

# Efeito da lipólise induzida pela cafeína na performance e no metabolismo de glicose durante o exercício intermitente

## Effect of increased caffeine-induced lipolysis on performance and glucose metabolism during intermittent exercise

Leonardo Reis Silveira<sup>1</sup>,  
Armindo Antônio Alves<sup>2</sup>,  
Benedito Sérgio Denadai<sup>3</sup>

### Resumo

SILVEIRA, L.R., ALVES, A.A., DENADAI, B.S. Efeito da lipólise induzida pela cafeína na performance e no metabolismo de glicose durante o exercício intermitente. **R. bras. Ci. e Mov.** 2004; 12(3): 21-26.

Uma elevada taxa na oxidação de ácidos graxos reduz a oxidação de glicose em músculo esquelético. Esse efeito seria importante durante o exercício intermitente intenso, uma vez que, baixos níveis de glicogênio ou altos níveis de lactato muscular estão diretamente envolvidos com o mecanismo de fadiga muscular. Nosso objetivo foi examinar se uma maior disponibilidade de ácidos graxos induz uma redução nos níveis de lactato e glicose sanguínea, seguido de um aumento no tempo de exaustão (TE) durante o exercício intermitente intenso. 10 ciclistas masculinos foram submetidos a testes para determinação do limiar anaeróbio (LA), potência anaeróbia máxima (P.A.M.) e índice de fadiga (I.F.). Após 48 h, foram submetidos a uma sessão de exercício intermitente no ciclo-ergômetro a uma intensidade de 30% acima do LA. Os participantes ingeriram cafeína (CF) (5 mg.kg<sup>-1</sup>) ou placebo (PL) (5 mg.kg<sup>-1</sup>) 60 min antes do exercício. Amostras de sangue para determinação de cafeína e ácidos graxos livres (AGL) foram coletadas antes do exercício (0 min) e para determinação de glicose e lactato foram coletadas a cada 5 min durante o exercício. Entre as diferentes variáveis coletadas houve uma diferença significativa no tempo de exaustão (TE) após a ingestão de CF comparado a mesma situação após ingestão de PL (82,4 ± 28 vs 56,2 ± 17 min) (p < 0,05). A ingestão de CF também aumentou as concentrações de AGL antes de exercício (0,183 ± 0,097 vs 0,110 ± 0,052 µg.dL<sup>-1</sup>) (p < 0,05). As concentrações de glicose sanguínea aumentaram significativamente com CF apenas nos instantes finais do exercício (p < 0,05), ao passo que as concentrações de lactato não sofreram alterações (p > 0,05). Os valores de percepção subjetiva de esforço (PSE) foram estatisticamente significativos apenas no final do exercício quando as análises foram realizadas dentro de cada grupo isoladamente (p < 0,05). Nossos resultados sugerem que o aumento da lipólise induzido pela CF pode contribuir com a performance durante o exercício intermitente intenso via uma redução na utilização de glicose e aumento do TE.

**PALAVRAS-CHAVE:** cafeína, exercício intermitente e glicose.

### Abstract

SILVEIRA, L.R., ALVES, A.A., DENADAI, B.S. Effect of increased caffeine-induced lipolysis on performance and glucose metabolism during intermittent exercise. **R. bras. Ci. e Mov.** 2004; 12(3): 21-26.

This study examined the influence of caffeine on changes in selected blood and performance variables in response to intermittent exercise. 10 male cyclists withdrew all dietary sources of caffeine for 72 h before two tests. One hour before exercise they ingested placebo (PL) or caffeine (CF) capsules (5 mg.kg<sup>-1</sup>), rested quietly and then cycled at 30% above the anaerobic threshold (AT) until voluntary exhaustion. Blood samples for caffeine and free fatty acids (FFA) analysis were taken immediately before the exercise and samples for glucose and lactate analysis were taken during exercise. The variables rating perceived exertion (RPE), heart rate (HR) and time to exhaustion (TE) were also measured during exercise. There was a significant difference in CF compared with PL trial for TE (82,4 ± 28 vs 56,2 ± 17 min) and FFA (0,183 ± 0,097 vs 0,110 ± 0,052 µg.dL<sup>-1</sup>) (p < 0,05). Glucose blood concentrations also significantly increased in CF trial in the end of exercise (p < 0,05), whereas lactate concentrations did not change during the exercise for both trial (p > 0,05). The RPE values just show significance toward the end of exercise when the result were compared separately into the same group (p < 0,05), but failed for significance when CF and PL were compared (p > 0,05). Therefore, our results suggest that an increased caffeine-induced lipolysis may contributed with a reduced consume of glucose by skeletal muscle following by a marked increase in the performance during intermittent exercise.

