



Original

Máxima velocidade aeróbia calculada pelo custo da frequência cardíaca: relação com a performance



D.F. da Silva^a, R.C. Sotero^b, H.G. Simões^b e F.A. Machado^{a,*}

^a Departamento de Educação Física, Universidade Estadual de Maringá, Maringá – PR, Brasil

^b Departamento de Educação Física, Universidade Católica de Brasília, Brasília – DF, Brasil

INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

Historial do artigo:

Recebido a 11 de dezembro de 2012

Aceite a 18 de junho de 2014

Palavras-chave:

Frequência cardíaca
Consumo de oxigênio
Desempenho atlético

R E S U M O

Objetivos: Comparar a máxima velocidade aeróbia (MVA) calculada pelo custo de oxigênio (vVO_{2max}) e o custo da frequência cardíaca (vFC_{max}) com a medida direta da MVA (V_{pico}) e verificar a relação entre a vFC_{max} e a *performance* em provas de 10 e 15 km de corredores recreacionais de meia idade.

Método: Participaram 21 corredores (idade: 30-49 anos), subdivididos em 2 grupos a partir da idade (G1 e G2). Os participantes foram submetidos a um teste incremental contínuo máximo em laboratório para determinação do consumo máximo de oxigênio. A MVA foi determinada a partir das propostas apresentadas na literatura com base no vVO_{2max} e no vFC_{max} . Além disso, foram realizadas 2 *performances* em pista de atletismo (10 e 15 km).

Resultados: A menor diferença entre as médias observada para a V_{pico} foi em relação à vFC_{max} de Lacour et al. ($0,0 km h^{-1}$; $p > 0,05$). A maior diferença foi em relação à vFC_{max} de Di Prampero ($1,55 km h^{-1}$; $p < 0,05$). O mesmo padrão de diferenças foi observado quando analisado o G1 e G2. A vFC_{max} determinada a partir de 2 diferentes métodos propostos na literatura se correlacionou com as provas de 10 e 15 km ($0,55 \leq r \leq 0,82$; $p < 0,05$).

Conclusões: A vFC_{max} em corredores recreacionais de meia idade tem elevada relação com as *performances* de 10 e 15 km e não foi diferente da V_{pico} (para vFC_{max} de Lacour et al.), apresentando resultados semelhantes aos observados pelos métodos baseados no custo de oxigênio.

© 2012 Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos os direitos reservados.

Velocidad aeróbica máxima calculada por el costo del ritmo cardíaco: relación con el rendimiento

R E S U M E N

Objetivo: Comparar la velocidad aeróbica máxima (VAM), calculada a través del costo de oxígeno (vVO_{2max}) y del costo de la frecuencia cardíaca ($vFC_{máx}$), con la medida directa de la VAM (V_{pico}) y verificar la relación entre la $vFC_{máx}$ y la *performance* de 10 e 15 km de corredores recreativos de mediana edad.

Método: Participaron 21 corredores recreativos (edades: 30-49 años) subdivididos en 2 grupos por edad (G1 y G2). Los participantes se sometieron a un test incremental continuo máximo en laboratorio para la determinación del consumo máximo de oxígeno. La MVA fue determinada a través de las propuestas presentadas en la literatura basada en el vVO_{2max} y el $vFC_{máx}$. Además, se realizaron 2 pruebas en pista de atletismo (10 e 15 km).

Resultados: La menor diferencia entre las medias observadas para la V_{pico} fue en relación con la vFC_{max} de Lacour et al. ($0,0 km h^{-1}$; $p > 0,05$). La mayor diferencia fue en relación con la vFC_{max} de Di Prampero ($1,55 km h^{-1}$; $p < 0,05$). El mismo patrón de diferencias fue observado cuando se analizaron el G1 y G2. La $vFC_{máx}$ determinada a través de 2 distintos métodos propuestos en la literatura se correlacionó con las pruebas de 10 y 15 km ($0,55 \leq r \leq 0,82$; $p < 0,05$).

Palabras clave:

Ritmo cardíaco
Consumo de oxígeno
Rendimiento atlético

* Autor para correspondência.

Correio eletrónico: famachado.uem@hotmail.com (F.A. Machado).

Conclusiones: La vFC_{\max} , en corredores recreativos de mediana edad, tiene alta correlación con las pruebas de 10 y 15 km y no fue diferente de la V_{pico} (para vFC_{\max} de Lacour et al.), presentando resultados similares a los observados por los métodos basados en el costo de oxígeno.

© 2012 Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Maximal aerobic speed calculated by heart rate cost: Relationship with performance

ABSTRACT

Keywords:

Heart rate
Oxygen consumption
Athletic performance

Objectives: To compare maximal aerobic speed (MAS) calculated by oxygen cost ($vVO_{2\max}$) and heart rate cost (vHR_{\max}) with the direct measurement of MAS (V_{peak}) and to verify the relationship between vHR_{\max} and 10- and 15-km performance in middle-age recreationally runners.

Method: Twenty one recreationally runners participated in this study (age: 30 to 49 years), allocated in two groups according to age (G1 and G2). Participants were submitted to an incremental continuous test of maximal effort in laboratory to determine maximal oxygen uptake. MAS was determined according to proposes presented in literature based on $vVO_{2\max}$ and vHR_{\max} . Besides, it was performed two performances in field track (10 and 15 km).

Results: The lowest difference between the mean values observed and V_{peak} was in relation to vHR_{\max} from Lacour et al. (0.0 km h^{-1} ; $p > 0.05$). The highest was in relation to vHR_{\max} from di Prampero (1.55 km h^{-1} ; $p < 0.05$). The same pattern of differences was observed when G1 and G2 were analyzed. The vHR_{\max} determined according to two different methods presented in literature showed to be correlated with 10 and 15 km performances ($0.55 \leq r \leq 0.82$; $p < 0.05$).

Conclusions: The vHR_{\max} in middle-aged recreational runners has elevated correlation with 10 and 15 km performances and was not different from V_{peak} (to vHR_{\max} from Lacour et al.) showing similar results than the method based on oxygen cost.

© 2012 Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introdução

A máxima velocidade aeróbia (MVA) é considerada uma importante variável correlacionada com a *performance* de corredores de *endurance*¹⁻³, sendo utilizada para a prescrição e o controle do treinamento⁴⁻⁵. Esta variável reflete a integração entre o consumo máximo de oxigênio ($VO_{2\max}$) e a economia de corrida (EC)⁶⁻⁷.

Um termo bastante utilizado para definir a MVA é a $vVO_{2\max}$ ⁸⁻⁹, havendo diferentes métodos para estimá-la^{7,10-12}. A $vVO_{2\max}$ refere-se à velocidade de corrida correspondente ao $VO_{2\max}$ ¹³. Di Prampero⁷ sugeriu calculá-la dividindo o $VO_{2\max}$ pelo custo energético de corrida em uma velocidade submáxima (CVO_2). Lacour et al.¹¹⁻¹² ajustaram esse modelo subtraindo o consumo de oxigênio de repouso ($VO_{2\text{rep}}$) do VO_2 submáximo para o cálculo do CVO_2 e do $VO_{2\max}$ antes da divisão pelo CVO_2 . Independente do método, a $vVO_{2\max}$ têm sido considerada o parâmetro mais eficaz para prescrição e monitoramento do treinamento, considerando sua relação com a *performance*¹⁴⁻¹⁵.

