

Cafeína e performance em exercícios anaeróbios

Leandro Ricardo Altimari^{1,2,3}, Antonio Carlos de Moraes^{1,2}, Julio Tirapegui^{1,3*},
Regina Lúcia de Moraes Moreau⁴

¹Grupo de Estudo e Pesquisa em Metabolismo, Nutrição e Exercício. Centro de Educação Física e Desportos, Universidade Estadual de Londrina, ²Departamento de Ciência do Esporte, Faculdade de Educação Física, Universidade de Campinas, ³Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, ⁴Departamento de Análises Clínicas e Toxicológicas, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo

O efeito ergogênico da cafeína sobre a performance em exercícios físicos anaeróbios ainda não está claro, da mesma forma que os mecanismos de ação envolvidos nesse tipo de esforço físico. As teorias que têm tentado explicar o efeito ergogênico da cafeína durante o exercício físico anaeróbio está relacionada ao efeito da cafeína em alguma porção do sistema nervoso central (SNC), e a propagação dos sinais neurais entre o cérebro e a junção neuromuscular, e também ao efeito da cafeína sobre o músculo esquelético, facilitando a estimulação-contracção do músculo esquelético. Alguns estudos têm indicado aumento da força muscular acompanhado de maior resistência à instalação do processo de fadiga muscular após a ingestão de cafeína. Sugere-se que isso ocorra muito mais pela ação direta da cafeína no SNC do que pela sua ação em nível periférico. Com relação aos exercícios máximos e supramáximos de curta duração, os estudos têm-se demonstrado controversos, embora a maior parte indique que a cafeína parece melhorar significativamente a performance em exercícios máximos de curta duração (<5 min), quando não precedidos por exercícios submáximos prolongados. Entretanto, esses resultados necessitam de confirmação, assim como de maior esclarecimento quanto aos mecanismos de ação da cafeína nesses tipos de esforços.

Unitermos

- Cafeína
- Ergogênico
- Performance
- Exercícios anaeróbios

*Correspondência:

J. Tirapegui
Departamento de Alimentos e Nutrição
Experimental
Faculdade de Ciências Farmacêuticas
Universidade de São Paulo
Av. Prof. Lineu Prestes, 580, Bloco 14
05508-900 - São Paulo, SP - Brasil
E-mail: tirapegu@usp.br

INTRODUÇÃO

Na busca do sucesso esportivo de alto nível, treinadores, nutricionistas, médicos e cientistas têm lançado mão de inúmeros recursos ergogênicos no intuito de

potencializar a performance atlética ou atenuar os mecanismos geradores de fadiga de seus atletas (Maughan, 1999; Juhn, 2003; Maughan, King, Lea, 2004).

A fadiga é apontada como fator limitante da performance atlética e constitui um fenômeno complexo

ou até mesmo um conjunto de fenômenos de interação simultânea com diferentes graus de influência, dependendo da natureza do exercício físico (Davis, Bailey, 1997). No processo de instauração da fadiga, deve ser considerado não apenas o componente periférico (Fitts, 1994), mas também o componente central, que por sua vez tem recebido crescente atenção dos pesquisadores (Rossi, Tirapegui, 1999).

Neste sentido, a utilização de alguns suplementos nutricionais e substâncias com potencial ergogênico tem se mostrado eficiente por 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, a performance atlética (Gomes, Tirapegui, 2000; Maughan, 2002; Pipe, Ayotte, 2002; Juhn, 2003; Coyle, 2004).

Desse modo, a cafeína tem sido utilizada como substância ergogênica de forma aguda, previamente à realização de exercícios anaeróbios (alta intensidade e curta duração), com o intuito de protelar a fadiga e, conseqüentemente, aprimorar a *performance*. Embora a maioria dos estudos não seja conclusiva em relação aos mecanismos responsáveis pelos efeitos da cafeína no metabolismo anaeróbio, os achados até o presente momento têm apontado a cafeína como um possível agente ergogênico em exercícios dessa natureza (Altimari *et al.*, 2000; Bucci, 2000; Graham, 2001A; Paluska, 2003).

CAFEÍNA

A cafeína (1,3,7-trimetilxantina) é um derivado da xantina, quimicamente relacionada com outras xantinas: teofilina (1,3-dimetilxantina) e teobromina (3,7-dimetilxantina). Elas se diferenciam pela potência de suas

ações farmacológicas sobre o sistema nervoso central (SNC) (Figura 1) (George, 2000).

Esta substância está presente em vários produtos consumidos diariamente, como o guaraná, o mate, o chocolate, o café, alguns refrigerantes e chás (Clarkson, 1993; Slavin, Joensen, 1995; Barone, Roberts, 1996). Esta também pode ser encontrada em alguns medicamentos como agente antagonizador do efeito calmante de certos fármacos (Spriet, 1995; Sinclair, Geiger, 2000). A Tabela I apresenta as principais fontes de cafeína na dieta.

TABELA 1 – Principais fontes de cafeína na dieta^a

Produto	Conteúdo de cafeína (mg)
Café (xícara 150 mL)	
Torrado e moído	85
Instantâneo	60
Descafeinado	3
Chá (xícara 150 mL)	
Folhas	30
Instantâneo	20
Chocolate	
Barra de chocolate ao leite (29 g) ^b	6
Barra de chocolate escuro (29 g) ^b	20
Achocolatados (180 mL)	4
Outros produtos (100 g)	5-20
Refrigerantes tipo cola (180 mL)	18
Coca-cola (lata 360 mL) ^c	46
Pepsi-cola (lata 360 mL) ^c	38

Adaptado de ^aBarone, Roberts (1996); ^bEllenhorn's Medical Toxicology (1997); ^cHarland (2000).