**KEYWORDS:** caffeine, intermittent exercise and glucose.

<sup>1</sup> Departamento de Fisiologia e Biofísica -IB - UNICAMP, Campinas, Brasil.  
<sup>2</sup> Departamento de Bioquímica -IB - UNICAMP Campinas, Brasil.  
<sup>3</sup> Laboratório de Avaliação da Performance Humana, IB, UNESP, Rio Claro, SP, Brasil.

Recebido: 20/01/2004

Aceite: 08/06/2004

## Introdução

Edwards et al. (10) foram os primeiros a demonstrarem que o lipídio é a principal fonte de energia durante o exercício oxidativo de longa duração. Décadas mais tarde, Randle et al. (21) mostraram pela primeira vez *in vitro* que uma elevada taxa na oxidação de ácidos graxos reduz a oxidação de glicose em células do músculo cardíaco e esquelético de ratos via uma inibição da enzima fosfofrutoquinase (PFK) mediada pelo acúmulo de citrato no citosol. Como consequência, esta inibição induz um aumento na razão G6P/F16P2 diminuindo a captação líquida de glicose devido ao forte efeito inibidor da G6P na atividade da hexoquinase. Este efeito da lipólise na redução da oxidação de glicose seria importante durante o exercício intenso para as células musculares, uma vez que, baixos níveis de glicogênio ou altos níveis de lactato muscular estão diretamente envolvidos com o mecanismo de fadiga muscular (19, 31). Embora o aumento da lipólise induzido artificialmente pela cafeína ou por outra estratégia como a infusão de heparina ou ácidos graxos tem confirmado esta hipótese em diferentes estudos (8, 16), pouco se conhece a respeito desse mecanismo durante o exercício intermitente intenso onde a produção de energia oxidativa é esperada para “aumentar” a medida que o exercício é mantido (13). Nesse tipo de exercício, amplamente utilizado em muitos esportes bem como em diferentes modelos de treinamento, a baixa disponibilidade de carboidratos, bem como o acúmulo de lactato/prótons tem sido mostrado para contribuir com a redução da performance (19, 1). Então, seria esperado que aumento do metabolismo de lipídios durante o exercício intermitente intenso diminuísse o fluxo glicolítico, prolongando o tempo de exaustão pelo aumento na economia de glicogênio e redução do acúmulo de lactato/prótons. Portanto, com base na regulação do ciclo glicose-ácido graxo proposto por Randle e colaboradores (21) o objetivo do presente estudo foi examinar se uma maior disponibilidade de ácidos graxos livres induz uma redução nos níveis de lactato e glicose sanguínea, seguido de um aumento no tempo de exaustão (TE) durante o exercício intermitente de alta intensidade.

## Métodos

### Sujeitos

As principais características e capacidades físicas dos 10 ciclistas masculinos voluntários estão disponíveis na Tabela 1. Todos foram informados dos riscos associados a este estudo e deram posteriormente por escrito um consentimento. Os procedimentos metodológicos foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética Médica da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

### Protocolos de exercício

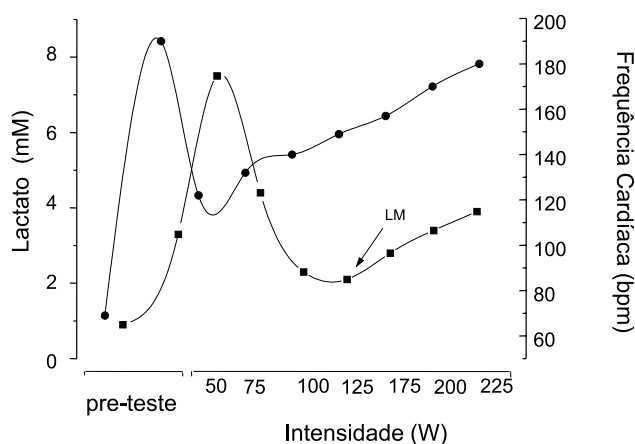
O teste para determinação do LA realizado no cicloergômetro (Monark) foi dividido em 2 etapas. Na primeira, após um prévio aquecimento de 10 min, os voluntários foram submetidos a um protocolo de exercício máximo com a intensidade de  $0,0857 \cdot Kp \cdot Kg^{-1}$  de massa corporal e duração de 30 s (teste de Wingate). Essa etapa, teve como objetivo aumentar a concentração sanguínea de lactato e determinar a P.A.M. e o I.F. A potência (Watts) durante o teste, foi analisada

