

Cafeína e desempenho anaeróbio

Caffeine and anaerobic performance

Fabrizio Caputo¹
Rafael Alves de Aguiar¹
Tiago Turnes¹
Bruno Honorato da Silveira¹

Resumo – O efeito ergogênico da cafeína em exercícios anaeróbios permanece controverso, parecendo ser dependente da duração do exercício, protocolo utilizado e do estado de treinamento dos sujeitos estudados. Assim, esta revisão surge na tentativa de analisar as pesquisas que investigaram o efeito da cafeína no desempenho de exercícios predominantemente anaeróbios e principalmente, discutir a respeito dos diferentes métodos utilizados, objetivando verificar de que forma isto pode explicar os resultados controversos, além de apresentar os possíveis mecanismos de ação da cafeína. Em simples esforços anaeróbios com duração inferior a 30 segundos, a cafeína parece exercer influência no desempenho apenas em atletas, no entanto, mais estudos precisam ser feitos nesta população. Já em exercícios um pouco mais extensos (de 60 até 180 segundos), a cafeína parece melhorar o desempenho independentemente do estado de treinamento. O mecanismo de ação ainda não está claro, entretanto, existem evidências que a ação da cafeína é multifatorial, visto que esta substância altera características centrais e periféricas. Dentre as principais características, a cafeína atua como receptor antagonista de adenosina, aumentando a excitabilidade do sistema nervoso central e alterando a percepção de esforço e de dor, além disso, diminui a sensibilidade do retículo sarcoplasmático na liberação do cálcio. Novas pesquisas que investiguem o papel da cafeína em exercícios anaeróbios devem ser realizadas, utilizando amostras de indivíduos adaptados ao treinamento anaeróbio, bem como protocolos semelhantes ao de esportes cíclicos a fim de esclarecer os resultados contraditórios.

Palavras-chave: Cafeína; Desempenho atlético; Exercício; Metabolismo energético, Substâncias para melhoria do desempenho.

Abstract – *The ergogenic effect of caffeine on anaerobic exercises remains controversial. Such effect seems to depend on exercise duration, test protocol, and training status of the subjects studied. Thus, the objective of this review of the literature was to analyze studies investigating the effect of caffeine on the performance of anaerobic exercises and to discuss the different methods used to measure this effect in order to try to explain controversial results, as well as to present possible mechanisms of action of caffeine. During anaerobic exercises lasting less than 30 seconds, caffeine appears to have an influence only on the performance of athletes; however, there is need of further studies with this population. Nevertheless, in longer exercises (from 60 to 180 seconds), caffeine seems to improve performance regardless of the training status. The mechanism of action remains unclear; however, there is evidence that the action of caffeine is multifactorial, since this substance changes central and peripheral characteristics. Among the main characteristics, caffeine acts as an adenosine receptor antagonist, increasing the excitability of the central nervous system and changing the perception of effort and pain, in addition to reducing the sensitivity of the sarcoplasmic reticulum during calcium release. Further studies investigating the role of caffeine in anaerobic exercises should be conducted using anaerobically trained individuals and protocols similar to those of cyclic sports in order to clarify the contradictory results.*

Key words: Athletic performance; Caffeine; Energy metabolism; Exercise; Performance-enhancing substances.

1 Universidade do Estado de Santa Catarina. Centro de Ciências da Saúde e do Esporte, Laboratório de Pesquisas em Desempenho Humano. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Recebido em 04/11/11
Revisado em 06/03/12
Aprovado em 30/04/12



Licença
Creative Commons

INTRODUÇÃO

Na busca por um melhor desempenho, atletas e treinadores recorrem a utilização de ergogênicos, dentre eles, a cafeína possui grande popularidade no meio esportivo. Em muitos esportes, a margem entre vencer e perder pode ser medida em casas decimais¹, sendo a diferença entre o primeiro e o segundo colocado menor que 1%². Desta forma, a utilização da cafeína como um recurso ergogênico pode definir o vencedor de uma competição.

A cafeína, 1,3-dimetilxantina, é a droga mais consumida por adultos em todo mundo, sendo encontrada em inúmeros alimentos e bebidas como o chocolate, o café e o guaraná^{3,4}, e não apresenta aparentes efeitos adversos a saúde de seus consumidores após seu consumo prolongado⁵. Após a remoção da cafeína da lista de substâncias proibidas pela agência mundial anti-doping (World Anti-Doping Agency – WADA), Del Coso et al.⁶ demonstraram uma prevalência de três em cada quatro atletas fazendo uso da cafeína antes e durante eventos competitivos, além disso, a cafeína possui fácil acesso em diferentes países e existe a crença por parte de atletas de que esta substância pode melhorar o seu desempenho e concentração^{1,6,7}. Portanto, a cafeína é um ergogênico que desperta grande interesse no meio científico, possuindo uma estreita relação com o meio esportivo.

Um grande número de pesquisas surgiu com o intuito de investigar o efeito da ingestão de cafeína no exercício, ficando evidente o efeito positivo dessa substância no exercício com predominância do metabolismo aeróbio^{1,4}. Por outro lado, menor foco foi dado aos efeitos da ingestão de cafeína em exercícios predominantemente anaeróbios. No entanto, na última década, um grande número de pesquisas neste tipo de exercício surgiu, porém os resultados encontrados ainda são muito divergentes (Quadro 1). Embora estudos de revisão bibliográfica que foram escritos nesse tópico^{3,7}, apresentando os efeitos proporcionados pela ingestão de cafeína no exercício predominantemente anaeróbio, nenhum destes trabalhos teve como objetivo principal analisar as diferentes metodologias empregadas nestes estudos a fim de verificar o quanto estas diferenças podem interferir num possível efeito da cafeína no exercício, com predominância do metabolismo anaeróbio.

