

Comparação de diferentes índices obtidos em testes de campo para predição da performance aeróbia de curta duração no ciclismo

Comparison of different indices obtained in track tests for aerobic performance prediction in cycling

Fabrizio Caputo¹, Ricardo Dantas de Lucas^{1,2},
Estavam Mancini¹, Benedito Sérgio Denadai¹

Resumo

[1] Caputo, F., de Lucas, R. D., Mancini, E., Denadai, B.S. Comparação de diferentes índices obtidos em testes de campo para predição da performance aeróbia de curta duração no ciclismo. Rev. Bras. Ciên. e Mov. 9 (4): 13-17, 2001. O objetivo deste estudo foi relacionar o consumo máximo de oxigênio ($\text{VO}_{2\text{max}}$), as velocidades correspondentes ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\text{IVO}_{2\text{max}}$) e a concentração fixa de 3,5 mM de lactato (OBLA), determinados em um teste de campo, com a performance aeróbia em provas de curta duração no ciclismo. Dez ciclistas competitivos realizaram, em dias distintos, os seguintes testes em um velódromo oficial (333,3 m): 1), 3 tiros máximos nas distâncias de 2, 4 e 6 km, realizados aleatoriamente e com recuperação de 40 a 50 min entre cada distância. 2) teste intermitente e progressivo, com estágios de 2333m e incrementos de 1,5 km/h a cada estágio, com pausa de 30 seg para a coleta de 25 μl de sangue para dosagem do lactato sanguíneo. A intensidade correspondente a 3,5 mM foi considerada, o OBLA. O $\text{VO}_{2\text{max}}$ foi determinado a partir da fórmula de di Prampero et al. (1979), utilizando como referência a maior velocidade, mantida por, pelo menos, 2 min. As velocidades médias dos tiros de 2, 4 e 6 km foram 40,3 + 2,5, 39,1 + 2,5 e 38,3 + 2,4 km/h, respectivamente. As velocidades médias da $\text{IVO}_{2\text{max}}$ e do OBLA foram 40,1 + 2,1 e 35,4 + 2,5 km/h, respectivamente. As correlações entre a velocidade dos 2, 4 e 6 km com o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($r=0,93$, $r=0,93$ e $r=0,90$), $\text{IVO}_{2\text{max}}$ ($r=0,95$, $r=0,98$ e $r=0,96$) e OBLA ($r=0,83$, $r=0,92$ e $r=0,94$), respectivamente, foram significantes. Pode-se concluir que a $\text{IVO}_{2\text{max}}$, determinada em teste de campo, pode apresentar maior validade do que o OBLA e o $\text{VO}_{2\text{max}}$, para predizer a performance em provas de curta duração no ciclismo.

PALAVRAS-CHAVE: ciclismo; consumo máximo de oxigênio; lactato; performance.

Abstract

[2] Caputo, F., de Lucas, R. D., Mancini, E., Denadai, B.S. Comparison of different indices obtained in track tests for aerobic performance prediction in cycling. Rev. Bras. Ciên. e Mov. 9 (4): 13-17, 2001. The objective of this study is to correlate the maximal oxygen uptake ($\text{VO}_{2\text{max}}$), and the velocity corresponding to $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\text{IVO}_{2\text{max}}$) and to 3.5 mM of blood lactate (onset of blood lactate accumulation, OBLA) determined in a track test, with the aerobic performance of short duration in cycling. Ten male professional cyclists performed in different days the following tests in an official velodrome (333.3 m): 1) 3 maximal performances for distances of 2, 4 and 6 km executed in a random order and with a period of recovery of 40 to 50 min between distances. 2) progressive and intermittent test, with 2333 m stages and increments of 1.5 km/h at each stage. At the end of each stage there was a pause of 30 sec for collection of 25 μl of blood from the ear lobe. OBLA was determined by linear interpolation, with a fixed lactate concentration of 3.5 mM being considered. $\text{VO}_{2\text{max}}$ was determined from the formula of di Prampero et al. (1979), using as reference the last speed kept for at least 2 min. The mean velocity of 2, 4 and 6 km were 40.3 + 2.5, 39.1 + 2.5 and 38.3 + 2.4 km/h, respectively. The mean velocity of $\text{IVO}_{2\text{max}}$ and OBLA were 40.1 + 2.1 and 35.4 + 2.5 km/h, respectively. The correlations between the velocity of 2, 4 and 6 km with $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($r=0.93$, $r=0.93$ and $r=0.90$), $\text{IVO}_{2\text{max}}$ ($r=0.95$, $r=0.98$ and $r=0.96$) and OBLA ($r=0.83$, $r=0.92$ and $r=0.94$), respectively, were significant. It can be concluded that the $\text{IVO}_{2\text{max}}$ determined in the track test, can present greater validity than OBLA and $\text{VO}_{2\text{max}}$, to predict the performance in trials of short duration in cycling.

