



Ponto de vista

Adriano Eduardo Lima-Silva^{1,2}
Flávio De Oliveira Pires²
Fernando Roberto De-Oliveira³
Maria Augusta Peduti Dal Molin Kiss²

METABOLISMO LIPÍDICO E GASTO ENERGÉTICO DURANTE O EXERCÍCIO

LIPID METABOLISM AND ENERGETIC EXPENDITURE DURING EXERCISE

RESUMO

O foco desse trabalho é apresentar um ponto de vista diferenciado, referente ao inter relacionamento de metabolismo lipídico, intensidade/duração de exercício e gasto energético. A idéia central foi utilizar o segundo limiar de lactato como indicador da melhor relação entre gasto energético e tempo de exercício. A partir de dados levantados na literatura e das análises realizadas com estudos experimentais, foi demonstrado que o segundo limiar de lactato corresponde ao ponto de melhor relação entre a taxa de gasto energético e o tempo de esforço. Isso significa que qualquer exercício de baixa intensidade, realizado abaixo do segundo limiar de lactato, precisaria de mais tempo para obter o mesmo gasto energético do que o realizado na intensidade do segundo limiar. Por outro lado, exercícios acima do segundo limiar de lactato apresentam maior taxa de gasto energético, mas devido ao menor tempo de sustentação do esforço, o gasto energético total é menor. Estas considerações têm importantes aplicações práticas no que se refere aos programas de treinamento para redução da massa de gordura corporal.

Palavras-chave: Gasto energético; Metabolismo lipídico; Limiares de lactato.

ABSTRACT

The goal of this study was to present a new perspective on the relationship between lipid metabolism and the intensity/duration of exercise and energy expenditure. The idea was to use the second lactate threshold as a marker of the best ratio between energy expenditure and duration of exercise. From the literature review and analyses of experimental data, it was demonstrated that the second lactate threshold mark is the point at which the best ratio occurs between substrate oxidation rate and duration of effort. This means that any low intensity exercise performed below the second lactate threshold will require more time to achieve the same energy expenditure as exercise performed at the second lactate threshold. On the other hand, exercise performed above the second lactate threshold has a higher substrate oxidation rate, but, due to the shorter time for which the effort can be sustained, the total energy expenditure is less. These considerations have important practical applications in training schedules for reducing body fat.

Key words: Energy expenditure; Lipid metabolism; Lactate thresholds.

1 Laboratório de Avaliação Multidisciplinar. Associação Educacional Luterana Bom Jesus/IELUSC - Joinville/SC. Brasil.
2 Laboratório de Determinantes Energéticos do Desempenho Esportivo (LaDESP). Escola de Educação Física e Esporte - Universidade de São Paulo (USP) – São Paulo/SP. Brasil.
3 Núcleo de Estudos do Movimento Humano (NEMOH). Departamento de Educação Física, Universidade Federal de Lavras (UFLA) – Lavras/MG. Brasil.

INTRODUÇÃO

Na edificação do conhecimento em fisiologia do exercício, foram caracterizados alguns dos fatores limitantes da oxidação de lipídios e as modificações que ocorrem com o aumento da intensidade e/ou duração do esforço^{1,2}. Atualmente, esse conhecimento norteia vários estudos na área^{3,4}.

Apesar dos avanços, ainda existe uma simplória cultura de mitos populares que diz – “para emagrecer deve-se utilizar exercícios de baixa intensidade e longa duração”. Nesse estudo, foi realizada uma re-interpretação desse tema, assim como a elaboração de uma proposta referente à conexão entre metabolismo de lipídios, gasto energético e intensidade/volume de exercício. A idéia central foi a utilização do segundo limiar de lactato como referência de maior eficiência de gasto energético, maximizando a relação intensidade/duração de exercício. O modelo teórico que sustenta essa proposta foi testado, tendo como base dados experimentais. Um breve levantamento sobre as limitações do metabolismo de lipídios durante o exercício foi abordado antes da discussão do tema principal desta comunicação. A expectativa desse estudo é esclarecer o senso comum de que apenas é possível reduzir a massa de gordura corporal (MGC) realizando exercícios de baixa intensidade.

Metabolismo lipídico e intensidade do exercício

Modo, intensidade e duração de exercício determinam as contribuições relativas de cada substrato. O maior consumo de lipídios como fonte de energia ocorre na faixa de intensidade de 55 a 72% VO_{2max} ^{5,6}, o que equivale de 68 a 79% da frequência cardíaca máxima.