a cada 5 segundos. A P.A.M. foi definida como sendo a maior potência gerada em um intervalo de 5 segundos. O I.F. foi obtido pela diferença entre a maior (P.A.M.) e a menor potência produzida em um intervalo de 5 segundos, dividido pela P.A.M.  $\times 100$  (9). A segunda etapa do teste foi realizada após um intervalo de 7 min, suficiente para o efluxo do lactato formado nos músculos para o sangue (32). Em seguida, para determinação da concentração de lactato mínimo (LM) os sujeitos realizaram um exercício de intensidades progressivas, partindo de uma carga inicial de 1 Kp e com aumentos de 0,5 Kp a cada 3 min de exercício até a exaustão (32), definida como a incapacidade de sustentar a velocidade média previamente estabelecida em 30 km/h. As coletas sanguíneas foram realizadas antes, imediatamente após o exercício intenso (pré-teste) e a cada 3 min após o início do exercício progressivo. A FC (bpm) e o tempo de atividade (min) foram monitorados durante todo o teste. As informações de percepção subjetiva de esforço (PSE) foram coletadas a cada 3 min após o início do exercício progressivo (4). O limiar anaeróbio foi definido pela concentração de lactato mínimo (LM) durante o exercício de cargas progressivas (fig. 1). Este ponto representa o equilíbrio entre a produção e remoção do lactato no exercício e sua concentração foi associada à intensidade, FC, PSE e a concentração de glicose (tabela 1). A preferência pela utilização do limiar de lactato ao invés do limiar ventilatório ou consumo de oxigênio deve-se principalmente ao fato da cafeína exercer forte modulação no limiar ventilatório e na razão  $VO_2/VCO_2$  durante o exercício (3).

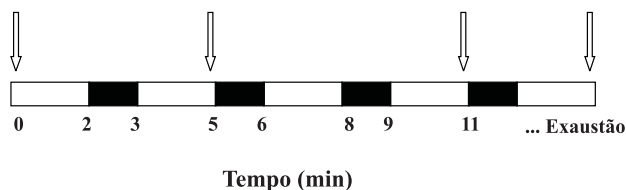
### Exercício intermitente

Após 48 h, os voluntários compareceram ao laboratório em duas ocasiões separadas por uma semana de intervalo e realizadas no mesmo período do dia para minimizar a variabilidade entre os participantes. Em cada sessão de exercício intermitente os voluntários pedalarão numa intensidade de 30% acima do LA até a exaustão usando uma relação de Esforço:Pausa de 2:1 min (fig. 2). Os testes foram realizados de forma aleatória (randomizada), obedecendo um procedimento duplo-cego com os participantes ingerindo cafeína (CF) ( $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) ou placebo (PL, amido) ( $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) na forma de cápsulas gelatinosas 60

**Figura 1** - Determinação da intensidade de LA correspondente a concentração de lactato mínimo (LM) (linha vertical). Valores das concentrações de lactato sanguíneo ( $\square$ ) e frequência cardíaca ( $\bullet$ ) antes e após o pré-teste, após 7 min do período de repouso e a cada 3 min durante o exercício progressivo.



**Figura 2** – Modelo experimental utilizado para realização do exercício intermitente. Os quadros abertos indicam os períodos de atividade e os quadros fechados indicam os períodos de recuperação. As setas estão indicando os tempos das coletas das amostras de sangue.



min antes conforme já descrito anteriormente (14). Os sujeitos foram informados verbalmente e por escrito para evitar o consumo de CF durante o período experimental. Para um maior controle, uma lista de alimentos, bebidas e medicamentos contendo cafeína foi utilizada pelos participantes. Em adição, todos foram ainda aconselhados a reduzirem seus programas de treinamento durante o período deste estudo. A dose de CF (7) e o protocolo de exercício intermitente utilizados (2) foi baseado na literatura e de observações de estudos pilotos de nosso laboratório. Amostras de sangue venoso não-heparinizado (5 mL) foram coletadas através de um cateter pela veia braquial imediatamente antes (0 min) de cada sessão do exercício intermitente e em seguida analisado as concentrações de CF e ácidos graxos livres (AGL). Amostras de sangue para análise de lactato e glicose foram coletadas a cada 5 min durante o exercício.

