

Gasto energético, custo energético aeróbio e custo energético anaeróbio

Energy expenditure, aerobic energy cost and anaerobic energy cost

Victor Machado Reis ^{1,2}

Resumo – A dificuldade de cálculo do *custo energético* durante a maioria das atividades físicas reside no fato da solicitação energética ser mista. Importa saber identificar em que condição é possível medir ou estimar o custo energético e em que condição tal não é possível. Existe uma utilização de diferentes termos associados a esta temática como, por exemplo, *gasto energético*, *gasto calórico*, *dispêndio energético*, ou *custo energético*. O objetivo deste artigo foi recordar os métodos mais populares de quantificação do custo energético e propor um maior rigor na nomenclatura a usar no ensino e investigação. Parece pacífica a utilização do O₂ expirado como quantificador da energia aeróbia. Quanto à energia anaeróbia láctica, devem prosseguir estudos usando o déficit de oxigénio acumulado ou o equivalente energético de lactato. O termo “*gasto energético*” deverá ser reservado a situações em que o exercício é quase exclusivamente aeróbio e em que é possível medir diretamente as trocas gasosas durante o esforço. Em todas as restantes situações, deverá ser usado preferencialmente o termo “*custo energético*”, porquanto o mesmo pode ser estimado, mas não medido diretamente. Quando usado o termo “*custo energético*” o mesmo deve ser complementado com a identificação se tratamos da fração aeróbia, da fração anaeróbia ou de ambas.

Palavras-chave: Consumo de oxigénio; Custo energético aeróbio; Custo energético anaeróbio; Gasto energético; Lactato; Metabolismo energético.

Abstract – The difficulty involved in the calculation of the energy cost during most of the physical activities is related to the mixed nature of the energy elicited. Therefore, it is important to know under which exercise conditions it is possible to perform such measurements and under which conditions it is not. Several terms are often associated with this line of research, such as: energy expenditure, caloric expenditure, or energy cost. The objectives of the present study were to review the methods typically used to assess energy cost and to suggest a more precise nomenclature when teaching or conducting research on these theme. The use of expired O₂ to quantify aerobic energy seems undisputable. As to anaerobic lactic energy, more studies are required, using both blood lactate energy equivalent values and accumulated oxygen deficit. The term energy expenditure should be used only when energy release is almost fully aerobic and when direct O₂ measurement can be performed during exercise. In every other exercise conditions, the term energy cost is more suitable, as it cannot be directly assessed. Whenever energy cost is mentioned, it should be accompanied by the identification of whether aerobic fraction, anaerobic fraction, or total energy cost is considered.

Key words: Aerobic energy cost; Anaerobic energy cost; Energy expenditure; Energy Metabolism; Lactic Acid; Oxygen Consumption.

1 Universidade de Trás-os-Montes & Alto Douro, Vila Real, Portugal.

2 Centro de Investigação em Desporto, Saúde & Desenvolvimento Humano, Vila Real, Portugal

Recebido em 03/08/11
Aprovado em 06/10/11



INTRODUÇÃO

A dificuldade de cálculo do custo energético durante a maioria das atividades físicas reside no fato da solicitação energética ser mista. Assim, importa saber identificar em que condição é possível medir ou estimar o custo energético e em que condição tal não é possível. Por outro lado, existe uma utilização imprecisa e até abusiva de diferentes termos associados a esta temática como, por exemplo, *gasto energético*, *gasto calórico*, *dispêndio energético*, ou *custo energético*. Dos anteriores, devemos descartar desde logo o termo *gasto calórico*. Com efeito, não me parece que faça sentido associar ao primeiro vocábulo (*gasto*) uma unidade de medida (*caloria*). A unidade de medida pode variar mas várias unidades de medida podem ser usadas para um mesmo parâmetro de medida. O uso desta expressão (*gasto calórico*) seria o equivalente a utilizar o termo *comprimento métrico* ou *volume em litros*. A utilização dos termos *gasto energético* ou *dispêndio energético* parece pacífica e julgo que ambos refletem a mesma entidade. Os dois vocábulos (*gasto* e *dispêndio*) podem ser considerados sinónimos pelo que ambas as expressões são aceitáveis.

Na continuação deste texto, usarei o termo *gasto calórico*. Já não concordo com o uso indiferenciado de *gasto energético* e de *custo energético*. Acho que é possível distinguir ambos conceitual e, sobretudo, operacionalmente. Por outro lado, o uso de qualquer um dos termos anteriores deverá ser complementado com a especificação da bioenergética em causa (aeróbia ou anaeróbia).

O objetivo deste artigo foi proceder a uma brevíssima recordatória dos métodos mais populares de quantificação do custo energético, bem como propor um maior rigor e uniformização na nomenclatura a usar no ensino e investigação associado a esta temática.

