

Resposta cardiorrespiratória e gasto energético em exercício na máxima fase estável de lactato

Cardiorespiratory response and energy expenditure during exercise at maximal lactate steady state

Anderson Santiago Teixeira¹
Talita Grossi¹
Ricardo Dantas De Lucas¹
Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo¹

Resumo – A resposta cardiorrespiratória durante exercícios submáximos, na intensidade da máxima fase estável de lactato (MFEL_{int}) até a exaustão, tem sido pouco investigada. O objetivo deste estudo foi investigar a resposta do consumo de oxigênio (VO₂), frequência cardíaca (FC) e pulso de oxigênio (pulso O₂) em exercício realizado na MFEL_{int} até a exaustão, e comparar o gasto energético (GE) estimado pelo VO₂ e pela FC. Doze sujeitos treinados realizaram um protocolo incremental em cicloergômetro para determinar parâmetros máximos e submáximos do metabolismo aeróbio. Posteriormente, foram realizados 2 a 4 testes de 30 min com carga constante para identificar a MFEL_{int}. Finalmente, os sujeitos realizaram um teste até a exaustão na MFEL_{int}. Os parâmetros cardiorrespiratórios foram medidos continuamente durante todos os testes. No teste de exaustão, as respostas fisiológicas foram comparadas entre seis momentos relativos do tempo de exaustão (TTE). O TTE médio foi 55,1±10,2 min. O pulso de O₂ apresentou reduções significativas ao longo do tempo, atingindo, no momento da exaustão, um valor ~9% inferior comparado ao início do exercício. Este fato ocorreu pelo aumento da FC ao longo do tempo de forma desproporcional ao aumento do VO₂, resultando em diferenças significantes entre os GE estimados. Portanto, em exercício realizado na MFEL_{int} até a exaustão, parece existir uma perda gradual da eficiência cardiorrespiratória, evidenciada pela redução do pulso O₂. Assim, a relação direta entre VO₂ e FC com a carga de trabalho é alterada ao longo do exercício, conduzindo a erros de estimativa do GE a partir dos valores da FC.

Palavras-chave: Ciclismo; Exercício submáximo; Fadiga; Pulso de oxigênio.

Abstract – *There has been little research regarding cardiorespiratory responses during sub-maximal exercise at the maximal lactate steady state intensity (MLSS_{int}) until exhaustion. The objective of this study was to investigate the responses of oxygen consumption (VO₂), heart rate (HR) and oxygen pulse (O₂ pulse) during exercise to exhaustion at MLSS_{int}, and to compare energy expenditure (EE) estimated by VO₂ and HR. Twelve trained athletes followed an incremental protocol on a cycle ergometer to determine maximal and sub-maximal parameters of aerobic metabolism. On subsequent occasions they performed 2 to 4 30-minute tests with constant load to identify MLSS_{int}. Finally, they underwent a test to exhaustion at MLSS_{int}. Cardiorespiratory parameters were measured continuously during all tests. During the test to exhaustion, physiological responses were compared for six points in time calculated as percentages of the time to exhaustion (TTE). Mean TTE was 55.1±10.2 min. Oxygen pulse presented significant reduction over time, decreasing to a value 9% lower than baseline at the exhaustion point. This fact was the result of increases in HR over time that was disproportional to the increase in VO₂, resulting in significant differences between EE estimates. Therefore, there appears to be a gradual loss of cardiorespiratory efficiency during exercise to exhaustion at MLSS_{int} that is shown by the reduction in O₂ pulse. The direct relationship between VO₂ and HR with workload presents variations over the course of exercise, leading to errors when EE is estimated using HR.*

Key words: Cycling; Fatigue; Oxygen pulse; Submaximal exercise.

1 Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Desportos. Laboratório de Esforço Físico. Florianópolis, SC, Brasil.

Recebido em 26/03/13
Revisado em 22/04/13
Aprovado em 23/08/13



Licença
Creative Commons

INTRODUÇÃO

A compreensão das respostas cardiorrespiratórias e metabólicas durante exercício realizado em diferentes domínios de intensidades é considerada essencial para a prescrição do exercício aeróbio de longa duração (> 30 minutos) e elaboração de modelos experimentais¹. Nesta perspectiva, um dos principais índices fisiológicos que está associado ao desempenho do exercício aeróbio é a intensidade referente à máxima fase estável de lactato (MFEL_{int}), representada pela maior intensidade de exercício na qual ocorre o máximo equilíbrio entre a taxa de liberação e remoção do lactato sanguíneo². Esta intensidade representa um interessante modelo para estudar respostas fisiológicas durante exercícios prolongados, já que está situada no limite entre os domínios de intensidade pesado e severo^{2,3}.