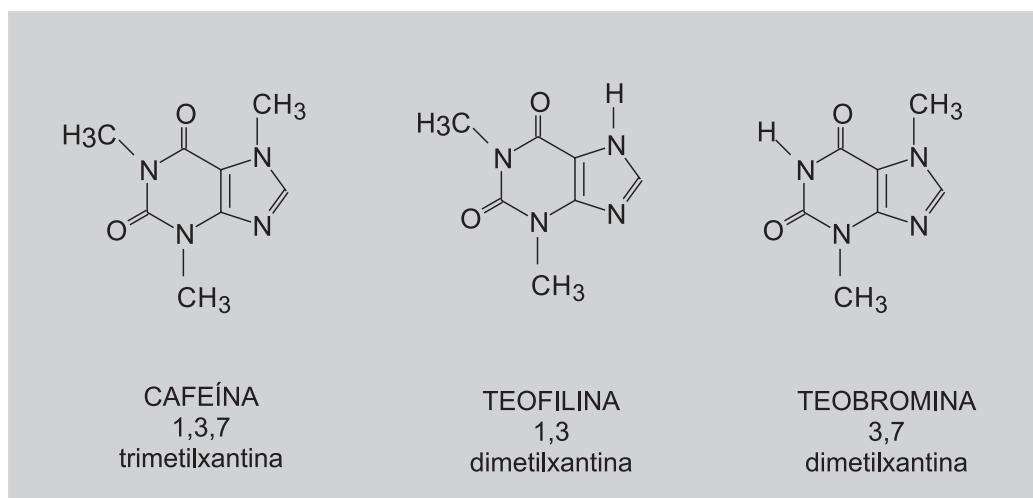


FIGURA 1 - Estrutura química da cafeína e metilxantinas relacionadas.

Nos últimos anos a cafeína tem sido alvo de inúmeros estudos envolvendo exercícios físicos com características aeróbias (moderados de média e longa duração), sendo que os achados até o presente momento têm demonstrado que esta substância é um eficiente agente ergogênico em exercícios físicos aeróbios (Braga, Alves, 2000; Altimari *et al.*, 2001; Graham, 2001b; Juhn, 2002; Spriet, Gibala, 2004).

A cafeína esteve incluída na lista de substâncias proibidas pela World Anti Doping Agency (WADA/2004) na classe de estimulantes (A) até final do ano de 2003. Entretanto, mais recentemente a retirou a cafeína da lista de substâncias proibidas, incluindo esta em um programa de monitoramento, o qual será feito por meio de acompanhamento na incidência de detecção do uso de cafeína pelos atletas.

ABSORÇÃO, BIOTRANSFORMAÇÃO E EXCREÇÃO

A cafeína é uma substância absorvida rapidamente e eficientemente, através do trato gastrointestinal após administração oral. A mesma parece não afetar as funções gastrointestinais quando ingerida de forma conjugada a diferentes soluções líquidas, como carboidrato e água (Sinclair, Geiger, 2000; Van Nieuwenhoven, Brummer, Brouns, 2000). Esta substância pode alcançar concentração máxima na corrente sanguínea entre 15 e 120 minutos após a sua ingestão (Sinclair, Geiger, 2000). Vale ressaltar que grande parte dos estudos utiliza o intervalo de 60 minutos entre a ingestão de cafeína e o início do exercício físico, uma vez que este parece ser o tempo em que se observa a maior concentração de cafeína na corrente sanguínea após ingestão (McLean, Graham, 1998; Graham, 2001A; Graham, 2001B).

A administração desta substância pode ser feita de diversas formas, dentre as quais destacamos a administração oral, intraperitoneal, injeções subcutânea ou intramuscular e também através da aplicação de supositórios (Wang, Lau, 1998; Sinclair, Geiger, 2000; Graham, 2001b). Sua ação pode atingir todos os tecidos, pois o seu transporte é feito via corrente sanguínea, sendo posteriormente degradada e excretada pela urina (Clarkson, 1993; Spriet, 1995; Sinclair, Geiger, 2000).

A biotransformação da cafeína ocorre em maior proporção no fígado, no qual existe maior concentração de citocromo P450 1A2, enzima responsável pelo metabolismo desta substância (Kalow, Tang, 1993; Sinclair, Geiger, 2000). Ocorre primeiramente a remoção do grupo metil nas posições 1 e 7, catalisada pelo citocromo P450 1A2, o que possibilita a formação de três grupos metilxantina

(Ferdholm, 1985). Em humanos, a maior parte do metabolismo da cafeína ocorre pela mudança na posição do grupo metil 1,3,7 possibilitando predominância (84%) na forma de paraxantina (1,7-dimetilxantina), seguida de teofilina (1,3-dimetilxantina) e de teobromina (3,7-dimetilxantina) (Sinclair, Geiger, 2000).

Embora a maior parte da biotransformação da cafeína ocorra no fígado, outros tecidos, incluindo o cérebro e o rim, também participam nesse processo, pelo importante papel na produção de citocromo P450 1A2 (Goabduff *et al.*, 1996). A cafeína é lentamente catabolisada, apresentando meia-vida de 4 a 6 horas (McLean, Graham, 1998).

Apesar de apenas 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; Graham, 2001a). Vale ressaltar que alguns fatores como a genética, a dieta, o uso de alguma droga, o sexo, o peso corporal, o estado de hidratação, o tipo de exercício físico praticado e o consumo habitual de cafeína, podem afetar seu metabolismo e, conseqüentemente, influenciar na quantidade urinária total excretada (Duthel *et al.*, 1991; Spriet, 1995; Sinclair, Geiger, 2000).