CUSTO ENERGÉTICO VS. GASTO ENERGÉTICO

Em minha opinião, é possível distinguir conceitual e operacionalmente os dois termos. Entendo que deveremos aplicar o termo *gasto energético* quando a metodologia em prática permite a quantificação direta e quase sem margem de erro (a margem de erro nestes casos é o erro tecnológico de instrumentos considerados como padrão ouro; ou seja, mínima). Assim, apenas quando se avalia a fração aeróbia através da medição direta do VO_2 e a contribuição anaeróbia no esforço é negligenciável, é lícito considerar que se mede na totalidade e diretamente o *gasto energético* atribuível às fontes de energia

aeróbias. Aqui temos logo uma primeira limitação à utilização deste conceito. É que a maioria dos esforços envolvidos nos diversos esportes e diversos tipos de prática física possuem uma solicitação que é mista e na qual, usualmente, a fração anaeróbia de energia não pode ser desprezada. Por isso, defendendo que é mais correto usar o termo *custo energético*. O *custo energético* representaria a quantidade de energia necessária para o indivíduo realizar a tarefa em causa. É óbvio que, também, esse *custo energético* terá uma fração aeróbia e uma fração anaeróbia. É óbvio que enquanto a fração aeróbia pode ser medida diretamente sem erro (além do erro tecnológico) através da medição direta do VO_2 ; a fração anaeróbia apenas pode ser quantificada por estimativa. Ao ser quantificada por estimativa assume-se que contém margens de erro adicionais (já que o erro tecnológico do instrumento permanece sempre).

Assim, não me oponho de todo ao uso do termo *gasto energético*, mas apenas nas condições em que se cumprem os seguintes pressupostos: i) o esforço tem uma intensidade constante e uma duração necessária e suficiente para que o VO_2 estabilize; ii) exista medição direta do VO_2 durante todo o período de esforço; iii) a contribuição anaeróbia para o esforço seja limitada ao défice de O_2 inicial. Quando não se reúnem os 3 pressupostos anteriores, é preferível usar o termo *custo energético*. Entretanto, mesmo quando verificados os mesmos pressupostos, a utilização do termo *custo energético* nunca poderá ser considerada incorreta ou imprecisa. Alerto, ainda, para o fato de que o VO_2 , quando medido em períodos de recuperação (seja entre séries ou entre exercícios ou mesmo no final de uma sessão de treinamento), já não traduz quantitativamente e sem erro a fração de energia aeróbia. Com efeito, em períodos de recuperação pós-esforço, o VO_2 traduz um somatório de mecanismos a que o organismo recorre para recuperar a homeostasia. Logo, o VO_2 pós-esforço não quantifica sequer o custo energético do exercício e muito menos mede o *gasto energético* real.

Pelo exposto, considero mais preciso e informativo o termo *custo energético* que será usado neste artigo a partir do presente parágrafo.

CUSTO ENERGÉTICO AERÓBIO

O *custo energético* aeróbio é usualmente determinado por calorimetria indireta, através da medição do VO_2 nos gases expirados durante o esforço. A utilização do VO_2 enquanto quantificador do *custo energético*, assume que as trocas gasosas sejam feitas sob condições de equilíbrio metabólico; ou seja, em que o

VO₂ permanece constante. Em termos práticos, isto significa que a medição do *custo energético* aeróbio tem melhor validade quanto menor a intensidade do esforço e quanto maior a sua duração. Grosso modo, poderemos dizer que em intensidades abaixo do limiar de lactato e de duração de, pelo menos, 3 min e em intensidades acima do limiar de lactato, mas abaixo do VO₂max desde que com uma duração superior a 5min (duração necessária e suficiente para que ocorra estabilização nas trocas gasosas), é possível medir com rigor o *custo energético* aeróbio.

Se na corrida, no ciclismo, no nado e em alguns outros modos de exercício (remo, caminhada) a cinética do VO₂ em função da intensidade e da duração do estímulo estão muito estudadas; o mesmo não acontece em outros tipos de atividade física. Por outro lado, a intensidade correspondente a uma acumulação exponencial e rápida de lactato está igualmente pouco estudada. Com efeito, o limiar de lactato no sangue, que tipicamente é referido para a corrida ou ciclismo como estando entre 70 e 80% do VO₂ máximo, carece de ser melhor investigado em outras atividades físicas. Rocha *et al.*¹ confirmaram, num estudo rigoroso, o valor de cerca de 32% para o limiar de lactato na prensa de pernas inclinada (45°). Acresce que o próprio conceito de VO₂ máximo, enquanto caracterizador da intensidade do esforço, perde a sua eficácia no contexto de outras atividades como, por exemplo, o dos exercícios resistidos. Assim, importa igualmente descobrir qual será o pico de VO₂ específico de cada tipo de atividade física (exercício) que constituirá, então, o limite máximo de potencial oxidativo daquele mesmo exercício.

