

EFETOS ERGOGÊNICOS DA CAFEÍNA SOBRE O DESEMPENHO FÍSICO

Leandro Ricardo ALTIMARI*
Edilson Serpeloni CYRINO*
Sérgio Miguel ZUCAS**
Roberto Carlos BURINI***

RESUMO

A cafeína é uma substância que não apresenta valor nutricional, sendo classificada como um alcalóide farmacologicamente ativo, estimulante do sistema nervoso central (SNC). No entanto, esta substância tem sido considerada um ergogênico nutricional por estar presente em várias bebidas consumidas diariamente, tais como o café, o chocolate, o mate, e algumas bebidas suaves à base de guaraná. O seu uso tem-se tornado bastante comum no meio esportivo, principalmente nos últimos anos, particularmente por atletas que disputam provas de resistência. A possibilidade de melhora do desempenho físico fez com que este alcalóide entrasse na lista de substâncias proibidas pelo Comitê Olímpico Internacional (COI), o qual estabeleceu o limite de 12 µg/ml de cafeína na urina como parâmetro para detecção de "doping". Alguns estudos têm demonstrado que esses níveis podem ser alcançados com a ingestão de aproximadamente 9 mg de cafeína por quilograma de peso corporal. Todavia, estudos mais recentes têm evidenciado melhora no desempenho atlético com a ingestão de apenas 3 a 6 mg de cafeína por quilograma de peso corporal. Tais observações parecem colocar em risco o limite tolerável estipulado pelo COI, o que poderia favorecer a melhoria do rendimento por parte dos usuários. Esses fatos demonstram a necessidade de maiores investigações sobre o efeito ergogênico de diferentes dosagens de cafeína e, possivelmente, de revisão dos níveis de ingestão toleráveis.

UNITERMOS: Cafeína; "Doping"; Recurso ergogênico; Desempenho atlético.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento científico e tecnológico que tem cercado o esporte, sobretudo ao longo das duas últimas décadas, tem atraído inúmeros pesquisadores para investigar a eficiência de diferentes agentes ergogênicos que possam contribuir na melhoria do rendimento físico. Assim, a possível eficiência ergogênica de inúmeros recursos em aprimorar o desempenho físico ou atenuar os mecanismos geradores de fadiga tem sido amplamente estudada (Thein, Thein & Landry, 1995).

Os recursos ergogênicos podem ser classificados como nutricionais, mecânicos, farmacológicos, físicos e psicológicos, incluindo desde procedimentos legais e comprovadamente seguros, como a suplementação de carboidratos, até meios ilegais e aparentemente inseguros, como o uso de esteróides anabólicos e infusão sanguínea (Rassier, Natali & De Rose, 1996; Thein et alii, 1995).

A utilização de suplementos nutricionais como recursos ergogênicos tem sido empregada por meio de manipulações dietéticas

Centro de Educação Física e Desportos da Universidade Estadual de Londrina.

** Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.

*** Faculdade de Medicina da Universidade Estadual Paulista - Botucatu.

capazes de retardar o aparecimento da fadiga e aumentar o poder contrátil do músculo esquelético e/ou cardíaco, aprimorando, portanto, a capacidade de realizar trabalho físico, ou seja, o desempenho atlético (Clarkson, 1996). Os principais efeitos desejáveis obtidos com o uso de tais suplementos incluem aumento das reservas energéticas, aumento da mobilização de substratos para os músculos ativos durante os exercícios físicos, aumento do anabolismo protéico, diminuição da percepção subjetiva de esforço e reposição hidroeletrolítica adequada (Williams, 1996).

Nesse sentido, a cafeína tem sido utilizada com grande frequência, de forma aguda, previamente à realização de exercícios físicos, com o intuito de protelar a fadiga e conseqüentemente aprimorar o desempenho físico, sobretudo em atividades de longa duração (Delbeke & Debachere, 1984; Jacobson & Kulling, 1989; Spriet, 1995).

Bellet, Kershbaum & Fink (1968) foram os primeiros a documentar o efeito positivo da cafeína sobre o metabolismo, estimulando a mobilização de gorduras (AGLs). Tal efeito, associado à economia na depleção de glicogênio muscular, acarretou aprimoramento do desempenho físico nos exercícios de resistência, sendo posteriormente confirmado por outros estudos (Costill, Dalsky & Fink, 1978; Essig, Costill & Van Handel, 1980; Ivy, Costill, Fink & Lower, 1979; Powers, Byrd, Tulley & Callender, 1983).

O uso de cafeína por atletas tornou-se evidente nos Jogos Olímpicos de Los Angeles (1984), quando alguns membros da equipe de ciclismo dos Estados Unidos declararam publicamente terem usado esse alcalóide como estimulante durante as competições (Rogers, 1985). O uso dessa substância tem-se tornado mais comum nos últimos anos, particularmente por atletas que disputam provas de ciclismo e corredores de longas distâncias. O *Canadian Drug-Free Sport Center* estima que 26% dos atletas canadenses entre 11 e 18 anos utilizam-se de cafeína objetivando uma melhoria no desempenho (Graham, Rush & Van Soeren, 1994).

Vale ressaltar que a cafeína tem sido considerada um ergogênico nutricional por estar presente em várias bebidas consumidas diariamente, como o café, alguns refrigerantes e chás (Spriet, 1995; Williams, 1996), embora não apresente qualquer valor nutricional, sendo classificada como uma droga com efeitos

farmacológicos de ação estimulante (Clarkson, 1993).

Até o início da década 90 existiam poucos estudos de revisão disponíveis na literatura que apontassem os possíveis efeitos ergogênicos da cafeína (Anjos, 1987; Jacobson & Kulling, 1989; Rogers, 1985). Assim, apenas mais recentemente é que passou-se a dar grande importância ao estudo da cafeína como um possível recurso ergogênico, o que contribuiu para uma maior produção de artigos de revisão a esse respeito (Clarkson, 1993; Graham et alii, 1994; Nehlig & Debry, 1994; Sinclair & Geiger, 2000; Spriet, 1995). Contudo, em nenhum destes estudos observa-se a preocupação dos autores em descrever os possíveis efeitos ergogênicos da cafeína atrelados a diferentes tipos de exercício físico. Além do que, poucos estudos abordam a necessidade de rever os níveis críticos estipulados pelo Comitê Olímpico Internacional (COI) para o uso de cafeína como uma substância ilícita que pode favorecer a melhoria do rendimento físico (Graham & Spriet, 1995; Sinclair & Geiger, 2000; Spriet, 1995).

Com base nessas informações o propósito desta revisão é abordar os principais achados que envolvem a utilização da cafeína como um poderoso agente modulador do desempenho físico em atividades físicas de diferentes naturezas.

ORIGEM E ANTECEDENTES DA CAFEÍNA

A cafeína pertence ao grupo das drogas metilxantinas (1, 3, 7 trimetilxantina), do qual também fazem parte a teofilina, a teína, a guaraná e a teobromina. As metilxantinas são alcalóides estreitamente relacionados que se diferenciam pela potência de suas ações farmacológicas sobre o sistema nervoso central (SNC). Nesse sentido a cafeína é uma substância capaz de excitar ou restaurar as funções cerebrais e bulbares, sem contudo ser considerada uma droga terapêutica, sendo comumente utilizada e livremente comercializada, por apresentar uma baixa capacidade de indução à dependência (Rang & Dale, 1993).

Acredita-se que a cafeína tenha sido descoberta pelo homem paleolítico por meio das plantas. A seguir este teria passado a ingeri-la sob diversas formas de bebidas (Paula Filho & Rodrigues, 1985).

Na América do Sul as bebidas típicas contendo cafeína incluem o guaraná (*Paullinia*

cupana ou *Paullinia sorbilis*), o Yoco (*Paullinia yoco*), o chá (*Thea sinensis*), o chocolate (*Theobroma cacao*), a cola (*Cola acuminata*), o mate (*Ilex paraguayensis*) e o café (*coffea arabica*), sendo este a mais importante fonte dietética de cafeína (Paula Filho & Rodrigues, 1985). Além disso a cafeína pode ser encontrada em alguns medicamentos como agente para antagonizar o efeito calmante de certos fármacos (Rang & Dale, 1993).

A cafeína é uma substância rapidamente absorvida pelo intestino, atingindo sua concentração máxima na corrente sanguínea entre 15 e 120 minutos após a sua ingestão (Sinclair & Geiger, 2000). Sua ação pode atingir todos os tecidos, pois o seu carreamento é feito via corrente sanguínea, sendo posteriormente degradada pelo

fígado e excretada pela urina na forma de co-produtos (Clarkson, 1993; Spriet, 1995).