Apesar da sua eficácia, a determinação da $vVO_{2\max}$ depende do uso de analisador de gases, que apresenta elevado custo financeiro. Objetivando tornar o método mais acessível e aplicável, Moreno¹⁶ propôs a estimativa da MVA a partir da proposta de Di Prampero⁷, porém, substituindo o consumo de oxigênio (VO_2) pela frequência cardíaca (FC), assumindo a premissa de que o aumento no equivalente metabólico de oxigênio tem relação com o aumento da velocidade de corrida até que se atinja a MVA. Associado a isso, de intensidades aeróbias submáximas até a MVA, o débito cardíaco (débito cardíaco = volume sistólico x FC) é diretamente relacionado ao VO_2 , sendo que a FC é o fator que mais influencia os incrementos na velocidade até a MVA, em que se espera atingir também a FC máxima (FC_{\max})¹⁷⁻¹⁸. Assim, a obtenção da MVA também estaria associada à FC_{\max} . Moreno¹⁶ verificou que este método que calcula a MVA a partir do custo da frequência cardíaca (CFC) apresentou

concordância com e não foi diferente da medida direta da MVA. Para isso, os autores determinaram a MVA através do CFC por meio de um teste submáximo com velocidade constante baseado na percepção subjetiva de esforço (PSE) autorrelatada de sujeitos fisicamente ativos (V_{pico} : $13,2 \pm 1,1 \text{ km h}^{-1}$, $VO_{2\max}$: $50,5 \pm 3,3 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) e de corredores bem treinados (V_{pico} : $18,2 \pm 1,6 \text{ km h}^{-1}$, $VO_{2\max}$: $68,4 \pm 8,3 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) e aplicaram o método proposto por Di Prampero⁷ para determinação da $vVO_{2\max}$, porém, fazendo uso da FC. Entretanto, não há estudos que tenham demonstrado a relação desse método com a *performance* em provas de 10 e 15 km de corredores.

Assim, os objetivos do estudo foram comparar a MVA calculada pelo custo de oxigênio ($vVO_{2\max}$) e o custo da frequência cardíaca (vFC_{\max}) com a medida direta da MVA (V_{pico}) e verificar a relação entre a vFC_{\max} e a *performance* em provas de 10 e 15 km de corredores recreacionais de meia idade.

Método

Participantes

Participaram do estudo 21 corredores recreacionais, sendo 9 com idade entre 30-40 anos (G1) e 12 com idade entre 41-49 anos (G2). O cálculo do tamanho da amostra foi feito com base na correlação de 0,77¹⁹ obtida entre a $vVO_{2\max}$ determinada por meio do método proposto por Di Prampero⁷ e a *performance* de corredores. Os cálculos foram feitos com base em um poder de 80% e um alfa de 5%. Todos os corredores possuíam experiência em provas de 5-15 km com tempo de prática variando entre 1,5-15 anos para o G1 e 2-37 anos para o G2. Suas características gerais estão descritas na [tabela 1](#). Antes do início dos procedimentos, todos os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido e o protocolo de pesquisa foi previamente aprovado pelo Comitê de

Tabela 1

Caracterização da amostra com todos os participantes, G1 e G2

Variáveis	Todos os participantes (n=21)	G1 (n=9)	G2 (n=12)
Idade (anos)	41,2 ± 6,9	34,3 ± 3,6	46,5 ± 3,0
Tempo de prática (anos)	11,0 ± 11,2	6,3 ± 6,5	14,4 ± 12,9
Frequência semanal de treinos (dias semana ⁻¹)	3,7 ± 0,9	3,7 ± 0,9	3,7 ± 1,0
Volume semanal de treinos (km semana ⁻¹)	31,5 ± 10,5	27,6 ± 8,5	34,4 ± 11,3
Massa corporal (kg)	75,4 ± 11,4	80,1 ± 9,6	71,9 ± 11,8
Estatura (cm)	173,9 ± 7,9	178,6 ± 5,4	170,4 ± 7,8
IMC (kg/m ²)	24,8 ± 2,5	25,1 ± 2,6	24,6 ± 2,5
G %	17,3 ± 5,4	15,7 ± 5,8	18,4 ± 5,1
VO _{2max} (mL kg ⁻¹ min ⁻¹)	54,0 ± 7,6	53,5 ± 7,1	54,5 ± 8,3

G %: percentagem graxos; IMC: índice massa corporal; VO_{2max}: consumo máximo de oxigênio.

Ética em pesquisa local (#539/2011) em consoante à Declaração de Helsinki.

Design experimental

Após o processo de familiarização com o ergômetro (esteira ergométrica automática multiprogramável INBRAMED Super ATL, Porto Alegre, Brasil) os participantes foram submetidos a um teste incremental contínuo de esforço máximo, com inclinação da esteira fixada em 1%, para a determinação da MVA. Os participantes foram instruídos a não se alimentarem nas 2 horas antecedentes aos testes, a se absterem do consumo de café e álcool e não realizarem exercícios físicos extenuantes 48 horas antes de cada avaliação física. Além do teste laboratorial, os corredores foram randomicamente submetidos, em dias distintos, a 2 testes de pista para determinação da *performance* em provas de 10 e 15 km.

Determinação do consumo máximo de oxigênio

O teste incremental foi precedido de um aquecimento de 3 minutos a 7 km h⁻¹ e iniciou a 9 km h⁻¹ com incrementos de 1 km h⁻¹ a cada 3 minutos. Os testes foram mantidos até exaustão voluntária e os participantes foram encorajados verbalmente a se manterem em esforço pelo maior tempo possível. Ao final de cada estágio foram monitoradas a FC por meio do monitor cardíaco (Polar RS800, Kempele, Finlândia) e a PSE pela escala de Borg de pontuação entre 6-20²⁰. O teste incremental prosseguiu até a exaustão voluntária e foi considerado como critério de exaustão PSE maior que 18 na escala de Borg. A coleta de gases para a determinação do VO_{2max} foi realizada por um sistema de espirometria de circuito aberto *FitMate* (COSMED®, Roma, Itália) que fornece informações sobre a ventilação e VO₂ do participante a cada 15 segundos. Antes do início do teste incremental máximo, os participantes permaneceram em repouso por 15 minutos em pé com o equipamento devidamente acoplado para determinação do VO_{2rep}²¹⁻²³. Foi considerado como VO_{2max} o maior valor registrado pelo equipamento ao final do teste.

Determinação direta da máxima velocidade aeróbia: velocidade de pico em esteira

A velocidade pico (V_{pico}) no protocolo incremental de determinação do VO_{2max} foi calculada com base na velocidade do último estágio completado pelos participantes. Caso o participante não completasse o estágio seria aplicado o ajuste de Kuipers et al.²⁴ para o cálculo da V_{pico}:

Kuipers et al.²⁴:

$$V_{pico} = v_{completo} + t/T * \text{incremento de velocidade}$$

Sendo, v_{completo} = velocidade (km h⁻¹) no último estágio completado; t = tempo (segundos) permanecido na velocidade do estágio incompleto; T = tempo total (segundos) estabelecido para o estágio completo; incremento de velocidade = taxa de aumento da velocidade em cada estágio (km h⁻¹).