#### **Análise das amostras de sangue:**

**Cafeína:** Amostras de plasma (1 mL) foram misturadas com 750 mg de NaCl, 250 µL de NaOH (0.1 N) e 5 mL de benzeno. Em seguida, as amostras foram agitadas por 15 min e centrifugadas a 1.000 g por 5 min. O sobrenadante foi misturado com 2 mL de HCl (5 N) e centrifugado a 1.500 g por 5 min. Finalmente, o sobrenadante foi cuidadosamente removido e a absorbância medida a 273 nm. A concentração final de CF foi determinada através de uma curva padrão (25).

**Ácido graxo livre:** Amostras de plasma (300 µL) foram misturadas com líquido de extração (6 mL) contendo em mL: cloroforme 280, heptano 210 e metanol 10. Após 15 min, as amostras foram centrifugadas a 1.000 g por 5 min e 5 mL do sobrenadante foram misturados com 2,5 mL de solução reagente de cobre contendo em Molar: nitrato de cobre 0,5, trietanolamina 1,0 e NaOH 2,5 em pH 8,0. As amostras foram centrifugadas a 1.000 g por 5 min e 3 mL do sobrenadante foram misturados com 0,5 mL do reagente dietildiocarbamato de sódio (10 mg/mL). A absorbância foi determinada a 437 nm e a concentração final de AGL foi determinada através de uma curva padrão de ácido palmítico (22). Todas as análises foram feitas em duplicatas.

**Determinação das concentrações de lactato e glicose em amostras de sangue:** As amostras de sangue (25 µL) para análise das concentrações de lactato (mM) e glicose (mM), foram coletadas após os tempos pré-estabelecidos no protocolo, na região do lóbulo da orelha em tubo capilar heparinizado e armazenadas em tubo Eppendorf contendo 50 µL de fluoreto de sódio (1%). As concentrações de lactato e glicose foram determinadas pelo método eletroquímico através do aparelho YSI 2300 STAT (Yellow Spring INC, EUA).

**Tabela 1** – Características físicas e antropométricas dos voluntários. Limiar anaeróbio (LA), Lactato mínimo (LM), Potência anaeróbia máxima (PAM) e Índice de fadiga (IF).

Sujeitos N=10	Idade (anos)	Altura (cm)	Massa corporal (kg)	LA (W)	LM (mM)	PAM (W.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	IF (%)
Média	20,7	172	68	125	3,6	10,3	37,7
± DP	3	5	6,3	21	1,8	1,3	11

**Tabela 2** – Efeito da ingestão de cafeína (CF) no tempo de exaustão, nas concentrações plasmáticas de ácidos graxos livres e cafeína. Os resultados estão apresentados como médias ± DP. \* P < 0,05 comparado com placebo (PL). n = 10, exceto em algumas situações onde o teste foi interrompido, ou as análises de CF e ácidos graxos descartadas.

	Cafeína (µg.mL <sup>-1</sup> )	Tempo de exaustão (min)	Ácidos graxos Livres (µg.dL <sup>-1</sup> )
CF	5,45 ± 1,6 * (n = 10)	82,4 ± 28 * (n = 9)	0,183 ± 0,097 * (n = 8)
PL	0,0 (n = 9)	56,2 ± 17 (n = 9)	0,110 ± 0,052 (n = 9)

**Análise estatística:** Teste “t” Student foi usado para as análises entre dois grupos e ANOVA - 2 vias para as análises entre mais de dois grupos. As diferenças significativas identificadas pela ANOVA foram detectadas usando o teste Tukey. Em todos os casos o nível de significância mínimo admitido foi de 5% (p ≤ 0,05). O software utilizado foi “STATISTICS FOR WINDOWS”, 4.3 (Statsoft, Inc. 1993).