MECANISMOS DE AÇÃO E PERFORMANCE EM EXERCÍCIOS ANAERÓBIOS

Acredita-se que a cafeína possua mecanismos de ação central e periférica que podem desencadear importantes alterações metabólicas e fisiológicas, as quais parecem melhorar a performance atlética (Graham, Rush, Van Soeren, 1994; Graham, 2001a; Graham, 2001b). Todavia o seu efeito ergogênico é ainda bastante controverso, visto que aparentemente outros mecanismos podem estar associados à sua ação melhorando, a performance em diferentes tipos de exercício (Spriet, 1995).

Dessa forma, uma primeira teoria que pode tentar explicar o efeito ergogênico da cafeína durante o exercício físico anaeróbio, esta relacionada ao 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 (Spriet, 1995; Davis *et al.*, 2003). Acredita-se ainda que a ação estimulante da cafeína no SNC envolve a estimulação do sistema nervoso simpático, aumentando a liberação e, conseqüentemente, a ação das catecolaminas (Yamada, Nakazato, Ohga, 1989; Rachima-Maoz, Peleg, Rosenthal, 1998). Contudo, essa hipótese é ainda extremamente especulativa, haja vista as grandes limitações que envolvem esse tipo de investigação.

Uma segunda teoria pressupõe o efeito direto da cafeína sobre o 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 e, conseqüentemente, aumento dos níveis intracelulares de cálcio nos músculos, facilitando a estimulação-contracção do músculo esquelético, aumentando a eficiência da contracção (Spriet, 1995; Sinclair, Geiger, 2000; Davis *et al.*, 2003). Essas possibilidades têm sido levantadas a partir de investigações *in vitro*, em que altas concentrações de cafeína (10 a 80 mM) são empregadas na tentativa de demonstrar seus efeitos (Issekutz, 1984; Yamada, Nakazato, Ohga, 1989). Entretanto, acredita-se que as concentrações de cafeína necessárias para inibir a PDE e a PHOS e, conseqüentemente, desencadear série de reações metabólicas são bem superiores às utilizadas nesses estudos (Spriet, 1995).

Aparentemente, a cafeína pode agir diretamente sobre o músculo, potencializando sua capacidade de realizar exercícios físicos de alta intensidade e curta duração (Lopes *et al.*, 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 contracção muscular. Assim, é provável que a cafeína possa influenciar a sensibilidade das miofibrilas ao cálcio (Roy *et al.*, 1994; Pinto, Tarnopolsky, 1997).

Segundo Pagala e 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 contracção lenta (tipo I) são mais sensíveis à ação da cafeína do que as fibras musculares de contracção rápida (tipo II).

Poucos estudos têm procurado investigar os efeitos ergogênicos da cafeína sobre a *performance* 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 maior rigidez metodológica no controle de variáveis supos-

tamente envolvidas no processo, dentre outras. Alguns estudos que procuraram investigar os possíveis efeitos deste ergogênico (cafeína) sobre a *performance* em exercícios de alta intensidade e curta duração são apresentados com mais detalhes na Tabela 2.

Estudo conduzido por Lopes *et al.* (1983) não constatou qualquer efeito da suplementação de cafeína sobre a força muscular durante contrações voluntárias máximas (CVM) do músculo adutor do polegar. Nesse mesmo estudo verificou-se que, durante um esforço submáximo (50% CVM), a administração de cafeína produz aumento na força somente quando a frequência de estimulação é baixa (10, 20, 30 e 50 Hz). Tal efeito foi observado tanto antes quanto após a instalação do estado de fadiga muscular. Esses resultados são indicativos de possível efeito ergogênico específico e direto da cafeína sobre o músculo esquelético, quando estimulado em baixas frequências.

Roy *et al.* (1994), após analisarem a resposta dos músculos dorsi-flexores frente à estimulação elétrica em indivíduos sadios antes e após esforço submáximo (75 e 85% do VO_{2max}) em cicloergômetro, constataram que a administração aguda de cafeína retarda a fadiga muscular quando induzida por uma força tetânica de 100 Hz.

Aumento significativo na força de contracção máxima foi observado por Pinto e Tarnopolsky (1997), após a ingestão de cafeína tanto em homens quanto em mulheres submetidos a estimulação elétrica dos músculos dorsi-flexores. Vale destacar que nesse estudo as mulheres apresentaram maior resistência à fadiga muscular. Em contra-partida, Hespel *et al.* (2002), também utilizando-se de estimulação elétrica, porém em atividade intermitente, não constataram melhora significativa na força máxima, no tempo de contracção e tempo de relaxamento do músculo quadríceps após ingestão aguda de cafeína (60 minutos antes do esforço). Contudo, nesse mesmo estudo, quando a ingestão de cafeína foi realizada de forma crônica (por 3 dias seguidos), verificou-se melhora significativa na força máxima, no tempo de contracção e tempo de relaxamento do músculo quadríceps.

Kalmar e Cafarelli (1999) investigaram o efeito da administração de cafeína sobre a função neuromuscular por meio de sinais eletromiográficos. Os autores verificaram aumento significativo nas contrações voluntárias máximas (3,5%) e no tempo de execução das contrações até a instalação da fadiga muscular (25,8%) do músculo vasto lateral. Para esses pesquisadores, a cafeína aumenta a ativação voluntária máxima pela sua ação direta sobre o sistema nervoso central (SNC), indicando que o mecanismo de ação periférica da cafeína atua em menor intensidade.

