram que o grupo CR-PRO-CHO apresentou maiores melhorias na força muscular, com pelo menos 40% dessas melhorias atribuídas à hipertrofia muscular. Além disso, o grupo CR-PRO-CHO também obteve aumentos significativos na massa magra, área de secção transversal das fibras musculares e conteúdo de proteínas contráteis em comparação com os outros grupos. Esses achados sugerem que a suplementação com CR-PRO-CHO é mais eficaz na promoção da hipertrofia muscular durante o treinamento de exercícios de resistência em comparação com uma suplementação de PRO-CHO equivalente. Os autores concluem que a inclusão da creatina monohidratada em um suplemento PRO-CHO pode ser benéfica para indivíduos treinados em resistência que desejam melhorar sua força muscular e composição corporal.

Roberts et al. (2016) caracterizaram o curso temporal da resposta induzida pela suplementação de creatina (Cr) na disponibilidade de glicogênio muscular em condições controladas, além de identificar os possíveis mecanismos subjacentes a esse fenômeno. Quatorze voluntários saudáveis do sexo masculino foram submetidos a um protocolo de ciclismo até a exaustão a 70% do VO2 maximo, seguido por um período de recuperação durante o qual receberam suplementos de CR ou placebo, juntamente com uma dieta rica em carboidratos (CHO). Biópsias musculares foram coletadas em diferentes momentos, e testes de tolerância oral à glicose foram realizados para avaliar a sensibilidade à insulina. Os resultados demonstraram que a suplementação de CR aumentou significativamente os níveis de CR total, CR livre e fosfocreatina (PCR) no músculo, além de promover um aumento no conteúdo de glicogênio muscular em comparação com o grupo placebo. Essa resposta ocorreu nas primeiras 24 horas de recuperação pós-exercício, sem diferenças na sensibilidade à insulina, estresse osmótico ou volume celular muscular. Esses achados sugerem a existência de um mecanismo adicional responsável pelo aumento do armazenamento de glicogênio muscular induzido pela suplementação de CR.

4. Considerações Finais

A presente revisão permite concluir que a creatina desempenha um papel fundamental no meio esportivo. Além disso, tem se tornado um dos suplementos mais procurados por praticantes de atividade física. Isso se deve ao fato de haver inúmeros estudos comprovando sua eficácia, sendo um dos suplementos mais investigados na nutrição esportiva e desempenho físico na prática de esportes. Apesar dos diversos estudos realizados, ainda há questionamentos com relação ao consumo da creatina, principalmente quando se trata de seus efeitos colaterais. No entanto, é importante ressaltar que nenhum dos estudos avaliados se destacou por apresentar efeitos que possam ser prejudiciais ao usuário.

O consumo da creatina combinada com a ingestão de carboidratos (CHO) gera uma maior concentração de creatina nas células musculares. Entretanto, isso não significa que todas as vezes que é realizada a suplementação da creatina seja necessário o consumo de CHO através de suplementação. O importante é que, no aumento da concentração de creatina na corrente sanguínea através da suplementação, haja consumo alimentar que aumente a taxa de glicose sanguínea e estimule a liberação de insulina. Esse consumo alimentar pode ser feito através de alimentos ricos em CHO, devido às características do tipo de transporte celular e absorção do nutriente pelas células musculares.

É necessário realizar mais investigações sobre as razões pelas quais essa vantagem na absorção e biodisponibilidade da creatina, e por consequência do substrato de energia, não é acompanhada por uma melhoria adicional no desempenho. Isso pode significar a necessidade de investigações de regimes alternativos de ingestão de liberadores de insulina que não produzam efeitos negativos na massa corporal. Além disso, também podem ser estudados protocolos de treinamentos que se beneficiem desses regimes alternativos de ingestão de liberadores de insulina.

Contribuições dos Autores

R.A.L.: Preparação do rascunho original e revisão; Y.V.L.: Redação e revisão; L.D.M.F.V.: Revisão e edição; K.C.P.: Supervisão e validação. M.P.N.: Visualização e administração do projeto. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

Conflitos de Interesses

Os autores declaram que não têm interesses conflitantes.

