

INCLUSÃO DO EQUIVALENTE DO LACTATO SANGUÍNEO O_2 NA REGRESSÃO DE INTENSIDADE DE EXERCÍCIO VO_2 AUMENTA O GASTO ENERGÉTICO DE CORRIDA E DIMINUI SUA PRECISÃO



ARTIGO ORIGINAL

INCLUSION OF BLOOD LACTATE O_2 EQUIVALENT IN THE VO_2 EXERCISE INTENSITY REGRESSION INCREASES THE ENERGY COST OF RUNNING AND LOWERS ITS PRECISION

LA INCLUSIÓN DEL EQUIVALENTE DEL LACTATO SANGUÍNEO O_2 EN LA REGRESIÓN DE INTENSIDAD DE EJERCICIO VO_2 AUMENTA EL GASTO ENERGÉTICO DE LA CARRERA Y DISMINUYE SU PRECISIÓN

Victor Machado Reis
(Educador Físico)^{1,2}
Diogo Roberto Oliveira
(Educador Físico)²
André Luiz Carneiro
(Educador Físico)³
Tiago Manuel Barbosa
(Educador Físico)^{1,4}

1. Centro de Pesquisa em Esportes, Saúde e Desenvolvimento Humano, Vila Real, Portugal.
2. Universidade de Trás-os-Montes & Alto Douro, Vila Real, Portugal.
3. Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, MG, Brasil.
4. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal.

Correspondência:

Diogo Roberto de Oliveira
Departamento de Ciências do Desporto, Exercício & Saúde (DCDES)
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), 5001-801, Vila Real, Portugal.
diogorobertodeoliveira@gmail.com

RESUMO

Introdução e objetivos: Investigar se a inclusão do equivalente energético de lactato sanguíneo (LS) em intensidades submáximas alteraria o gasto energético de corrida (Gc) estimado para corrida supramáxima de alta intensidade assim como sua precisão. **Métodos:** O Gc foi determinado a partir da curva de regressão de velocidade do VO_2 . Para cada sujeito, uma regressão alternativa foi estabelecida em que energia equivalente a 3 ml de $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot mM^{-1}$ de LS foi adicionada ao VO_2 . Testes *t* pareados, correlações pareadas e plotagem de Bland-Altman foram utilizados para investigar se os dois métodos representam os mesmos fenômenos. **Resultados:** Os principais achados foram que o Gc previsto para intensidades supramáximas incluídos entre 110 e 160% ao correspondente ao pico de VO_2 dos indivíduos aumentou significativamente quando as medidas de LS foram incluídas nas regressões. A inclusão das medidas de LS também aumentaram a imprecisão do Gc a 110, 120, 130, 150 e 160%. **Conclusão:** Nossos resultados indicam que a inclusão do equivalente do lactato de O_2 na regressão de intensidade de VO_2 -exercício aumenta o gasto energético e diminui sua precisão.

Palavras-chave: consumo de oxigênio, metabolismo energético, lactatos.

ABSTRACT

Introduction and objectives: Investigate whether the inclusion of the blood lactate (BL) energy equivalent at sub-maximal intensities would change the energy cost of running (CR) predicted to supramaximal high-intensity running as well as its precision. **Methods:** The CR was determined from the slope of the VO_2 -speed regression. For each subject an alternative regression was established where an energy equivalent of 3 ml $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot mM^{-1}$ BL was added to the VO_2 . Paired *t*-tests, pairwise correlations and Bland-Altman plots were used to investigate whether the two methods represent the same phenomena. **Results:** The main findings were that CR predicted to supramaximal intensities comprised between 110% and 160% of that corresponding to the individuals' peak VO_2 , increased significantly when the BL measurements were included in the regressions. The inclusion of BL measurements also increased the imprecision of the CR at 110%, 120%, 130%, 150% and 160%. **Conclusions:** Our results indicate that inclusion of lactate O_2 equivalent in the VO_2 -exercise intensity regression increases the energy cost of running and lowers its precision.

Keywords: oxygen consumption, energy metabolism, lactates.