Determinação indireta da máxima velocidade aeróbia: velocidade de ocorrência do consumo máximo de oxigênio com base no custo energético de corrida

A partir da determinação do VO_{2max} foram utilizadas as fórmulas propostas por Di Prampero⁷ e Lacour et al.¹¹⁻¹² para o cálculo da vVO_{2max} dos participantes:

Di Prampero⁷:

$$vVO_{2max} = VO_{2max} \times CVO_2^{-1}$$

Na qual o CVO₂ é o custo energético de corrida (VO₂) referente a uma velocidade submáxima específica, calculado pela fórmula:

$$CVO_2 = VO_{2vsub} \times v^{-1}$$

Em que VO_{2vsub} é o VO₂ associado a uma velocidade submáxima referente a 75% do VO_{2max} conforme previamente apresentado por Di Prampero⁷.

Lacour et al.^{11,12}:

$$vVO_{2max} = (VO_{2max} - VO_{2rep}) \times CVO_2^{-1}$$

$$CVO_2 = (VO_{2vsub} - VO_{2rep}) \times v^{-1}$$

Em que VO_{2vsub} é o VO₂ associado a uma velocidade submáxima referente a 75% do VO_{2max} conforme previamente apresentado por Di Prampero⁷.

Determinação indireta da máxima velocidade aeróbia: velocidade de ocorrência da frequência cardíaca máxima utilizando-se do custo da frequência cardíaca em corrida submáxima

A partir da determinação da FC_{max} foram utilizadas as mesmas fórmulas propostas por Di Prampero⁷ e Lacour et al.^{11,12}, porém substituindo o VO_{2max} pela FC_{max}, para o cálculo da vFC_{max} dos participantes:

Di Prampero⁷:

$$vFC_{max} = FC_{max} \times CFC^{-1}$$

Em que CFC é o custo da frequência cardíaca referente a uma velocidade submáxima referente a 75% do VO_{2max}, calculado pela fórmula:

$$CFC = FC_{vsub} \times v^{-1}$$

Na qual FC_{vsub} é a FC associada a uma velocidade submáxima referente a 75% do VO_{2max}⁷, que correspondeu a 85,2 ± 3,9% da FC_{max} da amostra estudada.

Lacour et al.^{11,12}:

$$vFC_{\max} = (FC_{\max} - FC_{\text{rep}}) \times CFC^{-1}$$

$$CFC = (FC_{\text{vsub}} - FC_{\text{rep}}) \times v^{-1}$$

Na qual FC_{vsub} é a FC associada a uma velocidade submáxima referente a 75% do $VO_{2\max}$ ⁷, que correspondeu a $85,2 \pm 3,9\%$ da FC_{\max} da amostra estudada.

Teste de campo: performances de 10 e 15 quilômetros

Foram realizados 2 testes de campo utilizados para verificação das velocidades médias de *performance* dos corredores em provas de 10 e 15 km. Foi respeitado um intervalo mínimo de 48 horas entre os testes em laboratório e as 2 *performances*.

As *performances* foram conduzidas em pista oficial de atletismo (400 m) após um período de 10 minutos de aquecimento, sendo computado o tempo de prova para o cálculo da velocidade média.

Análise estatística

As análises dos resultados foram realizadas para a amostra total e para os grupos divididos pela idade cronológica (G1 e G2). Os dados estão apresentados em média \pm desvio padrão. Utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos dados. A comparação entre o método direto, o método baseado no CVO_2 e o método baseado no CFC foi feita a partir da ANOVA de medidas repetidas. Em caso de diferença na ANOVA, o *post hoc* de Bonferroni foi aplicado para identificar em quais comparações estavam as diferenças. Para a correlação entre as variáveis do estudo foi aplicado o coeficiente de correlação de Pearson, que foi classificado qualitativamente a partir dos seguintes pontos de corte: trivial ($< 0,1$); pequena (entre 0,1-0,29); moderada (entre 0,3-0,49); elevada (entre 0,5-0,69); muito elevada (entre 0,7-0,89); e quase perfeita (entre 0,9-1,0)²⁵. As equações preditivas das *performances* de 10 e 15 km a partir dos diferentes métodos de determinação da MVA foram obtidas por meio de regressão linear simples. A análise de concordância entre os métodos baseados no VO_2 e na FC com a V_{pico} foi feita a partir da análise de Bland-Altman²⁶. Adotou-se para as análises nível de significância de $p < 0,05$.

Resultados

Quando considerada a amostra total, observamos que a duração média do teste incremental foi de $20,7 \pm 4,1$ minutos, sendo atingida FC_{\max} de $183,7 \pm 12,7$ bpm e PSE_{\max} de $19,3 \pm 0,6$. Para o G1, os resultados referentes à duração do teste, FC_{\max} e PSE_{\max} foram $20,8 \pm 4,0$ minutos, $191,6 \pm 9,2$ bpm e $19,6 \pm 0,5$, respectivamente; para G2 os valores destas mesmas variáveis foram $20,6 \pm 4,3$ minutos, $FC_{\max} = 177,7 \pm 11,8$ bpm e o $PSE_{\max} = 19,1 \pm 0,8$.

Na **tabela 2** estão os resultados referentes à comparação entre a MVA obtida diretamente (V_{pico}), com o valor obtido com base no CR ($vVO_{2\max}$) e no CFC (vFC_{\max}) a partir dos métodos de Di Prampero⁷ e Lacour et al.^{11,12} quando considerados todos os participantes do estudo, o G1 e o G2.

Na comparação entre a determinação direta da MVA com os demais métodos de estimativa, observou-se apenas diferença estatisticamente significativa para a vFC_{\max} determinada a partir do método de Di Prampero⁷ que apresentou valores menores para todos os participantes analisados conjuntamente e divididos em grupos. Além disso, quando analisados todos os 21 participantes, a V_{pico} foi significativamente menor que a $vVO_{2\max}$ determinada pela fórmula proposta por Lacour et al.^{11,12}.