Essa faixa de intensidade pode ser enquadrada na fase II, da curva lactato-intensidade⁷. Tanto abaixo (fase I) quanto acima (fase III), o metabolismo de lipídeo é reduzido⁸. A contribuição de lipídios durante exercícios intensos (transição entre fase II e III), poderia aumentar significativamente quando administrado triglicérides/heparina por infusão intravenosa⁸. Em um estudo clássico de Romijn et al.⁹, essa manipulação eleva as concentrações de ácidos graxos livres no plasma (AGL) para níveis similares aos obtidos a 65% VO_{2max} , mas o mesmo não acontece com a taxa de oxidação de lipídios, que apesar de aumentada, não se iguala à encontrada em 65% VO_{2max} . Em outro estudo, foi demonstrado que a contribuição do metabolismo lipídico nos músculos ativos em relação ao metabolismo corporal total diminui significativamente com o aumento da intensidade do exercício². Em conjunto, esses resultados sugerem uma possível limitação imposta pelos transportadores de AGL pelo sarcolema, conforme discutido previamente⁷.

Na fase III, a baixa utilização de lipídios pode ser decorrente da incapacidade orgânica de manter elevadas as concentrações de AGL plasmático⁷. Esse pressuposto pode ser considerado o primeiro ponto falho na interpretação de resultados experimentais para a aplicação em programas de redução da MGC.

Estabelecer uma zona em que o indivíduo utiliza a maior quantidade possível de ácidos graxos como substrato energético, não necessariamente implica assumir que essa intensidade corresponda ao ponto ótimo de esforço para a redução da MGC. A taxa máxima de utilização de lipídios representa apenas o momento em que os ácidos graxos atingem a sua contribuição máxima para o gasto energético total, sendo apenas um indicativo do metabolismo momentâneo.

Nesse estudo, assume-se que, quando o objetivo é a diminuição da MGC, a maior preocupação deve ser em aumentar o gasto energético e diminuir a ingestão (déficit energético negativo). O aumento no gasto energético pode ser obtido, simplesmente, aumentando a intensidade ou a duração do esforço, enquanto a diminuição da ingestão energética através de restrição alimentar. Contudo, um ponto crucial é que a intensidade de maior utilização de lipídios não corresponde, necessariamente, à de maior gasto energético, existindo assim uma dissociação entre taxa máxima de utilização de lipídios e programas de redução da MGC.

Gasto energético, intensidade e duração do exercício

Para otimizar o gasto energético durante o exercício, é necessário encontrar a melhor relação entre a taxa de gasto energético (gasto energético/minuto) e o tempo possível de manutenção do esforço. Em outras palavras, exercícios de baixa intensidade não atingem uma taxa elevada de gasto energético, sendo necessário maior tempo de esforço para se obter um gasto energético total elevado. Por outro lado, exercícios de alta intensidade exigem uma taxa elevada de gasto energético, mas o tempo de sustentação do esforço nessa intensidade é relativamente baixo e não se consegue atingir um gasto energético total elevado durante a atividade.

A proposta desse estudo é que o segundo limiar metabólico (LL2) possa ser o ponto ótimo da relação entre a taxa de gasto energético vs o tempo de esforço. Para melhor entendimento, pode-se utilizar o seguinte exemplo: Um indivíduo que pedala na intensidade correspondente ao LL2, apresentando um consumo de oxigênio de aproximadamente 3 L.min⁻¹. Supondo que esse indivíduo consiga sustentar o esforço por aproximadamente 30 minutos, tempo estipulado na literatura como referência para essa intensidade¹⁰, logo, o indivíduo terá um gasto energético total de 454 Kcal, levando em consideração que cada litro de oxigênio consumido equivale a 5,05 Kcal para um coeficiente respiratório (R) igual a 1,0 (3 L.min⁻¹ x 5,05 Kcal x 30 min = 454 Kcal). Assumindo que o consumo de oxigênio aumenta linearmente com a intensidade do esforço, é possível afirmar que, para qualquer intensidade de esforço abaixo do LL2, o indivíduo precisará realizar mais tempo de exercício para obter o mesmo gasto energético.