RESUMEN

Introducción y objetivos: Investigar si la inclusión del equivalente energético de lactato sanguíneo (LS), en intensidades submáximas, modificaría el gasto energético de la carrera (Gc), estimado para carrera supramáxima de alta intensidad, así como su precisión. **Métodos:** El Gc fue determinado a partir de la curva de regresión de velocidad del VO_2 . Para cada individuo, se estableció una regresión alternativa en la cual energía equivalente a 3 ml de $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot mM^{-1}$ de LS fue adicionada al VO_2 . Pruebas *t* por pares, correlaciones por pares y plotaje de Bland-Altman fueron utilizados para investigar si los dos métodos representan los mismos fenómenos. **Resultados:** Los hallazgos principales fueron que el Gc previsto para intensidades supramáximas, incluídos 110% y 160% de lo que corresponde al pico de VO_2 de los individuos, aumentó significativamente cuando las medidas de LS fueron incluídas en las regresiones. La inclusión de las medidas de LS también aumentó la imprecisión del Gc a 110%, 120%, 130%, 150% y 160%. **Conclusión:** Nuestros resultados indican que la inclusión del equivalente del lactato de O_2 , en la regresión de intensidad de VO_2 -ejercicio, aumenta el gasto energético y disminuye su precisión.

Palabras clave: consumo de oxígeno, metabolismo energético, lactatos.

INTRODUÇÃO

O gasto energético de corrida (G_c) tem sido amplamente avaliado pela relação entre o consumo de oxigênio submáximo (VO_2) e a velocidade de corrida, ambos em esteira¹⁻³ e em corrida de pista⁴⁻⁶. Esta relação é geralmente estabelecida com medidas de VO_2 submáximas em várias intensidades de exercício e assume que o VO_2 representa o G_c geral, enquanto a energia gerada por fontes anaeróbicas pode ser negligenciada. Seguindo esta linha de pensamento, a grande maioria dos estudos que utilizaram a relação de intensidade entre VO_2 -exercício para avaliar o G_c não inclui os equivalentes energéticos do lactato sanguíneo (LS) em seus cálculos.

Os estudos pioneiros de Margaria *et al.*⁷, depois seguidos por Cerretelli *et al.*⁷ e posteriormente complementados pelos de di Prampero⁹, permitiram que um equivalente energético quantitativo para o acúmulo de lactato pós-exercício no sangue que pudesse ser utilizado para quantificar a energia gerada pela fonte anaeróbica láctica durante exercício de corrida ou natação fosse estabelecido (entre 2,7 e 3,3 $\text{ml O}_2 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{mM}^{-1}$). Sabe-se que di Prampero estabeleceu claramente que esse equivalente não representa energia equivalente de formação de lactato. Pelo contrário, equivalentes representam uma quantidade de energia que pode ser atribuída ao metabolismo láctico quando a taxa de formação de lactato ultrapassa bastante a taxa de sua eliminação^{9,10}. Assim, o raciocínio apresentado por di Prampero⁹ nos permite concluir que durante intensidades de exercício submáximas, especialmente nas quais o LS pode ser sustentado por mais tempo (seja ela abaixo ou acima do típico limite de 4 $\text{mM} \cdot \text{L}^{-1}$), possa ser desnecessário incluir tais medidas para a estimativa do gasto energético total de exercício. O raciocínio por detrás dessa ideia é bastante simples e direto. Os valores de LS acima das condições de repouso durante exercício submáximo são provavelmente devidos a uma formação de lactato inicial¹⁰. Posteriormente, o VO_2 progressivamente atinge um estado estável e é capaz de cumprir a demanda energética, fazendo assim desnecessário considerar a formação de lactato inicial no gasto energético geral.

Apesar da ideia aqui, o fato é que uma série de estudos com nadadores competitivos com o objetivo de quantificar o gasto energético de natação utilizou o equivalente de energia de LS adicionada ao submáximo de VO_2 ¹¹⁻¹³. No que sabemos, não existem relatos de tais tentativas com exercício de corrida realizado por indivíduos altamente treinados, o que nos levou a esta investigação.