TABELA II - Efeito ergogênico da cafeína sobre a performance em exercícios de curta duração e alta intensidade

Investigadores	N	Sexo	População	Dose de Cafeína	Tipo de teste	Efeito ergogênico	Comentários
Anderson <i>et al.</i> (2000)	8	M	Treinados	6 e 9 mg/kg	Prova de remo 2.000 metros	Sim	Aumento significativo no tempo de prova para as doses de 6 e 9 mg/kg (0,7% e 1,3%, respectivamente), determinadas nos 500 m iniciais
Anselme <i>et al.</i> (1992)	14	10 M 4 F	Não-treinados	250 mg	F-V <i>Exercise test</i> com cargas progressivas (2, 4, 6, 8 kg), cada qual com duração de 6 segundos.	Sim	Aumento significativo na potência anaeróbia máxima (7%) e na concentração de lactato
Bell <i>et al.</i> (2001)	8	M	Não-treinados	5 mg/kg	Cicloergômetro à 125% do VO ₂ máx – máximo déficit acumulado de O ₂ (MAOD)	Sim	Aumento significativo no tempo de exaustão, déficit acumulado de O ₂ , na concentração de lactato, glicose e catecolaminas
Bond <i>et al.</i> (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
Bruce <i>et al.</i> (2000)	8	M	Treinados	6 e 9 mg/kg	Prova de remo 2.000 metros	Sim	Aumento significativo no tempo de prova (1,2%) e na potência média (2,7%) em ambas as doses, 6 e 9 mg/kg
Collomp <i>et al.</i> (1990)	7	M	Não-treinados	250 mg	Cicloergômetro à 100% do VO ₂ máx	Não	Aumento não-significativo na resistência (9%)
Collomp <i>et al.</i> (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 <i>et al.</i> (1992)	14	M	7 não-treinados e 7 treinados	250 mg	2 tiros de 100 metros com 20 min de intervalo	Sim	Redução significativo no tempo de nado no 1° e 2° tiro de 100 m (2 e 4%, respectivamente)
Doherty (1998)	9	M	Treinados	5 mg/kg	Corrida em esteira à 125% do VO ₂ máx - máximo déficit acumulado de O ₂ (MAOD)	Sim	Aumento significativo no tempo de exaustão e no déficit acumulado de O ₂
Doherty <i>et al.</i> (2002)	14	M	Treinados	5 mg/kg	Corrida em esteira à 125% do VO ₂ máx - máximo déficit acumulado de O ₂ (MAOD)	Sim	Aumento significativo no tempo de exaustão, na concentração de glicose e epinefrina; redução da percepção subjetiva de esforço
Falk <i>et al.</i> (1989)	10	M	Treinados	5 mg/kg	Cicloergômetro a 90% do VO ₂ máx após marcha de 40 km a intensidade de 40% do VO ₂ máx	Não	Não se constatou melhora no tempo de exaustão
Greer <i>et al.</i> (1998)	9	M	Não-treinados	6 mg/kg	4 X Wingate (30 s) com 4 min de intervalo entre cada série	Não	Não se constatou aumento na potência anaeróbia máxima
Hespel <i>et al.</i> (2002)	10	9 M 1 F	Treinados	5 mg/kg	Estimulação elétrica intermitente - 30 contrações do músculo quadríceps (2 seg estímulo, 2 seg de repouso)	Não	Não se constatou melhora na força máxima, no tempo de contração e tempo de relaxamento
Hespel <i>et al.</i> (2002)	10	9 M 1 F	treinados	5 mg/kg durante 3 dias	Estimulação elétrica- 30 contrações intermitente do músculo quadríceps (2 seg estímulo com 2 seg de repouso)	Sim	Aumento significativo na força máxima, no tempo de contração e redução do tempo de relaxamento