Portanto, esta revisão tem o objetivo principal de discutir os diferentes protocolos utilizados e divergências encontradas na literatura científica em relação ao efeito da ingestão de cafeína em exercícios com predominância do metabolismo anaeróbio, a fim de apresentar o quanto isto pode influenciar na discrepância dos resultados encontrados pela ingestão dessa substância neste tipo de exercício. Além disso, a presente revisão analisa os estudos que investigaram o efeito da ingestão de cafeína em exercícios predominantemente anaeróbios, entre eles, únicos esforços de característica máxima e curta duração (aproximadamente 30 segundos), ou característica supramáxima (acima da intensidade do $\dot{V}O_2\text{max}$; $i\dot{V}O_2\text{max}$) e média duração (até 180 segundos). Ainda, serão apresentados os possíveis mecanismos de ação associados à ingestão de cafeína em exercícios deste caráter.

PRECEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a elaboração deste trabalho, foi realizada uma busca bibliográfica nas bases de dados Pubmed e Medline, utilizando-se as seguintes palavras-chave: *caffeine* e *anaerobic exercise*. Além de artigos encontrados com estes termos, foram pesquisados a partir destes referências que poderiam contribuir com o tema cafeína e desempenho anaeróbio.

A princípio, a busca bibliográfica encontrou um total de 37 artigos. Como critérios de inclusão neste trabalho, foram selecionados artigos que investigaram o efeito da ingestão de cafeína em exercícios com predominância do metabolismo anaeróbio, desde que em modalidade de esportes cíclicos. Além disso, foram excluídos artigos que apenas investigaram o efeito da ingestão de cafeína em exercícios de força muscular ou de apenas um segmento corporal. Pesquisas que analisaram os efeitos da ingestão de cafeína junto com outra substância, sobre o exercício, não permitindo o isolamento do efeito da cafeína, também foram excluídas. Embora em repetidos esforços o metabolismo anaeróbio tenha grande contribuição durante o exercício, estes não serão abordados nesta revisão. Ao fim do processo de seleção, dezoito artigos foram examinados nesta revisão.

Cafeína e Exercício Anaeróbio

Uma variedade de estudos utilizou o protocolo anaeróbio de Wingate para analisar o efeito da ingestão de cafeína em exercícios anaeróbios, em sujeitos destreinados, no qual não foram encontrados benefícios da administração de cafeína na potência pico, potência média e índice de fadiga⁸⁻¹¹, com exceção de Kang et al.¹² que encontraram efeito positivo da ingestão de cafeína na potência pico e potência média em indivíduos não treinados. Ao se tratar de indivíduos atletas, a ingestão de cafeína melhora significativamente o desempenho no protocolo de Wingate na potência pico^{12,13} e potência média¹². Williams et al.¹⁴ modificaram o protocolo de Wingate para um tiro máximo de 15 segundos em ciclo ergômetro e não constataram melhora após a administração de cafeína na potência máxima, índice de fadiga e trabalho total em sujeitos destreinados. Recentemente, Glaister et al.¹⁵ investigaram o efeito de diferentes doses (2, 4, 6, 8 e 10 mg/kg de massa corporal) de cafeína sobre um esforço máximo de 10 segundos em ciclo ergômetro, entretanto, não foram observados efeitos positivos da cafeína em relação ao placebo neste tipo de exercício. Sendo assim, em indivíduos não treinados, com exceção dos resultados de Kang et al.¹², o tratamento com cafeína parece não provocar melhoras no desempenho no protocolo de Wingate⁸⁻¹¹, esforço máximo de 15 segundos¹⁴ e 10 segundos¹⁵.

Outro protocolo indireto e não-invasivo utilizado para avaliar a capacidade anaeróbia é o teste de máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD)^{3,16}. O MAOD, que é associado a outras medidas de desempenho anaeróbio¹⁶, é calculado pela diferença entre a energia predita (demanda de O₂ baseada em exercícios em intensidades submáximas) e o consumo de O₂ acumulado durante o exercício. Deve ser realizado numa intensidade entre 105 e 150%

VO₂max, durando, aproximadamente, de um a cinco minutos¹⁶. Utilizando-se desse protocolo em amostras compostas por atletas, Doherty¹⁶ e Simmonds et al.¹⁷ encontraram, na condição cafeína, um aumento de 6,5% e 10% no déficit de oxigênio e 14% e 14,8% no tempo de exaustão, respectivamente (Quadro 1). Em indivíduos destreinados, a ingestão de cafeína também provocou melhora de 8% no tempo de exaustão e aumento de 7% no déficit de oxigênio no protocolo de MAOD⁹. Baseado nisso, pode-se perceber que a administração de cafeína provoca benefícios no desempenho no protocolo de MAOD em indivíduos atletas ou não. Entretanto, espera-se cautela nessa interpretação, uma vez que evidências mostraram que a ingestão de cafeína parece melhorar o desempenho quando o sujeito é avaliado em protocolo até a exaustão¹⁸. Além disso, a menor validade ecológica dos testes de tempo de exaustão¹⁸ levanta a questão da aplicação prática destes protocolos, no entanto, essas investigações são necessárias para o melhor entendimento dos efeitos ergogênicos da cafeína e esclarecimento dos mecanismos de ação da substância.