Em outra situação, mas com o indivíduo realizando o exercício em uma intensidade acima do LL2, próxima à intensidade correspondente ao seu VO_{2max}

supondo que o indivíduo aumente a sua taxa de gasto energético para, por exemplo, 4 L.min⁻¹. Contudo, como a intensidade do esforço extrapola o LL2, o tempo de sustentação do esforço será reduzido para, por exemplo, 10 minutos. Logo, o gasto energético aproximado para essa atividade seria de 202 Kcal (4 L.min⁻¹ x 5,05 Kcal x 10 min = 202 Kcal), assumindo R igual a 1,0; o que é significativamente inferior ao gasto energético obtido quando o exercício é realizado no LL2. A partir desse exemplo, pode-se assumir que para exercícios de intensidade baixa é necessário um maior tempo de esforço para igualar o gasto energético obtido no LL2. Por outro lado, o exercício intenso (acima do LL2) gera um gasto energético/minuto elevado, mas o indivíduo não conseguiria sustentar o esforço por muito tempo e, portanto, não atingiria o gasto energético total obtido no LL2. Esse raciocínio pode ser aplicado apenas ao exercício contínuo, não levando em consideração o gasto energético elevado que poderia ser obtido com somatória de cargas em exercício intermitente supraLL2.

Os resultados descritos a seguir demonstram experimentalmente este raciocínio. Cinco indivíduos não atletas, mas que costumavam realizar de duas a três sessões de treinamento por semana, com 30 minutos de duração cada, foram submetidos a quatro testes em dias diferentes, em intensidades correspondentes ao 1) primeiro limiar de lactato (LL1); 2) 50% da diferença entre LL1 e LL2 (Δ LL50%); 3) LL2 e 4) 25% da diferença entre LL2 e a carga máxima (Δ LW25%). Os indivíduos foram estimulados a realizar o exercício durante 30 minutos ou até a exaustão. Os dados referentes à taxa de gasto energético (gasto energético por minuto) e o gasto energético total para cada intensidade estão demonstrados na figura 1. Interessante observar que a taxa de gasto energético, medida como o produto entre o consumo de oxigênio por minuto e o equivalente energético (entre 4,68 e 5,05 Kcal/litroO₂, dependendo do valor de R) aumenta linearmente com a intensidade do esforço (6,9 ± 0,8; 9,3 ± 0,9; 11,7 ± 1,3 e 12,2 ± 1,9 kcal/min para LL1, Δ LL50%, LL2 e Δ LW25%, respectivamente; figura 1). Entretanto, o gasto energético total aumenta até a intensidade do LL2, diminuindo consideravelmente na carga supraLL2 (206,4 ± 25,1; 280,4 ± 27,1; 352,2 ± 39,6 e 181,0 ± 44,0 kcal para LL1, Δ LL50%, LL2 e Δ LW25%, respectivamente; figura 1). Comparações entre cargas, com análise de variância (ANOVA, seguido de post-hoc de Scheffe), mostraram que o gasto energético aeróbio total na carga LL2 é significativamente maior do que quaisquer outras cargas (P ≤ 0,02). Esses resultados são inteiramente compatíveis com a proposta aqui apresentada, demonstrando que na intensidade do LL2 se encontra a melhor relação entre taxa de gasto energético e tempo possível de manutenção do esforço (gasto energético total).

Algumas limitações devem ser destacadas para melhor aplicação da presente proposta. Primeiro, iniciar um programa de treinamento na intensidade do LL2 pode não ser recomendado, já que aumenta o risco de lesões e a incidência de dor muscular tardia, o que

teoricamente poderia diminuir a aderência ao exercício. Segundo, indivíduos sedentários não são capazes de suportar trinta minutos na intensidade de LL2, sendo indispensável um período de adaptação para aplicação da presente metodologia. Provavelmente, o modelo teórico aqui proposto tenha maior aplicação para indivíduos fisicamente ativos. Terceiro, o modelo leva em consideração apenas o metabolismo aeróbio, desconsiderando o metabolismo anaeróbio. Nesse sentido, a estimativa do gasto energético em exercícios acima do LL2 poderia estar sendo subestimada.

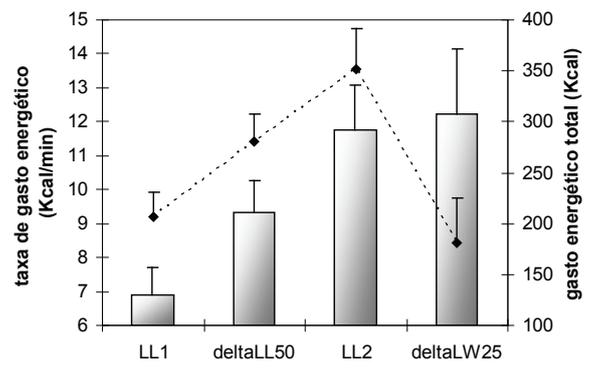


Figura 1. Resposta do gasto energético durante o exercício realizado em diferentes intensidades. A taxa de gasto energético (kcal/min) e gasto energético total (kcal) estão representados pelas colunas e linhas (média + DP), respectivamente. LL1: primeiro limiar de lactato; deltaLL50%: 50% da diferença entre o primeiro e segundo limiar de lactato; LL2: segundo limiar de lactato; deltaLW25%: 25% da diferença entre o segundo limiar de lactato e a carga máxima.