TABELA II - continuação

Investigadores	N	Sexo	População	Dose de Cafeína	Tipo de teste	Efeito ergogênico?	Comentários
Jackman <i>et al.</i> (1996)	14	11 M 3 F	Não-treinados e treinados	6 mg/kg	2 <i>sprints</i> de 2 min em cicloergômetro sepa-rados por 6 min, seguido de teste máximo até exaustão	Sim	Aumento significativo no tempo de exaustão
Kalmar, Cafarelli (1999)	11	M	Não-treinados	6 mg/kg	Eletromiografia no músculo vasto lateral (50% da contração voluntária máxima)	Sim	Aumento significativo no tempo de exaustão (25,8%) e no total de contrações voluntárias máximas (3,5%)
Lopes <i>et al.</i> (1983)	13	M	Não-treinados	500 mg	Estimulação elétrica do músculo adutor do polegar (10, 20, 30, 50 e 100 Hz)	Sim	Aumento significativo na força em esforço submáx. (50% CVM), quando a frequência de estimulação é baixa (10, 20, 30 e 50 Hz).
Páscoa <i>et al.</i> (1994)	8	M	Não-treinados	10 mg/kg	Dinamometria eletrônica	Não	Não se constatou aumento na força muscular
Paton <i>et al.</i> (2001)	16	M	Treinados	6 mg/kg	10 <i>sprints</i> 10 seg, com 10 seg de intervalo entre os <i>sprints</i>	Não	Não se constatou aumento no tempo para completar 10 <i>sprints</i>
Pinto, Tarnopolsky (1997)	23	11 M 12 F	Não-treinados	7 mg/kg	Estimulação elétrica de dorsi-flexores (15, 30 e 50 Hz)	Sim	Aumento significativo na força de contração máxima
Plaskett, Cafarelli no (2001)	15	M	Não-treinados	6 mg/kg	Eletromiografia no músculo quadríceps (50% da contração voluntária máxima)	Sim	Aumento significativo 17,0% no tempo de exaustão e redução da sensação de força durante os primeiros 10-20 seg. de contração
Roy <i>et al.</i> (1994)	5	M	Treinados	9 mg/kg	Estimulação elétrica de dorsi-flexores (15, 30, 50 e 100 Hz) antes e após esforço submáx (75 e 85% VO ₂ máx)	Sim	Protelamento da fadiga muscular induzida a uma força tetânica de 100 Hz
Vanakoski <i>et al.</i> (1998)	7	M	Treinados	7 mg/kg	3 <i>sprint</i> de 1 min em cicloergômetro com 5 min de intervalo entre os <i>sprints</i>	Não	Não se constatou melhora na velocidade (rpm), manutenção da velocidade (rpm) e no trabalho total
Walton <i>et al.</i> (2002)	7	M	Não-treinados	6 mg/kg	Eletromiografia em dorsi-flexores (3 contrações voluntárias máximas com 1 min de intervalo)	Sim	Aumento significativo da frequência relativa de disparos em unidades motoras do tibial anterior
Wemple <i>et al.</i> (1997)	6	4 M 2 F	Treinados	8,7 mg/kg	Cicloergômetro a 60% do VO ₂ máx durante 180 min seguido de teste a 80% do VO ₂ máx	Não	Não se constatou aumento no tempo de exaustão; manutenção da percepção subjetiva de esforço
Wiles <i>et al.</i> (1992)	18	M	Treinados	150-250 mg	Corrida de 1.500 metros	Sim	Aumento significativo na velocidade de corrida e redução no tempo
Willians <i>et al.</i> (1988)	9	M	Não-treinados	7 mg/kg	Wingate (15 s)	Não	Não se constatou aumento no tempo de alcance da potência pico, e no trabalho total
Wyss <i>et al.</i> (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

Plaskett e Cafarelli (2001) analisando a atividade eletromiográfica do músculo quadríceps após administração de cafeína constataram aumento significativo no tempo

de exaustão (17%) e redução da percepção de força durante os primeiros 10-20 segundos de contração. Mais recentemente, Walton, Kalmar e Cafarelli (2002) por meio

de análise eletromiográfica dos músculos dorsi-flexores investigaram o efeito da ingestão de cafeína sobre a ativação de unidades motoras dos músculos tibiais anteriores e verificaram aumento significativo na frequência relativa de disparos nas unidades motoras do tibial anterior.

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

Williams *et al.* (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 *et al.* (1991) não encontraram alteração significativa no pico da potência e no trabalho total em teste de Wingate atrelada ao uso dessa substância.

Greer, Maclean e 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 *et al.* (1990) não encontraram diferenças significativas no tempo de desempenho até a exaustão após a administração de cafeína.

Recentemente, em um estudo de campo, Paton, Hopkins e Vollebregt (2001) investigaram o desempenho de corredores durante exercício intermitente anaeróbio após a administração de cafeína e não constataram aumento no tempo de exaustão.

Por outro lado, Wyss *et al.* (1986) observaram aumento significativo na potência e na capacidade anaeróbia (6,0% e 15,7%, respectivamente) após a administração de dosagem de 300 mg de cafeína. Do mesmo modo, Anselme *et al.* (1992) constataram melhora significativa de 7% na potência anaeróbia máxima durante exercício supramáximo de carga progressiva após suplementação com cafeína.

Falk *et al.* (1989) examinaram os efeitos da ingestão de cafeína no desempenho físico, logo após marcha de 40 km em pista a intensidade de 40% do VO_2 máx. Os autores não constataram melhora significativo no tempo de desempenho até a exaustão. Nesse sentido, Wemple, Lamb e 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.

Jackman *et al.* (1996) após submeterem um grupo de indivíduos treinados e não treinados a esforços intermitentes em cicloergômetro (2 esforços de 2 min a 100% do VO_2 máx separados por 6 min), seguido por um teste máximo até a exaustão voluntária, concluíram que a ingestão de cafeína pode resultar em aumento da resistência muscular durante exercícios físicos intensos que levam à fadiga em até 5 minutos.

Mais recentemente, Doherty (1998) examinando o desempenho em corrida de alta intensidade (3-4 min), observou melhora significativa no débito máximo de oxigênio acumulado e no tempo de exaustão após ingestão de cafeína. Esses achados foram confirmados posteriormente utilizando-se do mesmo modelo de exercício (Doherty *et al.*, 2002). Da mesma forma Bell, Jacobs e Ellerington (2001) constataram melhora significativa no débito máximo de oxigênio acumulado e no tempo de exaustão em cicloergômetro após ingestão de cafeína. Esses resultados tem implicações importantes, uma vez que a melhora do desempenho físico demonstrou estar relacionada a possível ação ergogênica da cafeína sobre a capacidade anaeróbia.