Quadro 1. Sumário dos estudos que examinaram cafeína e simples esforços anaeróbios

Referência	Sujeito	Dose	Protocolo	Resultado	Resposta metabólica
Bell et al. ⁹	16 NT	5mg.kg ⁻¹ em cápsula	Wingate	↔ PP	↑[lac], ↑glicose sanguínea, ↑[epi], ↑[nor]
	8 NT	5mg.kg ⁻¹ em cápsula	Tempo limite 125% VO _{2pico}	↑ tempo limite	↑[lac], ↑glicose sanguínea, ↑[epi]
Collomp et al. ⁸	6 NT	5mg.kg ⁻¹ em cápsula	Wingate	↔ PP, ↔ PM e ↔ DP	↑ [lac], ↑ [epi], ↑ [nor]
Collomp et al. ¹⁹	7 T e 7 NT	250mg	2 x 100m natação c/ 20min de pausa passiva	↑ performance em treinados ↔ performance em não-treinados	↑[lac] em ambos grupos
Doherty ¹⁶	9 T	5mg.kg ⁻¹ em 200ml de bebida cítrica	Tempo limite 125%VO _{2pico}	↑ tempo limite	↔[lac]
Doherty et al. ²⁰	11 T	5mg.kg ⁻¹ diluídos em 200ml de água	2 min a 100%VO _{2pico} + 1min máximo	↑ PM na performance 1min máximo	↑[lac] nos 4º, 5º, 6º min pós exercício
Glaister et al. ¹⁵	17 NT	2, 4, 6, 8 e 10 mg.kg ⁻¹ em cápsula	10s máximo	↔ PP e ↔ PM	↔ [lac]
Hoffman et al. ¹¹	10 NT	450mg em café enriquecido	Wingate	↔ PP, ↔ PM e ↔ DP	↑ RER ↔ EPOC
Kang et al. ¹²	14 (não-específico)	2,5 e 5mg.kg ⁻¹	Wingate	↑ PP, ↑ PM, ↑ trabalho total	-----
Simmonds et al. ¹⁷	8 T	5mg.kg ⁻¹ em cápsula	Tempo limite 120% VO _{2pico}	↑ tempo limite	↑ déficit O ₂ , ↑[epi] ↔ cinética O ₂ , ↔ k' pós-exercício
Williams et al. ¹⁴	9 NT	7mg.kg ⁻¹ em cápsula	15s máximo	↔ PP, ↔ DP, ↔ trabalho total	-----
Wiles et al. ²¹	8 T	5mg.kg ⁻¹ diluídos em água e limão (250ml)	Performance 1km (~60s)	↑ PP, ↑ PM, ↑ velocidade média	-----
Woolf et al. ¹³	18 T	5mg.kg ⁻¹ em bebida	Wingate	↑ PP	↔[Lac], ↔ cortisol, ↔ ácidos graxos, ↔ insulina, ↔ glicose

T: Treinados; NT: Não-treinados; PP: potência pico; PM: potência média; DP: decréscimo da potência; EPOC: consumo de oxigênio pós-exercício; RER: taxa de troca respiratória; [lac]: concentração de lactato sanguíneo; [epi]: concentração de epinefrina plasmática; [nor]: concentração de norepinefrina plasmática

Alguns protocolos mais específicos para esportes cíclicos mostraram efeito positivo da ingestão de cafeína em atletas. Wiles et al.²¹ utilizaram a prova de 1km contra-relógio no ciclismo, observando melhora após o tratamento com cafeína no tempo de prova (2,3 segundos), velocidade média (1,6km/h), potência média (18,1W) e potência pico (75,5W). Na natação, Collomp et al.¹⁹ encontraram efeito positivo da administração de cafeína na capacidade anaeróbia (assumido no estudo como a velocidade média) em prova de 100m apenas em nadadores bem treinados, não sendo observado o mesmo em sujeitos destreinados. Doherty et al.²⁰, utilizando um protocolo em que os ciclistas pedalarão por dois minutos a 100%VO₂max e imediatamente após realizaram um tiro máximo com duração de um minuto, observaram que a ingestão de cafeína resultou em menores taxas de percepção subjetiva de esforço aos 30, 60 e 120 segundos e maior potência média no tiro final (794±164W) que a condição placebo (750±163W).

Em resumo, a ingestão de cafeína parece melhorar o desempenho em exercícios cíclicos com predominância do metabolismo anaeróbio, com duração aproximada de 60 a 180 segundos em indivíduos atletas ou não. Além disso, com excessão ao trabalho de Doherty¹⁶, que analisou o efeito da cafeína no teste de MAOD durante a corrida, apenas foram encontrados estudos que abordaram o efeito da ingestão de cafeína no ciclismo e natação. Futuras pesquisas poderiam ser realizadas, investigando o efeito da ingestão de cafeína sobre o exercício predominante anaeróbio realizado por atletas de elite em protocolos específicos de corrida.

Mecanismos de Ação

A cafeína atua em diversos mecanismos, tanto centrais como periféricos, para a melhora do desempenho durante o exercício³, entretanto, parece improvável que alguns dos mecanismos propostos para a melhora do desempenho aeróbio^{1,4}, após a ingestão de cafeína, sejam os mesmos que levariam à melhora do desempenho durante o exercício com predominância do metabolismo anaeróbio. Desta forma, os tópicos que seguem têm o objetivo de apresentar os diferentes mecanismos pelo qual a cafeína parece exercer algum efeito que poderia resultar na melhora do desempenho anaeróbio.