KEYWORDS: cycling; maximal oxygen uptake; lactate; performance.

1 - Laboratório de Avaliação da Performance Humana - Unesp, Rio Claro - Brasil
2 - Universidade de Franca - Brasil

B.S. Denadai
Laboratório de Avaliação da Performance Humana, IB, Unesp.
Av. 24 A, 1515, Bela Vista - Rio Claro - SP - Brasil - CEP -
13506-900. e-mail: bdenadai@rc.unesp.br

Introdução

A identificação de índices fisiológicos que possam ser utilizados para a predição da performance tem pelo menos duas importantes aplicações dentro da área de avaliação e treinamento esportivo. A primeira delas é que se podem selecionar indivíduos com determinadas características, que potencialmente poderão apresentar maior rendimento em determinados esportes. A outra é que o treinamento físico, no que diz respeito à aplicação da sobrecarga (intensidade x volume), poderá ser planejado e executado de acordo com as demandas do esporte, particularmente em relação aos seus aspectos metabólicos (potências e capacidades anaeróbia e aeróbia).

Entre os índices fisiológicos mais utilizados para a predição da performance aeróbia, temos o consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}_{O_2\max}$), a economia de movimento (EM) e os índices associados à resposta do lactato, durante o exercício submáximo (o limiar de lactato, o limiar anaeróbio, a intensidade de máxima fase estável de lactato e a velocidade ou potência crítica) (8).

O $\dot{V}_{O_2\max}$ pode ser conceituado como sendo a mais alta captação de oxigênio alcançada por um indivíduo, respirando ar atmosférico ao nível do mar (1). O $\dot{V}_{O_2\max}$ é o índice fisiológico que melhor representa a potência aeróbia máxima, ou seja, é uma medida da quantidade máxima de energia que pode ser produzida pelo metabolismo aeróbio em uma determinada unidade de tempo.

Genericamente, a EM representa o custo de oxigênio (O_2) para uma dada atividade submáxima. Nas atividades onde o trabalho externo pode ser facilmente quantificado, como no ciclismo estacionário, pode-se utilizar o termo Eficiência. Entretanto, quando o trabalho externo não é tão simplesmente quantificado, como na corrida, tem-se utilizado o termo Economia de Movimento ou Economia de Corrida. Alguns autores têm mostrado que a EM pode variar em até 15% entre os indivíduos, mesmo em grupos de ciclistas bem treinados (6) ou em corredores de elite (17). Com base nessas variações da EM, pode-se entender por que a intensidade de exercício associada ao $\dot{V}_{O_2\max}$ ($IVO_2\max$) pode ser bem diferente entre atletas que possuem valores similares de $\dot{V}_{O_2\max}$. Genericamente, a $IVO_2\max$ pode ser definida como sendo a velocidade (corrida e natação) ou a potência (ciclismo estacionário), na qual o $\dot{V}_{O_2\max}$ é atingido durante um teste incremental (4). Sendo assim, a $IVO_2\max$ é o índice que melhor descreve a associação entre a potência aeróbia máxima e a EM.

Diferentes protocolos, terminologias e critérios têm sido utilizados para determinar a resposta do lactato sanguíneo ao exercício. Alguns laboratórios (3) entre os quais o nosso (19), têm procurado determinar a máxima intensidade de esforço onde ainda é observada fase estável de lactato (MSSLAC). Teoricamente, a MSSLAC representa a maior intensidade de esforço na qual existe equilíbrio entre a taxa de liberação e remoção do lactato sanguíneo (11).

É importante diferenciar a potência da capacidade aeróbia, pois esta última indica, teoricamente, a quantidade total de energia que pode ser fornecida pelo metabolismo

aeróbio e pode ser bem estimada pelos índices associados à resposta do lactato, durante o exercício submáximo.

A maioria dos estudos que têm analisado a relação entre determinados índices fisiológicos e a performance aeróbia utilizaram a corrida como modo de exercício. Nesses estudos, tem-se verificado que para as provas com duração superior a 15 - 20 min (> 5.000 m), inferior, portanto, a 90% $\dot{V}_{O_2\max}$, os índices associados à resposta do lactato (capacidade aeróbia) apresentam maior validade para a predição de performance do que o $\dot{V}_{O_2\max}$ ou a $IVO_2\max$ (10). Nas provas com durações entre 2 - 3 min e 10 - 12 min (800 m e 3.000 m), a potência aeróbia, principalmente a $IVO_2\max$, apresenta maior validade do que o $\dot{V}_{O_2\max}$ isoladamente ou a resposta do lactato sanguíneo ao exercício (4, 14).