Sendo assim, este trabalho tentou investigar se a inclusão do equivalente energético de LS em intensidades submáximas alteraria o G_c esperado para corrida supramáxima exaustiva de alta intensidade assim como sua precisão. Nossa hipótese foi de que o equivalente energético de LS quando adicionado às medidas do VO_2 durante exercício submáximo de corrida em pista não alteraria significativamente o G_c e seu erro de estimativa.

MATERIAL E MÉTODOS

Um total de 20 homens corredores de média e longa distâncias foram voluntários após autorização médica e fornecimento de um formulário de consentimento esclarecido para a participação no presente estudo. Todos os atletas foram envolvidos em um treinamento sistemático e programas de competição por pelo menos oito anos. O nível de aproveitamento dos atletas variou entre nacional e internacional. A média (\pm DP) da idade, altura e massa corporal dos atletas foi de 25,8 \pm 4,6 anos, 1,77 \pm 0,07 m, 64,3 \pm 6,3 kg, respectivamente. O protocolo de pesquisa no presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro e as regras éticas seguidas estavam de acordo com a Declaração de Helsinki de 1975.

Durante a semana anterior ao experimento os atletas não estiveram

envolvidos com sessões de treinamento de alta intensidade e limitaram seus programas a uma única sessão diária de baixa intensidade. Além disso, os atletas foram instruídos a não utilizar suplemento ergogênico e declarar qualquer droga que pudessem estar utilizando. Os testes foram conduzidos durante a fase preparatória inicial da temporada (meados de setembro a meados de outubro). Todos os sujeitos executaram um teste de corrida graduado em pista sintética para qualquer tempo. Os testes foram conduzidos pela manhã (entre 10:00 e 12:00 h), com temperatura de 20-23 graus *Celsius*, com umidade abaixo de 40% e velocidade do vento menor do que 1 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

O teste incluiu várias séries de seis minutos em velocidade constante. A velocidade inicial de corrida foi de 3,33 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ e os aumentos em cada série seguinte foram de 0,56 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Durante este teste, a velocidade de corrida dos atletas foi mantida por um ciclista utilizando uma bicicleta computadorizada sem fio CC-RD300W (Cateye, Japão). Os atletas eram instruídos a seguir o ciclista a uma distância segura, entre 1 e 1,5 m. Nenhum aquecimento foi realizado antes do início do teste e a recuperação passiva entre as séries sucessivas foi individualizada. Os atletas iniciaram cada série quando seus VO_2 apresentaram dois valores médios de 20-s consecutivos dentro de 2 $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ daqueles que foram registrados antes do início da primeira série (VO_2 médio durante o 2º min antes do início da primeira série). Os testes finalizaram através de exaustão voluntária dos sujeitos. Os atletas completaram 5-6 séries completas de seis minutos e uma série até exaustão posterior com duração de menos de 6 min.

Os gases expirados foram coletados ao longo de todo o teste e analisados com um analisador de gases K4b2 (Cosmed, Roma, Itália). Os dados coletados, incluindo o VO_2 , foram arredondados para intervalos de 20 s. Antes de cada teste, uma calibração de área de referência do aparelho foi executada utilizando uma amostra de gás com concentração de O_2 de 16% e concentração de CO_2 de 5%. O medidor de fluxo foi também calibrado antes de cada testagem com uma seringa de 3.000 ml. Antes (medida de repouso) e imediatamente após a conclusão de cada série, amostras capilares de sangue foram coletadas para a determinação da concentração de lactato sanguíneo com um aparelho portátil *Lactate Pro* (Akray, Tóquio Japão). Desvios sistemáticos foram descritos para este aparelho^{14,15}. Sendo assim, antes de cada teste o *Lactate Pro* foi calibrado com várias soluções de *YSI 1530 Standard Lactate* (2, 4, 8 e 16 $\text{mM} \cdot \text{L}^{-1}$).