Quando considerados os 21 participantes, os resultados mostram que a $vVO_{2\max}$ determinada pela fórmula proposta por Di

Tabela 2

Valores médios \pm desvio padrão (DP) da MVA obtida diretamente (V_{pico}) e indiretamente pelo CR ($vVO_{2\max}$) e o CFC (vFC_{\max}) com base nos métodos de Di Prampero⁷ e Lacour et al.^{11,12}, para todos os participantes, G1 e G2

Variáveis	30 a 49 anos (n=21)		V_{pico} (km h ⁻¹)
	Di Prampero ⁷	Lacour et al. ^{11,12}	
$vVO_{2\max}$ (km h ⁻¹)	15,1 \pm 1,7 [†]	15,5 \pm 1,7 [†]	14,9 \pm 1,4 [†]
vFC_{\max} (km h ⁻¹)	13,3 \pm 1,5	14,9 \pm 1,9 [†]	
Variáveis	30 a 40 anos (n=9)		V_{pico} (km h ⁻¹)
	Di Prampero ⁷	Lacour et al. ^{11,12}	
$vVO_{2\max}$ (km h ⁻¹)	15,3 \pm 1,9 [†]	15,7 \pm 1,9 [†]	14,9 \pm 1,3 [†]
vFC_{\max} (km h ⁻¹)	13,3 \pm 1,5	14,6 \pm 1,6 [†]	
Variáveis	41 a 49 anos (n=12)		V_{pico} (km h ⁻¹)
	Di Prampero ⁷	Lacour et al. ^{11,12}	
$vVO_{2\max}$ (km h ⁻¹)	15,0 \pm 1,6 [†]	15,4 \pm 1,6 [†]	14,9 \pm 1,5 [†]
vFC_{\max} (km h ⁻¹)	13,4 \pm 1,6	15,1 \pm 2,1 [†]	

^{*} Diferença significativa ($p < 0,05$) para a $vVO_{2\max}$ proposta por Lacour et al.⁷.

[†] Diferença significativa ($p < 0,05$) para a vFC_{\max} proposta por Moreno¹⁶ seguindo o modelo proposto inicialmente por Di Prampero⁷ para a variável VO_2 .

Prampero⁷ foi significativamente menor que a $vVO_{2\max}$ calculada a partir da fórmula de Lacour et al.^{11,12}. Estas mesmas diferenças não foram observadas na análise da vFC_{\max} utilizando-se o modelo proposto por Lacour, o qual não diferiu da V_{pico} . A comparação entre a $vVO_{2\max}$ e a vFC_{\max} para o método proposto por Di Prampero⁷ revelou que a vFC_{\max} foi significativamente menor que a $vVO_{2\max}$. Esses resultados também foram observados para o G1 e G2.

Na **tabela 3** estão apresentadas as correlações entre a MVA obtidas pelos diferentes métodos e o $VO_{2\max}$ dos participantes, também apresentados de acordo com a faixa etária. A análise de regressão linear simples entre a MVA obtida pelos diferentes métodos e as *performances* nas provas de 10 e 15 km estão presentes na **tabela 4**.

As correlações entre a V_{pico} e as *performances* de 10 e 15 km apresentaram valores entre 0,71-0,87, dependendo da faixa etária, sendo qualitativamente classificadas como «muito elevadas». Já as correlações entre a $vVO_{2\max}$ determinada a partir do método de Di Prampero⁷ e as *performances* ficaram entre 0,65-0,81 (entre «elevadas» e «muito elevadas»), semelhante às correlações entre a $vVO_{2\max}$ calculada a partir do método Lacour et al.^{11,12} e as *performances* que apresentaram valores entre 0,64-0,81 (entre «elevadas» e «muito elevadas»). Os 2 novos métodos baseados no CFC apresentaram também elevadas correlações com as *performances*, estando entre 0,66-0,82 (entre «elevadas» e «muito elevadas») para a vFC_{\max} determinada com base no método de Di Prampero⁷ e entre 0,55-0,76 (entre «elevadas» e «muito elevadas») para a vFC_{\max} calculada a partir do método de Lacour et al.^{11,12}.

As **figuras 1-3** mostram a análise de concordância de Bland-Altman entre os métodos de determinação da MVA (baseado no VO_2 e na FC) e o método direto (V_{pico}) para todos os participantes, o G1 e o G2. Considerando todos os participantes, a menor diferença entre as médias observada foi para a vFC_{\max} calculada a partir do método de Lacour et al.^{11,12}. Por outro lado, a maior diferença observada foi para a vFC_{\max} calculada a partir do método de Di Prampero⁷. O mesmo padrão de diferenças foi observado quando analisado o G1 e o G2.

Discussão

Os objetivos do estudo foram comparar a MVA calculada pelo $vVO_{2\max}$ e o vFC_{\max} com a medida direta da MVA (V_{pico}) e verificar a relação entre a vFC_{\max} e a *performance* em provas de 10 e 15 km de corredores recreacionais de meia idade. Os principais achados foram que a menor diferença entre as médias observada para a

Tabela 3Correlações entre a MVA obtida pelos diferentes métodos e o VO_{2max} para todos os participantes (G1 e G2)

	30 a 49 anos (n = 21)					
	Di Prampero ⁷		Lacour et al. ^{11,12}		V_{pico} (km h ⁻¹)	VO_{2max} (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)
	vVO_{2max} (km h ⁻¹)	vFC_{max} (km h ⁻¹)	vVO_{2max} (km h ⁻¹)	vFC_{max} (km h ⁻¹)		
V_{pico} (km h ⁻¹)	0,90	0,91	0,90	0,82	-	0,82
VO_{2max} (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	0,85	0,80	0,83	0,72	-	-
	30 a 40 anos (n = 9)					
	Di Prampero ⁷		Lacour et al. ^{11,12}		V_{pico} (km h ⁻¹)	VO_{2max} (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)
	vVO_{2max} (km h ⁻¹)	vFC_{max} (km h ⁻¹)	vVO_{2max} (km h ⁻¹)	vFC_{max} (km h ⁻¹)		
V_{pico} (km h ⁻¹)	0,89	0,88	0,89	0,75	-	0,72
VO_{2max} (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	0,82	0,87	0,81	0,86	-	-
	41 a 49 anos (n = 12)					
	Di Prampero ⁷		Lacour et al. ^{11,12}		V_{pico} (km h ⁻¹)	VO_{2max} (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)
	vVO_{2max} (km h ⁻¹)	vFC_{max} (km h ⁻¹)	vVO_{2max} (km h ⁻¹)	vFC_{max} (km h ⁻¹)		
V_{pico} (km h ⁻¹)	0,92	0,93	0,92	0,87	-	0,88
VO_{2max} (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	0,90	0,76	0,88	0,66	-	-

vFC_{max} : custo da frequência cardíaca; VO_{2max} : consumo máximo de oxigênio; V_{pico} : medida direta da MVA; vVO_{2max} : custo de oxigênio.

V_{pico} foi em relação à vFC_{max} de Lacour et al. (0,0 km h⁻¹; $p > 0,05$). Por outro lado, a maior diferença foi em relação à vFC_{max} de Di Prampero (1,55 km h⁻¹; $p < 0,05$). O mesmo padrão de diferenças foi observado quando analisado o G1 e o G2. Em relação às correlações

com as performances de 10 e 15 km, a vFC_{max} determinada a partir de dos métodos propostos por Di Prampero⁷ e Lacour et al.^{11,12} apresentou correlações elevadas com essas provas ($0,55 \leq r \leq 0,82$; $p < 0,05$).