CUSTO ENERGÉTICO ANAERÓBIO

Os métodos para calcular a energia anaeróbia durante o esforço são menos precisos do que os referidos anteriormente. Tem sido usada uma variedade de métodos indiretos, mas nenhum deles é universalmente aceite. O método padrão ouro para quantificação da energia anaeróbia aláctica e láctica exigiria o recurso à biópsia muscular, permitindo a medição quer dos substratos energéticos presentes no músculo (ex. fosfatos de alta energia e glicogénio) e igualmente, a mediação da acumulação de metabolitos intramusculares (ex. lactato). As limitações desta técnica devem-se ao facto de só apenas um reduzido número de músculos poderem ser sujeitos à mesma e por vezes verifica-se a necessidade de recolha de amostra de tecido muscular a diferentes profundidades para que se garanta uma quantidade representativa do músculo global e que seja representativa da sua heterogeneidade em termos

de composição das fibras². Por outro lado, o fato de ser uma técnica invasiva, desaconselha-se.

Para estimativa isolada da fração láctica da energia anaeróbia em esforço, o indicador mais referido na literatura é o equivalente energético do pico de lactato medido no sangue após o esforço. Usualmente, este é complementado com a assunção de um valor pré-definido para a produção de energia anaeróbia aláctica, com um valor que pode variar segundo o exercício e é usualmente estimado a partir da constante temporal de resposta rápida da cinética do VO₂ em esforço e segundo di Prampero *et al.*³, pode atingir 36.8 mlO₂·kg⁻¹. Os estudos pioneiros de Margaria *et al.*⁴, seguidos, depois, por Cerreteli *et al.*⁵ e complementados, mais tarde, por di Prampero³ permitiram a definição de um equivalente energético para a acumulação de lactato após o esforço, que poderia ser usado para quantificar a energia produzida em corrida ou no nado pela via anaeróbia láctica (geralmente entre 2.7 e 3.3 ml O₂ kg⁻¹·mM⁻¹). Convém recordar que este equivalente se refere à acumulação de lactato após o esforço e não a uma medida energética da produção de lactato durante o esforço.^{3,6} Assim, em intensidades submáximas, especialmente, em intensidades nas quais a concentração de lactato no sangue pode ser mantida durante algum tempo (independente de ser acima ou abaixo do limiar de 4 mM), não é necessário contabilizar o equivalente energético do lactato no sangue para estimar o *custo energético* total. Com efeito, nestas condições de exercício, o lactato acumulado no sangue é provavelmente devido a uma formação durante a fase inicial do esforço.⁶ Subsequentemente, o VO₂ aumenta progressivamente até atingir o *steady-state* e ser capaz de fornecer toda a energia necessária para o esforço. Apesar das várias margens de erro associadas a este método e que podem ser consultadas na literatura⁷, em minha opinião, a principal limitação da sua aplicação é o fato dos estudos que deram origem ao mesmo terem sido feitos exclusivamente na corrida, nado ou ciclismo. Por exemplo, nos exercícios resistidos este método tem sido usado sobretudo por Scott.⁸ Todavia, não existe qualquer evidência experimental com este tipo de exercício que confirme o valor de equivalente energético do lactato no sangue.

A alternativa ao equivalente do lactato no sangue e a assunção da fração aláctica para estimativa da energia anaeróbia é o défice de O₂ acumulado. Esta é uma medida que inclui as duas componentes, láctica e aláctica e que dispensa qualquer meio invasivo. A sua determinação é possível a partir da medição do VO₂ e permite a quantificação das frações de energia aeróbia e anaeróbia relativamente ao *custo energético* total do esforço.⁹ Este método, pouco estudado na

musculação¹⁰, é utilizado há mais de 20 anos em exercícios cíclicos, tais como corrida^{11,12}, ciclismo¹³ e Natação¹⁴ e é considerada por vários autores como a medida disponível mais realista para quantificação da produção de energia anaeróbia¹⁵. Como outros, o modelo teórico em que assenta o défice de O₂ acumulado baseia-se em assunções que não são fáceis de provar, mas que também não diferem das que suportam grande parte da investigação em fisiologia do esforço, como por exemplo o pressuposto de que a análise dos gases expirados reflete o metabolismo dos músculos ativos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Parece-me evidente que é indispensável a utilização do O₂ expirado como quantificador do *custo energético* aeróbio. Urge, todavia, aduzir mais atenção à forma como esta medida é aplicada. Urgem, por exemplo, estudos sobre a cinética do O₂ em função da intensidade da carga, do tempo de exercício ou mesmo de outras variáveis. A medição do VO₂ após o esforço apenas terá interesse em estudos comparativos e quando se analisem sessões de treinamento e nunca na caracterização bioenergética de um exercício isolado, porquanto esta medida traduz simultaneamente metabolismo aeróbio e anaeróbio e envolve mecanismos de retorno à homeostasia corporal que não refletem quantitativamente a necessidade de energia durante o próprio esforço.