Para o ciclismo, os poucos estudos existentes analisaram a capacidade de predição de performance dos índices fisiológicos em provas de média e longa duração (> 25 min), não existindo dados sobre provas mais curtas. Além disso, utilizaram exclusivamente testes realizados em laboratórios, embora possam ter empregado a bicicleta do próprio ciclista, durante o teste (6, 16, 20). Recentemente, Balikian & Denadai (2) demonstraram que os testes de campo no ciclismo podem apresentar maior validade do que os de laboratório para a predição de performance na prova de 40 km contra-relógio. Este comportamento parece ocorrer porque no ciclismo o gasto energético é muito dependente da área de superfície corporal, do equipamento e da capacidade do ciclista diminuir a resistência imposta pelo ar (7, 18, 22).

Em função disso, o objetivo deste estudo foi determinar e comparar a relação entre o $\dot{V}_{O_2\max}$, a $IVO_2\max$ e a intensidade correspondente a 3,5 mM de lactato (OBLA), determinados em testes de campo, com as performances de 2, 4 e 6 km no ciclismo.

Material e métodos

Sujeitos

Participaram deste estudo 10 atletas competitivos do sexo masculino ($24 \pm 2,3$ anos) que estavam treinando regularmente e já competiam há, pelo menos, 2 anos. Todos os sujeitos foram informados sobre os riscos e benefícios dos testes, tendo assinado um termo de consentimento.

Local de realização dos testes

Todos os testes foram realizados em um velódromo oficial (333,3 m). Os testes foram realizados sempre no período da manhã, com a temperatura ambiente variando entre 23 e 27° C. Durante os testes, os atletas utilizaram a sua bicicleta, não tendo sido permitido o uso de guidon aerodinâmico (clipe).

Determinação da OBLA e VO₂max

O VO₂, VO₂max e o OBLA foram determinados através de um teste progressivo e intermitente, adaptado de PADILLA et al. (18), com estágios de 2333 metros (7 voltas) e incrementos de 1,5 km/h a cada estágio. Ao final de cada estágio houve uma pausa de 30 seg, para que fossem coletados a frequência cardíaca (FC) e 25µl de sangue do lóbulo da orelha. O OBLA foi encontrado através de interpolação linear, onde foi considerada uma concentração fixa de lactato de 3,5 mM (11).

O VO₂, o VO₂max e a IVO₂max foram determinados a partir da fórmula proposta por di Prampero et al. (9), utilizando como referência, para o VO₂max e a IVO₂max, a maior velocidade alcançada e mantida por, pelo menos, 2 minutos, durante o teste progressivo (18).

$$VO_2 = [R_1 Pv + R_2 ASC(P_a/T)v^3] + MB$$
 [1]

Onde R₁ = 8,6 (10⁻³ (ml O₂ (kg⁻¹ (m⁻¹); P é a massa do ciclista e do material utilizado em quilogramas; v é a velocidade em m/s⁻¹; R₂ = 7,8 (10⁻³ (ml O₂ (S² (K (mm Hg (m⁻⁵; ASC é a área de superfície corporal do ciclista em m²; P_a é a pressão atmosférica em mm Hg; T é a temperatura do ar em Kelvin e MB é o metabolismo basal (ml O₂ (s⁻¹), que foi considerado ser igual a 3,6 ml O₂ (kg⁻¹ (min⁻¹ (15).

Determinação da performance nas distâncias de 2, 4 e 6 km

Os indivíduos realizaram tiros máximos para as distâncias de 2, 4 e 6 km. Estas distâncias foram escolhidas para que o tempo de execução ficasse entre 3 e 10 min. As distâncias foram realizadas em ordem aleatória, com recuperações mínimas entre os tiros de 40 a 50 min.

Análise Estatística

As correlações entre o VO₂max, a IVO₂max e o OBLA com as performances nas distâncias de 2, 4 e 6 km foram determinadas através do teste de correlação de Pearson. Para todos os testes adotou-se um nível de significância de p<0,05.

Resultados

Os valores médios obtidos durante o teste incremental do VO₂max (58,8 + 8,4 ml.kg⁻¹.min⁻¹), da FCmax (187,7 + 8,7 bpm), do pico de lactato sanguíneo (10,8 + 2,0 mM) estão expressos na Tabela 1.