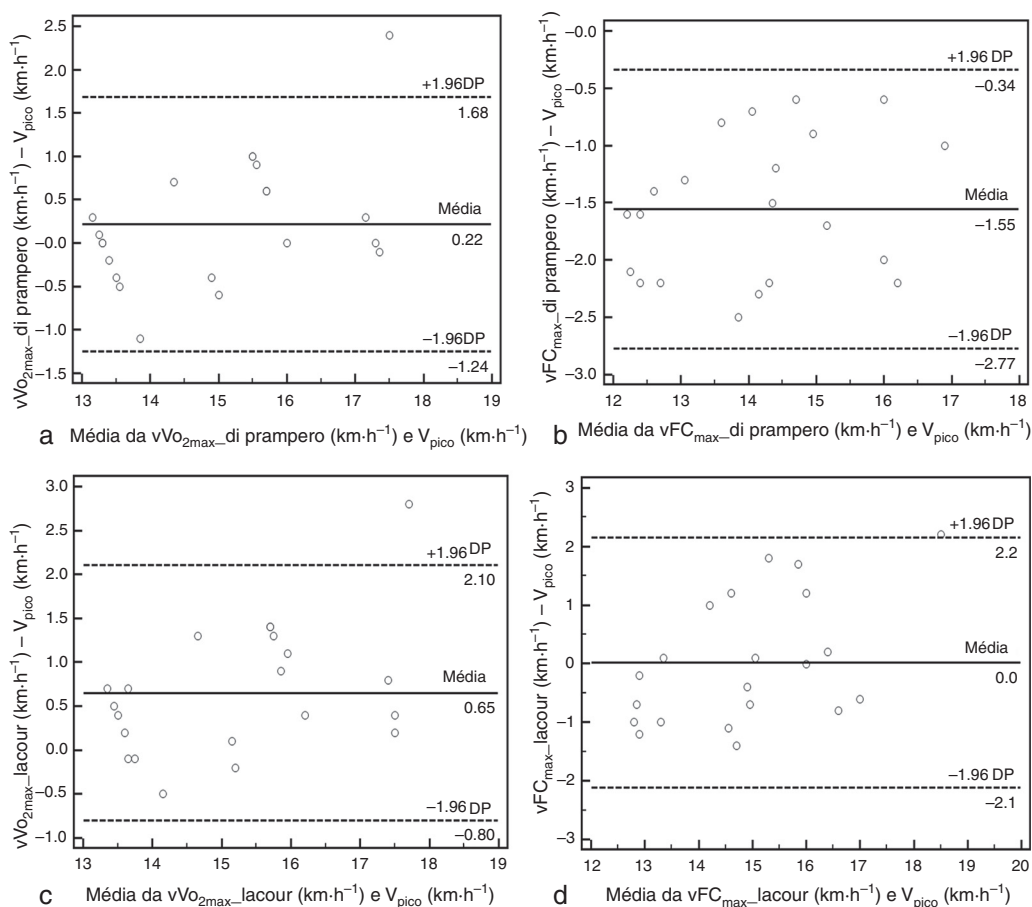


Figura 1. Análise de concordância entre a MVA obtida diretamente (V_{pico}) e indiretamente pelo custo de oxigênio (vVO_{2max}) (a y c) e o custo da frequência cardíaca (vFC_{max}) (b y d) com base nos métodos de Di Prampero⁷ (a y b) e Lacour et al.^{11,12} (c y d), para todos os participantes.

Tabela 4

Correlações entre a MVA obtida pelos diferentes métodos e as performances nas provas de 10 e 15 km para todos os participantes (G1 e G2)

Todos os participantes (n = 21)						
Variável	Performance	Correlação (IC 95%)	Classificação	Equação de regressão	R ² ajustado	EPE (km h ⁻¹)
V _{pico}	10 km	0,74 (0,45 – 0,89)	Muito elevada	v10 km = -3,90 + 1,06 x X	0,54	1,33
V _{pico}	15 km	0,71 (0,40 – 0,87)	Muito elevada	v15 km = -4,11 + 1,03 x X	0,52	1,40
vVO _{2max} -Di Prampero	10 km	0,66 (0,32 – 0,85)	Elevada	v10 km = 0,42 + 0,76 x X	0,42	1,48
vVO _{2max} -Di Prampero	15 km	0,65 (0,30 – 0,84)	Elevada	v15 km = -0,18 + 0,75 x X	0,40	1,51
vVO _{2max} -Lacour	10 km	0,65 (0,30 – 0,84)	Elevada	v10 km = 0,17 + 0,75 x X	0,40	1,51
vVO _{2max} -Lacour	15 km	0,64 (0,29 – 0,84)	Elevada	v15 km = -0,42 + 0,75 x X	0,39	1,54
vFC _{max} -Di Prampero	10 km	0,72 (0,42 – 0,88)	Muito elevada	v10 km = -0,45 + 0,93 x X	0,51	1,37
vFC _{max} -Di Prampero	15 km	0,71 (0,40 – 0,87)	Muito elevada	v15 km = -1,10 + 0,92 x X	0,49	1,40
vFC _{max} -Lacour	10 km	0,66 (0,32 – 0,85)	Elevada	v10 km = 1,59 + 0,69 x X	0,42	1,48
vFC _{max} -Lacour	15 km	0,68 (0,35 – 0,86)	Elevada	v15 km = 0,62 + 0,71 x X	0,44	1,47
VO _{2max}	10 km	0,69 (0,37 – 0,86)	Elevada	v10 km = 2,26 + 0,18 x X	0,46	1,43
VO _{2max}	15 km	0,74 (0,45 – 0,89)	Muito elevada	v15 km = 0,81 + 0,19 x X	0,54	1,33
30 a 40 anos (n = 9)						
Variável	Performance	Correlação (IC 95%)	Classificação	Equação de regressão	R ² ajustado	EPE (km h ⁻¹)
V _{pico}	10 km	0,76 (0,19 – 0,95)	Muito elevada	v10 km = -3,62 + 0,98 x X	0,53	1,17
V _{pico}	15 km	0,64 (-0,04 – 0,92)	Elevada	v15 km = -0,98 + 0,76 x X	0,34	1,28
vVO _{2max} -Di Prampero	10 km	0,75 (0,17 – 0,94)	Muito elevada	v10 km = 0,59 + 0,68 x X	0,51	1,19
vVO _{2max} -Di Prampero	15 km	0,70 (0,07 – 0,93)	Muito elevada	v15 km = 1,42 + 0,58 x X	0,43	1,18
vVO _{2max} -Lacour	10 km	0,74 (0,15 – 0,94)	Muito elevada	v10 km = 0,45 + 0,67 x X	0,49	1,22
vVO _{2max} -Lacour	15 km	0,69 (0,05 – 0,93)	Elevada	v15 km = 1,30 + 0,57 x X	0,41	1,21
vFC _{max} -Di Prampero	10 km	0,70 (0,07 – 0,93)	Muito elevada	v10 km = 0,62 + 0,78 x X	0,43	1,29
vFC _{max} -Di Prampero	15 km	0,66 (-0,01 – 0,92)	Elevada	v15 km = 1,37 + 0,68 x X	0,37	1,25
vFC _{max} -Lacour	10 km	0,55 (-0,18 – 0,89)	Elevada	v10 km = 2,11 + 0,60 x X	0,21	1,52
vFC _{max} -Lacour	15 km	0,55 (-0,18 – 0,89)	Elevada	v15 km = 2,26 + 0,55 x X	0,20	1,40
VO _{2max}	10 km	0,65 (-0,02 – 0,92)	Elevada	v10 km = 2,51 + 0,16 x X	0,35	1,38
VO _{2max}	15 km	0,74 (0,15 – 0,94)	Muito elevada	v15 km = 1,53 + 0,16 x X	0,49	1,12
41 a 49 anos (n = 12)						
Variável	Performance	Correlação (IC 95%)	Classificação	Equação de regressão	R ² ajustado	EPE (km h ⁻¹)
V _{pico}	10 km	0,87 (0,59 – 0,96)	Muito elevada	v10 km = -4,13 + 1,13 x X	0,75	0,94
V _{pico}	15 km	0,87 (0,59 – 0,96)	Muito elevada	v15 km = -6,11 + 1,21 x X	0,74	1,04
vVO _{2max} -Di Prampero	10 km	0,81 (0,44 – 0,94)	Muito elevada	v10 km = -1,35 + 0,93 x X	0,63	1,14
vVO _{2max} -Di Prampero	15 km	0,81 (0,44 – 0,94)	Muito elevada	v15 km = -3,27 + 1,01 x X	0,63	1,22
vVO _{2max} -Lacour	10 km	0,81 (0,44 – 0,94)	Muito elevada	v10 km = -2,10 + 0,95 x X	0,63	1,13
vVO _{2max} -Lacour	15 km	0,81 (0,44 – 0,94)	Muito elevada	v15 km = -4,05 + 1,03 x X	0,63	1,22
vFC _{max} -Di Prampero	10 km	0,82 (0,47 – 0,95)	Muito elevada	v10 km = -0,42 + 0,97 x X	0,64	1,11
vFC _{max} -Di Prampero	15 km	0,81 (0,44 – 0,94)	Muito elevada	v15 km = -2,12 + 1,04 x X	0,63	1,22
vFC _{max} -Lacour	10 km	0,76 (0,33 – 0,93)	Muito elevada	v10 km = 2,58 + 0,66 x X	0,54	1,27
vFC _{max} -Lacour	15 km	0,75 (0,31 – 0,93)	Muito elevada	v15 km = 1,05 + 0,72 x X	0,53	1,38
VO _{2max}	10 km	0,79 (0,40 – 0,94)	Muito elevada	v10 km = 2,83 + 0,18 x X	0,60	1,18
VO _{2max}	15 km	0,81 (0,44 – 0,94)	Muito elevada	v15 km = 1,06 + 0,20 x X	0,63	1,22