O comportamento do consumo de oxigênio (VO₂) e da frequência cardíaca (FC) em exercício realizado na MFEL_{int} vem recebendo ampla atenção em diversos estudos na comunidade científica²⁻⁴. No entanto, é possível notar, ainda, a ausência de informações suficientes na literatura em relação às respostas do pulso de oxigênio (pulso de O₂, mL.b⁻¹) durante exercício na MFEL_{int}. O pulso de O₂ é caracterizado pelo quociente do VO₂ pela FC, sendo comumente utilizado para predição do volume sistólico (VS), visto que ambas variáveis são significativamente correlacionadas^{5,6}. Considerando que durante exercícios realizados na MFEL_{int} o VO₂ permanece estável e a FC aumenta progressivamente^{2,3}, as reduções do pulso de O₂ podem evidenciar a ocorrência do drift cardiovascular, caracterizado pelo aumento da FC paralelo ao declínio do VS, e de maneira indireta, um comprometimento na eficiência cardiorrespiratória (i.e. redução na fração de ejeção ventricular)^{7,8}, justificando, assim, a avaliação deste parâmetro cardiovascular durante exercícios de longa duração.

Além do mais, a FC tem sido utilizada para monitorar a intensidade de exercício⁹ e, conseqüentemente, estimar o gasto energético (GE), visto que é assumida uma relação linear entre os valores de FC e VO₂¹⁰. Entretanto, em exercícios de longa duração esta relação não permanece constante¹¹, podendo incorrer em erros de estimativa do GE quando somente a FC é utilizada. Portanto, o objetivo principal deste estudo foi verificar as respostas cardiorrespiratórias (VO₂, FC e pulso de O₂) durante exercício realizado na MFEL_{int} até a exaustão voluntária, utilizando o ciclismo como modo de exercício. O segundo objetivo foi comparar o GE estimado por meio de diferentes equações que consideram o VO₂ ou apenas a FC.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Participantes

Doze ciclistas treinados, do sexo masculino, participaram deste estudo (29,2 ± 5,3 anos; 176,5 ± 5,9 cm; 76,2 ± 6,8 kg). Os participantes tinham, no mínimo, dois anos de experiência com o treinamento e competições de

ciclismo em nível regional e estadual (*mountain bike* e ciclismo de estrada) e treinavam de cinco a seis dias por semana com um volume de treinamento semanal entre 320-360 km.

Todos os procedimentos adotados foram aprovados pelo Comitê de Ética de Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (protocolo 056/2009). Além disso, todos os participantes eram informados dos riscos e benefícios, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido e foram familiarizados com os procedimentos do experimento.

Procedimento experimental e materiais utilizados

Os participantes foram instruídos a chegarem ao laboratório, descansados, hidratados, alimentados e pelos menos, com 3 h de antecedência e que evitassem o consumo de bebidas cafeinadas, assim como a realização de exercícios físicos intensos nas 48 h antecedentes aos testes. O protocolo experimental completo foi realizado em até três semanas, com um intervalo mínimo de 48 h entre os testes, e cada participante foi avaliado no mesmo horário do dia com variação de, no máximo, 2 h em relação ao primeiro teste com a finalidade de minimizar a interferência das variações biológicas¹². Todos os testes foram realizados em ambiente climatizado na temperatura média de $24,5 \pm 2,3^\circ\text{C}$ e umidade relativa entre 55-60%.

Inicialmente, os participantes realizaram um teste incremental máximo para determinar o limiar anaeróbio (LAN) e os valores máximos de VO_2 ($\text{VO}_{2\text{max}}$), FC (FCmax), pulso de O_2 (pulso de $\text{O}_{2\text{max}}$) e potência máxima obtida no teste (Pmax). O LAN foi determinado como a intensidade de exercício correspondente a concentração fixa de lactato sanguíneo ([La]) de $3,5 \text{ mmol.l}^{-1}$, sendo, posteriormente, utilizada como a intensidade do primeiro teste para determinar a MFEL_{int} ¹³. As amostras de sangue (25 μL) para análise da [La] foram coletadas do lóbulo da orelha por meio do capilar heparinizado, armazenadas em microtúbulos de polietileno com tampa (tipo *Eppendorf*), contendo uma solução de concentração conhecida (50 μL de Fluoreto de Sódio). A leitura foi realizada pelo analisador eletroquímico (*YSI 2700 STAT*, Yellow Springs, Ohio, USA), o qual foi calibrado automaticamente a cada 5 amostras com uma solução padrão de *L-Lactate* de 0,50g.L.

O VO_2 e a ventilação (VE) foram mensurados a cada respiração durante o teste incremental e o teste de exaustão (TTE) (*Quark PFTergo*, COSMED, Roma, Itália). O analisador de gases foi calibrado imediatamente antes de cada teste conforme as instruções do fabricante. A FC foi monitorada constantemente por meio de um cardiófrequencímetro conectado ao analisador de gases. O pulso de O_2 foi calculado como o quociente do VO_2 pela FC durante o protocolo incremental e o TTE. Para todos os testes, foi utilizado um cicloergômetro de frenagem eletromagnética (*Ergofit 167 Cycle*, Pirmasens, Alemanha). A cadência preferida ($\pm 5 \text{ rpm}$) de cada participante, que variou de 75 a 90 rpm entre os atletas, foi utilizada em todos os testes e permaneceu constante durante todo o procedimento.