Estudo de campo realizado por Collomp *et al.* (1992) demonstrou redução significativa no tempo de nado nos 100 metros livres após a ingestão de cafeína. Em estudo similar, Wiles *et al.* (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. De forma semelhante Bruce *et al.* (2000) e Anderson *et al.* (2000) investigando o efeito de diferentes doses de cafeína (6 e 9 mg/kg) em um grupo de remadores durante prova simulada de 2.000 metros, constataram redução significativa no tempo de prova. Segundo os autores, a melhora da *performance* após ingestão de cafeína foi determinada nos 500 metros iniciais de prova, indicando uma possível ação ergogênica desta substância sobre o metabolismo anaeróbio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O efeito ergogênico da cafeína sobre a *performance* em exercícios físicos com características aeróbias (moderados de média e longa duração) tem sido evidenciado pela literatura. Contudo, o efeito desta substância sobre a *performance* anaeróbia (alta intensidade e curta duração) ainda não está claro, da mesma forma que os mecanismos de ação envolvidos nesse tipo de esforço físico, indicando a necessidade de novas pesquisas com intuito de esclarecer a verdadeira ação desta substância sobre o metabolismo anaeróbio.

Alguns estudos têm indicado aumento da força muscular acompanhado de maior resistência à instalação

do processo de fadiga muscular após a ingestão de cafeína. Entretanto, ainda não está totalmente claro qual o mecanismo de ação responsável pelo aumento da força muscular; todavia, sugere-se que isso ocorra 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 demonstre que a ingestão de cafeína melhora significativamente a *performance* em exercícios máximos de curta duração (<5 minutos), o mesmo não se pode dizer com relação a tais exercícios quando precedidos por exercícios submáximos prolongados. Nesses casos, a *performance* atlética parece não sofrer qualquer alteração. Entretanto, esses resultados necessitam de confirmação, assim como de maior esclarecimento quanto aos mecanismos de ação da cafeína nesses tipos de esforços.

ABSTRACT

Caffeine and performance in anaerobic exercise

The ergogenic effects of caffeine on performance in anaerobic activities are not clear yet, so are the mechanisms involved in this type of physical effort. The theories that have been trying to explain the ergogenic effects of caffeine during anaerobic activities are related to the effect of caffeine in some portion of the central nervous system (CNS), the propagation of neural signs between brain and neuromuscular junction, and also to the effect of caffeine on the skeletal muscle, facilitating the stimulation-contraction of the skeletal muscle. Some studies have been indicating increases of muscular strength accompanied by greater resistance to the installation of the process of muscular fatigue after caffeine ingestion. It has been suggested that it happens much more by the direct action of caffeine in CNS than by its action at peripheral level. Regarding maximum and submaximum exercises of short duration, the studies have been controversial, although most of them indicates that caffeine seems to improve the performance significantly in maximum exercises of short duration (<5 min), when not preceded by sub maximum prolonged exercises. However, these results need to be confirmed, as well as the mechanisms of action of caffeine in these types of efforts.

UNITERMS: Caffeine. Ergogenic. Performance. Anaerobic exercise.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP e à CAPES pelo apoio financeiro e bolsas outorgadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIMARI, L.R.; CYRINO, E.S.; ZUCAS, S.M.; BURINI, R.C. Efeitos ergogênicos da cafeína sobre o desempenho físico. *Paul. J. Phys. Educ.*, v.14, n.2, p.141-158, 2000.
- ALTIMARI, L.R.; CYRINO, E.S.; ZUCAS, S.M.; OKANO, A.H.; BURINI, R.C. Cafeína: ergogênico nutricional no esporte. *Braz. J. Sci. Mov.*, v.9, n.3, p.57-64, 2001.
- ANDERSON, M.E.; BRUCE, C.R.; FRASER, S.F.; STEPTO, N.K.; KLEIN, R.; HOPKINS, W.G.; HAWLEY, J.A. Improved 2000-meter rowing performance in competitive oarswomen after caffeine ingestion. *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.*, v.10, n.4, p.464-475, 2000.
- ANSELME, F.; COLLOMP, K.; MERCIER, B.; AHMAIDI, S.; PREFAUT, C. Caffeine increases maximal anaerobic power and blood lactate concentration. *Eur. J. Appl. Physiol.*, v.65, n.2, p.188-191, 1992.
- BARONE, J.J.; ROBERTS, H.R. Caffeine consumption. *Fd. Chem. Tox.*, v.34, n.1, p.119-129, 1996.
- BELL, D.G.; JACOBS, I.; ELLERINGTON, K. Effect of caffeine and ephedrine ingestion on anaerobic exercise performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, v.33, n.11, p.1399-1403, 2001.
- BOND, V.; GRESHAM, K.; MCRAE, J.; TEARNEY, R.J. Caffeine ingestion and isokinetic strength. *Br. J. Sports Med.*, v.20, n.3, p.135-137, 1986.
- BRAGA, L.C.; ALVES, M.P. A Cafeína como recurso ergogênico nos exercícios de endurance. *Braz. J. Sci. Mov.*, v.8, n.3, p.33-37, 2000.
- BRUCE, C.R.; ANDERSON, M.E.; FRASER, S.F.; STEPTO, N.K.; KLEIN, R.; HOPKINS, W.G.; HAWLEY, J.A. Enhancement of 2000-m rowing performance after caffeine ingestion. *Med. Sci. Sports Exerc.*, v.32, n.11, p.1958-1963, 2000.