Apesar de apenas uma pequena quantidade de cafeína ser excretada (0,5 a 3%), sem alteração na sua constituição química, sua detecção na urina é relativamente fácil (Clarkson, 1993). Vale ressaltar que alguns fatores como a genética, a dieta, o uso de alguma drogas, o sexo, o peso corporal, o estado de hidratação, a prática de exercícios físicos, podem afetar o metabolismo da cafeína e, conseqüentemente, influenciar na quantidade de cafeína total excretada pela urina (Duthel, Vallon, Martin, Ferret, Mathieu & Videman, 1991; Spriet, 1995).

A TABELA 1 apresenta as quantidades de cafeína presentes em alguns produtos comerciais e as respectivas concentrações excretadas pela urina.

TABELA 1 - Concentração de cafeína em produtos comerciais e o seu respectivo nível de excreção (adaptado de Clarkson, 1993).

Produto	Quantidade (mg)	Excreção após 2-3 hs ($\mu\text{g/ml}$)
1 Copo de café (240 ml)	100,0 (*)	1,50
Chá instantâneo (150 ml)	28,0 (*)	0,42
Chá natural preparado (150 ml)	20,0 - 110,0	0,30 - 1,60
1 lata de Coca Cola, Coca Diet (330 ml)	45,6	0,68
1 lata de Pepsi, Pepsi Diet (330 ml)	36,0	0,54
Milk shake de chocolate (30 g)	6,0	0,08
Chocolate amargo - barra (30 g)	20,0	0,30
Chocolate em Pó (30 g)	26,0	0,40
1 Nodoz	100,0	1,50
1 Vivarin	200,0	3,00
1 Anacin	32,0	0,48
1 Excedrin	65,0	0,97
1 Midol	32,4	0,48

(*) Teor médio, está na dependência do modo de preparo.

MECANISMOS DE AÇÃO DA CAFEÍNA

Acredita-se que a cafeína possua mecanismos de ação central e periférica (Spriet, 1995; Stephenson, 1977) que podem desencadear importantes alterações metabólicas e fisiológicas, as quais melhorariam o desempenho atlético (Applegate, 1999; Fillmore, Bartoli, Bach & Park, 1999; Graham & Spriet, 1991, 1995). Todavia o seu efeito ergogênico é ainda bastante controverso, visto que aparentemente outros mecanismos podem estar associados à sua ação melhorando o desempenho em diferentes tipos de exercício (Spriet, 1995).

Segundo Spriet (1995), existem pelo menos três teorias que podem tentar explicar o efeito ergogênico da cafeína durante o exercício físico. A primeira envolve o efeito direto da cafeína em alguma porção do sistema nervoso central, afetando a percepção subjetiva de esforço e/ou a propagação dos sinais neurais entre o cérebro e a junção neuromuscular. Assim, acredita-se que a ação estimulante da cafeína no SNC envolve a estimulação do sistema nervoso simpático, aumentando a liberação e, conseqüentemente, a ação das catecolaminas, particularmente a epinefrina (Rachima-Maoz, Peleg & Rosenthal, 1998; Yamada, Nakazato &

Ohga, 1989). Contudo, essa hipótese é ainda extremamente especulativa, haja vista as grandes limitações que envolvem esse tipo de investigação, particularmente em seres humanos, pela falta de medidas diretas e objetivas.

A segunda teoria pressupõe o efeito direto da cafeína sobre co-produtos do músculo esquelético. As possibilidades incluem: alteração de íons, particularmente sódio e potássio; inibição da fosfodiesterase (PDE), possibilitando um aumento na concentração de adenosina monofosfato cíclica (AMPc); efeito direto sobre a regulação metabólica de enzimas semelhantes às fosforilases (PHOS); e aumento na mobilização de cálcio através do retículo sarcoplasmático, o qual contribui para o potencialização da contração muscular (Sinclair & Geiger, 2000; Spriet, 1995). Essas possibilidades têm sido levantadas a partir de investigações *in vitro*, onde altas concentrações de cafeína são empregadas na tentativa de demonstrar seus efeitos (Issekutz, 1984; Yamada et alii, 1989). Entretanto, acredita-se que a concentração de cafeína necessária para inibir a PDE e a PHOS e, conseqüentemente, desencadear uma série de reações metabólicas são bem superiores às utilizadas naqueles estudos (Spriet, 1995).

Aparentemente a cafeína pode agir diretamente sobre o músculo, potencializando sua capacidade de realizar exercícios físicos (Lopes, Aubier, Jardim, Aranda & Macklem, 1983). A hipótese atualmente aceita para essa ocorrência estabelece que a cafeína age sobre o retículo sarcoplasmático aumentando sua permeabilidade ao cálcio, tornando este mineral prontamente disponível para o processo de contração muscular. Assim, é provável que a cafeína possa influenciar a sensibilidade das miofibrilas ao cálcio (Pinto & Tarnopolsky, 1997; Roy, Tarnopolsky, MacDougall & Hicks, 1994).

Segundo Pagala & Taylor (1998), o mecanismo de ação do cálcio induzido pela ação da cafeína parece agir de forma diferenciada nas fibras musculares do tipo I e II, visto que as fibras de contração lenta (tipo I) são mais sensíveis à ação da cafeína do que as fibras musculares de contração rápida (tipo II).

A terceira teoria diz respeito ao aumento na oxidação das gorduras e redução na oxidação de carboidratos (CHO). Acredita-se que a cafeína gera um aumento na mobilização dos ácidos graxos livres dos tecidos e/ou nos estoques intramusculares. Esse efeito supostamente ocorreria de maneira indireta por meio do aumento na produção de catecolaminas na circulação, particularmente a epinefrina ou, diretamente, antagonizando os receptores de adenosina que normalmente inibem a mobilização dos ácidos graxos livres (AGLs), aumentando a oxidação da gordura muscular e reduzindo a oxidação de CHO (Sinclair & Geiger, 2000). Atualmente, acredita-se que a melhora no rendimento nos exercícios físicos ocorra devido ao aumento na disponibilidade de CHO, visto que sua acentuada depleção tem sido apontada como um fator limitante para o desempenho físico (Graham, Rush & Van Soeren, 1994).

EFEITO DA CAFEÍNA EM EXERCÍCIOS DE CURTA DURAÇÃO E ALTA INTENSIDADE

Poucos estudos têm procurado investigar os efeitos ergogênicos da cafeína sobre o desempenho físico em exercícios de alta intensidade e curta duração (força, velocidade e potência). Além disso, os resultados encontrados até o momento têm sido bastante controversos, impossibilitando conclusões mais definitivas a esse respeito.

As maiores dificuldades para interpretação dos resultados produzidos por esses estudos concentram-se nos diferentes delineamentos utilizados, nas diferentes doses de cafeína administradas, nas diferenças entre os protocolos experimentais que muitas vezes combinam exercícios predominantemente aeróbios e anaeróbios, na falta de uma maior rigidez metodológica no controle de variáveis supostamente envolvidas no processo, dentre outras. Alguns desses estudos serão abordados a seguir, contudo os pontos-chaves desses estudos são apresentados com mais detalhes na TABELA 2.

TABELA 2 - Efeitos da suplementação de cafeína em exercícios físicos de curta duração e alta intensidade.

Investigadores	N	Sexo	População	Dose de Cafeína	Tipo de teste	Efeito ergogênico?	Comentários
Anselme et alii (1992)	14	10 M 4 F	Não-treinados	250 mg	F-V Exercise test com cargas progressivas (2, 4, 6, 8 kg), cada qual com duração de 6 s.	Sim	Aumento significativa na potência anaeróbia máxima (7%) e na concentração de lactato.
Bond et alii (1986)	12	M	Treinados	5 mg/kg	6 RM de flexão e extensão de joelho à velocidade de 30°, 150° e 300° s ⁻¹ .	Não	Não se constatou aumento significativo nos picos de torque, na potência e no índice de fadiga.
Collomp et alii (1990)	7	M	Não-treinados	250 mg	Cicloergômetro a 100% do VO ₂ máx.	Não	Aumento não-significante na resistência (9%).
Collomp et alii (1991)	6	3 M 3 F	Não-treinados	5 mg/kg	Wingate (30 s).	Não	Não se constatou aumento significativo no tempo de alcance da potência-pico e no trabalho total.
Collomp et alii (1992)	14	M	7 não-treinados e 7 treinados	250 mg	2 tiros de 100 metros com 20 min de intervalo entre cada um.	Sim	Aumento significativa no primeiro e segundo tiro de 100 m (2 e 4%, respectivamente).
Doherty (1998)	9	M	Treinados	5 mg/kg	Corrida de alta intensidade em esteira (3-4 min) à 125% do VO ₂ máx.	Sim	Aumento significativa no tempo de desempenho até a exaustão e no débito máximo de O ₂ acumulado.
Falk et alii (1989)	10	M	Treinados	5 mg/kg	Cicloergômetro a 90% do VO ₂ máx após marcha de 40 km a uma intensidade de 40% do VO ₂ máx.	Não	Não se constatou aumento significativo no tempo de desempenho até a exaustão.
Greer et alii (1998)	9	M	Não-treinados	6 mg/kg	4 X Wingate (30 s) com 4 min de recuperação entre cada série.	Não	Não se constatou aumento significativo na potência anaeróbia máxima.

continua

TABELA 2 Efeitos da suplementação de cafeína em exercícios físicos de curta duração e alta intensidade (continuação).