Existe uma grande dificuldade em estimar a contribuição anaeróbia durante o exercício¹¹. Das metodologias utilizadas estão: o máximo déficit acumulado de oxigênio¹², o débito de oxigênio ou quantificação do excesso de oxigênio consumido durante a recuperação (EPOC)¹¹ e a conversão de lactato a equivalente de oxigênio¹³.

Utilizando a metodologia utilizada por Di Prampero¹³, pode-se criar uma situação hipotética a partir do exemplo inicial e quantificar o gasto energético anaeróbio. Em exercícios acima do LL2, com duração de dez minutos, o lactato sanguíneo pode atingir valores aproximados de 10 mM. Como no modelo teórico de Di Prampero¹³, assume-se que cada mM de lactato equivale ao consumo de 3 ml.kg⁻¹ de oxigênio e, pressupondo que o indivíduo tenha 70 kg, logo, o gasto energético anaeróbio seria de 10,6 Kcal ([10 mM x 3 ml.kg⁻¹ x 70 kg/1000] x 5,05 Kcal = 10,6 Kcal). Nesse caso, assume-se valor de R = 1,0 em virtude da intensidade de esforço. Adicionando esse valor ao estimado pelo metabolismo aeróbio, o gasto energético aumentaria de 202 Kcal para 212,6 Kcal (200 + 10,6 = 212,6 Kcal), o que ainda continua menor do que o estimado para a intensidade do LL2 (450 Kcal).

Recalculando os dados experimentais, corrigidos pela concentração de lactato em cada intensidade, observa-se que a contribuição anaeróbia aumenta em

Tabela 1. Valores das contribuições absolutas do metabolismo aeróbio e anaeróbio.

	LL1	deltaLL50%	LL2	deltaLW25%
Metab. AE (Kcal)	206,4 ± 25,1#	280,4 ± 27,1#	352,2 ± 39,6	181,0 ± 44,0#
Metab. ANA (Kcal)	2,3 ± 0,6#	5,0 ± 1,7#	8,1 ± 1,5	8,6 ± 1,2
AE + ANA (Kcal)	208,7 ± 25,7#	285,4 ± 28,8#	360,3 ± 41,1	189,6 ± 45,2#

Metab. AE: metabolismo aeróbio. Metab. ANA: metabolismo anaeróbio. # diferente de LL2. LL1: primeiro limiar de lactato; deltaLL50%: 50% da diferença entre o primeiro e segundo limiar de lactato; LL2: segundo limiar de lactato; deltaLW25%: 25% da diferença entre o segundo limiar de lactato e a carga máxima.

função da intensidade. O gasto energético anaeróbio das cargas LL2 e Δ LW25% foram maiores do que as LL1 e Δ LL50% ($P \leq 0,03$; tabela 1). Os valores de gasto energético total foram aumentados com a quantificação do metabolismo anaeróbio, mas ainda continuam sendo maiores na intensidade do LL2. Esses últimos resultados sugerem que, independente da quantificação do metabolismo anaeróbio, o modelo teórico proposto permanece inalterado.

Nesse modelo, não foi contabilizada a influência do EPOC sobre o gasto energético total. Alguns estudos demonstraram que um EPOC prolongado na recuperação pós-esforço (~12h) poderia aumentar o gasto energético^{14,15}.

Bahr et al.¹⁴ demonstraram que o EPOC aumenta linearmente com a duração do esforço. Entretanto, em estudo posterior, Bahr e Sejersted¹⁵ demonstraram que o EPOC aumenta exponencialmente com a intensidade do exercício. Interessante observar que, em exercícios de intensidade inferior a aproximadamente 50% do VO_{2max} , o EPOC têm uma menor amplitude (~5,7 litros) e duração (~3,3 h), mesmo quando o exercício é realizado por um tempo prolongado (80 minutos). Apenas o exercício prolongado (80 minutos), realizado em uma intensidade relativamente elevada (75% do VO_{2max}), gera um EPOC duradouro (~10 h) e amplo (~30 litros).