- BUCCI, L.R. Selected herbals and human exercise performance. *Am. J. Clin. Nutr.*, v.72, n.2(suppl), p.624S-636S, 2000.
- CLARKSON, P.M. Nutritional ergogenic aids: caffeine. *Int. J. Sports Nutr.*, v.3, n.1, p.103-111, 1993.
- 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. *C. R. Seances Soc. Biol. Fil.*, v.184, n.1, p.87-92, 1990.
- COLLOMP, K.; AHMAIDI, S.; AUDRAN, M.; CHANAL, J.L.; PREFAUT, C. Effects of caffeine ingestion on performance and anaerobic metabolism during the Wingate test. *Int. J. Sports Med.*, v.12, n.5, p.439-443, 1991.
- COLLOMP, K.; AHMAIDI, S.; CHATARD, J.C.; AUDRAN, M.; PREFAUT, C. Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. *Eur. J. Appl. Physiol.*, v.64, n.4, p.377-380, 1992.
- COYLE, E.F. Fluid and fuel intake during exercise. *J. Sports Sci.*, v.22, n.1, p.39-55, 2004.
- DAVIS, J.M.; BAILEY, S.P. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, v.29, n.1, p.45-57, 1997.
- DAVIS, J.M.; ZHAO, Z.; STOCK, H.S.; MEHL, K.A.; BUGGY, J.; HAND, G.A. Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, v.284, n.2, p.399-404, 2003.
- DOHERTY, M. The effects of caffeine on the maximal accumulated oxygen deficit and short-term running performance. *Int. J. Sports Nutr.*, v.8, n.2, p.95-104, 1998.
- DOHERTY, M.; SMITH, P.M.; DAVISON, R.C.; HUGHES, M.G. Caffeine is ergogenic after supplementation of oral creatine monohydrate. *Med. Sci. Sports Exerc.*, v.34, n.11, p.1785-1792, 2002.
- DUTHEL, J.M.; VALLON, J.J.; MARTIN, G.; FERRET, J.M.; MATHIEU, R.; VIDEMAN, R. Caffeine and sport: role of physical exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, v.23, n.11, p.980-985, 1991.
- ELLENHORN'S MEDICAL TOXICOLOGY. Diagnosis and Treatment of Human Poisoning. 2th ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1997, p. 356.
- 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. *Eur. J. Appl. Physiol.*, v.59, n.3, p.168-173, 1989.
- FERDHOLM, B.B. On the mechanism of action of theophylline and caffeine. *Acta Med. Scand.*, v.217, n.1, p.149-153, 1985.
- FITTS, R.H. Cellular mechanisms of fatigue muscle. *Physiol. Rev.*, v.74, n.1, p.49-93, 1994.
- GEORGE, A.J. Central nervous system stimulants. *Baillieres Best. Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab.*, v.14, n.1, p.79-88, 2000.
- GOABDUFF, T.; DREANO, Y.; GUILOIS, B.; MENEZ, J.F.; BERTHOU, F. Induction of liver and kidney CYP 1A1/1A2 by caffeine in rat. *Biochem. Pharmacol.*, v.52, n.9, p.1915-1919, 1986.
- GOMES, M.R.; TIRAPEGUI, J. Relação de alguns suplementos nutricionais e o desempenho físico. *Arch. Latinoam. Nutr.*, v.50, n.4, p.317-329, 2000.
- GRAHAM, T.E. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports Med.*, v.31, n.11, p.785-807, 2001a.
- GRAHAM, T.E. Caffeine, coffee and ephedrine: impact on exercise performance and metabolism. *Can. J. Appl. Physiol.*, v.26, n.1 (Suppl), p.103S-119S, 2001b.
- GRAHAM, T.E.; RUSH, J.W.; VAN SOEREN, M.H. Caffeine and exercise: metabolism and performance. *Can. J. Appl. Physiol.*, v.19, n.2, p.111-138, 1994.
- GREER, F.; MCLEAN, C.; GRAHAM, T.E. Caffeine, performance and metabolism during repeated Wingate exercise tests. *J. Appl. Physiol.*, 85: 1502-1508, 1998.
- HARLAND, B.F. Caffeine and nutrition. *Nutrition*, v.16, n.7-8, p.522-526, 2000.