Investigadores	N	Sexo	População	Dose de Cafeína	Tipo de teste	Efeito ergogênico?	Comentários
Jackman et alii (1996)	14	11 M 3 F	Não-treinados e treinados	6 mg/kg	3 sprints em cicloergômetro com 2 min de recuperação entre eles.	Sim	Aumento significativo no tempo de desempenho até a exaustão.
Kalmar & Cafarelli (1999)	11	M	Não-treinados	6 mg/kg	Eletromiografia em músculo solear (50% de uma contração voluntária máxima)	Sim	Aumento significativo no tempo de desempenho até a exaustão (25,8%) e no total de contrações voluntárias máximas (3,5%).
Lopes et alii (1983)	13	M	Não-treinados	500 mg	Eletromiografia.	Sim	Aumento significativo na força durante esforço submáximo.
Páscoa et alii (1994)	8	M	Não-treinados	10 mg/kg	Dinamometria eletrônica.	Não	Não se constatou aumento significativo na força muscular.
Pinto & Tarnopolsky (1997)	23	11 M 12 F	Não-treinados	7 mg/kg	Eletromiografia nos dorsiflexores (15, 30 e 50 Hz).	Sim	Aumento significativo na força de contração máxima.
Roy et alii (1994)	5	M	Treinados	9 mg/kg	Eletromiografia em dorsiflexores (15, 30, 50 e 100 Hz).	Sim	Protelamento da fadiga muscular induzida a uma força tetânica de 100 Hz.
Wemple et alii (1997)	6	4 M 2 F	Treinados	8,7 mg/kg	Cicloergômetro a 60% do VO ₂ máx durante 180 min seguido de teste máximo à 80% do VO ₂ máx.	Não	Não se constatou aumento significativo no tempo de desempenho até a exaustão e na percepção subjetiva de esforço.
Wiles et alii (1992)	18	M	Treinados	150-250 mg	Simulação de corrida de 1.500 m.	Sim	Aumento significativo na velocidade de corrida e redução no tempo total de duração (4 s).

continua

TABELA 2 Efeitos da suplementação de cafeína em exercícios físicos de curta duração e alta intensidade (continuação).

Investigadores	N	Sexo	População	Dose de Cafeína	Tipo de teste	Efeito ergogênico?	Comentários
Willians et alii (1988)	9	M	Não-treinados	7 mg/kg	Wingate (15 s).	Não	Não se constatou aumento significativo no tempo de alcance da potência pico, no trabalho total e no índice de fadiga.
Wyss et alii (1986)	6	M	Não-treinados	30, 200 e 300 mg	Wingate (30 s).	Sim	Aumento significativo na potência e na capacidade anaeróbia após a ingestão de 300 mg.

Os estudos são apresentados em ordem alfabética.

Estudo conduzido por Lopes et alii (1983) não constatou qualquer efeito da suplementação de cafeína sobre a força muscular máxima durante contrações musculares voluntárias. Nesse mesmo estudo verificou-se que, durante um esforço submáximo, a administração de cafeína produz um aumento na força somente quando a frequência de estimulação é baixa. Tal efeito foi observado tanto antes quanto após a instalação do estado de fadiga muscular. Esses resultados são indicativos de um possível efeito ergogênico específico e direto da cafeína sobre o músculo esquelético quando estimulado em baixas frequências.

Roy et alii (1994) após analisarem a eletromiografia dos dorsoflexores de indivíduos saudáveis, constataram que a administração aguda de cafeína retarda a fadiga muscular quando induzida por uma força tetânica de 100 Hz.

Um aumento significativo na força de contração máxima foi observado por Pinto & Tarnopolsky (1997), após a ingestão de cafeína tanto em homens quanto em mulheres. Vale destacar que nesse estudo as mulheres apresentaram maior resistência à fadiga muscular.

Kalmar & Cafarelli (1999) investigaram o efeito da administração de cafeína sobre a função neuromuscular através de eletroestimulação. Os autores verificaram aumento significativo nas contrações voluntárias máximas (3,5%) e no tempo de execução até a instalação da fadiga muscular (25,8%). Para esses pesquisadores, parece que a cafeína aumenta a ativação voluntária máxima pela sua ação direta sobre o sistema nervoso central (SNC). Dessa forma, pode-se

especular que o mecanismo de ação periférica da cafeína atua em menor intensidade.

Em contrapartida, Bond, Gresham, McRae & Tearney (1986) investigaram o efeito da ingestão de cafeína sobre os níveis de força muscular avaliada em contrações voluntárias dinâmicas, e não observaram melhorias significantes. Os autores atribuíram o resultado, possivelmente, aos baixos teores de cafeína utilizados. Da mesma forma, Páscoa, Alvim & Rodrigues (1994) não observaram aumento na força muscular em homens saudáveis, avaliados por meio de dinamometria eletrônica

Williams, Signorile, Barnes & Henrich (1988) não verificaram aumento significativo na potência-pico máxima e na resistência muscular após a ingestão de cafeína em teste máximo de curta duração. Da mesma forma Collomp, Ahmaidi, Audran, Chanal & Prefaut (1991) não encontraram nenhuma alteração significativa no pico da potência e no trabalho total em teste de Wingate atrelada ao uso dessa substância.

Greer, MacLean & Graham (1998) não encontraram qualquer efeito ergogênico que pudesse ser atribuído ao uso de cafeína na potência máxima em exercício máximo de curta duração. De forma semelhante, Collomp, Caillaud, Audran, Chanal & Prefaut (1990) não encontraram diferenças significantes no tempo de desempenho até a exaustão após a administração de cafeína.

Por outro lado, Wyss, Gribando, Ganzit, Rienzi & Sperone (1986) observaram um aumento significativo na potência e na capacidade anaeróbia (6,0% e 15,7%, respectivamente) após a

administração de uma dosagem de 300 mg de cafeína. Do mesmo modo, Anselme, Collomp, Mercier, Ahmaidi & Prefaut (1992) constataram uma melhora significativa de 7% na potência anaeróbia máxima durante exercício supramáximo de carga progressiva após suplementação com cafeína.

Falk, Burstein, Ashilenazi, Spilberg, Alter, Zylber-Katz, Rubinstein, Bashan & Shapiro (1989) examinaram os efeitos da ingestão de cafeína no desempenho físico, logo após uma marcha de 40 km em pista a uma intensidade de 40% do VO_2 máx. Os autores não constataram melhora significativa no tempo de desempenho até a exaustão. Nesse sentido, Wemple, Lamb & McKeever (1997) também não observaram melhora significativa na percepção de esforço, bem como no tempo de exaustão, após administração de cafeína em protocolo de exercício físico de 180 minutos a 60% do VO_2 máx seguido por um teste máximo a 80% do VO_2 máx.

Entretanto, Jackman, Wendling, Friars & Graham (1996) afirmam que a ingestão de cafeína pode resultar em aumento da resistência muscular durante exercícios físicos intensos que levem à fadiga em até cinco minutos.

Mais recentemente, Doherty (1998), examinando o desempenho em corrida de alta intensidade (3-4 min), observou uma melhora significativa no débito máximo de oxigênio

acumulado e no tempo de exaustão após ingestão de cafeína.

Um estudo de campo realizado por Collomp, Ahmaidi, Chatard, Audran & Prefaut (1992) demonstrou aumento significativo na velocidade de nado após a ingestão de cafeína. Em estudo similar, Wiles, Bird, Hopkins & Riley (1992) verificaram que a ingestão de cafeína melhorou de forma significativa a velocidade e o tempo de corrida em uma prova de 1.500 metros (aproximadamente quatro segundos).