Protocolo Incremental Máximo

O teste incremental máximo iniciou a 105 W e aumentou 35 W, a cada 3 min, até a exaustão voluntária¹⁴, sendo que cada participante foi verbalmente encorajado a alcançar o máximo esforço. Os valores de VO_2 e FC foram reduzidos às médias de 15 s, sendo que o VO_2max e FCmax foram considerados como o maior valor. O teste foi considerado máximo quando dois ou mais critérios fossem encontrados: quociente respiratório $> 1,10$; platô de VO_2 ; $[\text{La}] > 8 \text{ mmol.L}^{-1}$ e/ou 90% da FCmax predita pela idade¹⁵. As amostras sanguíneas foram coletadas ao final de cada estágio do protocolo para a mensuração da $[\text{La}]$. A Pmax foi determinada conforme a equação: $\text{Pmax(W)} = \text{carga do último estágio completado (W)} + [\text{t (s)}/\text{duração do estágio (s)} \times \text{incremento de carga (W)}]$; onde “t” foi o tempo do estágio incompleto¹⁶.

Protocolo para determinação da MFEL_{int}

Após o teste incremental, foram realizados dois a quatro testes submáximos de carga constante, em dias distintos, com duração de 30 min, para identificar a MFEL_{int} . As coletas para mensuração das $[\text{La}]$ foram realizadas no 10° e 30° min da avaliação. Sendo assim, a MFEL_{int} foi a maior intensidade que pôde ser mantida com um aumento na $[\text{La}]$ menor que 1 mmol.L^{-1} nos últimos 20 min do teste^{13,17}. A concentração de lactato sanguíneo correspondente à MFEL_{int} ($\text{MFEL}_{[\text{La}]}$) foi o valor médio entre a coleta do 10° e 30° min.

Caso no primeiro teste de carga constante ocorresse estabilização ou diminuição dos valores de $[\text{La}]$, os testes subsequentes seriam realizados com acréscimo de 5% na carga, em dias distintos, até que a estabilidade da $[\text{La}]$ não fosse mais mantida. Em contrapartida, se ocorresse um aumento na $[\text{La}]$ e/ou não pudesse ser completado devido à exaustão, os testes subsequentes seriam realizados com uma redução da carga (5%). Além disso, em todos os testes para identificação da MFEL_{int} foi realizado um aquecimento, com 5 min de duração, a 50% da Pmax .

Protocolo para determinação do VO_2 , FC e pulso de O_2 no TTE na MFEL_{int}

Todos os avaliados realizaram um TTE na MFEL_{int} previamente determinada. O critério utilizado para a exaustão foi quando os participantes saíssem da cadência preferida ($\pm 5 \text{ rpm}$) pela segunda vez ou parassem de pedalar¹⁸. Após os 30 min iniciais, a cada 10 min, foi dado aos sujeitos 100 mL de água. Para a ingestão de água, a máscara do analisador de gases foi retirada por um período máximo de 30 s e, posteriormente, recolocada. O VO_2 , FC e pulso de O_2 foram mensurados continuamente durante o TTE. No entanto, como os tempos de exaustão (min) foram diferentes para os 12 participantes, as variáveis foram expressas e analisadas como percentuais do tempo de exaustão entre 10% e 100% ($t_{10\%}$, $t_{20\%}$, $t_{40\%}$, $t_{60\%}$, $t_{80\%}$ e $t_{100\%}$). Foi adotado o valor médio da variável no último minuto em cada percentual do tempo de exaustão. Todas as análises foram realizadas por um único avaliador experiente.

Para caracterizar o aumento percentual das variáveis fisiológicas ao longo do TTE, foi utilizado como referência o $t_{10\%}$, visando excluir os ajustes cardiopulmonares iniciais que ocorrem na transição repouso-exercício.

Determinação do Gasto Energético (GE)

No TTE na MFEL_{int}, foram obtidas três diferentes estimativas de GE, sendo duas a partir de valores de VO₂ e uma por meio da FC, assumindo a relação linear entre a FC e o VO₂. Assim, o GE foi calculado nos mesmos momentos relativos (%) ao tempo de exaustão, como descrito acima.

O GE₁ foi obtido a partir dos valores brutos obtidos diretamente do *software* do analisador de gases (Cosmed®, Quark PFTergo) durante a realização do TTE, sendo calculado pelo produto entre o VO₂ absoluto e o equivalente calórico referente ao quociente respiratório do último minuto em cada percentual de tempo do TTE. Este método (GE₁) foi utilizado como referência para estimativa do GE no presente estudo por considerar a relação entre o custo energético (kcal) e a razão do volume de CO₂ produzido pelo VO₂. Já o GE₂ foi obtido assumindo o equivalente metabólico (MET) disponibilizado pelo mesmo aparelho (Quark PFTergo), a partir da seguinte fórmula: GE = MET * massa corporal/60¹⁹. O número de MET foi calculado assumindo que o VO₂ igual a 3,5 mL.kg⁻¹.min⁻¹ corresponde a 1 MET.