Aspectos centrais

A principal hipótese a respeito dos mecanismos de ação da cafeína parecem estar relacionados a ações no sistema nervoso central, uma vez que a substância é capaz de ultrapassar a barreira hemato-cefálica. O mecanismo primário observado para tal estimulação é caracterizado pela ação da cafeína como um receptor antagonístico de adenosina. A adenosina está presente em todas as células, porém a ação da cafeína como um receptor antagonístico de adenosina para a melhora no desempenho parece estar localizado no sistema nervoso central. Nesse sentido a adenosina parece atuar como um neuromodulador endógeno que inibe a liberação de neurotransmissores excitatórios, bem como, diminui a excitabilidade do sistema nervoso central²⁴. Davis et al.²³ apresentam resultados corroborando os pressupostos

acima, visto que em ratos, os autores observaram que o tempo de exaustão aumentou 60% após injeções intracerebroventricular de cafeína, porém este efeito foi eliminado quando uma injeção simultânea de N-ethylcarboxamido adenosina (substância agonista de adenosina) foi aplicada ou ainda, quando a injeção de cafeína foi aplicada na região intra-peritônia.

Com o estudo apresentado acima, parece evidente que a cafeína atua como um estimulante do sistema nervoso central, desta forma, aumentando a excitabilidade em nível supraespinal. Kalmar e Cafarelli²⁵, utilizando estimulação magnética transcraniana, observaram uma probabilidade de 93% da cafeína para aumentar a excitabilidade cortical. Os autores também pontuaram que esta estimulação alterou a transmissão periférica, assim a melhora no desempenho também ser atribuída a mecanismos periféricos. Porém, é importante salientar que o aumento da excitabilidade central pode, conseqüentemente, aumentar a ativação muscular contrátil. Além da excitabilidade cortical, Walton et al.²⁶ observaram por meio de medidas de reflexo H que a ingestão de cafeína aumentou a excitabilidade espinal. Contudo, Kalmar et al.²⁷ observaram que a ingestão de cafeína aumentou a excitabilidade espinal ao final de um exercício exaustivo sem alterar a ativação voluntária máxima após o exercício, indicando que, independentemente do aumento da excitabilidade espinal, os aspectos relacionados a ação da cafeína no sistema nervoso para a melhora no desempenho parecem estar localizados na região supraespinal.

Há também algumas hipóteses relacionando o uso da cafeína com o aumento na liberação de neurotransmissores excitatórios²². Neurotransmissores como a dopamina e serotonina influenciam na fadiga central, visto que, alterações nesses neurotransmissores diminuem a vigília e aumentam a sensação de fadiga, assim, a ingestão de cafeína atua nesses neurotransmissores, alterando a percepção de esforço. Esta característica fica evidente na revisão sistemática realizada por Doherty e Smith²⁸ na qual observaram que a ingestão de cafeína reduz a percepção de esforço em, aproximadamente, 6% durante exercício de intensidade constante, bem como, durante e após exercícios máximos a percepção de esforço é similar apesar da melhora no desempenho.

A diminuição na percepção de dor pode ser outra importante ação da cafeína no sistema nervoso central. Astorino et al.²⁹ observaram que a ingestão de cafeína apresentou valores similares de percepção de dor, auxiliando, assim, na melhora do desempenho durante um exercício isocinético máximo de extensão e flexão de perna. Além disso, Plaskett e Cafarelli³⁰ atribuíram o aumento do tempo de exaustão após a ingestão de cafeína a uma redução na percepção de força durante os primeiros 20 segundos de contração submáxima. A diminuição da percepção de dor pode ser atribuída a aspectos periféricos e centrais, contudo, o último estudo apresentado³⁰ parece evidenciar que o efeito da ingestão de cafeína está relacionado a aspectos centrais. O aumento no percentual de ativação de unidades motoras, bem como da frequência de disparo de unidades motoras são aspectos importantes quando o objetivo é produzir potência

máxima. Ao passo que, parece comprovado, que a ingestão de cafeína não aumenta a taxa de disparo de unidades motoras³¹⁻³². Kalmar e Cafarelli³¹ observaram que a ingestão de cafeína resultou em aumento no número de unidades motoras recrutadas, contudo, a maioria dos estudos não observaram diferença significativa, além disso, os mesmos estudos observaram que, independente da substância ingerida, o percentual de unidades motoras recrutadas foi acima de 94%^{25,30,32}. Os estudos apresentados neste parágrafo corroboram os estudos utilizando exercícios cíclicos máximos, visto que, Greer et al.¹⁰, utilizando o teste de Wingate, não observaram diferença significativa na amplitude e frequência do sinal eletromiográfico após a ingestão de cafeína, bem como, a maioria dos estudos não observaram aumento na potência pico (Quadro 1).

Aspectos periféricos

Alguns estudos utilizando contrações evocadas eletricamente apresentam fortes evidências de um efeito da cafeína no músculo esquelético. Inicialmente, Mohr et al.³³ mostraram que a ingestão de cafeína melhorou o desempenho no ciclismo, utilizando estimulação elétrica funcional em pacientes tetraplégicos. Posteriormente, Tarnopolsky e Cupido³⁴, utilizando estimulação elétrica de 20 Hz no nervo fibular comum, observaram que a força durante o minuto final de uma contração tetânica de dois minutos foi maior após a ingestão de cafeína, além disso, não observaram qualquer efeito na excitabilidade dos motoneurônios (sem diferença na amplitude da onda M). Dois principais aspectos podem ocasionar a fadiga muscular: 1) Altas concentrações do íon K^+ no túbulo transversal, resultando em bloqueio na condução do impulso nervoso e 2) Comprometimento na liberação do íon Ca^{2+} do retículo sarcoplasmático resultando em falha no acoplamento excitação-contração.