EFEITO DA CAFEÍNA SOBRE OS EXERCÍCIOS FÍSICOS PROLONGADOS

O efeito ergogênico da cafeína em exercícios de média e longa duração vem sendo estudado desde o final da década 70 (TABELA 3). O primeiro estudo nesse sentido foi realizado por Costill et alii (1978) que examinaram o efeito da ingestão de cafeína sobre o desempenho de ciclistas. Os resultados demonstraram um aumento significativo no tempo de desempenho até a exaustão (aproximadamente 21 minutos). Em seguida, Ivy et alii (1979) observaram que a ingestão de cafeína aumentou em 20% a quantidade total de trabalho produzido, em exercício físico com duração de duas horas.

TABELA 3 - Efeitos da suplementação de cafeína em exercícios físicos prolongados.

Investigadores	N	Sexo	População	Dose de cafeína	Tipo de teste	Efeito ergogênico?	Comentários
Alves et alii (1995)	8	M	Não-treinados	10 mg/kg	Cicloergômetro a 80% do VO_2 máx.	Não	Não se constatou melhora no desempenho físico.
Bell et alii (1998)	12	M	Não-treinados	5 mg/kg	Cicloergômetro a 85% do VO_2 máx até a exaustão.	Não	Não se constatou melhora no tempo de desempenho até a exaustão.
Berglund & Hemmingsson (1982)	14	9 M 5 F	Treinados	6 mg/kg	Corrida sob baixa (300 m) e alta altitude (2900 m) em intensidades equivalentes a 11,5 km/h e 23,1 km/h.	Sim	Melhora significativa no desempenho de corrida sob alta altitude (2,19% e 3,18% para baixa e alta intensidade, respectivamente).
Butts & Crowell (1985)	27	13 M 15 F	Não-treinados	300 mg	Cicloergômetro a 75% do VO_2 máx até exaustão.	Não	Aumento não-significante no tempo de desempenho até a exaustão para os homens (14,4%) e para as mulheres (3,1%).

continua

TABELA 3 Efeitos da suplementação de cafeína em exercícios físicos prolongados (continuação).

Investigadores	N	Sexo	População	Dose de cafeína	Tipo de teste	Efeito ergogênico?	Comentários
Cadarette et alii (1983)	13	8 M 5 F	Não-treinados	0; 2,2; 4,4; 8,8 mg/kg	Corrida de longa duração.	Sim	Aumento significativo no tempo de corrida com a ingestão de 4,4 mg/kg.
Cole et alii (1996)	10	M	Não-treinados	6 mg/kg	Cicloergômetro com intensidades equivalentes aos valores 9, 12 e 15 na escala de Borg (3 x 10 min).	Sim	Aumento significativo no trabalho total e na mobilização de glicérol e AGL.
Costill et alii (1978)	9	7 M 2 F	Treinados	330 mg	Cicloergômetro a 80% do VO ₂ máx até a exaustão.	Sim	Melhora significativa no tempo de desempenho (21 min), na percepção subjetiva de esforço e na mobilização de AGL.
Daniels et alii (1998)	10	3 M 7 F	Treinados	6 mg/kg	Cicloergômetro a 65% do VO ₂ máx durante 55 min.	Não	Não se constatou melhora no desempenho. Verificou-se aumento significativo nas concentrações de lactato, AGL, glicérol e glicose.
Denadai & Denadai (1998)	8	M	Não-treinados	5 mg/kg	Cicloergômetro com intensidades equivalentes a 10% abaixo e acima do limiar anaeróbio.	Sim	Aumento significativo no tempo de desempenho até exaustão a 10% abaixo do limiar anaeróbio e redução significativa na percepção subjetiva de esforço.
Engels et alii (1999)	8	7 M 1 F	Não-treinados	5 mg/kg	Cicloergômetro a 30% do VO ₂ máx durante 60 min.	Não	Aumento significativo no VO ₂ máx, no gasto energético e na pressão arterial sistólica e diastólica.
Engles & Haymes (1992)	8	M	Não-treinados	5 mg/kg	Caminhada a 30 e 50% do VO ₂ máx com duração de 60 min.	Sim	Aumento significativo na mobilização de AGL.
Essig et alii (1980)	7	M	Não-treinados	5 mg/kg	Cicloergômetro a 65-75% do VO ₂ máx durante 30 min.	Sim	Redução significativa na utilização de glicogênio (42%) e aumento na mobilização de triacilglicérolis musculares.

continua

TABELA 3 - Efeitos da suplementação de cafeína em exercícios físicos prolongados (continuação).

Investigadores	N	Sexo	População	Dose de cafeína	Tipo de teste	Efeito ergogênico?	Comentários
Ferrauti et alii (1997)	16	8 M 8 F	Treinados	5 mg/kg	Simulação de uma partida de tênis com duração de 240 min.	Sim	Melhora no desempenho físico das mulheres durante o esforço e no período de recuperação após o exercício.
Fisher et alii (1986)	8	M	Não-treinados	5 mg/kg	Corrida em esteira rolante a 75% do VO ₂ máx durante 60 min.	Sim	Aumentos significantes no desempenho de corrida e no VO ₂ máx (0,17 l/min).
Graham & Spriet (1991)	7	M	Treinados	9 mg/kg	Corrida em esteira rolante e cicloergômetro a 85% do VO ₂ máx até a exaustão.	Sim	Aumentos significantes no tempo de desempenho até a exaustão em ambos os ergômetros e na concentração plasmática de epinefrina.
Graham & Spriet (1995)	6	M	Treinados	3, 6 e 9 mg/kg	Corrida em esteira rolante a 85% do VO ₂ máx até a exaustão.	Sim	Aumento significativo no tempo de corrida com a ingestão de 3 e 6 mg/kg (aproximadamente 10 min).
Ivy et alii (1979)	9	7 M 2 F	Treinados	250 mg	Cicloergômetro a 60% do VO ₂ máx durante 120 min.	Sim	Aumento significativo na produção de trabalho total (7,4%), no VO ₂ máx (7,3%) e na oxidação de gorduras (31%).
Kaminsky et alii (1998)	14	M	Não-treinados	243-330 mg	Caminhada/corrida em esteira rolante a 30, 50 e 70% do VO ₂ máx.	Não	Não se constatou melhora no desempenho físico.
MacIntosh & Wright (1995)	11	7 M 4 F	Não-treinados	6 mg/kg	Simulação de prova de 1.500 m nado livre.	Sim	Redução significativa no tempo de nado em prova de 1.500 m.
McNaughton (1986)	12	M	Treinados	10 e 15 mg/kg	Corrida em esteira rolante a 70-75% do VO ₂ máx até a exaustão.	Sim	Aumento significativo no tempo de desempenho até a exaustão somente com ingestão de 15 mg/kg.
Paula Filho & Rodrigues (1985)	6	M	Não-treinados	500 mg	Cicloergômetro a 50, 75 e 85% do VO ₂ máx em velocidade constante de 60 rpm.	Sim	Aumento significativo no tempo de exaustão nas intensidades de 50 e 75% VO ₂ máx.

continua

TABELA 3 Efeitos da suplementação de cafeína em exercícios físicos prolongados (continuação).

Investigadores	N	Sexo	População	Dose de cafeína	Tipo de teste	Efeito ergogênico?	Comentários
Sasaki et alii (1987)	5	M	Treinados	300 mg	Corrida em esteira rolante a 80% VO ₂ máx até a exaustão	Sim	Aumento significativo no tempo de desempenho até a exaustão (aproximadamente 35%).
Sasaki et alii (1987)	7	M	Não-treinados	800 mg	Corrida progressiva em esteira rolante a 62-67% do VO ₂ máx até exaustão.	Não	Não se constatou melhora no tempo de corrida até a exaustão.
Spriet (1992)	8	M	Treinados	9 mg/kg	Cicloergômetro a 80% do VO ₂ máx até a exaustão.	Sim	Aumento significativo no tempo de desempenho (27%), na concentração plasmática de epinefrina e redução na depleção de glicogênio muscular (55%).
Trice & Haynes (1995)	8	M	Treinados	5 mg/kg	Cicloergômetro a 85-90% do VO ₂ máx com duração total de 120 min (4 x 30 min) e 5 min de repouso entre cada série.	Sim	Aumento na mobilização AGL.
Van Baak & Saris (2000)	15	M	Não-treinados	5 mg/kg	Cicloergômetro progressivo com aumento de 50 W a cada 2,5 min até se atingir a frequência cardíaca de 160 bpm. A partir daí, incrementos de 25 W a cada 2,5 min até a exaustão.	Sim	Aumento significativo no tempo de corrida até a exaustão.
Van Soeren & Graham (1993)	6	M	Treinados	6 mg/kg	Cicloergômetro a 80-85% do VO ₂ máx até a exaustão.	Sim	Aumento significativo no tempo de exaustão, na mobilização de AGL e na concentração plasmática de epinefrina.
Van Soeren et alii (1993)	14	M	Não-treinados	5 mg/kg	Cicloergômetro a 50% do VO ₂ máx durante 60 min.	Sim	Aumento significativo na concentração plasmática de epinefrina em usuários e não-usuários habituais de cafeína.