Por último, para obtenção do GE₃ calculou-se, primeiramente, o GE durante o protocolo incremental máximo por meio do produto entre o VO₂ e o equivalente calórico correspondente ao quociente respiratório do final de cada estágio. Posteriormente, foi realizada uma relação linear entre os valores de FC e GE, gerando as equações individuais de regressão para estimar o GE a partir dos valores de FC durante a realização do TTE na MFEL_{int}²⁰.

Análise Estatística

Estatística descritiva é apresentada como média ± desvio-padrão. O teste *Shapiro-Wilk* foi realizado para verificar a normalidade dos dados. A ANOVA *one-way* com medidas repetidas foi usada para verificar as mudanças em cada variável (FC, VO₂, pulso de O₂, GE médio e total) durante os percentuais de tempo do TTE. A ANOVA *two-way* com medidas repetidas foi utilizada para comparar os diferentes métodos para estimar o GE e as mudanças desta variável ao longo do TTE. Ambas as análises de variância foram complementadas pelo post hoc de *Bonferroni*. A análise de correlação linear de Pearson foi utilizada para verificar a relação entre o VO₂ e a FC ao longo do protocolo do TTE.

Considerando o GE total obtido por cada método, foi calculado o erro ± 95% dos limites de concordância de acordo com o proposto por Bland e Altman²¹, a fim de detectar a variabilidade intraindividual. Para tal análise, o GE₁ foi considerado como método de referência.

Em todas as análises foi adotado um nível de significância de 5%. Para o tratamento estatístico, foi utilizado o aplicativo GraphPad Prism (v. 5.0 GraphPad Prism Software Inc, San Diego, CA).

RESULTADOS

As variáveis fisiológicas obtidas no teste incremental, no protocolo de determinação da MFEL_{int} e o tempo de exaustão são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Respostas fisiológicas durante o teste incremental máximo e durante o protocolo da MFELint.

Variáveis	Média ± DP
VO ₂ max (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	60,2 ± 7,8
FCmax (bpm)	193 ± 7
Pulso de O ₂ max (mL.b ⁻¹)	23,8 ± 2,9
Pmax (W)	341,1 ± 33,6
MFEL _{int} (W)	253,3 ± 30,2
MFEL _[La] (mmol.L ⁻¹)	3,7 ± 0,7
Tempo de exaustão (min)	55,2 ± 10,1

Nota: VO₂max – consumo máximo de oxigênio; FCmax – frequência cardíaca máxima; Pulso de O₂max – pulso de oxigênio máximo; Pmax – potência máxima; MFEL_{int} – intensidade associada à máxima fase estável de lactato, MFEL_[La] – concentração de lactato sanguíneo correspondente à MFEL_{int}.

A Tabela 2 apresenta o comportamento da FC, VO₂ e pulso de O₂ durante o TTE proposto neste estudo. Houve um aumento progressivo de 13,3% ao final do TTE (t_{100%}) para a FC, enquanto o VO₂ estabilizou-se a partir do t_{20%}. Conseqüentemente, observou-se diferença significativa nos valores do pulso de O₂ a partir do t_{60%} comparado ao t_{10%}, atingindo uma redução média de 8,9% no momento de exaustão. Para a FC, verificaram-se diferenças significativas a partir do t_{20%} em comparação ao t_{10%}. Por outro lado, o VO₂ apresentou apenas um aumento significativo entre o t_{10%} e t_{80%}. Ainda que o VO₂ e FC apresentaram comportamentos diferentes, verificou-se uma alta correlação (r=0,87; p<0,05) entre os valores destas duas variáveis durante o TTE.

Tabela 2. Valores médios ± DP do comportamento das variáveis fisiológicas (FC, VO₂ e pulso de O₂) e dos percentuais de mudança (Δ) de cada variável, em diferentes momentos relativos do TTE.

	FC		VO ₂		Pulso de O ₂	
	bpm	Δ%	mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹	Δ%	mL.b ⁻¹	Δ%
t _{10%}	158 ± 9 [*]	-	46,4 ± 6,7 [§]	-	22,2 ± 2,2	-
t _{20%}	163 ± 8 [*]	3,0 ± 1,7	47,2 ± 7,2	1,7 ± 2,6	21,9 ± 2,4	-1,1 ± 2,2
t _{40%}	167 ± 9 [†]	6,0 ± 2,3	47,9 ± 7,1	3,2 ± 4,4	21,5 ± 2,5 [‡]	-3,3 ± 4,1
t _{60%}	172 ± 8 [‡]	8,8 ± 4,0	48,0 ± 7,8	3,3 ± 4,9	21,0 ± 2,4 [‡]	-5,3 ± 4,7
t _{80%}	175 ± 9	10,8 ± 5,1	48,7 ± 8,0	4,9 ± 6,4	20,7 ± 2,6	-6,7 ± 5,1
t _{100%}	179 ± 9	13,3 ± 5,9	48,0 ± 7,6	3,4 ± 6,1	20,2 ± 2,6	-8,9 ± 6,0