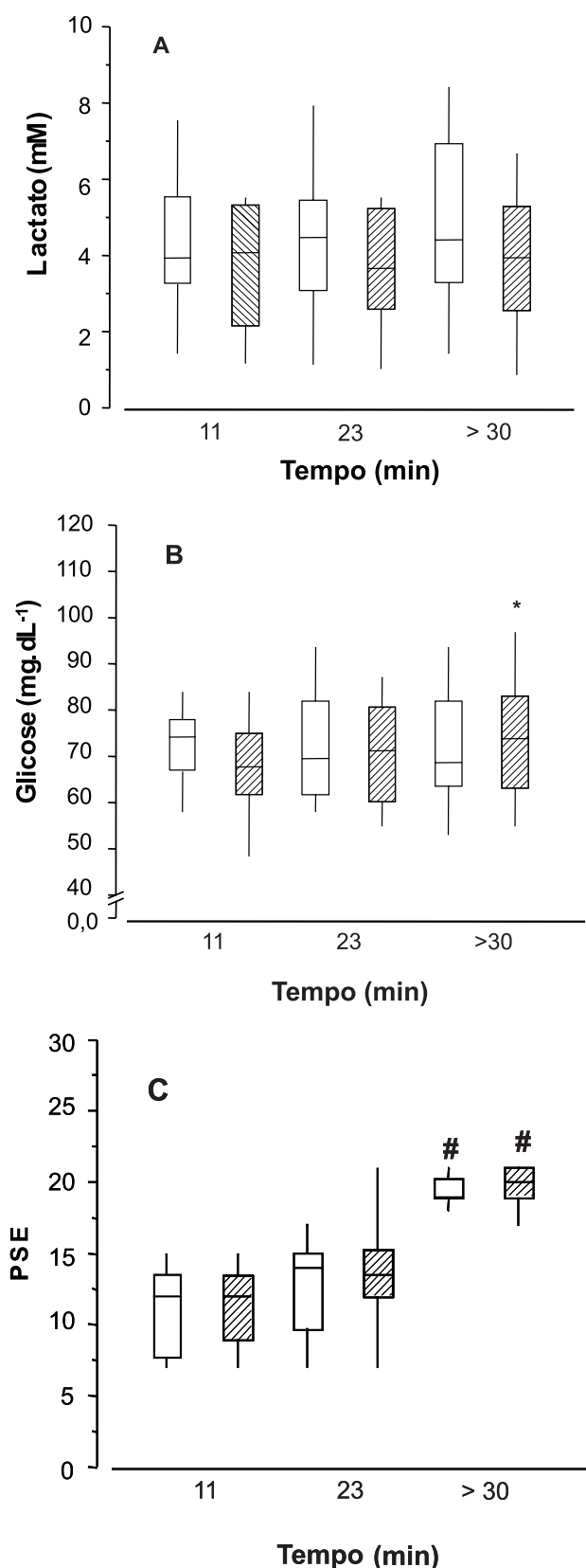
## **Resultados**

A variabilidade indicada pelo desvio padrão das médias das características antropométricas e físicas dos voluntários em todos os casos foi menor que 5%, tornando a amostra homogênea para para o procedimento experimental proposto neste estudo (Tabela 1).

As análises das concentrações de ácidos graxos plasmático exibidas na tabela 2, mostraram um aumento significativo no grupo CF 60 min antes do exercício comparado ao grupo controle (p < 0,05), indicando uma forte ativação da lipólise com a ingestão de cafeína. Em adição, o TE aumentou significativamente em 26,2 min (p < 0,05) após a ingestão de CF comparado ao grupo controle (tabela 2).

Não houve diferenças significativas entre os dois grupos para as análises de lactato sanguíneo (p > 0,05) (fig. 3, painel A). Ao passo, que as análises das concentrações de glicose sanguínea aumentaram significativamente no tempo > 30 min no grupo CF comparado ao grupo PL (p < 0,05), sugerindo uma maior utilização da glicose na ausência de cafeína (fig. 3, painel B). Nenhum efeito da CF foi verificado na PSE (p > 0,05) comparado ao PL. Embora os valores de PSE aumentaram significativamente (P < 0,05) em função do tempo quando as análises foram realizadas isoladamente em ambos os grupos (p < 0,05) (fig. 3, painel C).

**Figura 3** - Os valores são medianas, intervalos interquartis (1° e 3°) e valores máximos e mínimos de lactato (painel A), glicose sanguínea (painel B) e PSE (painel C) obtidos durante o exercício intermitente realizado após ingestão de cafeína (barra listada) e placebo (barra aberta) com intensidade de 30% acima do limiar anaeróbio. \*  $p < 0,05$  comparado à mediana do grupo cafeína e #  $P < 0,05$  comparado ao tempo 11 min.