Os estudos são apresentados em ordem alfabética.

Posteriormente, Essig et alii (1980) observaram uma redução de 42% na utilização do glicogênio muscular e um aumento na utilização de triglicérides musculares em indivíduos suplementados com cafeína. Esses achados referentes à ação metabólica da cafeína parecem favorecer a melhoria no desempenho em exercícios físicos prolongados.

Paula Filho & Rodrigues (1985) investigaram os efeitos ergogênicos da cafeína em três níveis de intensidade (50, 75 e 85% do VO_2 máx) e verificaram um aumento significativo no tempo de desempenho até a exaustão nas intensidades de 50 e 75% do VO_2 máx. De forma semelhante, Engels & Haymes (1992) observaram um aumento significativo na mobilização da gordura como substrato energético durante caminhada de 60 minutos em esteira rolante com intensidade de 30 e 50% VO_2 máx após suplementação com cafeína. Entretanto acredita-se que a cafeína interfira muito pouco na utilização de substratos energéticos durante exercício prolongado.

Mais recentemente, Cole, Costill, Starling, Goodpaster, Trappe & Fink (1996) encontraram um acréscimo significativo na produção de trabalho total (12,6%) em exercício de 30 minutos com aumento progressivo de intensidade (9, 12 e 15 na escala de Borg) após a administração de cafeína, todavia os níveis de percepção de esforço se mantiveram constantes, indicando dessa forma que a melhoria observada na capacidade de trabalho não depende dos níveis de percepção de esforço atingidos.

Em contrapartida, Denadai & Denadai (1998), estudando os possíveis efeitos da ingestão de cafeína sobre o desempenho físico sob duas diferentes intensidades, 10% abaixo e 10% acima do limiar anaeróbio, observaram que a percepção subjetiva de esforço foi significativamente reduzida e o tempo de exaustão aumentado no exercício com intensidade abaixo do limiar anaeróbio. Entretanto, os autores não observaram melhora significativa dessas variáveis no exercício com intensidade acima do limiar anaeróbio. Pode-se especular, assim, que a redução da percepção subjetiva de esforço, observada após a ingestão de cafeína, também possa contribuir para a melhoria do desempenho físico.

Em relação a estudos conduzidos sem variação de intensidade, Sasaki, Maeda, Usui & Ishiko (1987) constataram um aumento significativo no desempenho físico (aproximadamente 35%) em indivíduos exercitados

por meio de corrida prolongada a 80% do VO_2 máx. De forma semelhante, o efeito ergogênico da cafeína foi demonstrado em corredores de elite exercitados a 80 e a 85% do VO_2 máx tanto em corrida em esteira quanto em cicloergômetro (Graham & Spriet, 1991; Spriet, MacLean, Dyck, Hultman, Cederblad & Graham, 1992). Similarmente, Trice & Haymes (1995) verificaram um aumento significativo de 29% no tempo de exaustão após ingestão de cafeína em atletas submetidos a corrida intermitente, sob alta intensidade (85-90% do VO_2 máx).

Bell et alii (1998) investigaram o efeito da administração de cafeína isoladamente, bem como conjugada a efedrina, observando um aumento significativo nos ácidos graxos livres, glicerol e lactato, após ingestão de cafeína pura. Por outro lado, foi constatada melhoria significativa no tempo de desempenho até a exaustão somente na forma conjugada. De acordo com os achados parece que a cafeína altera as funções metabólicas porém estas alterações são insuficientes para prolongar o tempo de exaustão durante o exercício.

Daniels, Mole, Shaffrath & Stebbins (1998) constataram que a cafeína pode modificar as respostas cardiovasculares em exercício dinâmico da mesma forma que pode modificar o fluxo e a condução sanguínea em estudo com atletas de ciclismo que ingeriram cafeína antes e durante a prática de exercícios físicos.

Nesse sentido, Engels, Wirth, Celik & Dorsey (1999) observaram aumentos significantes no consumo máximo de oxigênio, no gasto energético, na pressão arterial sistólica e diastólica após a administração de cafeína. Esses achados podem ser atribuídos à ação termogênica da cafeína a qual parece ser mediada por uma maior transferência na oxidação de substratos, alterando assim a dinâmica cardiovascular.

Cadarette, Levine, Berube, Posnerb & Evans (1983) investigaram o efeito de várias doses de cafeína sobre o tempo de corrida em um grupo de homens e mulheres e constataram um aumento significativo no tempo de corrida somente após a ingestão de 4,4 mg de cafeína por quilograma de peso corporal. Também em corridas prolongadas, McNaughton (1986) examinou o efeito de diferentes doses de cafeína sobre o tempo de desempenho até a exaustão e verificou uma melhora significativa somente após a ingestão da dose mais elevada (15 mg/kg de peso corporal).

Mais recentemente, Graham & Spriet (1995), investigando os efeitos de três diferentes doses de cafeína, constataram um aumento

significante no tempo de corrida (aproximadamente 10 minutos) após a ingestão de cafeína nas doses de 3 e 6 mg/kg de peso corporal.

Van Soeren, Sathasivam, Spriet & Graham (1993), estudando as respostas da administração de cafeína sobre o exercício prolongado em consumidores e não-consumidores de produtos cafeinizados, verificaram que o uso de cafeína tanto a curto quanto a longo prazo influencia o metabolismo e interfere nas respostas adrenérgicas. Por outro lado, Van Soeren & Graham (1998), investigando o efeito da ingestão de cafeína em três situações diferentes, uma com ingestão normal de cafeína na dieta, e outras duas com a retirada de cafeína da dieta dois e quatro dias, respectivamente, antes do experimento constataram um aumento significativo no tempo de exaustão nas três condições do experimento. Esses achados aparentemente não estão relacionados às mudanças metabólicas e hormonais nem mesmo à habituação à cafeína, mas possivelmente à ação direta da cafeína sobre os tecidos.

Estudos de campo têm apontado a cafeína como um agente ergogênico bastante eficiente. Berglund & Hemmingsson (1982) demonstraram que a ingestão de cafeína resultou na melhoria no desempenho físico de corredores em prova de "cross-country" tanto em baixa altitude (300 m acima do nível do mar) quanto em alta (2900 m); contudo, apenas na altitude mais elevada esta melhora foi significativa. Da mesma forma, foi verificado um possível efeito ergogênico da cafeína no desempenho em prova de nado de 1.500 metros e durante uma partida ininterrupta de tênis com duração de quatro horas (Ferrauti, Weber & Struder, 1997; MacIntosh & Wright, 1995).

Apesar de um grande número de pesquisas demonstrarem que a ingestão de cafeína melhora o desempenho físico, alguns estudos não conseguiram confirmar tal hipótese.

Powers et alii (1983) não observaram melhora no desempenho físico em esforço progressivo em indivíduos bem-treinados, suplementados com cafeína, ocorrência essa também observada por Butts & Crowell (1985).

Sasaki, Takaoka & Ishiko (1987) foram outros que não observaram qualquer melhora no desempenho físico de indivíduos submetidos à corrida prolongada, com duração de 120 minutos e intensidade variando entre 62-67% do VO_2 máx.

Alves, Ferrari-Auarek, Pinto, Sá, Viveiros, Pereira, Ribeiro & Rodrigues (1995) estudaram o efeito da cafeína pura e da cafeína

conjugada ao triptofano, concluindo que a cafeína pura aparentemente não afeta os parâmetros fisiológicos antes, durante e após a aplicação do exercício. Resultados semelhantes foram encontrados por Kaminsky, Martin & Whaley (1998) em estudo onde foram comparados sujeitos consumidores habituais e não-habituais de cafeína.

Mais recentemente, Van Baak & Saris (2000), utilizando-se de uma fórmula conjugada, cafeína mais propranolol (bloqueador β adrenérgico), não encontraram associação entre a melhora no desempenho e o aumento na concentração de ácidos graxos livres e/ou redução na concentração plasmática de potássio durante o exercício. Tais achados, segundo os autores, não sustentam a hipótese de que a cafeína melhora o desempenho físico pela estimulação da lipólise e pela baixa concentração de potássio.