Esses resultados sugerem que, mesmo durante a recuperação, o gasto energético total depende de uma combinação ótima entre intensidade e duração do esforço e, que a maximização do resultado não seria obtida numa intensidade muito baixa, mesmo que combinada a um tempo de esforço prolongado. Estudos que avaliem a melhor combinação entre intensidade/duração para aumento do gasto energético total, tanto no exercício quanto na recuperação, seriam importantes para melhor direcionamento dos programas de redução da MGC. O presente trabalho incluiu apenas indivíduos que praticam regularmente exercícios, sendo necessários estudos que utilizem uma amostra de sedentários para verificar o efeito da aptidão aeróbia sobre esses resultados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo teórico abordado sugere que o segundo limiar de lactato corresponde à intensidade com melhor relação entre taxa de gasto energético e tempo de duração do esforço. Isso sugere que qualquer exercício de baixa intensidade, realizado abaixo do segundo

limiar de lactato, precisaria de maior tempo para obtenção do mesmo gasto energético total do que o realizado na intensidade do segundo limiar. Por outro lado, exercícios acima do segundo limiar de lactato apresentam maior gasto energético por minuto, mas devido ao menor tempo de sustentação do esforço, o gasto energético total é menor. Essas inferências são independentes da quantificação anaeróbia. Estes resultados têm importantes aplicações práticas no que se refere aos programas de treinamento para redução da massa de gordura corporal e otimização do tempo destinado ao treinamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Krogh A, Lindhard J. Relative value of fat and carbohydrate as source of muscular energy. *Biochem J* 1920;14(3-4):290-363.
2. Friedlander AL, Jacobs KA, Fattor JA, Homing MA, Hagobian TA, Bauer TA et al. Contributions of working muscle to whole body lipid metabolism are altered by exercise intensity and training. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2007;292(1):E107-E116.
3. Ritchie SA, Connell JM. The link between abdominal obesity, metabolic syndrome and cardiovascular disease. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2007;17(4):319-326.
4. López M, Lelliott CJ, Vidal-Pufg A. Hypothalamic fatty acid metabolism: a housekeeping pathway that regulates food intake. *Bioessays* 2007;29(3):248-261.
5. Nordby P, Saltin B, Helge JW. Whole-body fat oxidation determined by graded exercise and indirect calorimetry: a role for muscle oxidative capacity? *Scand J Sci Sports* 2006;16(3): 209-214.
6. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup A. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(1):92-97.
7. Lima-Silva AE, Adami F, Nakamura FY, De-Oliveira FR, Gevaerd MS. Metabolismo de gordura durante o exercício físico: mecanismos de regulação. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2006;8(4):106-114.
8. González-Haro C, Galilea PA, Gonzalez-de-Suso JM, Drobnic F, Escanero JF. Maximal lipidic power in high competitive level triathletes and cyclists. *Br J Sports Med* 2007;1(1):23-28.
9. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Zhang XJ, Wolfe RR. Relationship between fatty acid delivery and fatty acid oxidation during strenuous exercise. *J Appl Physiol* 1995; 79(6):1939-1945.
10. Mader A, Liesen H, Heck H, Phillipi H, Rost R, Schurch P, et al. Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit in Labor. *Sportarzt Sportmed* 1976; 27(4):80-88.
11. Gastin PB. Quantification of anaerobic capacity. *Scand J Med Sci Sports* 1994;4(2):91 – 112.

12. Nakamura FY, Franchini E. Máximo déficit acumulado de oxigênio como preditor de capacidade anaeróbia. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2006;8(1):88 – 95.
13. Di Prampero PE. Energetics of muscular exercise. *Rev Physiol Biochem Pharmacol* 1981;89:143-222.
14. Bahr R, Inghes I, Vaage O, Sejersted OM, Newsholme EA. Effect of duration of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *J Appl Physiol* 1987;62(2):485-490.
15. Bahr R, Sejersted OM. Effect of intensity of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Metabolism* 1991;40(8):836-841.

Endereço para correspondência

Adriano Eduardo Lima Silva
Rua Mafra, 84 - Laboratório de Avaliação Multidisciplinar
Bairro Saguacú
CEP 89201 – 270- Joinville (SC), Brasil.
E-mail: limasilvae@hotmail.com

Recebido em 05/07/07
Revisado em 08/02/08
Aprovado em 25/02/08