## Discussão

Embora o efeito positivo do aumento do metabolismo de lipídios na performance e na redução do metabolismo de carboidratos durante o exercício contínuo de baixa intensidade não seja mais novidade, este efeito durante o exercício intermitente intenso ainda é pouco explorado. Nossos achados sugerem que o aumento da lipólise como demonstrado pelo aumento da concentração de AGL plasmático após ingestão de CF (tabela 2) muito provavelmente contribuiu com uma maior captação e conseqüentemente oxidação de lipídio pelas células musculares, como mostrado anteriormente por outros estudos, utilizando o exercício contínuo como modelo experimental (28, 8). No entanto, considerando a intensidade de 30% acima do LA adotada neste estudo, seria incoerente acreditarmos que numa intensidade tão alta de exercício a lipólise fosse predominante na produção de energia, uma vez que a contribuição da oxidação de lipídios na produção total de energia durante o exercício aumenta até aproximadamente a intensidade de 50 – 65% do VO max, o que corresponde a valores muito próximos da intensidade de LA, seguido de um declínio à medida que a intensidade ultrapassa esses valores (17, 23). Porém, apesar da intensidade supra-limiar, a predominância metabólica esperada durante o exercício intermitente intenso é “oxidativa” como demonstrado por resultados anteriores de outros estudos (13, 12), de nosso laboratório (29) e ainda pelas concentrações de lactato sanguíneo relativamente baixos encontrados durante o exercício (fig. 3, painel A). Com base nesse paradoxo podemos então assumir que o RER (quociente respiratório) dos voluntários muito provavelmente estivesse abaixo de 0,85 indicando predominância na oxidação de lipídios. Isso confirma a relação inversa entre tempo de exercício e RER, indicando que um maior tempo de exaustão com CF está associado com uma menor oxidação de carboidratos. Então, se o exercício intermitente por si só aumenta a oxidação de lipídios, a CF muito provavelmente exerceu um papel sinérgico como um potencializador na oxidação de lipídios, aumentando a performance durante o exercício intermitente no grupo tratado como verificado pelos valores do tempo de exaustão (tabela 2).

Embora a regulação do metabolismo de lipídio pelas células musculares ainda não esteja completamente estabelecida, algumas hipóteses sugerem que um dos principais mecanismos desta regulação durante o exercício esteja na mobilização e disponibilidade dos ácidos graxos para as células musculares em atividade (30). Sendo sua captação altamente dependente da concentração plasmática e do fluxo sanguíneo (15, 30). No entanto, o fluxo sanguíneo nos músculos em atividade aumenta em função da intensidade de esforço. Porém, a maior disponibilidade e captação de AGL pelas células musculares durante o exercício é sempre verificado em intensidades de baixa para moderada (24), o que explica a preferência na predominância de lipídios pelas células musculares nessas condições. Em adição, é interessante destacarmos que alguns estudos demonstraram que imediatamente após o exercício intenso há um grande aumento nas concentrações de AGL plasmático (23). Sugerindo que a forte vasoconstrição periférica imposta pelo exercício reduz o fluxo sanguíneo no tecido adiposo, conseqüentemente reduzindo a liberação de AGL para



circulação durante o exercício intenso (5). Então, os intervalos de recuperação relativamente longos utilizados durante o exercício intermitente em nosso estudo parece ter contribuído com o aumento na disponibilidade de AGL. Considerando o efeito do aumento dos AGL plasmático na performance verificado em nosso estudo, podemos sugerir que apesar da elevada intensidade utilizada (30% > LA) a mobilização e captação dos AGL não foram afetadas durante o exercício intermitente. A razão para isso parece ser simples, uma vez que a administração da CF foi realizada 60 min antes do exercício, o que foi suficiente para elevar significativamente as concentrações de AGL momentos antes da atividade. Portanto, a mobilização e captação dos AGL parecem definitivamente não ter sido afetadas durante o exercício intermitente. Em acordo com nossos resultados Romijn et al. (24) através da infusão artificial de lipídios e heparina demonstraram que a captação e oxidação de lipídios foram aumentadas, seguido de uma redução de 15% na utilização do glicogênio muscular durante o exercício intenso comparado ao controle em condições normais.