Nota: FC – frequência cardíaca; VO₂ – consumo de oxigênio; Pulso de O₂ – pulso de oxigênio.
^{*} p < 0,05 em relação à todos percentuais de tempo; [†] p < 0,05 em relação ao t_{80%} e t_{100%}; [‡] p < 0,05 em relação ao t_{100%}; [§] p < 0,05 em relação ao t_{80%}; ^{||} p < 0,05 em relação ao t_{60%}, t_{80%} e t_{100%}.

Os valores de GE expressos a partir da estimativa de diferentes métodos estão apresentados na Figura 1. Observa-se um aumento significativo nos valores de GE₂ entre os momentos t_{10%} e t_{80%}, enquanto o GE₃ apresentou um aumento significativo entre o início e final do teste (15,4 vs. 19,4 kcal.min⁻¹, respectivamente). Por outro lado, o GE₁ não sofreu variações durante o TTE. Analisando o GE obtido entre os diferentes métodos utilizados, o GE₃ foi subestimado e superestimado no momento t_{10%} e t_{100%} do TTE, respectivamente, quando comparado aos métodos que consideram o VO₂. No entanto, o GE médio (G₁ = 17,2 ± 1,7; G₂ = 16,8 ± 1,6; G₃ = 17,4 ± 2,7 kcal.

min⁻¹) e total ($G_1 = 958,5 \pm 191,6$, $G_2 = 940,3 \pm 191,0$ e $G_3 = 966,1 \pm 207,6$ kcal) calculados para cada método não apresentaram diferença significativa. Adicionalmente, a análise de concordância (erro \pm 95% limite de concordância) para o GE total foi de $2,0 \pm 1,7\%$ (GE₁ e GE₂; Figura 2A) e $0,5 \pm 25,6\%$ (GE₁ e GE₃; Figura 2B).

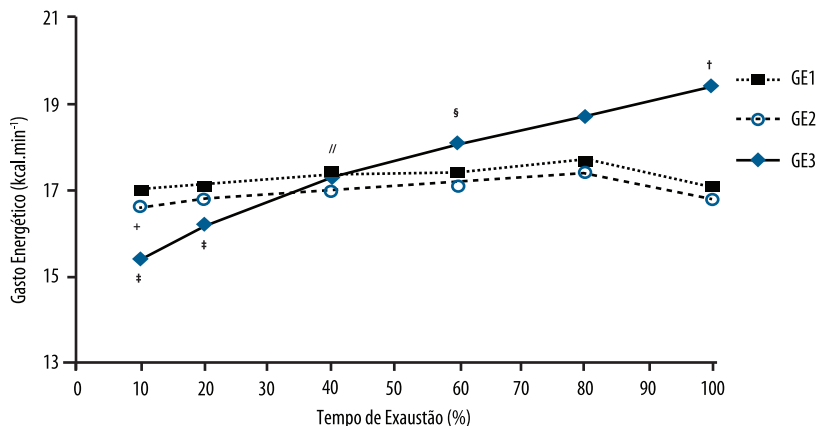


Figura 1. Comparação do gasto energético (GE) entre os três métodos para cada percentual do tempo de exaustão.

Nota: GE1 – Gasto energético por meio da análise do software Cosmed®; GE2 – Gasto energético por meio do equivalente metabólico (MET); GE3 – Gasto energético por meio da frequência cardíaca.

* $p < 0,05$ em relação ao t10% do GE1 e GE2; † $p < 0,05$ em relação ao t100% do GE1 e GE2; ‡ $p < 0,05$ em relação ao t80% do GE2; § $p < 0,05$ em relação ao t40%, t60%, t80% e t100% do GE3; // $p < 0,05$ em relação ao t80% e t100% do GE3; § $p < 0,05$ em relação ao t100% do GE3.