Utilizando protocolo de MAOD (Tempo de exaustão a 120% VO_{2pico}), Simmonds et al.¹⁷ não observaram diminuição do K^+ durante e após o exercício, entretanto, foi encontrado melhora no desempenho, o que os levou a especularem que as menores concentrações de K^+ encontradas após o aquecimento, durante a condição cafeína, possam prolongar o tempo para alcançar os níveis pico de K^+ durante a execução de exercício, retardando o processo de fadiga. Entretanto, a fadiga em nível muscular não parece acontecer por alterações no K^+ , visto que as Na^+/K^+ ATPase já são ativadas ao máximo durante o exercício desta característica e, além disso, uma completa falha no potencial de ação provavelmente não ocorra durante exercício *in vivo*³⁵.

Vários estudos utilizando fibras isoladas observaram que diversas xantinas, dentre elas a cafeína, potencializam a liberação de cálcio do retículo sarcoplasmático. Apesar da maioria dos estudos utilizarem concentrações tóxicas *in vivo*³⁶, alguns outros evidenciam que, mesmo utilizando concentrações não tóxicas, o mesmo efeito pode ocorrer³⁷⁻³⁸. Entretanto, existem algumas evidências para que o efeito da ingestão de cafeína na liberação de cálcio ocorra apenas em atividades submáximas. Fryer e Neering³⁹, por

meio de análise *in vitro*, observaram que as fibras de contração lenta são mais sensíveis à ação da cafeína do que fibras de contração rápida e Block et al.³⁸ observaram que a aminofilina (uma metilxantina) aumenta a potência desenvolvida (aumento na força gerada particularmente nas velocidades mais baixas de encurtamento) nos músculos de rã estimulados apenas em frequências submáximas. Portanto, os estudos apresentados demonstram que o mecanismo de ação da cafeína pode ocorrer, em alguns casos, devido ao seu efeito em nível muscular, no entanto, este não parece ser o mecanismo envolvido para a melhora no desempenho em atividades supramáximas.

QUESTÕES METODOLÓGICAS QUE AFETARIAM OS EFEITOS DA CAFEÍNA NO DESEMPENHO ANAERÓBIO

Dosagem

Após sua ingestão, níveis elevados de cafeína aparecem na corrente sanguínea dentro de 15-45 minutos, observando-se o valor pico uma hora após sua ingestão⁷, por isso, a maioria das pesquisas realiza o exercício uma hora após a ingestão de cafeína. Dentro de três a seis horas após o consumo, cerca de 50-75% das concentrações circulantes diminuem devido a absorção pelos tecidos e eliminação com a urina. Além disso, a maioria dos estudos tem utilizado dosagens de cafeína entre 3-6 mg/kg de massa corporal, que parecem ser efetivas para a melhora do desempenho. Por outro lado, altas dosagens de cafeína (≥ 9 mg/kg de massa corporal) além de não apresentarem benefícios adicionais ao desempenho⁷ podem causar confusão mental no indivíduo⁴.

Baseado nisso, o efeito da ingestão de cafeína sobre o desempenho anaeróbio tem sido geralmente testado com doses recomendadas de cafeína (~ 5mg/kg de massa corporal), porém os resultados encontrados não são claros. Quando o protocolo utilizado foi o teste de Wingate, doses de 5mg/kg⁸⁻¹⁰ ou 7mg/kg de massa corporal¹⁴ não resultaram em efeito ergogênico no desempenho anaeróbio em indivíduos não atletas. Porém, esta mesma dose de cafeína (5mg/kg de massa corporal) resultou em melhora do desempenho anaeróbio no teste de Wingate quando o mesmo foi aplicado em indivíduos atletas¹²⁻¹³. O único trabalho que encontrou efeito positivo da cafeína no teste de Wingate em indivíduos atletas e não atletas foi o de Kang et al.¹², encontrando efeito positivo da cafeína em doses de 2,5 e 5mg/kg de massa corporal. Recentemente, Glaister et al.¹⁵ mostraram que independentemente da dose de cafeína ingerida (0, 2, 4, 6, 8 e 10mg/kg de massa corporal), não foi observado melhora em esforço máximo de 10 segundos em sujeitos ativos no ciclismo. Isso mostra que embora a ingestão de cafeína tenha melhorado a sensação de prontidão dos sujeitos para realizar o exercício, a dosagem utilizada não foi decisiva para a melhora do desempenho nesse tipo de exercício. Além disso, embora os sujeitos provavelmente soubessem que se encontravam sobre o efeito de cafeína, não seria possível identificar a dose ingerida, sendo que este fato não propiciou aos sujeitos uma maior capacidade de gerar potência.

Quando o protocolo utilizado foi o teste de MAOD, doses parecidas de caféina (~5mg/kg de massa corporal) resultaram em melhora do desempenho anaeróbio em indivíduos atletas¹⁶⁻¹⁷ ou não⁹. Em outros protocolos, doses de aproximadamente 5mg/kg de massa corporal provocaram melhora no desempenho anaeróbio, como mostrado por Wiles²¹, em prova de 1km contra-relógio no ciclismo e Doherty²⁰ em dois minutos de exercício a 100%vVO_{2max}, seguido por um minuto de esforço máximo também no ciclismo.