Os resultados das concentrações plasmáticas de glicose reforçam o possível efeito da redução do metabolismo de carboidrato durante o exercício intermitente via ciclo glicose-ácido graxo, após o aumento da lipólise. Imediatamente após o exercício os níveis de glicose no grupo controle foram significativamente menores comparado ao grupo CF, sugerindo uma menor captação de glicose pelos músculos esqueléticos em atividade no final do exercício no grupo CF (fig. 3, painel B). É importante destacar que em 2 dos 8 indivíduos a administração de CF não exerceu qualquer efeito na performance. Porém, esses indivíduos exercitaram por um período de tempo relativamente curto, isto é, aproximadamente 30 min, quando os níveis de glicogênio endógenos parecem não ser um fator limitante da performance (27). Esses resultados aumentam a suposição que um maior fluxo glicolítico iniba a oxidação de lipídios possivelmente pela inibição do transporte de lipídios pela membrana mitocondrial (30). Esse mecanismo também considerado importante na regulação do metabolismo de lipídios é responsável pelo transporte de acil-CoA para dentro da mitocôndria e conhecido como sistema carnitina palmitoil-transferase (CPTI) (15, 30). Esse sistema, em células do músculo esquelético, parece ser altamente sensível aos níveis de malonil-CoA um intermediário da síntese de lipídios, esperado para aumentar em situações de elevado fluxo glicolítico (11). Nessas condições, o malonil-CoA pode exercer uma forte inibição na CPTI diminuindo o transporte de ácidos graxos para mitocôndria e conseqüentemente a sua oxidação. Porém, considerando a predominância metabólica e o aumento na oxidação de lipídios durante o exercício intermitente intenso, o acúmulo de malonil-CoA muito provavelmente deve ter sido discreto. Uma outra possibilidade para explicar o aumento na oxidação de lipídios nas condições deste estudo seria a utilização dos ácidos graxos de cadeia média, os quais independem de um transportador mitocondrial específico (28).

Embora nossos resultados sugerem uma redução na utilização de carboidratos durante o exercício intermitente, nenhuma alteração nas concentrações plasmáticas de lactato foi verificada entre os grupos PL e CF ( $p > 0,05$ ) (fig. 3, painel A). Porém, as análises das concentrações de lactato

sanguíneo em muitos casos não necessariamente refletem os acontecimentos intracelulares, mostrando uma grande discrepância entre esses 2 compartimentos (26). Em adição, outros fatores aparentemente simples podem dificultar a interpretação dos resultados como é o caso da precisão no tempo de coleta das amostras muitas vezes difícil de ser padronizado, o estado nutricional do indivíduo, a variabilidade na idade, o estado de hidratação e principalmente as diferenças no tempo de remoção do lactato muscular para o sangue entre os voluntários (18). É importante destacar ainda que os valores médios de P.A.M. e I.F. dos voluntários (tabela 2) foram relativamente baixos comparados a valores de indivíduos treinados, verificados na literatura (6) e em observações de nosso laboratório (dados não publicados), o que também pode ter contribuído com uma menor produção de lactato.

Considerando seu efeito multifuncional, nós não poderíamos descartar a possibilidade da CF estar exercendo seu efeito ergogênico por outros mecanismos. Como por exemplo, aumentando a estimulação do sistema nervoso central (SNC) e conseqüentemente o TE, porém as análises de PSE (fig. 3, painel C) indicam que o efeito da CF ( $P > 0,05$  comparado ao grupo PL) parece não ter sido via aumento na atividade do SNC como já descrito por outros utilizando o exercício intenso (20).

Portanto, nossos resultados no presente estudo sugerem que uma maior disponibilidade de lipídios plasmáticos antes do exercício intermitente intenso no ciclo-ergômetro aumenta o tempo de exaustão, provavelmente devido uma menor utilização de carboidrato, seguido de uma maior oxidação de lipídios como anteriormente demonstrado pelo clássico ciclo glicose-ácido graxo.

**Agradecimentos:** A assistência técnica de E. Custódio e J. R. R. Silva da UNESP de Rio Claro. E Capes e Fapesp pelo suporte financeiro.

## Referências Bibliográficas

1. BANGSBO, J.; NORREGAARD, L.; THORSOE, F. The effect of carbohydrate diet on intermittent exercise performance. **International Journal Sports Medicine**. 1992; 13:152-157.
2. BALLOR, D. L. and VOLOVSEK, A. J. Effect of exercise to rest ratio on plasma lactate concentration at work rates above and below maximum oxygen uptake. **European Journal Applied Physiology**. 1992; 65:365-369.
3. BERRY, M. J. et. al. Dissociation of ventilatory and lactate thresholds following caffeine ingestion. **Medicine Science Sports Exercise**. 1991; 23:463-469.
4. BORG, G. A. Psychological basis of physical exertion. **Medicine Science Sports Exercise**. 1982; 14:377-81.
5. BULOW, J. Subcutaneous adipose tissue blood flow and triacylglycerol-mobilization during prolonged exercise in dogs. **Pflugers Archives**. 1982;392:230-34.
6. CALBET, J. A. et al. Anaerobic energy provision does not limit wingate exercise performance in endurance-trained cyclists. **Journal Applied Physiology**. 2003; 94(2):668-76.