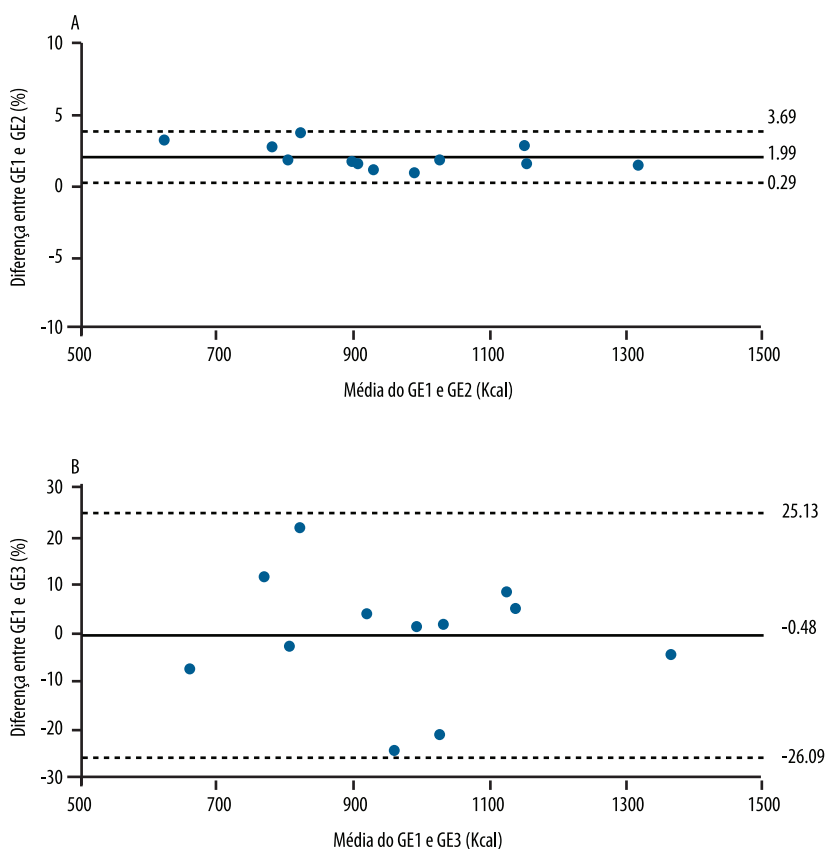


Figura 2. Análise de concordância de Bland-Altman entre GE1-GE2 (painel A) e GE1-GE3 (painel B).

Nota: GE1 – Gasto energético por meio da análise do software Cosmed®; GE2 – Gasto energético por meio do equivalente metabólico (MET); GE3 – Gasto energético por meio da frequência cardíaca

DISCUSSÃO

O principal achado deste estudo foi que há uma redução significativa do pulso de O_2 , acompanhada pelo aumento progressivo da FC (~ 13%) durante exercício realizado na MFEL_{int} até a exaustão. Além disso, o aumento da FC pode superestimar o GE em alguns momentos do exercício de longa duração, especialmente próximos à exaustão.

Alguns estudos têm encontrado uma estabilidade do VO_2 durante a realização de exercícios na MFEL_{int}^{2,3}. Diferentemente, no presente estudo, foi observado um aumento significativo do VO_2 entre $t_{10\%}$ e $t_{80\%}$ (46,4 vs. 48,7 mL.kg⁻¹.min⁻¹, respectivamente) durante o protocolo até a exaustão. Esse achado é similar aos resultados observados por Barbosa et al.²² e Lajoie et al.⁴ que também constataram aumento no valor de VO_2 entre o início e o final do exercício, em atletas treinados, durante 30 e 60 min de ciclismo na MFEL_{int}, respectivamente. No entanto no presente estudo os valores de VO_2 no momento da exaustão ($t_{100\%}$) não apresentaram diferenças com o início do exercício ($t_{10\%}$), sugerindo que a diferença encontrada possa ser meramente um viés estatístico.

Os estudos realizados na MFEL_{int} têm mostrado variações significativas de outras variáveis fisiológicas, dentre as quais, a FC, que aumenta continuamente^{2,3}. A resposta da FC ao longo do protocolo do TTE em nosso estudo, caracterizada por um aumento significativo de 13,3%, vem sendo também relatada por outros estudos^{2,4,8}. Esta elevação pode ser explicada pela maior ativação do sistema nervoso simpático e aumento nas concentrações de catecolaminas na corrente sanguínea³, como também pelo aumento progressivo no recrutamento de unidades motoras via comando central e/ou *feedback* muscular⁸. Em condições de hipertermia e desidratação, a FC aumenta suficientemente para prevenir reduções significativas no débito cardíaco²³. Desse modo, o aumento da FC durante exercícios prolongados, associado a uma redução do VS, é caracterizado classicamente como *drift* cardiovascular^{8,24,25}.

A ausência de estabilidade dos valores da FC observada neste estudo acarretou uma redução progressiva e significativa no pulso de O_2 . Bhamhani et al.⁶ demonstraram a validade do pulso de O_2 para predição do VS durante exercícios submáximos no ciclismo, em homens treinados, ao encontrar forte correlação ($r = 0,84$) entre pulso de O_2 e o VS (obtido a partir do quociente entre o débito cardíaco e a FC). A partir disso, pode-se inferir que as quedas do pulso de O_2 sejam um reflexo da redução progressiva do VS, o que caracterizaria a existência do *drift* cardiovascular e, conseqüentemente, sinalizaria uma redução na fração de ejeção ventricular.