O VO_2 pico foi determinado como a média mais alta de 20 s de VO_2 . A velocidade de corrida associada com o pico de VO_2 foi estimada pela inclusão do pico de VO_2 de cada sujeito na equação de regressão de VO_2 -velocidade individual. A regressão de VO_2 -velocidade foi desenvolvida para cada indivíduo utilizando os valores de estado estável de VO_2 durante o último minuto de cada série de exercício no teste graduado. Uma medição individual de VO_2 de repouso (velocidade zero de VO_2) foi também incluída nas regressões (método padrão)¹⁶. Medidas de consumo de oxigênio a partir de séries que duraram menos do que 6 min não foram incluídas na regressão.

O gasto energético de corrida (G_c) foi determinado a partir da curva de regressão linear do VO_2 -velocidade. Para cada sujeito, foi estabelecido um modelo de regressão alternativo, em que um equivalente energético de 3 $\text{ml O}_2 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{mM}^{-1}$ LS foi adicionado à média do VO_2 (método alternativo). Este último cálculo utilizou o LS líquido (LS pós-exercício menos LS de repouso). Erro padrão da regressão ($S_{y,x}$) foi utilizado como uma medida de precisão do G_c . O valor do erro padrão do valor estimado (EPE) foi utilizado como uma medida de precisão da extrapolação linear do G_c para intensidades de exercício supramáximas.

Na análise estatística, a normalidade de distribuição foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Os resultados estão apresentados da seguinte forma: i) médias \pm 1 erro padrão (EP) com medidas repetidas de teste t ; ii) estabelecimento do modelo de regressão linear ($p < 0,05$); e iii) gráficos

de plotagem de Bland-Altman entre os métodos padrão e alternativo. Foram definidos como critérios a serem considerados que ambas as estimativas representam os mesmos fenômenos se: 1) não existissem diferenças significativas entre valores de média pareadas ($p > 0,05$); 2) coeficientes de determinação entre os métodos fossem fortes ($r^2 > 0,25$); e 3) pelo menos 80% das plotagens de Bland-Altman estivessem dentro do intervalo de confiança de 95%, com tendência para a diferença média estar próxima de zero. O d de Cohen foi utilizado para todas as comparações para avaliar o tamanho do efeito da diferença. Como via de regra, foi considerado¹⁷: 1) tamanho de efeito pequeno se $0 \leq |d| \leq 0,2$; 2) tamanho de efeito médio se $0,2 < |d| \leq 0,5$; e 3) tamanho de efeito grande se $|d| > 0,5$. A respeito do nível de associação, foi considerado um tamanho de efeito pequeno¹⁸ se $0 \leq |r| \leq 0,2$; 1) tamanho de efeito moderado se $0,2 < |r| \leq 0,5$; e 2) tamanho de efeito grande se $|r| > 0,5$.

RESULTADOS

Uma vez que o LS de repouso médio foi de $\approx 1,6 \text{ mM} \cdot \text{L}^{-1}$ e LS médio nos três primeiros estágios foi abaixo de $2,1 \text{ mM} \cdot \text{L}^{-1}$, a contribuição láctica anaeróbica nessas séries de exercício seria menor do que $0,3 \text{ mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$. Na quarta e quinta séries, em que as médias foram acima do limite de lactato ($4,27$ e $8,83 \text{ mM} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente) a contribuição láctica anaeróbica pode ser calculada para ser $\approx 1,6 \text{ mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$ e $\approx 4 \text{ mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$, respectivamente.

A velocidade de corrida média correspondente ao pico de VO_2 foi $5,97 \pm 0,46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Assim, as séries supramáximas para as quais o Gc foi extrapolado corresponderia às velocidades de corrida de $6,57 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (110%) a $9,55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (160%). Considerando que esses cálculos foram obtidos com os atletas correndo com uma carga extra imposta pelo aparato K4, estas intensidades poderiam representar os eventos de corrida de pista de uma corrida de 800 m (110%) até a velocidade máxima, se fosse o caso. O pico do VO_2 dos atletas foi $68,25 \pm 6,21 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

A tabela 1 apresenta e compara as medidas e cálculos que foram executados utilizando os dois métodos (padrão *versus* alternativo). Dados médios foram significativamente diferentes para $\text{EPE}_{110\%}$, $\text{EPE}_{120\%}$, $\text{EPE}_{130\%}$, $\text{EPE}_{150\%}$, $\text{EPE}_{160\%}$, Gc, $\text{Gc}_{150\%}$, $\text{Gc}_{160\%}$ entre os dois métodos. Os dados médios foram significativamente mais altos em todas essas variáveis no método alternativo em comparação com o método padrão.