vFC_{max}: custo da frequência cardíaca; VO_{2max}: consumo máximo de oxigênio; V_{pico}: medida direta da MVA; vVO_{2max}: custo de oxigênio.

A vFC_{max} determinada a partir dos métodos propostos por Di Prampero⁷ e Lacour et al.^{11,12} apresentaram correlações elevadas com as provas de 10 e 15 km com valores entre 0,66-0,72 para os 21 participantes; entre 0,55-0,70 para o G1 e entre 0,75-0,82 para o G2. Essas correlações foram semelhantes às observadas entre desempenho e vVO_{2max}, com valores entre 0,64-0,66 para os 21 participantes; entre 0,69-0,75 para o G1 e de 0,81 para o G2. As correlações entre a V_{pico} e as performances foram mais elevadas em comparação com as correlações entre a vVO_{2max} e a vFC_{max} e as performances para todas as faixas etárias (correlações entre 0,64-0,87).

A MVA é uma importante variável correlacionada com a performance de corredores em provas que podem variar de 3 até 90 km¹⁻³, sendo também utilizada para a prescrição e o controle do treinamento^{4,5}. A vVO_{2max} é um dos termos mais utilizados para sua definição, havendo na literatura diferentes métodos para sua determinação, entre eles o método baseado no custo energético de corrida para uma intensidade submáxima (CVO₂), inicialmente proposto por Di Prampero⁷. Estudos já demonstraram que este método se correlacionou com a performance de corredores em provas de 3 km apresentando correlação de 0,77¹⁹. De forma semelhante, no

presente estudo, a vVO_{2max} calculada pelo método proposto por Di Prampero⁷ correlacionou-se com as performances de corredores; entretanto, para as distâncias de 10 (r entre 0,66-0,81 – dependendo da faixa etária) e 15 km (r entre 0,65-0,81).

Lacour et al.^{11,12} propuseram subtrair o VO_{2rep} do valor do VO_{2vsub} e do VO_{2max} para a determinação do CR e da vVO_{2max}, respectivamente, promovendo a superestimação do valor obtido pela fórmula original de Di Prampero⁷, como demonstrado por Hill e Rowell⁹ e também observado no presente estudo. O método proposto por Lacour et al.^{11,12} correlacionou-se com as performances de 1,5 (r=0,62); 3 (r=0,64) e 5 km (r=0,86) de corredores, sendo que a vVO_{2max} correspondeu à velocidade média mantida na prova de 3 km. No presente estudo, a vVO_{2max} calculada pelo método proposto por Lacour et al.^{11,12} correlacionou-se com o desempenho nas provas de 10 (r entre 0,65-0,81 dependendo da faixa etária) e 15 km (r entre 0,64-0,81).

Moreno¹⁶ partiu do princípio que o VO_{2max} e a FC_{max} são eventos fisiológicos relacionados à potência aeróbia máxima. Em seu estudo, o autor demonstrou que a MVA calculada a partir do CFC (vFC_{max}) apresentou concordância (plotagem de Bland-Altman) com a V_{pico} e não foi diferente (teste t dependente) desta