Verifica-se na maioria desses estudos que o estado nutricional, o estado de aptidão física individual, além da tolerância à cafeína (habituação ou não à cafeína) dos indivíduos estudados não têm sido controlados. Dentre essas variáveis a caracterização da habituação à cafeína tem demonstrado ser de grande relevância. A habituação é atingida a partir da ingestão de 100 mg diárias, ou seja, o correspondente a aproximadamente 2 ½ xícaras de café. Essa quantidade, ingerida diariamente, pode neutralizar as respostas metabólicas desencadeadas pela ingestão de cafeína (Simões & Campbell, 1998).

Segundo Fisher, McMurray, Berry, Mar & Forsythe (1986), indivíduos habituados ao uso de cafeína, após interromperem o seu uso, exibem alterações significativas no metabolismo e no desempenho físico. Tais modificações não têm sido observadas em indivíduos habituados e que mantêm ininterruptamente o uso de cafeína.

EFEITO DIURÉTICO DA CAFEÍNA DURANTE O EXERCÍCIO FÍSICO

A cafeína tem sido apontada como uma substância que induz efeito diurético (Williams, 1995). Este efeito tem sido atribuído ao aumento nos níveis circulantes de catecolaminas (Bellet, Roman, DeCastro, Kim & Kershbaum, 1969; Massey & Wise, 1984; Wemple et alii, 1997). No entanto, o efeito diurético da cafeína parece depender da dosagem ingerida (Brouns, Kovacs & Senden, 1998).

Segundo Spriet (1995), a ingestão de uma grande quantidade de cafeína pode levar o

indivíduo a uma redução do nível de hidratação antes e durante o exercício físico. Aparentemente, o efeito diurético e a conseqüente perda de peso podem ser benéficos para atletas praticantes de provas como salto em altura, salto em distância e salto com vara, possibilitando uma melhoria nos resultados (Williams, 1995). Algumas pesquisas têm demonstrado que a ingestão de cafeína provoca um aumento na produção de urina durante e após exercício, portanto pode ser atribuída a ela o efeito diurético durante o exercício prolongado (Duthel et alii, 1991; Van Der Merwe, Luus & Barnard, 1992), fato esse também observado por Gonzalez-Alonso, Heaps & Coyle (1992) que constataram um aumento na produção de urina após a realização de exercício físico, durante o qual os indivíduos ingeriram um produto cafeinado (Diet Cola).

Recentemente, Brouns et alii (1998) constataram que a ingestão de cafeína, após a prática de exercícios físicos resulta em um balanço eletrolítico negativo, e a ingestão de bebidas contendo cafeína potencializa a excreção de magnésio e cálcio na urina.

Entretanto, Gordon, Myburgh, Kruger, Kempff, Cilliers, Moolman & Grobler (1982), após administrarem 5 mg de cafeína por quilograma de peso corporal em cinco sujeitos, não encontraram diferenças significantes na sudorese, na temperatura retal, no volume plasmático, no déficit de água e nos níveis de eletrólitos séricos, quando comparados com o grupo controle. Segundo esses autores o uso de cafeína como agente ergogênico por jovens atletas parece ser um procedimento relativamente seguro.

De forma semelhante, Massey & Wise (1984) não verificaram qualquer efeito diurético em 12 mulheres saudáveis após o uso de diferentes doses de cafeína (150 mg, 300 mg e placebo).

Falk et alii (1990) também não observaram mudanças na temperatura retal, na perda de suor e no volume plasmático durante a prática de exercícios físicos após a ingestão de 5 mg de cafeína por quilograma de peso corporal.

Posteriormente Wemple et alii (1997) verificaram que a cafeína administrada através de bebidas concentradas aumenta a produção de urina em repouso. Esse mesmo resultado não foi encontrado durante o exercício prolongado e de intensidade moderada em cicloergômetro, demonstrando, ao menos aparentemente, que a cafeína não afeta o estado de hidratação corporal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A possibilidade de ocorrer alguma melhora no desempenho físico ocasionada pela ingestão de cafeína fez com que esta substância entrasse para lista de substâncias proibidas pelo Comitê Olímpico Internacional (COI) que estabeleceu o limite de 12 µg/ml de cafeína na urina como parâmetro para detecção de "doping" (Clarkson, 1996; Spriet, 1995; Williams, 1996). Tais níveis podem ser alcançados com uma ingestão de aproximadamente 9 mg de cafeína por quilograma de peso corporal o que equivaleria a ingestão de 3-6 copos de café forte (95-150 mg cafeína/250 ml) (Duthel et alii, 1991; Graham & Spriet, 1991; Sinclair & Geiger, 2000; Van Soeren, Sathasivam, Spriet & Graham, 1993).

Apesar disso, alguns estudos têm demonstrado uma melhoria no desempenho atlético após a ingestão de apenas 3 a 6 mg de cafeína por quilograma de peso corporal (Anselme et alii, 1992; Collomp et alii, 1992; Spriet, 1995), o que coloca em dúvida a eficiência dos limites impostos pelo COI.

Com relação à força muscular, estudos recentes têm apontado um aumento da força muscular acompanhado de uma maior resistência à instalação do processo de fadiga muscular após a ingestão de cafeína. Ainda não está totalmente claro qual o mecanismo de ação responsável pelo aumento da força muscular; todavia, acredita-se que isso ocorra em maior intensidade muito mais pela ação direta da cafeína no SNC do que pela sua ação em nível periférico.

Quanto aos exercícios máximos e supramáximos de curta duração, os resultados têm-se demonstrado controversos. Embora a maioria dos estudos dessa natureza venha demonstrando que a ingestão de cafeína melhora significativamente o desempenho físico em exercícios máximos de curta duração (até cinco minutos), o mesmo não se pode dizer com relação a tais exercícios quando precedidos por exercícios submáximos prolongados, quando o desempenho físico parece não sofrer qualquer alteração. Entretanto, esses resultados necessitam de confirmação, assim como de um maior esclarecimento quanto aos mecanismos de ação da cafeína nesses tipos de esforços.

Com relação aos exercícios físicos prolongados os resultados sugerem que o uso da cafeína promove uma melhoria na eficiência metabólica dos sistemas energéticos durante o esforço. Além disso, o suposto efeito diurético

provocado pelo uso dessa substância, acarretando aumento no volume de urina, e portanto uma maior perda hídrica durante o esforço, não tem sido confirmado na prática. Sendo assim, a ingestão de pequenas doses de cafeína antes de exercícios físicos prolongados não parece afetar negativamente o desempenho físico nesses esforços, visto que o comprometimento do estado de hidratação corporal parece estar relacionado

somente ao emprego de mega-doses desta substância (Wemple, Lamb & Bronstein, 1994).

Por fim, vale ressaltar que diversos fatores como as dosagens de cafeína empregadas, o tipo de exercício físico utilizado, o estado nutricional, o estado de aptidão física individual, além da tolerância à cafeína (habituação ou não à cafeína) podem influenciar a análise dos resultados apresentados por esses diferentes estudos.

ABSTRACT

ERGOGENIC EFFECTS OF CAFFEINE ON PERFORMANCE

The caffeine is a substance that doesn't present nutritional value being classified as an alkaloid with pharmacological effects of stimulating action on central nervous system (CNS). However, this substance has been considered a nutritional aid by being present in several drinks consumed daily, such as coffee, coke, teas, and some soft drinks with guarana in its composition. The use of this substance has become quite common in the sports through the years, particularly for athletes that dispute resistance competition. The possibility of improvement of the physical performance put this alkaloid in the list of prohibited substances for the International Olympic Committee (COI), which established the limit of 12 caffeine $\mu\text{g/ml}$ in the urine as parameter for doping detection. Some studies have been demonstrating that those levels can be reached with the ingestion of approximately 9 mg/kg of body weight of caffeine. Though, more recent studies have been evidencing improvement in the athletic performance with ingestion of just 3 to 6 mg/kg for body weight of caffeine. Such observations seem to place in risk the tolerable limit specified by COI, what could favor the improvement of the performance by the users. These facts demonstrate the need of more investigations on the ergogenic effect of the amount of caffeine ingestion and possibly of revision on the tolerable levels to be ingested.

UNITERMS: Caffeine; Doping; Ergogenic aid; Athletic performance.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M.N.; FERRARI-AUAREK, W.M.; PINTO, K.M.C.; SÁ, K.R.; VIVEIROS, J.P.; PEREIRA, H.A.A.; RIBEIRO, A.M.; RODRIGUES, L.O.C. Effects of caffeine on tryptophan on rectal temperature, metabolism, total exercise time, rate of perceived exertion and heart rate. *Journal of Medical Biology Research*, v.28, n.6, p.705-9, 1995.

ANJOS, L.A. Cafeína e atividade física prolongada: revisão de literatura. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, v.1, n.1, p.27-36, 1987.