No entanto, outros estudos não utilizaram doses relativas a massa corporal de caféina, e sim doses absolutas¹⁹, o que pode provocar grande variabilidade individual nas respostas provocadas pela caféina entre sujeitos⁴. Além disso, a desigualdade nos resultados aumenta a suspeita do verdadeiro papel das doses de caféina no desempenho anaeróbio. Collomp et al.¹⁹ encontraram efeito positivo de 250mg de caféina no desempenho de 100m da natação em atletas, sem encontrar o mesmo em não atletas. Ainda, Hoffman et al.¹¹ não encontraram efeito positivo de 450 mg de café, que correspondia a, aproximadamente, 6,4 mg/kg de massa corporal no teste de Wingate.

Assim, embora grande parte dos estudos tenha utilizado doses semelhante de caféina, esta não parece ser o fator determinante para a ausência de efeito positivo da ingestão de caféina em únicos esforços de característica anaeróbia verificado em alguns estudos. Isto, possivelmente, deve-se às características dos sujeitos integrantes das amostras ou protocolos utilizados para avaliar o desempenho anaeróbio, fato que será discutido a seguir.

Características dos Sujeitos

Investigações sobre o efeito da caféina no desempenho anaeróbio vêm sendo realizadas em sujeitos com diferentes níveis de aptidão^{12,13,17,19}. Woolf et al.¹³ e Kang et al.¹² encontraram melhora na potência pico no teste de Wingate em atletas submetidos ao tratamento caféina. Da mesma forma, Doherty et al.²⁰, Wiles et al.²¹ e Simmonds et al.¹⁷ observaram em ciclistas melhora na potência média, potência pico e tempo de exaustão em protocolos máximos com duração entre 60 a 100 segundos.

Por outro lado, alguns estudos investigaram a influência da caféina em sujeitos não adaptados ao treinamento anaeróbio⁸⁻¹⁰. Para esse efeito, os sujeitos foram submetidos a teste de Wingate sendo que a caféina não melhorou o desempenho anaeróbio. Entretanto, o único estudo que suporta o efeito benéfico da ingestão de caféina no teste de Wingate em indivíduos não treinados foi o de Kang et al.¹².

Mecanismos de ação da caféina vêm sendo propostos na tentativa de explicar a diferença da resposta da caféina em sujeitos treinados e não-treinados. Diferentemente de atletas, indivíduos ativos possuem menor massa muscular e, provavelmente, não utilizam 100% das unidades motoras. Collomp et al.¹⁹ investigaram a influência da caféina em nadadores treinados e não-treinados, verificando efeito positivo apenas em treinados, e especularam que uma melhora do desempenho anaeróbio pode estar relacionada à capacidade ampliada de tamponamento no músculo, o qual

é mais evidente após treinamento anaeróbio. Outra sugestão é que atletas possuem maior capacidade de motivar-se o suficiente para apresentarem o efeito da cafeína no desempenho anaeróbio⁴. Portanto, uma amostra composta de atletas de elite seria a mais apropriada para detectar pequenas porém significantes mudanças no desempenho, visto que esta população possui menor coeficiente de variação e é mais confiável para realizar as tarefas nas quais estão habituados¹. Assim, a amostra de sujeitos destreinados pode não ser o melhor modelo para avaliar o efeito ergogênico da cafeína, uma vez que o nível de treinamento parece influenciar os achados conflitantes em protocolos anaeróbios similares.

Diferentes protocolos utilizados

As diferenças entre os protocolos anaeróbios utilizados para analisar o efeito ergogênico da cafeína podem explicar, em parte, as contradições encontradas nos estudos. Pode-se citar as variáveis avaliadas durante cada teste anaeróbio, ou seja, a análise da capacidade de trabalho anaeróbio (CTan) ou da potência anaeróbia.

Tem sido proposto que, em exercícios anaeróbios de carga constante, o processo de fadiga instala-se após o esgotamento da CTan, que pode ser explicada como a quantidade total de energia disponível a partir do sistema anaeróbio⁴⁰. Estudos que investigaram a administração da cafeína indicaram um aumento significativo no tempo de exaustão e/ou do desempenho em exercícios anaeróbios sem saída máxima com atletas e não-atletas^{9,16,17,20,21} e aumento do déficit de oxigênio^{9,16,17}, apesar deste aumento no déficit de oxigênio ser resultado da duração prolongada após a ingestão de cafeína e não da alteração da cinética do VO_2max ¹⁷. Além disso, a pesquisa de Machado et al.⁴⁰ observou um aumento da CTan após a ingestão de cafeína a partir do modelo de potência crítica. Assim, é possível afirmar que a ingestão de cafeína aumenta a quantidade total de energia anaeróbia, possivelmente, pelo aumento da tolerância ao esforço em exercício de alta intensidade. No entanto, é necessário cautela nesta afirmação visto que alguns estudos¹⁸ evidenciaram que é mais provável a cafeína melhorar o desempenho em testes nos quais os sujeitos são levados até a exaustão (i.e. Teste de Tempo Limite) do que protocolos com um ponto de chegada definido (e.g. Contra-relógio).

Já a potência anaeróbia, definida como a máxima energia liberada por unidade de tempo pelo sistema anaeróbio, apresenta resultados controversos, sendo que alguns estudos encontraram melhora após ingestão de cafeína^{12,13} e outros não^{8,9,14}. Contudo, com exceção de Kang et al.¹² que encontraram efeito positivo da cafeína em não atletas, o outro estudo que apresentou melhora nesta variável com cafeína utilizou sujeitos atletas¹³.