Recentes estudos^{11,25} realizados em ciclistas treinados durante exercício de intensidade submáxima com medidas indiretas de débito cardíaco e VS podem reforçar os achados do presente estudo. Lafrenz et al.²⁵ observaram que o *drift* cardiovascular, refletido pelas mudanças na FC e VS, foi significativo sob diferentes condições experimentais (temperatura ambiente 22°C vs. 35°C) durante 45 min de exercício. No entanto, a magnitude do

drift cardiovascular foi maior na temperatura ambiental mais elevada. Adicionalmente, Ganio et al.¹¹ durante 120 min de exercício (temperatura ambiente 30°C), com e sem a ingestão de fluidos (contendo eletrólitos-carboidratos), observaram significativos aumento da FC e redução do pulso de O₂ na 1ª hora de exercício sem a ingestão de fluidos. Já na 2ª hora de exercício, constataram uma redução expressiva do VS, além da ampliação das variações anteriores. Diferentemente, quando houve a ingestão de fluidos, a magnitude do *drift* cardiovascular foi atenuada e o pulso de O₂ permaneceu estável. Como as condições climáticas e experimentais são diferentes, é necessário ter cautela ao comparar os resultados similares entre os estudos. Porém, ainda assim, a casual explicação para a redução do pulso de O₂ em nosso estudo pode estar relacionada à reposição hídrica de apenas ~300 mL de água não ser a quantidade adequada para prevenir o processo de desidratação. Assim, a recomendação para atender as necessidades hídricas é de aproximadamente 300-500 mL de água pré-exercício e 800-1600 mL.h⁻¹ de solução com 6% a 8% de carboidrato durante as atividades de endurance com duração entre 1-3 h²⁶.

O gasto energético (GE) tem sido estimado em diferentes modos de exercício, assumindo uma relação linear entre o VO₂, a FC e a demanda metabólica aeróbia¹⁰. Essa mesma relação de linearidade foi observada no presente estudo (r=0,87), apesar do aumento desproporcional da FC em relação ao VO₂ durante o protocolo do TTE. O *American College of Sports Medicine* (ACSM) sugere diferentes equações para estimativas do VO₂ e, desta forma, obter o GE durante diferentes modos de exercício. Para Londeree et al.²⁷ estas equações tendem a subestimar os valores do VO₂ na prática de ciclismo, conseqüentemente, interferindo na estimativa do GE. Para nosso conhecimento, este é o primeiro estudo a comparar o GE estimado por meio de diferentes métodos que consideram apenas o VO₂ e, também, os valores da FC durante exercícios realizados na MFEL_{int} até a exaustão voluntária.

Embora na prática de exercícios físicos seja relativamente incomum realizar atividades com carga constante, o modelo de exercício deste estudo mostrou que para o GE médio e total não foram observadas diferenças entre as estimativas obtidas diretamente por meio do VO₂, e a estimativa obtida a partir da FC. Entretanto, o cálculo dos limites de concordância evidenciou que o GE₃ total (estimado a partir da FC) pode variar ± 25,6% comparado ao GE₁, sugerindo grande variabilidade intraindividual. Esses achados mostram que os valores do GE total baseado na FC podem apresentar individualmente um erro de estimativa expressivo (± 25,6%) em relação ao método de referência (GE₁). Resultados similares foram relatados por Li et al.²⁸, que observaram ampla variação interindividual (14,1 a 17,6%) e intraindividual (10,6 a 20,4%) na estimativa do gasto energético a partir da FC para diferentes atividades da vida diária.

Adicionalmente, no presente estudo, a estimativa do GE₃ foi subestimada no início (t10%) e superestimada no final (t100%) do TTE comparada ao GE₁ e GE₂ (Figura 1). Neste sentido, o comportamento progressivo da

FC durante o exercício realizado na MFEL_{int} coloca em questionamento a precisão dos cardiofrequencímetros recomendados para estimar o custo energético das atividades realizadas durante os programas de exercícios físicos para atletas ou indivíduos ativos²⁷. Salienta-se a importância da realização de novos estudos na área de treinamento esportivo sobre a validade das respostas do pulso de O₂ para avaliação da fração de ejeção ventricular e sua relação com a fadiga em eventos de longa duração.

Por fim, algumas limitações metodológicas devem ser notadas. Primeiramente, não foi possível realizar a medida direta do VS durante o protocolo de TTE proposto. Segundo, o nível de desidratação dos atletas durante o TTE não foi avaliado, limitando, em parte, a justificativa a respeito do mecanismo fisiológico que explique o aumento da FC e consequente redução do pulso de O₂.