ANSELME, F.; COLLOMP, K.; MERCIER, B.; AHMAIDI, S.; PREFAUT, C. Caffeine increases maximal anaerobic power and blood lactate concentration. *European Journal of Applied Physiology*, v.65, n.2, p.188-91, 1992.

APPLEGATE, E. Effective nutritional ergogenic aids. *International Journal of Sport Nutrition*, v.9, n.2, p.229-39, 1999.

BELL, D.G.; JACOBS, I.; ZAMECNIK, J. Effects of caffeine, efedrine and their combination on time to exhaustion during high-intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology*, v.77, n.2, p.427-33, 1998.

BELLET, S.; KERSHBAUM, A.; FINK, E.M. Response of free fatty acids to coffee and caffeine. *Metabolism*, v.17, n.9, p.702-7, 1968.

BELLET, S.; ROMAN, L.; DeCASTRO, O.; KIM, K.E.; KERSHBAUM, A. Effect of coffee ingestion on catecholamine release. *Metabolism*, v.18, n.3, p.288-91, 1969.

BERGLUND, B.; HEMMINGSSON, P. Effects of caffeine ingestion on exercise performance at low and high altitudes in cross-country skiers. *International Journal of Sports Medicine*, v.3, n.4, p.234-6, 1982.

BOND, V.; GRESHAM, K.; McRAE, J.; TEARNEY, R.J. Caffeine ingestion and isokinetic strength. *British Journal of Sports Medicine*, v.20, n.3, p.135-7, 1986.

- BROUNS, F.; KOVACS, E.M.; SENDEN, J.M. The effect of different rehydration drinks on post-exercise electrolyte excretion in trained athletes. **International Journal of Sports Medicine**, v.19, n.1, p.56-60, 1998.
- BUTTS, N.K.; CROWELL, D. Effect of caffeine ingestion on cardiorespiratory endurance in men and women. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v.56, n.4, p.301-5, 1985.
- CADARETTE, B.; LEVINE, L.; BERUBE, C.; POSNERB, B.; EVANS, W. Effects of varied dosages of caffeine on endurance exercise to fatigue. In: KNUTTGEN, H.G.; VOGEL, J.; POORTMANS, J., eds. **Biochemistry of exercise**. Champaign, Human Kinetics, 1983. p.871-6.
- CLARKSON, P.M. Nutrition for improved sports performance. Current issues on ergogenic aids. **Sports Medicine**, v.21, n.6, p.393-401, 1996.
- _____. Nutritional ergogenic aids: caffeine. **International Journal of Sport Nutrition**, v.3, n.1, p.103-11, 1993.
- COLE, K.J.; COSTILL, D.L.; STARLING, R.D.; GOODPASTER, B.H.; TRAPPE, S.W.; FINK, W.J. Effects of caffeine ingestion on perception of effort and subsequent work production. **International Journal of Sport Nutrition**, v.6, n.2, p.14-23, 1996.
- COLLOMP, K.; AHMAIDI, S.; AUDRAN, M.; CHANAL, J.L.; PREFAUT, C. Effects of caffeine ingestion on performance and anaerobic metabolism during the Wingate test. **International Journal of Sports Medicine**, v.12, n.5, p.439-43, 1991.
- COLLOMP, K.; AHMAIDI, S.; CHATARD, J.C.; AUDRAN, M.; PREFAUT, C. Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. **European Journal of Applied Physiology**, v.64, n.4, p.377-80, 1992.
- COLLOMP, K.; CAILLAUD, C.; AUDRAM, M.; CHANAL, J.L.; PREFAUT, C. Effect of acute or chronic administration of caffeine on performance and on catecholamines during maximal cycle ergometer exercise. **Comptes Rendus des Seances de la Societe de Biologie et de Ses Filiales**, v.184, n.1, p.87-92, 1990.
- COSTILL, D.L.; DALSKY, G.; FINK, W. Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, v.10, n.3, p.155-8, 1978.
- DANIELS, J.W.; MOLÉ, P.A.; SHAFFRATH, J.D.; STEBBINS, C.L. Effects of caffeine on blood pressure, heart rate, and forearm blood flow during dynamic leg exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.85, n.1, p.154-9, 1998.
- DELBEKE, F.T.; DEBACHERE, M. Caffeine: use and abuse in sports. **International Journal of Sports Medicine**, v.5, n.4, p.179-82, 1984.
- DENADAI, B.S.; DENADAI, M.L. Effects of caffeine on time to exhaustion in exercise performance below and above the anaerobic threshold. **Journal of Medical Biology Research**, v.31, n.4, p.581-5, 1998.
- DOHERTY, M. The effects of caffeine on the maximal accumulated oxygen deficit and short-term running performance. **International Journal of Sport Nutrition**, v.8, p.95-104, 1998.
- DUTHEL, J.M.; VALLON, J.J.; MARTIN, G.; FERRET, J.M.; MATHIEU, R.; VIDEMAN, R. Caffeine and sport: role of physical exercise. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, v.23, n.8, p.980-5, 1991.
- ENGELS, H.J.; HAYMES, E.M. Caffeine ingestion on metabolic responses to prolonged walking in sedentary males. **International Journal of Sport Nutrition**, v.2, n.2, p.386-96, 1992.
- ENGELS, H.J.; WIRTH, J.C.; CELIK, S.; DORSEY, J.L. Influence of caffeine on metabolic and cardiovascular functions during sustained light intensity cycling and at rest. **International Journal of Sport Nutrition**, v.9, n.1, p.361-70, 1999.
- ESSIG, D.A.; COSTILL, D.L.; VAN HANDEL, P.J. Effects of caffeine ingestion on utilization of muscle glycogen and lipid during leg ergometer cycling. **International Journal of Sports Medicine**, v.1, n.1, p.86-90, 1980.
- FALK, B.; BURSTEIN, R.; ASHILENAZI, I.; SPILBERG, O.; ALTER, J.; ZYLBER-KATZ, E.; RUBINSTEIN, A.; BASHAN, N.; SHAPIRO, Y. The effect of caffeine ingestion on physical performance after prolonged exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v.59, n.3, p.168-73, 1989.
- FALK, B.; BURSTEIN, R.; ROSENBLUM, J.; SHAPIRO, Y.; ZYLBER-KATZ, E.; BASHAN, N. Effects of caffeine ingestion on body fluid balance and thermoregulation during exercise. **Journal of Physiology Pharmacological**, v.68, p.889-92, 1990.
- FERRAUTI, A.; WEBER, K.; STRUDER, H.K. Metabolic and ergogenic effects of carbohydrate and caffeine. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v.37, n.1, p.258-66, 1997.
- FILLMORE, C.M.; BARTOLI, L.; BACH, R.; PARK, Y. Nutrition and dietary supplements. **Physiology Medical Reability Clinical Nutrition American**, v.10, n.3, p.673-703, 1999.
- FISHER, S.M.; McMURRAY, R.G.; BERRY, M.; MAR, M.H.; FORSYTHE, W.A. Influence of caffeine on exercise performance in habitual caffeine users. **International Journal of Sports Medicine**, v.7, n.5, p.276-80, 1986.
- GONZALEZ-ALONSO, J.; HEAPS, C.L.; COYLE, E.F. Rehydration after exercise with common beverages and water. **International Journal of Sports Medicine**, v.13, n.5, p.399-406, 1992.
- GORDON, N.F.; MYBURGH, J.L.; KRUGER, P.E.; KEMPF, P.G.; CILLIERS, J.F.; MOOLMAN, J.; GROBLER, H.C. Effects of caffeine on thermoregulatory and myocardial function during endurance performance. **South African Medical Journal**, v.62, n.18, p.644-7, 1982.