A tabela 2 apresenta a relação linear entre as variáveis coletadas com os métodos padrão e alternativo. As variáveis do Gc apresentaram um tamanho de efeito significativo e forte ($0,17 \leq r^2 \leq 0,78$). As variáveis do EPE também apresentaram tamanho de efeito significativo e forte ($0,36 \leq r^2 \leq 0,51$). Apesar disso, o valor absoluto da determinação dos coeficientes entre métodos para as variáveis de Gc e EPE é relativamente reduzido. A tabela 3 apresenta a concordância de Bland-Altman entre os valores avaliados pelos métodos padrão e alternativo. As diferenças entre os métodos variaram de $-3,40 \pm 11,43\%$ a $-6,24 \pm 14,32\%$ e de $-0,31 \pm 0,80\%$

a $-0,66 \pm 1,50\%$, nas variáveis de Gc e EPE, respectivamente. Além disso, quando os limites de 95% de concordância são adicionados, existe alguma variação não negligenciada dos valores entre ambos os métodos.

Tabela 2. Relação entre estimativas com os métodos padrão e alternativo.

Método de Concordância	r^2	EPE	p
Gc ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,78	3,84	< 0,001
$\text{Gc}_{110\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,18	11,48	< 0,01
$\text{EPE}_{110\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,41	0,76	< 0,01
$\text{Gc}_{120\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,20	12,42	< 0,01
$\text{EPE}_{120\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,39	0,88	< 0,001
$\text{Gc}_{130\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,17	13,70	< 0,01
$\text{EPE}_{130\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,36	1,11	< 0,001
$\text{Gc}_{140\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,22	14,49	< 0,01
$\text{EPE}_{140\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,37	1,16	< 0,001
$\text{Gc}_{150\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,21	15,54	< 0,01
$\text{EPE}_{150\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,51	1,16	< 0,001
$\text{Gc}_{160\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,23	16,35	< 0,01
$\text{EPE}_{160\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,40	1,40	< 0,001

Gc = gasto energético de corrida; $\text{Gc}_{110-160\%}$ = gasto energético predito em intensidades correspondentes de 110 a 160% de pico de VO_2 ; $\text{EPE}_{110-160\%}$ = erro padrão do gasto energético estimado em intensidades correspondentes de 110 a 160% de pico de VO_2 ; EPE = erro padrão da estimativa; r^2 = coeficiente da determinação; p = valor de probabilidade.

Tabela 3. Concordância de plotagens de Bland-Altman entre os valores avaliados pelos métodos padrão e alternativo.

Métodos de concordância	Diferença média	Concordância de 95% de limite
$\text{Gc}_{110\%}$	$-3,40 \pm 11,43$	$-25,81; 19,00$
$\text{EPE}_{110\%}$	$-0,31 \pm 0,80$	$-1,88; 1,25$
$\text{Gc}_{120\%}$	$-4,21 \pm 12,29$	$-28,31; 19,89$
$\text{EPE}_{120\%}$	$-0,40 \pm 0,94$	$-2,23; 1,44$
$\text{Gc}_{130\%}$	$-3,85 \pm 13,66$	$-30,63; 22,93$
$\text{EPE}_{130\%}$	$-0,41 \pm 1,17$	$-2,69; 1,88$
$\text{Gc}_{140\%}$	$-6,24 \pm 14,32$	$-34,32; 21,83$
$\text{EPE}_{140\%}$	$-0,59 \pm 1,25$	$-3,05; 1,87$
$\text{Gc}_{150\%}$	$-3,77 \pm 21,99$	$-46,88; 39,33$
$\text{EPE}_{150\%}$	$-0,51 \pm 1,24$	$-2,94; 1,92$
$\text{Gc}_{160\%}$	$-5,89 \pm 16,21$	$-37,66; 25,87$
$\text{EPE}_{160\%}$	$-0,66 \pm 1,50$	$-3,61; 2,29$

Gc = gasto energético de corrida; $\text{Gc}_{110-160\%}$ = gasto energético predito em intensidades correspondentes de 110 a 160% de pico de VO_2 ; $\text{EPE}_{110-160\%}$ = erro padrão do gasto energético predito em intensidades correspondentes de 110 a 160% do pico de VO_2 .