Quanto à estimativa da produção de energia anaeróbia láctica, entendo que devem prosseguir estudos quer usando o método do défice de O₂ acumulado, quer usando o equivalente energético de lactato no sangue. Todavia, esses estudos devem, antes de mais nada, ter cariz metodológico, analisando diferentes variações de cada método para se poder perceber qual dos dois é o mais apropriado em cada tipo de atividade física. A fração aláctica poderá ser investigada com recurso à modelação da cinética do O₂ durante o esforço (défice de O₂) ou durante a recuperação (dívida de O₂). Todavia, esta deverá ser complementada com estudos rigorosos com quantificação da massa muscular envolvida nos vários exercícios (já que qualquer estimativa da fração aláctica é grandemente afetada pela assunção da massa muscular em esforço).

Em minha opinião, deve-se utilizar sempre o termo *custo energético*, de preferência associado à indicação de qual o tipo de fonte energética em causa (aeróbia ou anaeróbia). O termo *gasto energético* tem um espectro de utilização mais limitado e na maioria das vezes, é usado de forma imprecisa e até abusiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rocha RM, Bomfim DL, Nascimento TB, Moreira SR, Simões HG. A Variação do método de incremento de cargas não altera a determinação do limiar de lactato em exercício resistido. *Rev Bras Med Esporte* 2010;16(4):282-5.
2. Sjonstrom M, Friden J. Muscle Soreness and Muscle Structure. *Med Sport Sci* 1984;17:169-86.
3. Di Prampero PE. Energetics of muscular exercise. *Rev Physiol Biochem Pharmacol* 1981;89:143-222.
4. Margaria R, Cerretelli O, Aghemo P, Sassi G. Energy cost of running. *J Appl Physiol* 1963;18:367-70.
5. Cerretelli P, Di Prampero PE, Piiper J. Energy balance of anaerobic work in the dog gastrocnemius muscle. *Am J Physiol* 1969;217:581-5.
6. Di Prampero PE, Ferreti G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and new concepts. *Resp Physiol* 1999;118:103-115.
7. Medbø J, Toska K. Lactate release, concentration in blood, and apparent distribution volume after bicycling exercise. *Jap J Physiol* 2001;51(3):303-12.
8. Scott CB, Leight BH, Ahearn KJ, McManus JJ. Aerobic, anaerobic, and excess postexercise oxygen consumption energy expenditure of muscular endurance and strength: 1-set of bench press to muscular fatigue. *J Strength Cond Res* 2011;25(4):903-8.
9. Reis VM, Guidetti L, Silva AJ, Carneiro AL, Baldari C. Deficit de Oxigénio acumulado e produção de energia anaeróbia. *Revista Treinamento Desportivo* 2006;7(1):87-92.
10. Robergs RA, Gordon T, Reynolds J, Walker TB. Energy expenditure during bench press and squat exercises. *J Strength Cond Res* 2007;21(1):123-30.
11. Reis V, Duarte J, Espírito-Santo J, Russell A. Determination of accumulated oxygen deficit during a 400m run. *J Exerc Physiol* 2004;7(2):77-83.
12. Reis V, Silva A, Ascenção A, Duarte J. Inclusion of exercise intensities above the lactate threshold in VO₂/running speed regression does not improve the precision of Accumulate Oxygen Deficit estimation in endurance-trained runners. *J Sports Sci Med* 2005;4:455-62.
13. Buck D, McNaughton L. Maximal accumulated oxygen deficit must be calculated using 10-min time periods. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31(9):1346-9.
14. Reis VM, Marinho DA, Policarpo F, Reis AM, Guidetti L, Silva AJ. Examining the Accumulated Oxygen Deficit Method in Breaststroke swimming. *Eur J Appl Physiol* 2010;109:1129-35.
15. Nakamura FY, Franchini E. Máximo défice acumulado de oxigénio como preditor da capacidade anaeróbia. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2006;8(1):88-95.

Endereço para correspondência

Victor Machado Reis
Universidade de Trás-os-Montes & Alto Douro
Parque Desportivo da UTAD, Apartado 1013
5001-801 Vila Real. Portugal
E-mail: vreis@utad.pt