- GRAHAM, T.E.; RUSH, J.W.; VAN SOEREN, M.H. Caffeine and exercise: metabolism and performance. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.19, n.2, p.111-38, 1994.
- GRAHAM, T.E.; SPRIET, L.L. Metabolic, catecholamine and exercise performance responses to varying doses of caffeine. **Journal of Applied Physiology**, v.78, n.3, p.867-74, 1995.
- _____. Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.71, n.6, p.2292-8, 1991.
- GREER, F.; McLEAN, C.; GRAHAM, T.E. Caffeine, performance and metabolism during repeated Wingate exercise tests. **Journal of Applied Physiology**, v.85, n.4, p.1502-8, 1998.
- ISSEKUTZ, B.J.R. Effect of beta-adrenergic blockade on lactate turnover in exercising dogs. **Journal of Applied Physiology**, v.57, n.6, p.1754-9, 1984.
- IVY, J.L.; COSTILL, D.L.; FINK, W.J.; LOWER, R.W. Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, v.11, n.1, p.6-11, 1979.
- JACKMAN, M.; WENDLING, A.; FRIARS, D.; GRAHAM, T.E. Metabolic, catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.81, n.4, p.1658-63, 1996.
- JACOBSON, B.H.; KULLING, F.A. Health and ergogenic effects of caffeine. **British Journal of Sports Medicine**, v. 23, n.1, p.34-40, 1989.
- KALMAR, J.M.; CAFARELLI, E. Effects of caffeine on neuromuscular function. **Journal of Applied Physiology**, v.87, n.2, p.801-8, 1999.
- KAMINSKY, L.A.; MARTIN, C.A.; WHALEY, M.H. Caffeine consumption habits do not influence the exercise blood pressure response following caffeine ingestion. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v.38, n.1, p.53-8, 1998.
- LOPES, J.M.; AUBIER, M.; JARDIM, J.; ARANDA, J.V.; MACKLEM, P.T. Effect of caffeine on skeletal muscle function before and after fatigue. **Journal of Applied Physiology**, v.54, n.5, p.1303-5, 1983.
- MacINTOSHI, B.R.; WRIGHT, B.M. Caffeine ingestion and performance of a 1.500 meter swim. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.20, n.2, p.168-77, 1995.
- McNAUGHTON, L.R. The influence of caffeine ingestion on incremental treadmill running. **British Journal of Sports Medicine**, v.20, n.3, p.109-12, 1986.
- MASSEY, L.K.; WISE, K.J. The effect of dietary caffeine on urinary excretion of calcium, magnesium, sodium and potassium in healthy young females. **Nutrition Research**, v.4, n.1, p.43-50, 1984.
- NEHLIG, A.; DEBRY, G. Caffeine and sports activity: a review. **International Journal of Sports Medicine**, v.15, p.215-23, 1994.
- PAGALA, M.K.; TAYLOR, S.R. Imaging caffeine induced Ca^{2+} transients in individual fast-twitch and slow-twitch rat skeletal muscle fibers. **American Journal of Physiology**, v.274, n.3, p.C623-32, 1998.
- PÁSCOA, M.R.S.; ALVIM, C.R.; RODRIGUES, L.O.C. Efeitos da cafeína sobre a força muscular. **Revista Mineira de Educação Física**, v.2, n.2, p.56, 1994.
- PAULA FILHO, U.; RODRIGUES, L.O.C. Estudo do efeito da cafeína em diferentes níveis de exercício. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, v.6, n.2, p.139-46, 1985.
- PINTO, S.; TARNOPOLSKY, M. Neuromuscular effects of caffeine in males and females. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.22, p.S48, 1997.
- POWERS, S.K.; BYRD, R.J.; TULLEY, R.; CALLENDER, T. Effects of caffeine ingestion on metabolism and performance during graded exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v.50, n.3, p.301-7, 1983.
- RACHIMA-MAOZ, C.; PELEG, E.; ROSENTHAL, T. The effects of caffeine on ambulatory blood pressure in hypertensive patients. **American Journal of Hypertension**, v.11, p.1426-32, 1998.
- RANG, H.P.; DALE, M.M. **Farmacologia**. 2.ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1993.
- RASSIER, D.J.E.; NATALI, A.J.; DE ROSE, E.H. Doping sanguíneo no esporte. **Revista Paulista de Educação Física**, v.10, n.1, p.76-86, 1996.
- ROGERS, C.C. Caffeine. **Sports Medicine**, v.13, n.3, p.38-40, 1985.
- ROY, B.; TARNOPOLSKY, M.; MacDOUGALL, J.D.; HICKS, A. Caffeine and neuromuscular fatigue in endurance athletes. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.19, p.S41, 1994.
- SASAKI, H.; MAEDA, J.; USUI, S.; ISHIKO, T. Effect of caffeine ingestion on performance of prolonged strenuous running. **International Journal of Sports Medicine**, v.8, n.4, p.261-5, 1987.
- SASAKI, H.; TAKAOKA, I.; ISHIKO, I. Effect of sucrose or caffeine ingestion on running performance and biochemical responses to of endurance running. **International Journal of Sports Medicine**, v.8, n.3, p.203-7, 1987.
- SIMÕES, H.G.; CAMPBELL, C.S.G. Recursos ergogênicos: suplementação de carboidratos, líquidos, monidrato de creatina, aminoácidos ramificados e cafeína. **Treinamento Desportivo**, v.3, n.2, p.52-61, 1998.
- SINCLAIR, C.J.D.; GEIGER, J.D. Caffeine use in sport: a pharmacological review. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v.40, n.1, p.71-9, 2000.
- SPRIET, L.L. Caffeine and performance. **International Journal of Sport Nutrition**, v.5, p.84-99, 1995.
- SPRIET, L.L.; MacLEAN, D.A.; DYCK, D.J.; HULTMAN, E.; CEDERBLAD, G.; GRAHAM, T.E. Caffeine ingestion and muscle metabolism during prolonged exercise in humans. **American Journal of Physiology**, v.262, n.6, p.E891-8, 1992.

- STEPHENSON, P.E. Physiologic and psychotropic effects of caffeine on man. **Journal of the American Dietetic Association**, v.71, n.3, p.240-7, 1977.
- THEIN, L.A.; THEIN, J.M.; LANDRY, G.L. Ergogenic aids. **Physiology of Applied Therapeutics**, v.75, n.5, p.426-39, 1995.
- TRICE, I.; HAYMES, E.M. Effects of caffeine ingestion on exercise induced changes during high-intensity, intermittent exercise. **International Journal of Sport Nutrition**, v.5, p.37-44, 1995.
- VAN BAAK, M.A.; SARIS, W.H.M. The effect of caffeine on endurance performance after nonselective β -adrenergic blockade. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, v.32, n.2, p.499-503, 2000.
- VAN DER MERWE, P.J.; LUUS, H.G.; BARNARD, J.G. Caffeine in sport. Influence of endurance exercise on the urinary caffeine concentration. **International Journal of Sports Medicine**, v.13, n.1, p.74-6, 1992.
- VAN SOEREN, M.H.; GRAHAM, T.E. Effects on metabolism, exercise endurance and catecholamine responses after withdrawal. **Journal of Applied Physiology**, v.85, n.4, p.1493-501, 1998.
- VAN SOEREN, M.H.; SATHASIVAM, P.; SPRIET, L.L.; GRAHAM, T.E. Caffeine metabolism and epinephrine responses during exercise in users and non-users. **Journal of Applied Physiology**, v.75, n.2, p.805-12, 1993.
- WEMPLE, R.D.; LAMB, D.R.; BRONSTEIN, A.C. Caffeine ingested in a fluid replacement beverage during prolonged exercise does not cause diuresis. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, v.26, n.5, p.S204, 1994.
- WEMPLE, R.D.; LAMB, D.R.; McKEEVER, K.H. Caffeine vs caffeine-free sport drinks: effects on urine production at rest and during prolonged exercise. **International Journal of Sports Medicine**, v.18, n.1, p.40-6, 1997.
- WILES, J.D.; BIRD, S.R.; HOPKINS, J.; RILEY, M. Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500-m treadmill running. **British Journal of Sports Medicine**, v.26, n.2, p.116-20, 1992.
- WILLIAMS, J.H.; SIGNORILE, J.F.; BARNES, W.S.; HENRICH, T.W. Caffeine, maximal power output and fatigue. **British Journal of Sports Medicine**, v.22, n.4, p.132-4, 1988.
- WILLIAMS, M.H. Ergogenic aids: a means to citius, altius, fortius, and olympic gold? **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v.67, n.3, p.58-64, 1996.
- _____. Nutritional ergogenics in athletics. **Journal of Sports Sciences**, v.13, p.S63-74, 1995.
- WYSS, V.; GRIBANDO, C.; GANZIT, G.P.; RIENZI, A.; SPERONE, G. Influenza di prodotti caffeinici sulla potenza e sulla capacità anaerobiche in soggetti giovani. **Medicina Dello Sport**, v.39, n.6, p.467-76, 1986.
- YAMADA, Y.; NAKAZATO, Y.; OHGA, A. The mode of action of caffeine on catecholamine release from perfused adrenal glands of cat. **British Journal of Pharmacology**, v.98, n.2, p.351-6, 1989.

Recebido para publicação em: 31 mar. 2000

Revisado em: 06 set. 2000

Aceito em: 02 out. 2000

ENDEREÇO: Leandro Ricardo Altimari
R. Prof. Samuel Moura, 328 apto. 1604
86061-060 - Londrina - PR - BRASIL
e-mail: emcyrino@sercomtel.com.br