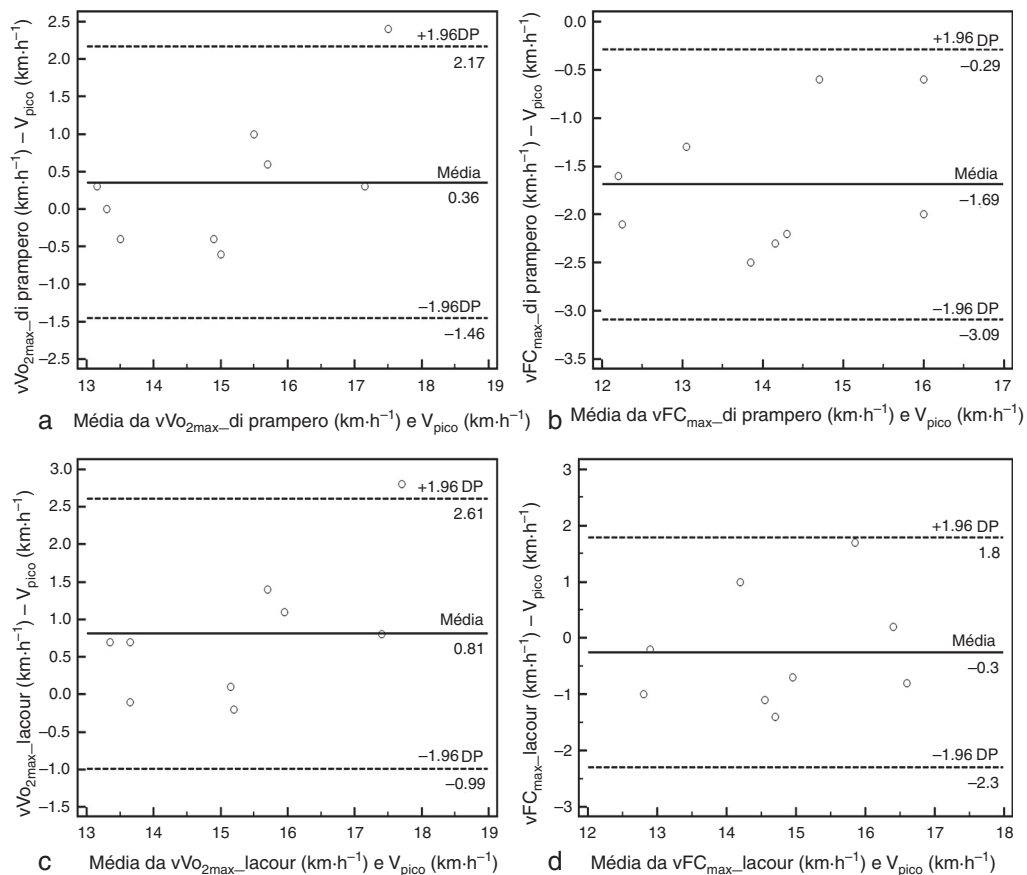


Figura 2. Análise de concordância entre a MVA obtida diretamente (V_{pico}) (a y c) e indiretamente pelo custo de oxigênio (vVO_{2max}) e o custo da frequência cardíaca (vFC_{max}) (b y d) com base nos métodos de Di Prampero⁷ (a y b) e Lacour et al.^{11,12} (c y d), para o G1.

variável em indivíduos fisicamente ativos e bem treinados em corrida ($V_{pico} = 13,2 \pm 1,1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ e $18,2 \pm 1,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente). As respectivas médias das diferenças foram de $0,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ e $0,0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, de modo semelhante à vVO_{2max} determinada pelo método proposto por Di Prampero⁷ (média de diferença de $-0,1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ para os 2 grupos avaliados). No presente estudo a vFC_{max} determinada pelo método proposto por Lacour et al.^{11,12} não apresentou diferença estatisticamente significativa para a V_{pico} para todas as faixas etárias analisadas, com diferenças entre as médias variando entre $-0,3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ e $0,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Por outro lado, a vFC_{max} determinada pelo método proposto por Di Prampero⁷ foi significativamente menor que a V_{pico} em todas as idades analisadas, com diferenças entre as médias variando entre $-1,69 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ e $-1,45 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, sugerindo o uso com cautela do método na população estudada.

A diferença entre a comparação da vFC_{max} determinada pelo método proposto por Di Prampero⁷ com a V_{pico} poderia estar relacionada ao protocolo de determinação da vFC_{max} utilizado nos 2 estudos. Enquanto que esse parâmetro foi determinado por Moreno¹⁶ através de um teste submáximo com velocidade constante baseado na PSE autorrelatada dos corredores, no presente estudo esta variável foi determinada em um teste incremental máximo, levando em consideração a intensidade submáxima referente à 75% do VO_{2max} que correspondeu a $85,2 \pm 3,9\%$ da FC_{max} da amostra estudada. Outro fator que poderia explicar essas diferenças é a idade que influencia as respostas referentes à FC_{max} ^{27,28}, considerando que Moreno¹⁶ avaliou corredores jovens com média de idade abaixo de 30 anos, enquanto que a amostra deste estudo foi composta por corredores com idades entre 30-49 anos. Sobre esse ponto em específico, não era conhecido como a resposta cronotrópica fisiológica poderia afetar o cálculo da MVA. A partir dos dados

do presente estudo, no entanto, a validade do CFC em estimar a MVA parece não ser afetada pela idade dos corredores.

A V_{pico} e as vFC_{max} determinadas pelos 2 diferentes métodos apresentaram correlações elevadas entre 0,88-0,93 para o método de Di Prampero⁷ e entre 0,75-0,87 para o método de Lacour et al.^{11,12}. Mesmo que a vFC_{max} determinada pelo método proposto por Di Prampero⁷ tenha sido significativamente menor que a V_{pico} , seus valores se correlacionaram com as performances de 10 (r entre 0,70-0,82) e 15 km (r entre 0,66-0,81). Além disso, a vFC_{max} determinada pelo método de Lacour et al.^{11,12}, a qual não diferiu da V_{pico} , também se correlacionou com a performance apresentando valores entre 0,55-0,76 para a distância de 10 km e entre 0,55-0,75 para a distância de 15 km para os grupos estudados. Como citado, a menor correlação observada no presente estudo entre as variáveis calculadas com base no custo da frequência cardíaca foi de 0,55 para os participantes do G1, que levou a um R^2 ajustado de 0,20. Apesar de qualitativamente elevada, esse resultado sugere que outros fatores podem estar envolvidos nas correlações com a performance das provas analisadas. McLaughlin et al.¹⁰ estudaram as variáveis que melhor se correlacionaram com a performance a partir de parâmetros fisiológicos e verificaram outras importantes variáveis que também se relacionam com a performance. Essas variáveis seriam a EC, VO_{2max} e limiar anaeróbio. Porém, a MVA parece ser o parâmetro mais adequado para o controle e monitoramento de treinamentos intervalados de alta intensidade, em que se treina em intensidades relacionadas à ocorrência do VO_{2max} buscando melhorar a aptidão aeróbia de corredores¹⁴. Considerando os resultados do presente estudo, a vFC_{max} é um parâmetro de menor custo para determinação da MVA (comparada à vVO_{2max}), associado à performance e que pode ser utilizado para o monitoramento de treinos com essa característica.