Entretanto, estas conclusões devem ser tomadas com cuidado, visto que, apesar dos protocolos de tempo de exaustão permitirem examinar detalhadamente e identificar mecanismos de ação¹⁸, o mesmo apresenta elevado coeficiente de variação (intensidades abaixo da $i\text{VO}_2\text{max}$ o coeficiente de variação fica acima de 10% e a $125\%i\text{VO}_2\text{max}$ o coeficiente de

variação é entre 5 e 10%²). Por outro lado, protocolos com ponto de chegada definido (e.g. contra-relógio), além de apresentarem menores coeficientes de variação (< 5%^{2,18}), possuem vantagem por serem mais semelhantes aos eventos esportivos, aumentando sua validade ecológica^{2,18}. É importante levar isso em consideração, uma vez que um baixo coeficiente de variação no protocolo somado à menor variabilidade individual de atletas de elite aumenta a probabilidade do efeito ergogênico da caféina ter sido realmente observado¹.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O efeito ergogênico da caféina em exercícios anaeróbios parece depender da duração do exercício e estado de treinamento dos sujeitos avaliados, podendo ser influenciado pelo protocolo utilizado. Em esforços com duração superior a 30 segundos (e.g. 125%vVO₂max, prova de 1km no ciclismo), a maioria dos estudos apresentou melhora no desempenho, independentemente do estado de treinamento dos sujeitos, possivelmente, pelo efeito positivo da caféina sobre a capacidade de trabalho anaeróbio. No entanto, o efeito positivo da caféina em protocolos de tempo de exaustão devem ser analisados com cuidado. Por outro lado, em esforços anaeróbios que duram até 30 segundos, os resultados encontrados não suportam um efeito positivo da ingestão de caféina quando a amostra é composta por indivíduos não adaptados ao treinamento anaeróbio, oposto ao que acontece em indivíduos treinados, no entanto, poucos estudos investigaram o efeito da ingestão de caféina em exercícios desta característica em sujeitos treinados. Particularmente, amostras de atletas representam quase em sua totalidade os sujeitos beneficiados pela ação da caféina. Isso ocorre, provavelmente, porque indivíduos treinados são capazes de recrutar um maior número de unidades motoras, possuem maior capacidade de tamponamento (efeito crônico do treinamento anaeróbio), além da maior motivação em tolerar esforços de alta intensidade em relação a sujeitos destreinados. Além disso, por estarem treinados a executar tais tarefas, apresentam menor coeficiente da variação e são mais confiáveis para representar um verdadeiro efeito da caféina, constituindo a amostra ideal para futuras pesquisas.

Os mecanismos propostos a explicar a ação da caféina para a melhora no desempenho deve estar relacionado a aspectos centrais e periféricos, visto que esta substância atua como receptor antagônico de adenosina, aumentando a excitabilidade do sistema nervoso central e alterando a percepção de esforço e de dor, além disso, diminui a sensibilidade do retículo sarcoplasmático na liberação do cálcio. Contudo, com relação ao desempenho anaeróbio os principais mecanismos envolvidos parecem estar relacionados a aspectos centrais. Ainda, em relação às doses, este não parece ser um fator determinante para a ausência de efeito positivo da caféina em exercícios anaeróbios, tendo em vista a dosagem semelhante utilizada em estudos desta característica (~5mg/kg de massa corporal), no entanto, sugere-se doses acima de 3mg/kg de massa corporal para que

ocorra algum benefício da cafeína no desempenho anaeróbio. Doses acima do recomendado (≥ 9 mg/kg de massa corporal) não parecem render benefícios adicionais, podendo até mesmo prejudicar a capacidade cognitiva do indivíduo.

Por fim, futuras pesquisas precisam ser feitas destinadas a indivíduos adaptados ao treinamento anaeróbio em protocolos específicos com alta validade ecológica a fim de captar os verdadeiros efeitos da ingestão de cafeína e esclarecer os mecanismos associados à melhora do desempenho anaeróbio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Burke LM. Caffeine and sports performance. *Appl Physiol Nutr Metab* 2008;33(6):1319-34.
2. Currell K, Jeukendrup AE. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Med* 2008;38(4):297-316.
3. Davis JK, Green JM. Caffeine and anaerobic performance: ergogenic value and mechanisms of action. *Sports Med* 2009;39(10):813-32.
4. Graham TE. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports Med* 2001;31(11):785-807.
5. Nawrot P, Jordan S, Eastwood J, Rotstein J, Hugenholtz A, Feeley M. Effects of caffeine on human health. *Food Addit Contam* 2003;20(1):1-30.
6. Del Coso J, Munoz G, Munoz-Guerra J. Prevalence of caffeine use in elite athletes following its removal from the World Anti-Doping Agency list of banned substances. *Appl Physiol Nutr Metab* 2011;36(4):555-61.
7. Goldstein ER, Ziegenfuss T, Kalman D, Kreider R, Campbell B, Wilborn C, et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. *J Int Soc Sports Nutr* 2010;7(1):5.
8. Collomp K, Ahmaidi S, Audran M, Chanal JL, Prefaut C. Effects of caffeine ingestion on performance and anaerobic metabolism during the Wingate Test. *Int J Sports Med* 1991;12(5):439-43.
9. Bell DG, Jacobs I, Ellerington K. Effect of caffeine and ephedrine ingestion on anaerobic exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(8):1399-403.
10. Greer F, Morales J, Coles M. Wingate performance and surface EMG frequency variables are not affected by caffeine ingestion. *Appl Physiol Nutr Metab* 2006;31(5):597-603.
11. Hoffman JR, Kang J, Ratamess NA, Jennings PF, Mangine GT, Faigenbaum AD. Effect of nutritionally enriched coffee consumption on aerobic and anaerobic exercise performance. *J Strength Cond Res* 2007;21(2):456-9.
12. Kang H, Kim H, Kim B. Acute effects of caffeine intake on maximal anaerobic power during 30s Wingate cycling test [abstract]. *J Exerc Physiol Online* 1998:1.
13. Woolf K, Bidwell WK, Carlson AG. The effect of caffeine as an ergogenic aid in anaerobic exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2008;18(4):412-29.
14. Williams JH, Signorile JF, Barnes WS, Henrich TW. Caffeine, maximal power output and fatigue. *Br J Sports Med* 1988;22(4):132-4.
15. Glaister M, Patterson SD, Foley P, Pedlar CR, Pattison JR, McInnes G. Caffeine and sprinting performance: dose responses and efficacy. *J Strength Cond Res* 2012;26(4):1001-5.
16. Doherty M. The effects of caffeine on the maximal accumulated oxygen deficit and short-term running performance. *Int J Sport Nutr* 1998;8(2):95-104.
17. Simmonds MJ, Minahan CL, Sabapathy S. Caffeine improves supramaximal cycling but not the rate of anaerobic energy release. *Eur J Appl Physiol* 2010;109(2):287-95.
18. Doherty M, Smith PM. Effects of caffeine ingestion on exercise testing: a meta-analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2004;14(6):626-46.