7. COLLOMP, K. et al. Effects of caffeine ingestion on performance and anaerobic metabolism during the Wingate test. **International Journal Sports Medicine**. 1991; 12:439-43.
8. COSTILL, D.L., DALSKY, G.P. and FINK, W.J. Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. **Medicine Science Sports Exercise**. 1978; 10: 155-158.
9. DOTAN, R. and BAR-OR, O. Load optimization for the wingate anaerobic test. **European Journal Applied Physiology**. 1983; 51: 409-417.
10. EDWARDS, H. T.; MARGARIA, R. and DILL, B. Metabolic rate, blood sugar and utilization of carbohydrate. **American Journal Physiology**. 1934; 108:203-209.
11. ELAYAN, I. M. and WINDER, W. W. Effect of glucose infusion on muscle malonyl-CoA during exercise. **Journal Applied Physiology**. 1991; 70(4):1495-1499.
12. ESSEN, B. Studies on the regulation of metabolism in human skeletal muscle using intermittent exercise as an experimental model. **Acta Physiologica Scandinavica**. 1978; 454:1-32.
13. GAITANOS, G. C. et al. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. **Journal Applied Physiology**. 1993; 75:712-719.
14. GRAHAM, T. E. and SPRIET, L.L. Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during exercise. **Journal Applied Physiology**. 1991; 71(6):2292-2298.
15. HAWLEY, J. A. Effect of increase fat availability on metabolism and exercise capacity. **Medicine Science Sports Exercise**. 2002; 34(9):1485-1491.
16. HAWLEY, J. A. et al. Effect of altering substrate availability on metabolism and performance during intense exercise. **British Journal Nutrition**. 2000; 84:829-838.
17. HOWLETT, R. A. et. al. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and pyruvate dehydrogenase at varying power outputs. **American Journal Physiology**. 1998; 275:R418-R425.
18. JACOBS, I. Blood lactate: Implications for training and sports performance. **Sports Medicine**. 1986; 3:10-25.
19. KLAUSEN, K. Et al. Effect of pre-existing high blood lactate concentration on maximal exercise performance. **Scandinavian Journal Clinical Laboratory Investigation**. 1972; 30:415-419.
20. NEHLIG, A. And DEBRY, G. Caffeine and sports activity: A review. **International Journal Sports Medicine**. 1994; 5: 215-223.
21. RANDLE, P. J.; NEWSHOLME, E. A. and GARLAND, P. B. Regulation of glucose uptake by muscle. Effect of fatty acids, ketone bodies and pyruvate, and of alloxan diabetes starvation, on the uptake and metabolic fate of glucose in rat heart and diaphragm muscles. **Biochemistry Journal**. 1964; 93: 652-665.
22. REGOW, B.J.M. et al. Specific determination of free fatty acid in plasma. **Clinica Chimica Acta**. 1971; 31: 187-195.
23. ROMIJN, J.A. et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. **American Journal Physiology**. 1993; 265:E380-91.
24. ROMIJN, J. A. et al. Wolfe. Relationship between fatty acid delivery and fatty acid oxidation during strenuous exercise. **Journal Applied Physiology**. 1995; 79:1939-1945.
25. ROUTH, J.I. et al. Determination of caffeine in serum and urine. **Clinical Chemistry**. 1969; 15: 661-668.
26. SACKS, J. and SACKS, W. Blood and muscle lactic acid in the steady state. **American Journal Physiology**. 1937; 118:697-702.
27. SALTIN, B. and KARLSSON, J. Muscle glycogen utilization during work of different intensities. **Advances Experimental Medicine Biology**. 1975; 18:289-299.
28. SIDOSSIS, L. S. et al. Regulation of plasma fatty acid oxidation during low- and high-intensity exercise. **American Journal Physiology**. 1997; E1065-E1070.
29. SILVEIRA, L. R. e DENADAI, B. S. Efeito modulatório de diferentes intensidades de esforço sobre a via glicolítica durante o exercício contínuo e intermitente. **Revista Paulista Educação Física**. 2003; (in Press).
30. SPRIET, L.L. Regulation of skeletal muscle fat oxidation during exercise in humans. **Medicine Science Sports Exercise**. 2002; 34(9):1477-1484.
31. SPRIET, L.L. Phosphofructokinase activity and acidosis during short-term tetanic contractions. **Canadian Journal Physiology Pharmacology**. 1991;69:298-04.
32. TEGTBUR, U., BUSSE, M.W. and BRAUMANN, K.M. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. **Medicine Science Sports Exercise**. 1993; 25: 620-627.