DISCUSSÃO

O presente estudo investigou se a inclusão do equivalente energético do LS na linha de regressão de VO_2 -velocidade de corrida alteraria os cálculos do Gc submáximo e supramáximo e sua precisão de estimativa. Em consistência com o raciocínio apresentado em outros trabalhos¹⁰, os autores hipotetizam que este procedimento não afetaria significativamente a estimativa do Gc. Os achados principais foram que o Gc submáximo aumentou significativamente quando a energia láctica foi incluída nas regressões. Adicionalmente, quando as últimas regressões foram utilizadas para extrapolar o Gc para intensidades de exercício supramáximas entre 110 e 160% do correspondente ao pico de VO_2 do indivíduo, um aumento significativo foi também detectado a 120, 140, 150 e 160%. A inclusão das medidas de LS também apresentou tendência a aumentar a imprecisão do Gc estimado. Este efeito foi não significativo para as intensidades submáximas (como dadas pelo $S_{y,x}$), mas foi significativo para a maioria das extrapolações supramáximas (110, 120, 130, 150 e 160%). A maioria dos erros de predição foi relativamente pequena ($\approx 3-4\%$) e as diferenças entre os dois métodos estiveram entre 0,3 e $0,7 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (0,3 a 0,5%).

O fato de a precisão do modelo ter diminuído com a inclusão das medidas de LS pode ser interpretado como um fator para este procedimento. Assim, se o pensamento fisiológico de utilizar medidas do VO_2 simples prevalecer, nossos resultados podem ser um argumento para apoiar o método típico. O raciocínio por detrás do método típico (medidas simples de O_2 submáximo) diz que os valores de LS acima das condições de repouso durante exercício submáximo se devem

Tabela 1. Dados comparativos entre os métodos padrão e alternativo.

Método de Concordância	Padrão (média ± 1 DP)	Alternativo (média ± 1 DP)	p	d de Cohen
Gc ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$0,174 \pm 0,018$	$0,181 \pm 0,020$	< 0,001	-0,37
$\text{Gc}_{110\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$71,15 \pm 12,51$	$74,56 \pm 6,96$	0,083	-0,34
$\text{EPE}_{110\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$1,92 \pm 0,97$	$2,24 \pm 0,90$	0,024	-0,34
$\text{Gc}_{120\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$77,18 \pm 13,69$	$81,39 \pm 7,31$	0,047	-0,38
$\text{EPE}_{120\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$2,21 \pm 1,12$	$2,60 \pm 1,05$	0,016	-0,36
$\text{Gc}_{130\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$84,01 \pm 14,82$	$87,86 \pm 8,21$	0,100	-0,32
$\text{EPE}_{130\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$2,56 \pm 1,37$	$2,97 \pm 1,20$	0,044	-0,32
$\text{Gc}_{140\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$88,91 \pm 16,14$	$95,16 \pm 8,70$	0,013	-0,36
$\text{EPE}_{140\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$2,81 \pm 1,45$	$3,40 \pm 1,39$	0,080	-0,42
$\text{Gc}_{150\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$95,07 \pm 17,03$	$101,44 \pm 9,68$	0,019	-0,46
$\text{EPE}_{150\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$3,13 \pm 1,62$	$3,71 \pm 1,56$	0,009	-0,36
$\text{Gc}_{160\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$101,37 \pm 18,43$	$107,27 \pm 10,65$	0,036	-0,39
$\text{EPE}_{160\%}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$3,46 \pm 1,48$	$4,12 \pm 1,71$	0,013	-0,41

Gc = gasto energético de corrida; $\text{Gc}_{110-160\%}$ = gasto energético predito em intensidades correspondentes de 110 a 160% do pico de VO_2 ; $\text{EPE}_{110-160\%}$ = erro padrão estimado do gasto energético em intensidades correspondendo de 110 a 160% do pico de VO_2 ; p = valor de probabilidade.