19. Collomp K, Ahmaidi S, Chatard JC, Audran M, Prefaut C. Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992;64(4):377-80.
20. Doherty M, Smith P, Hughes M, Davison R. Caffeine lowers perceptual response and increases power output during high-intensity cycling. *J Sports Sci* 2004;22(7):637-43.
21. Wiles JD, Coleman D, Tegerdine M, Swaine IL. The effects of caffeine ingestion on performance time, speed and power during a laboratory-based 1 km cycling time-trial. *J Sports Sci* 2006;24(11):1165-71.
22. Kalmar JM, Cafarelli E. Caffeine: a valuable tool to study central fatigue in humans? *Exerc Sport Sci Rev* 2004;32(4):143-7.
23. Davis JM, Zhao Z, Stock HS, Mehl KA, Buggy J, Hand GA. Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2003;284(2):R399-404.
24. Ribeiro JA, Sebastiao AM. Caffeine and adenosine. *J Alzheimers Dis* 2010;20 Suppl 1:S3-15.
25. Kalmar JM, Cafarelli E. Central fatigue and transcranial magnetic stimulation: effect of caffeine and the confound of peripheral transmission failure. *J Neurosci Methods* 2004 30;138(1-2):15-26.
26. Walton C, Kalmar J, Cafarelli E. Caffeine increases spinal excitability in humans. *Muscle Nerve* 2003;28(3):359-64.
27. Kalmar JM, Del Balso C, Cafarelli E. Increased spinal excitability does not offset central activation failure. *Exp Brain Res* 2006;173(3):446-57.
28. Doherty M, Smith PM. Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports* 2005;15(2):69-78.
29. Astorino TA, Terzi MN, Roberson DW, Burnett TR. Effect of caffeine intake on pain perception during high-intensity exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2011;21(1):27-32.
30. Plaskett CJ, Cafarelli E. Caffeine increases endurance and attenuates force sensation during submaximal isometric contractions. *J Appl Physiol* 2001;91(4):1535-44.
31. Kalmar JM, Cafarelli E. Effects of caffeine on neuromuscular function. *J Appl Physiol* 1999;87(2):801-8.
32. Meyers BM, Cafarelli E. Caffeine increases time to fatigue by maintaining force and not by altering firing rates during submaximal isometric contractions. *J Appl Physiol* 2005;99(3):1056-63.
33. Mohr T, Van Soeren M, Graham TE, Kjaer M. Caffeine ingestion and metabolic responses of tetraplegic humans during electrical cycling. *J Appl Physiol* 1998;85(3):979-85.
34. Tarnopolsky M, Cupido C. Caffeine potentiates low frequency skeletal muscle force in habitual and nonhabitual caffeine consumers. *J Appl Physiol* 2000;89(5):1719-24.
35. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Impaired calcium release during fatigue. *J Appl Physiol* 2008;104(1):296-305.
36. James RS, Wilson RS, Askew GN. Effects of caffeine on mouse skeletal muscle power output during recovery from fatigue. *J Appl Physiol* 2004;96(2):545-52.
37. James RS, Kohlsdorf T, Cox VM, Navas CA. 70 microM caffeine treatment enhances in vitro force and power output during cyclic activities in mouse extensor digitorum longus muscle. *Eur J Appl Physiol* 2005;95(1):74-82.
38. Block BM, Barry SR, Faulkner JA. Aminophylline increases submaximum power but not intrinsic velocity of shortening of frog muscle. *J Appl Physiol*. 1992 Jul;73(1):71-4.
39. Fryer MW, Neering IR. Actions of caffeine on fast- and slow-twitch muscles of the rat. *J Physiol*. 1989 Sep;416:435-54.
40. Machado MV, Batista AR, Altimari LR, Fontes EB, Triana RO, Okano AH, et al. Efeito da ingestão de caféina sobre os parâmetros de potência crítica. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2010;12(1):49-54.

Endereço para correspondência

Fabrizio Caputo
Rua Pascoal Simone, 358, Coqueiros.
88080-350. Florianópolis - SC
E-mail: fabriziocaputo@hotmail.com