Referências

Andres, S., Ziegenhagen, R., Trefflich, I., Pevny, S., Schultrich, K., Braun, H., Schänzer, W., Hirsch-Ernst, K. I., Schäfer, B., & Lampen, A. (2017). Creatine and creatine forms intended for sports nutrition. *Molecular Nutrition & Food Research*, *61*(6), 1600772. https://doi.org/10.1002/mnfr.201600772

Atakan, M. M., Karavelioğlu, M. B., Harmancı, H., Cook, M., & Bulut, S. (2019). Short term creatine loading without weight gain improves sprint, agility and leg strength performance in female futsal players. *Science & Sports*, *34*(5), 321–327. https://doi.org/10.1016/j.scispo.2018.11.003

Balsom, P. D., Ekblom, B., Söerlund, K., Sjödln, B., & Hultman, E. (1993). Creatine supplementation and dynamic high- intensity intermittent exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *3*(3), 143–149. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1993.tb00378.x

Burke, D. G., Candow, D. G., Chilibeck, P. D., MacNeil, L. G., Roy, B. D., Tarnopolsky, M. A., & Ziegenfuss, T. (2008). Effect of creatine supplementation and resistance-exercise training on muscle insulin-like growth factor in young adults. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *18*(4), 389–398. https://doi.org/10.1123/ijsnem.18.4.389

Candow, D. G., Forbes, S. C., Chilibeck, P. D., Cornish, S. M., Antonio, J., & Kreider, R. B. (2019). Variables influencing the effectiveness of creatine supplementation as a therapeutic intervention for sarcopenia. *Frontiers in Nutrition*, *6*. https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00124

Chilibeck, P., Kaviani, M., Candow, D., & Zello, G. A. (2017). Effect of creatine supplementation during resistance training on lean tissue mass and muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Open Access Journal of Sports Medicine*, *8*, 213–226. https://doi.org/10.2147/OAJSM.S123529

Cooper, R., Naclerio, F., Allgrove, J., & Jimenez, A. (2012). Creatine supplementation with specific view to exercise/sports performance: An update. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *9*(1). https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-33

Cribb, P. J., Williams, A. D., & Hayes, A. (2007). A creatine-protein-carbohydrate supplement enhances responses to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *39*(11), 1960–1968. https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31814fb52a

Engelhardt, M., Neumann, G., Berbalk, A., & Reuter, I. (1998). Creatine supplementation in endurance sports. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *30*(7), 1123–1129. https://doi.org/10.1097/00005768-199807000-00016

Forbes, S. C., Candow, D. G., Neto, J. H. F., Kennedy, M. D., Forbes, J. L., Machado, M., Bustillo, E., Gomez-Lopez, J., Zapata, A., & Antonio, J. (2023). Creatine supplementation and endurance performance: surges and sprints to win the race. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *20*(1). https://doi.org/10.1080/15502783.2023.2204071

Green, A. L., Hultman, E., Macdonald, I. A., Sewell, D. A., & Greenhaff, P. L. (1996). Carbohydrate ingestion augments skeletal muscle creatine accumulation during creatine supplementation in humans. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, *271*(5 34-5), E821–E826. https://doi.org/10.1152/ajpendo.1996.271.5.e821

Greenhaff, P. L., Casey, A., Short, A. H., Harris, R., Soderlund, K., & Hultman, E. (1993). Influence of oral creatine supplementation of muscle torque during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *Clinical Science*, *84*(5), 565–571. https://doi.org/10.1042/cs0840565

Gualano, B., Rawson, E. S., Candow, D. G., & Chilibeck, P. D. (2016). Creatine supplementation in the aging population: effects on skeletal muscle, bone and brain. *Amino Acids*, *48*(8), 1793–1805. https://doi.org/10.1007/s00726-016-2239-7

Hall, M., Manetta, E., & Tupper, K. (2021). Creatine supplementation: An update. *Current Sports Medicine Reports*, *20*(7), 338–344. https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000863

Harris, R. C., Soderlund, K., & Hultman, E. (1992). Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clinical Science*, *83*(3), 367–374. https://doi.org/10.1042/cs0830367

Harty, P. S., Zabriskie, H. A., Erickson, J. L., Molling, P. E., Kerksick, C. M., & Jagim, A. R. (2018). Multi-ingredient pre-workout supplements, safety implications, and performance outcomes: A brief review. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *15*(1). https://doi.org/10.1186/s12970-018-0247-6

Hespel, P., Eijnde, B. O. T., Van Leemputte, M., Ursø, B., Greenhaff, P. L., Labarque, V., Dymarkowski, S., Van Hecke, P., & Richter, E. A. (2001). Oral creatine supplementation facilitates the rehabilitation of disuse atrophy and alters the expression of muscle myogenic factors in humans. *Journal of Physiology*, *536*(2), 625–633. https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.0625c.xd

Hultman, E., Söderlund, K., Timmons, J. A., Cederblad, G., & Greenhaff, P. L. (1996). Muscle creatine loading in men. *Journal of Applied Physiology*, *81*(1), 232–237. https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.1.232

Jagim, A. R., Harty, P. S., & Camic, C. L. (2019). Common ingredient profiles of multi-ingredient pre-workout supplements. *Nutrients*, *11*(2), 254. https://doi.org/10.3390/nu11020254