provavelmente a uma formação inicial de lactato¹⁰. Posteriormente, o VO₂ progressivamente alcança um estado estável e é capaz de preencher a demanda energética, tornando desnecessário, assim, considerar a formação inicial de lactato no gasto energético geral. Além disso, pode-se questionar que se cada molécula de piruvato é degradada para oxidação, independentemente de ter sido transitoriamente convertida em lactato ou não, então o ATP gerado pelo metabolismo láctico poderia também ser representado pelo ATP oxidativo produzido¹⁹. Contudo, há um tipo de armadilha aqui, uma vez que o intervalo temporal entre a formação de lactato (produção de ATP anaeróbico) e oxidação de piruvato (produção de ATP aeróbico) varia muito, dificultando a aplicação deste raciocínio em diferentes condições de exercício. Sendo assim, temos que concluir que o debate sobre esse assunto pode não ter terminado e ainda mereça atenção.

A teoria desenvolvida por Margaria, Cerretelli e di Prampero para referências adicionais⁹ encontra apoio experimental para o acúmulo de lactato sanguíneo em intensidades acima da correspondente à intensidade mínima capaz de promover o VO₂máx, pelo menos para o exercício de corrida. O próprio di Prampero⁹ reconhece que em alguns tipos de exercício em que músculos menores estão ativos (como na natação, remo ou caiaque), a contribuição de lactato para o gasto energético total pode se apresentar substancialmente reduzida em intensidades de exercício mais baixas. Na verdade, inspeção visual do típico acúmulo de lactato sanguíneo como uma função da intensidade de exercício sugere que é possível que haja relação linear, uma vez que a curva aumenta exponencialmente (acima do limite de 4 mM·L⁻¹) e não somente acima do VO₂máx. Um dos métodos típicos para detecção do limite anaeróbico (o método *V-slope*) utiliza duas linhas, no qual a linha mais íngreme geralmente começa a partir de um LS de cerca de 5-6 mM·L⁻¹. A evidência experimental apresentada por di Prampero e outros autores antes dele (Margaria e Cerretelli), apesar de não apoiar o equivalente de energético de LS em corrida submáxima, não necessariamente prova o contrário. Na verdade, em intensidades acima do limite de 4 mM·L⁻¹, o VO₂ pode não atingir um estado estável mesmo com duração de exercício longa. Ao contrário, ele pode aumentar continuamente até a fadiga. Apesar de não ter sido comprovado, este componente lento de O₂ em cinética foi relacionado com o LS. Assim, os dois fenômenos (ausência do estado estável de VO₂ e a existência de uma relação linear entre o LS e o gasto energético em intensidades entre o limite de lactato e VO₂máx) podem indicar que a energia produzida pelo mecanismo láctico possa ser importante.

Nossos dados indicam que mesmo em corredores experientes há um efeito estatisticamente significativo de acordo com o método utilizado para computar Gc e seus erros de estimativa. Assim sendo, em corredores não experientes (i.e. corredores recreacionais ou indivíduos geralmente ativos) este efeito é provavelmente presente e com expectativa de ser mais visível (já que condicionamento aeróbico mais baixo tende a aumentar o acúmulo de lactato durante exercício submáximo). Uma hipótese atraente seria que a chamada subestimação do gasto energético devido à duração limitada das séries submáximas (digamos, menos do que 5 min) poderia ser contrabalanceada pela adição da energia láctica. O raciocínio por detrás disso é o seguinte: se o componente lento do VO₂ reflete de alguma maneira a energia láctica anaeróbica anterior, então adicionar a energia equivalente de LS poderia atenuar o efeito de não ter contado com a contribuição completa do componente lento para o verdadeiro gasto energético. Na verdade, pesquisadores têm tentado encontrar procedimentos que permitam uma duração limitada de séries de exercício submáximo quando avaliando a relação entre o VO₂ e a intensidade de exercício². Será interessante que, no futuro, a adição do equivalente energético do LS na regressão construída com medidas de estado não estável seja testada.