- HESPEL, P.; OP'T EIJNDE, B.; VAN LEEMPUTTE, M. Opposite actions of caffeine and creatine on muscle relaxation time in humans. *J. Appl. Physiol.*, v.92, n.2, p.513-518, 2002.
- ISSEKUTZ, B.J.R. Effect of beta-adrenergic blockade on lactate turnover in exercising dogs. *J. Appl. Physiol.*, v.57, n.6, p.1754-1759, 1984.
- JACKMAN, M.; WENDLING, A.; FRIARS, D.; GRAHAM, T.E. Metabolic, catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise. *J. Appl. Physiol.*, v.81, n.4, p.1658-1663, 1996.
- JUHN, M.S. Ergogenic aids in aerobic activity. *Curr. Sports Med. Rep.*, v.1, n.4, p.233-238, 2002.
- JUHN, M.S. Popular sports supplements and ergogenic aids. *Sports Med.*, v.33, n.12, p.921-939, 2003.
- KALMAR, J.M.; CAFARELLI, E. Effects of caffeine on neuromuscular function. *J. Appl. Physiol.*, v.87, n.2, p.801-808, 1999.
- KALOW, W.; TANG, B. The use of caffeine for enzymatic assays: A critical appraisal. *Clin. Pharmacol. Ther.*, v.53, n.3, p.503-514, 1993.
- LOPES, J.M.; AUBIER, M.; JARDIM, J.; ARANDA, J.V.; MACKLEM, P.T. Effect of caffeine on skeletal muscle function before and after fatigue. *J. Appl. Physiol.*, v.54, n.5, p.1303-1305, 1983.
- McLEAN, C.; GRAHAM, T.E. The impact of gender and exercise on caffeine pharmacokinetics. *Med. Sci. Sports Exerc.*, v.30, n.5 (suppl), p.S243, 1998.
- MAUGHAN, R.J. Nutritional ergogenic aids and exercise performance. *Nutr. Res. Rev.*, v.12, n.1, p.255-280, 1999.
- MAUGHAN, R. The athlete's diet: nutritional goals and dietary strategies. *Proc. Nutr. Soc.*, v.61, n.1, p.87-96, 2002.
- MAUGHAN, R.J.; KING, D.S.; LEA, T. Dietary supplements. *J. Sports Sci.*, v.22, n.1, p.95-113, 2004.
- PAGALA, M.K.; TAYLOR, S.R. Imaging caffeine induced Ca²⁺ transients in individual fast-twitch and slow-twitch rat skeletal muscle fibers. *Am. J. Physiol.*, v.274, n.3, p.623-632, 1998.
- PALUSKA, S.A. Caffeine and exercise. *Curr. Sports Med. Rep.*, v.2, n.4, p.213-219, 2003.
- PÁSCOA, M.R.S.; ALVIM, C.R.; RODRIGUES, L.O.C. Efeitos da cafeína sobre a força muscular. *Min. J. Phys. Educ.*, v.2, n.1 (suppl), p.S56, 1994.
- PATON, C.D.; HOPKINS, W.G.; VOLLEBREGT, L. Little effect of caffeine ingestion on repeated sprints in team-sport athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, v.33, n.5, p.822-825, 2001.
- PINTO, S.; TARNOPOLSKY, M. Neuromuscular effects of caffeine in males and females. *Can. J. Appl. Physiol.*, v.22, n.1(suppl), p.S48, 1997.
- PIPE, A.; AYOTTE, C. Nutritional supplements and doping. *Clin. J. Sports Med.*, v.12, n.4, p.245-249, 2002.
- PLASKETT, C.J.; CAFARELLI, E. Caffeine increases endurance and attenuates force sensation during submaximal isometric contractions. *J. Appl. Physiol.*, v.91, n.4, p.1535-1544, 2001.
- RACHIMA-MAOZ, C.; PELEG, E.; ROSENTHAL, T. The effects of caffeine on ambulatory blood pressure in hypertensive patients. *Am. J. Hypertens.*, v.11, n.8, p.1426-1432, 1998.
- ROSSI, L.; TIRAPEGUI, J. Aspectos atuais sobre exercício físico, fadiga e nutrição. *Rev. Paul. Educ. Fis.*, v.13, n.1, p.67-82, 1999.
- ROY, B.; TARNOPOLSKY, M.; MACDOUGALL, J.D.; HICKS, A. Caffeine and neuromuscular fatigue in endurance athletes. *Can. J. Appl. Physiol.*, v.19, n.1(Suppl), p.S41, 1994.
- SLAVIN, N.; JOENSEN, H.K. Caffeine and Sport Performance. *Phys. Sports Med.*, v.13, p.191-193, 1995.
- SINCLAIR, C.J.D.; GEIGER, J.D. Caffeine use in sports. A pharmacological review. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, v.40, n.1, p.71-79, 2000.
- SPRIET, L.S. Caffeine and performance. *Int. J. Sports Nutr.*, v.5, n.1(suppl), p.S84-99, 1995.
- SPRIET, L.L.; GIBALA, M.J. Nutritional strategies to influence adaptations to training. *Sports Sci.*, v.22, n.1, p.127-141, 2004.

- VAN NIEUWENHOVEN, M.A.; BRUMMER, R.J.M.; BROUNS, F. Gastrointestinal function during exercise: comparison of water, sport drink, and sports drink with caffeine. *J. Appl. Physiol.*, v.89, n.3, p.1079-1085, 2000.
- VANAKOSKI, J.; KOSUNEN, V.; MERIRINNE, E.; SEPPALA, T. Creatine and caffeine in anaerobic and aerobic exercise: effects on physical performance and pharmacokinetic considerations. *Int. J. Clin. Pharmacol. Ther.*, v.36, n.5, p.258-262, 1998.
- WADA. World Anti Doping Agency. The 2004 prohibited list international standard. Disponível em: <http://www.wada-ama.org/en/t1.asp>. Acesso em: 11 dezembro 2004.
- WALTON, C.; KALMAR, J.M.; CAFARELLI, E. Effect of caffeine on self-sustained firing in human motor units. *J. Physiol.*, v.545, n.2, p.671-679, 2002.
- WANG, Y.; LAU, C.E. Caffeine has similar pharmacokinetics and behavioral effects via the i.p. and p.o. routes of administration. *Pharmacol. Biochem. Behav.*, v.60, n.1, p.271-278, 1998.
- 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. *Int. J. Sports Med.*, v.18, n.1, p.40-46, 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. *Br. J. Sports Med.*, v.26, n.2, p.116-120, 1992.
- WILLIAMS, J.H.; SIGNORILE, J.F.; BARNES, W.S.; HENRICH, T.W. Caffeine, maximal power output and fatigue. *Br. J. Sports Med.*, v.22, n.4, p.132-134, 1988.
- WYSS, V.; GRIBANDO, C.; GANZIT, G.P.; RIENZI, A.; SPERONE, G. Influenza di prodotti caffeinici sulla potenza e sulla capacità anaerobiche in soggetti giovani. *Méd. Del. Sport.*, v.39, n.3, p.467-476, 1986.
- YAMADA, Y.; NAKAZATO, Y.; OHGA, A. The mode of action of caffeine on catecholamine release from perfused adrenal glands of cat. *Br. J. Pharmacol.*, v.98, n.2, p.351-356, 1989.

Recebido para publicação em 22 de janeiro de 2005
Aceito para publicação em 13 de abril de 2005