CONCLUSÃO

Pode-se concluir que, durante exercícios realizados na MFEL_{int} até a exaustão, a FC não apresenta estabilidade, resultando em uma diminuição progressiva do pulso de O₂. Assim, a relação direta entre VO₂ e FC com a carga de trabalho é alterada ao longo do exercício, conduzindo a erros de estimativa do GE ($\pm 25,6\%$) a partir dos valores da FC em relação ao método de referência (GE₁). Sugere-se cautela ao utilizar a FC como critério para estimar o GE em exercícios de longa duração de carga constante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mendes TT, Fonseca TR, Ramos GP, Wilke CF, Cabido CE, De Barros CL, et al. Six weeks of aerobic training improves VO₂max and MLSS but does not improve the time to fatigue at the MLSS. *Eur J Appl Physiol* 2013;113(4):965-73.
2. Baron B, Noakes TD, Deckerle J, Moullan F, Robin S, Matran R, et al. Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? *Br J Sports Med* 2008;42(10):528-33.
3. Baron B, Deckerle J, Robin S, Neviere R, Dupont L, Matran R, et al. Maximal lactate steady state does not correspond to a complete physiological steady state. *Int J Sports Med* 2003;24(8):582-7.
4. Lajoie C, Laurencelle L, Trudeau F. Physiological responses to cycling for 60 minutes at maximal lactate steady state. *Can J Appl Physiol* 2000;25(4):250-61.
5. Whipp BJ, Higgenbotham MB, Cobb FC. Estimating exercise stroke volume from asymptotic oxygen pulse in humans. *J Appl Physiol* 1996;81(6):2674-9.
6. Bhambhani Y, Norris S, Bell G. Prediction of stroke volume from oxygen pulse measurements in untrained and trained men. *Can J Appl Physiol* 1994;19(1):49-59.
7. Wingo JE, Lafrenz AJ, Ganio MS, Edwards GL. Cardiovascular Drift Is Related to Reduced Maximal Oxygen Uptake during Heat Stress. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(2):248-55.
8. Fritzsche RG, Switzer TW, Hodgkinson BJ, Coyle EF. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. *J Appl Physiol* 1999;86(3):799-805.
9. Jeukendrup A, Van Diemen A. Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *J Sports Sci* 1998;16(Suppl 1):S91-9.
10. Hiilloskorpi HK, Pasanen ME, Fogelholm MG, Laukkanen RM, Mänttari AT. Use of heart rate to predict energy expenditure from low to high activity levels. *Int J Sports Med* 2003;24(5):332-6.

11. Ganio MS, Wingo JE, Carroll CE, Thomas MK, Cureton KJ. Fluid ingestion attenuates the decline in VO₂peak associated with cardiovascular drift. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38(5):901-9.
12. Carter H, Jones AM, Maxwell NS, Doust JH. The effect of interdiurnal and diurnal variation on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *J Sports Sci* 2002;20(11):901-9.
13. Heck H, Mader A, Hess G, Mucke S, Muller R, Holmann W. Justification of the 4mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 1985;6(3):117-30.
14. Denadai BS, Figueira TR, Favaro ORP, Gonçalves M. Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. *Braz J Med Biol Res* 2004;37(10):1551-6.
15. Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(11):1801-7.
16. Kuipers H, Verstappen FT, Keizer HA, Geurten P, Van Kranenburg G. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med* 1985;6(4):197-201.
17. Beneke R. Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. *Eur J Appl Physiol* 2003;89(1):95-9.
18. Fontana P, Boutellier U, Knopfli-Lenzin C. Time to exhaustion at maximal lactate steady state is similar for cycling and running in moderately trained subjects. *Eur J Appl Physiol* 2009;107(2):187-92.
19. Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS, Jacobs DR Jr, Montoye HJ, Sallis JF, et al. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25(1):71-80.
20. Grossl T, Guglielmo LGA, Carminatti LJ, Silva JF. Determinação da intensidade da aula de Power Jump por meio da frequência cardíaca. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2008;10(2):129-36.
21. Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med* 1998;26(4):217-38.
22. Barbosa LF, De Souza MR, Pelarigo JG, Caritá RAC, Caputo F, Denadai BS, et al. Máxima fase estável de lactato sanguíneo e o limite superior do domínio pesado em ciclistas treinados. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2009; 11(3):320-5
23. Gonzáles-Alonso J, Mora-Rodríguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol* 1997;82(4):1229-36.
24. Coyle EF, Gonzalez-Alonso J. Cardiovascular Drift during Prolonged Exercise: New perspectives. *Exerc Sport Sci Rev* 2001;29(2):88-92.
25. Lafrenz AJ, Wingo JE, Ganio MS, Cureton KJ. Effect of ambient temperature on cardiovascular drift and maximal oxygen uptake. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40(6):1065-71.
26. Gisolfi CV, Duchman SM. Guidelines for optimal replacement beverages for different athletic events. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24(6):679-87.
27. Londeree BR, Moffitt-Gerstenberger J, Padfield JA, Lottmann D. Oxygen consumption of cycle ergometry is nonlinearly related to work rate and pedal rate. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29(6):775-80.
28. Li R, Deurenberg P, Hautvast JGAP. A critical evaluation of heart rate monitoring to assess energy expenditure in individuals. *Am J Clin Nutr* 1993;58(5):602-7.

Endereço para correspondência

Anderson Santiago Teixeira
Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Desportos – Laboratório de Esforço Físico
Campus Universitário – Trindade
CEP: 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.
E-mail: anderson.santeixeira@gmail.com