Kreider, R. B., Kalman, D. S., Antonio, J., Ziegenfuss, T. N., Wildman, R., Collins, R., Candow, D. G., Kleiner, S. M., Almada, A. L., & Lopez, H. L. (2017). International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *14*(1). https://doi.org/10.1186/s12970-017-0173-z

Lanhers, C., Pereira, B., Naughton, G., Trousselard, M., Lesage, F. X., & Dutheil, F. (2017). Creatine supplementation and upper limb strength performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, *47*(1), 163–173. https://doi.org/10.1007/s40279-016-0571-4

Lemon, P. W. R. (2002). Dietary creatine supplementation and exercise performance: Why inconsistent results? *Canadian Journal of Applied Physiology*, *27*(6), 663–680. https://doi.org/10.1139/h02-039

Mielgo-Ayuso, J., Calleja-Gonzalez, J., Marqués-Jiménez, D., Caballero-García, A., Córdova, A., & Fernández-Lázaro, D. (2019). Effects of creatine supplementation on athletic performance in soccer players: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, *11*(4), 757. https://doi.org/10.3390/nu11040757

Minayo, M. C. S. (2010). *O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde*. Hucitec. São Paulo. 416 p.

Persky, A. M., & Rawson, E. S. (2007). Safety of creatine supplementation. In: Salomons, G. S. & Wyss, M. (Eds.). Creatine and creatine kinase in health and disease. *Subcellular Biochemistry*, *46*, pp. 275–289. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6486-9_14

Roberts, P. A., Fox, J., Peirce, N., Jones, S. W., Casey, A., & Greenhaff, P. L. (2016). Creatine ingestion augments dietary carbohydrate mediated muscle glycogen supercompensation during the initial 24 h of recovery following prolonged exhaustive exercise in humans. *Amino Acids*, *48*(8), 1831–1842. https://doi.org/10.1007/s00726-016-2252-x

Smith, J. C., & Hill, D. W. (1991). Contribution of energy systems during a Wingate power test. *British Journal of Sports Medicine*, *25*(4), 196–199. https://doi.org/10.1136/bjsm.25.4.196

Steenge, G. R., Simpson, E. J., & Greenhaff, P. L. (2000). Protein- and carbohydrate-induced augmentation of whole body creatine retention in humans. *Journal of Applied Physiology*, *89*(3), 1165–1171. https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.3.1165

Syrotuik, D. G., & Bell, G. J. (2004). Acute creatine monohydrate supplementation: A descriptive physiological profile of responders vs. nonresponders. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *18*(3), 610–617. https://doi.org/10.1519/12392.1

Tarnopolsky, M. A., Parise, G., Yardley, N. J., Ballantyne, C. S., Olatunji, S., & Phillips, S. M. (2001). Creatine-dextrose and protein-dextrose induce similar strength gains during training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *33*(12), 2044–2052. https://doi.org/10.1097/00005768-200112000-00011

Theodorou, A. S., Paradisis, G., Smpokos, E., Chatzinikolaou, A., Fatouros, I., King, R. F. G. J., & Cooke, C. B. (2017). The effect of combined supplementation of carbohydrates and creatine on anaerobic performance. *Biology of Sport*, *34*(2), 169–175. https://doi.org/10.5114/biolsport.2017.65336

Tomcik, K. A., Camera, D. M., Bone, J. L., Ross, M. L., Jeacocke, N. A., Tachtsis, B., Senden, J., Van Loon, L. J. C., Hawley, J. A., & Burke, L. M. (2018). Effects of creatine and carbohydrate loading on cycling time trial performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *50*(1), 141–150. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001401

Valenzuela, P. L., Morales, J. S., Emanuele, E., Pareja-Galeano, H., & Lucia, A. (2019). Supplements with purported effects on muscle mass and strength. *European Journal of Nutrition*, *58*(8), 2983–3008. https://doi.org/10.1007/s00394-018-1882-z

Wax, B., Kerksick, C. M., Jagim, A. R., Mayo, J. J., Lyons, B. C., & Kreider, R. B. (2021). Creatine for exercise and sports performance, with recovery considerations for healthy populations. *Nutrients*, *13*(6), 1915. https://doi.org/10.3390/nu13061915

Williams, J., Abt, G., & Kilding, A. E. (2014). Effects of creatine monohydrate supplementation on simulated soccer performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *9*(3), 503–510. https://doi.org/10.1123/IJSPP.2013-0407

Zuniga, J. M., Housh, T. J., Camic, C. L., Hendrix, C. R., Mielke, M., Johnson, G. O., Housh, D. J., & Schmidt, R. J. (2012). The effects of creatine monohydrate loading on anaerobic performance and one-repetition maximum strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*(6), 1651–1656. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234eba1

FOOD SCIENCE TODAY

journals.royaldataset.com/fst