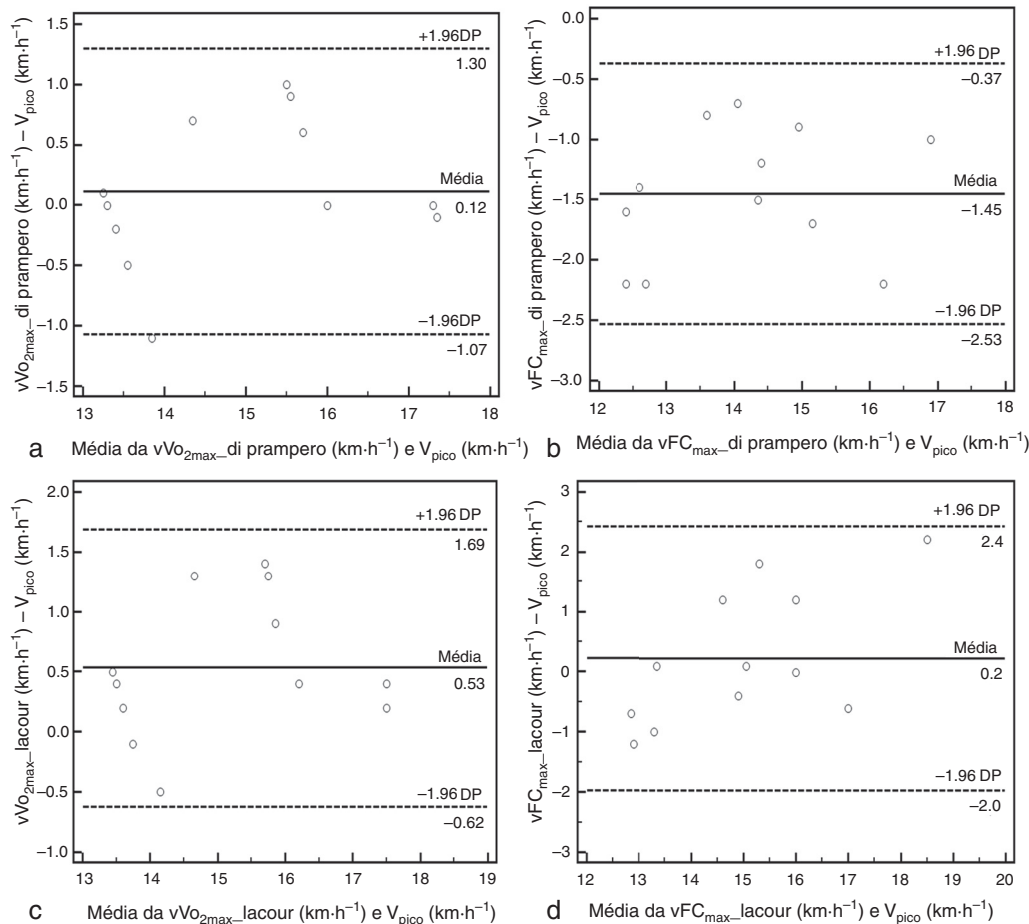


Figura 3. Análise de concordância entre a MVA obtida diretamente (V_{pico}) e indiretamente pelo custo de oxigênio (vVO_{2max}) (a y c) e o custo da frequência cardíaca (vFC_{max}) (b y d) com base nos métodos de Di Prampero⁷ (a y b) e Lacour et al.^{11,12} (c y d), para o G2.

Diante desses achados, concluímos que a MVA calculada a partir do CFC, que é um método de menor custo, tem elevada relação com a V_{pico} e com as *performances* de 10 e 15 km, apresentando resultados semelhantes aos observados pelos métodos baseados no CVO_2 . Esses resultados apresentam importantes implicações práticas, principalmente para corredores que não têm acesso à análise de gases. Para atletas com idade acima de 30 anos, o método de Lacour et al.^{11,12} parece ser o mais recomendado para determinação da vFC_{max} , visto que seus resultados não foram significativamente diferentes da V_{pico} , com pequena diferença entre as médias, diferente do observado para a vFC_{max} determinada pelo método de Di Prampero⁷.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Agradecimentos

Agradecemos à Ger-Ar MED pelo empréstimo do analisador de gases para realização deste estudo. Agradecemos também à CAPES pelas bolsas de estudo.

Referências

- Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med.* 2000;29:373-86.
- Billat V, Bernard O, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Time to exhaustion at VO_{2max} and lactate steady state velocity in sub elite long-distance runners. *Arch Int Physiol Biochim Biophys.* 1994;102:215-9.
- Noakes TD, Myburgh KH, Schall R. Peak treadmill running velocity during the VO_{2max} test predicts running performance. *J Sports Sci.* 1990;8:35-45.
- Buchheit M, Chivot A, Parouty J, Mercier D, Al Haddad H, Laursen PB, et al. Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *Eur J Appl Physiol.* 2010;108:1153-67.
- Billat V, Flechet B, Petit B, Muriaux G, Koralsztein JP. Interval training at VO_{2max} : Effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(1):156-63.
- Almarwaey OA, Jones AM, Tolfrey K. Physiological correlates with endurance running performance in trained adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(3):480-7.
- Di Prampero PE. The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med.* 1986;7(2):55-72.
- Billat VL, Koralsztein JP. Significance of the velocity at VO_{2max} , and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med.* 1996;22:90-108.
- Hill DW, Rowell AL. Running velocity at VO_{2max} . *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28(1):114-9.
- McLaughlin JE, Howley ET, Bassett Jr DR, Thompson DL, Fitzhugh EC. Test of classic model for predicting endurance running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(5):991-7.
- Lacour JR, Padilla S, Chatard JC, Arsac L, Barthélémy JC. Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol.* 1991;62:77-82.
- Lacour JR, Padilla-Magunacelaya S, Barthélémy JC, Dormois D. The energetics of middle-distance running. *Eur J Appl Physiol.* 1990;60:38-43.
- Daniels J, Scardina N, Hayes J, Foley P. Elite and subelite female middle- and long-distance runners. In: Landers DM, editor. *Sport and Elite Performers.* Champaign: Human Kinetics; 1984.
- Esfarjani E, Laursen PB. Manipulating high-intensity interval training: Effects on VO_{2max} , the lactate threshold and 3000m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sports.* 2007;10:27-35.
- Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports Med.* 2002;32(1):53-73.
- Moreno JR. Validade do custo de frequência cardíaca e VO_2 em estimar intensidades de exercício associadas ao VO_{2max} em atletas e não atletas. Brasília: Departamento de Educação Física. Universidade Católica de Brasília; 2007. Dissertação de Mestrado.

17. Cunha FA, Farinatti PT, Midgley AW. Methodological and practical application issues in exercise prescription using the heart rate reserve and oxygen uptake reserve methods. *J Sci Med Sports*. 2011;14(1):46-57.
18. Uth N, Sorensen H, Overgaard K, Pedersen PK. Estimation of VO_{2max} from the ratio between HR_{max} and HR_{rest} - the Heart Rate Ratio Method. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91(1):111-5.
19. Bragada JA, Santos PJ, Maia JA, Colaço PJ, Lopes VP, Barbosa TM. Longitudinal study in 3000 m male runners: Relationship between performance and selected physiological parameters. *J Sports Sci Med*. 2010;9:439-44.
20. Borg GAV. Escalas para dor e esforço percebido. São Paulo: Manole; 2000.
21. Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Times to exhaustion at 100% of velocity at VO_{2max} and modeling of the time-limit /velocity relationship in elite long-distance runners. *Eur J Appl Physiol*. 1994;69:271-3.
22. Machado FA, Guglielmo LGA, Denadai BS. Velocidade de corrida associada ao consumo máximo de oxigênio em meninos de 10 a 15 anos. *Rev Bras Med Esporte*. 2002;8(1):1-6.
23. Machado FA, Guglielmo LGA, Denadai BS. Effect of the chronological age and sexual maturation on the time to exhaustion at maximal aerobic speed. *Biol Sport*. 2007;24:21-30.
24. Kuipers H, Verstappen FT, Keizer HA, Geurten P, van Kranenburg G. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiological correlates. *Int J Sports Med*. 1985;6:197-201.
25. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41:3-13.
26. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1:307-10.
27. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*. 2001;37:153-6.
28. Azevedo LF, Brum PC, Roseblatt D, Perlingeiro PS, Barreto ACP, Negrão CE, et al. Características cardíacas e metabólicas de corredores de longa distância do ambulatório de cardiologia do esporte e exercício, de um hospital terciário. *Arq Bras Cardiol*. 2007;88(1):17-25.