Implicações práticas

O verdadeiro gasto energético durante séries de estado estável de corrida submáximas pode ser mais alto do que o sugerido somente pelas medidas do VO₂.

Equivalentes energéticos de lactato sanguíneo podem ser necessários para complementar as medidas do VO₂ quando avaliando o gasto energético de corrida.

Justifica-se investigação adicional da linha do acúmulo do lactato sanguíneo com intensidade de corrida acima do limite de 4 mM·L⁻¹.

CONCLUSÃO

Resumidamente, o presente estudo testou a hipótese de que a inclusão de um equivalente energético de LS na linha de regressão de velocidade de corrida do VO₂ não alteraria os cálculos dos Gc submáximo e supramáximo e sua precisão de estimativa. Nossos resultados não confirmam esta hipótese, uma vez que ambos os Gc e seus erros de estimativa foram aumentados com o acréscimo das medidas de LS.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

- Bickham D, Gibbons C, Le Rossignol P. VO₂ is attenuated above the lactate threshold in endurance-trained runners. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:297-301.
- Bickham D, Le Rossignol P, Gibbons C, Russell AP. Re-assessing accumulated oxygen deficit in middle-distance runners. *J Sci Med Sport* 2002;5:372-82.
- Reis VM, Silva AJ, Ascensão A, Duarte JA. Inclusion of exercise intensities above the lactate threshold in VO₂/running speed regression does not improve the precision of Accumulated Oxygen Deficit estimation in endurance-trained runners. *J Sports Sci Med* 2005;4:455-62.
- Duffield R, Dawson B, Goodman C. Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events. *J Sci Med Sport* 2004;7:302-13.
- Duffield R, Dawson B, Goodman C. Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *J Sports Sci* 2005;23:299-307.
- Reis VM, Tillaar R, Marques MC. Higher precision of heart rate compared with VO₂ to predict exercise intensity in endurance-trained runners. *J Sports Sci Med* 2011;10:164-8.
- Margaria R, Cerretelli P, Aghemo P, Sassi G. Energy cost of running. *J Appl Physiol* 1963;18:367-70.
- Cerretelli P, di Prampero PE, Piiper J. Energy balance of anaerobic work in the dog gastrocnemius muscle. *Am J Physiol* 1969;217:581-5.
- di Prampero PE. Energetics of muscular exercise. *Rev Physiol Biochem Pharmacol* 1981;89:143-222.
- di Prampero PE, Ferretti G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol* 1999;118:103-15.
- Barbosa TM, Fernandes RJ, Keskinen KL, Colaço P, Cardoso C, Silva J, Vilas-Boas JP. Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *Int J Sports Med* 2006;27:894-99.
- Barbosa TM, Fernandes RJ, Keskinen KL, Vilas-Boas JP. The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *Eur J Appl Physiol* 2008;103:139-49.
- Barbosa TM, Keskinen KL, Fernandes R, Colaço P, Carmo C, Vilas-Boas JP. Relationships between energetic, stroke determinants, and velocity in butterfly. *Int J Sports Med* 2005;26:841-6.
- Buckley JD, Bourdon PC, Woolford SM. Effect of measuring blood lactate concentrations using different automated lactate analysers on blood lactate transition thresholds. *J Sci Med Sport* 2003;6:408-21.
- Mc Naughton LR, Thompson D, Philips G, Backx K, Crickmore L. A comparison of the lactate Pro, Accusport, Analox GM7 and Kodak Ektachem lactate analysers in normal, hot and humid conditions. *Int J Sports Med* 2002;23:130-5.
- Cohen J. Statistical power analysis for the behavioural sciences. Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- Reis VM, Duarte JA, Espírito-Santo J, Russell A. Determination of Accumulated Oxygen Deficit during a 400 m run. *JEP online* 2004;7:77-83.
- Ferguson CJ. An Effect Size Primer: A Guide for Clinicians and Researchers. *Psychol-Res Pr* 2009;40:532-8.
- Green S. A definition and systems view of anaerobic capacity. *Eur J Appl Physiol* 1994;69:168-73.