As velocidades médias para a realização dos tiros de 2 km, 4 km e 6 km foram 40,34 + 2,51, 39,14 + 2,51 e 38,34 + 2,46 km/h, respectivamente. As velocidades médias correspondentes à IVO₂max e ao OBLA foram 40,15 + 2,12 e 35,4 + 2,5 km/h, respectivamente (Tabela 2).

As correlações entre a velocidade dos 2, 4 e 6 km com o VO₂max (r=0,93, r=0,93 e r=0,90), a IVO₂max (r=0,95, r=0,98 e r=0,96) e o OBLA (r=0,83, r=0,92 e r=0,94), respectivamente, foram estatisticamente significantes (Tabela 3).

Tabela 1 - Valores médios + DP do consumo máximo de oxigênio (VO₂max), frequência cardíaca máxima (FCmax) e pico de lactato sanguíneo (LACpico) obtidos durante o teste o teste incremental. N = 10

	VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	Fcmax (bpm)	LACpico (mM)
X	58,8	187,7	10,8
DP	8,4	8,7	2,0

Tabela 2 - Valores médios + DP da velocidade dos 2, 4, 6 km, do consumo máximo de oxigênio (IVO₂max), e do onset of blood lactate accumulation (OBLA). N = 10

	Velocidade (km/h)	%VO ₂ max
IVO ₂ max	40,1 + 2,1	100,0 + 0,0
2 km	40,3 + 2,5	100,4 + 6,2
4 km	39,1 + 2,5	97,4 + 6,4
6 km	38,3 + 2,4	95,4 + 6,4
OBLA	35,4 + 2,5	88,2 + 6,8

Tabela 3 - Correlações entre os índices de avaliação aeróbia e a performance nos 2, 4 e 6 km contra-relógio. VO₂max = consumo máximo de oxigênio. IVO₂max = velocidade do consumo máximo de oxigênio. OBLA = velocidade do onset of blood lactate accumulation. N = 10

	2 km	4 km	6 km
VO ₂ max	0,93	0,93	0,90
IVO ₂ max	0,95	0,98	0,96
OBLA	0,83	0,92	0,94

Discussão

O objetivo deste estudo foi determinar e comparar a relação entre o $\text{VO}_{2\text{max}}$, a $\text{IVO}_{2\text{max}}$ e a intensidade correspondente a 3,5 mM de lactato (OBLA) determinados em testes de campo, com as performances de 2, 4 e 6 km no ciclismo. Semelhante aos resultados encontrados para a corrida (4, 14), verificou-se, neste estudo, que a $\text{IVO}_{2\text{max}}$ apresenta maior validade do que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ou a resposta do lactato (OBLA) para a predição de performance em provas de curta duração (3 - 10 min), onde ainda existe predomínio do metabolismo aeróbio.

Estudos recentes têm mostrado que os exercícios exaustivos, realizados acima de 1 - 2 min, já apresentam predomínio do metabolismo aeróbio, embora ainda sejam realizados acima da intensidade correspondente ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ (12, 13, 21). Em nosso estudo, a menor distância (2 km), portanto, a maior velocidade, correspondeu em média a $100,4 \pm 6,2\% \text{VO}_{2\text{max}}$. Billat et al. (4) encontram que o tempo de exaustão a $100\% \text{VO}_{2\text{max}}$ está entre 3 e 5 min, compatível, portanto, com o tempo (3 min) e a intensidade relativa ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($100,4\%$) para a realização do tiro de 2 km, em nosso estudo.

As correlações que determinados índices fisiológicos têm com a performance e, portanto, os níveis de predição que eles podem apresentar podem sofrer influência da duração da prova, do estado de treinamento e/ou da homogeneidade (baixa variação de performance interindividual) dos atletas e do tipo de exercício. Isoladamente, o principal aspecto que determina o nível de correlação dos índices fisiológicos com a performance é a duração da prova, pois este aspecto determina o(s) sistema(s) energético(s) predominante(s) naquela prova.

Para os exercícios máximos que durem entre 1 min e 2 min, onde começa a existir um predomínio do metabolismo aeróbio, o $\text{VO}_{2\text{max}}$ apresenta níveis de correlação moderados com a performance ($r = 0,40 - 0,70$), aumentando esses índices de correlação quando se utiliza a $\text{IVO}_{2\text{max}}$ ($r = 0,80$). Essas correlações moderadas podem ser explicadas, em função da capacidade anaeróbia, e ainda contribuir significativamente para a performance (5).

Nos exercícios máximos, realizados entre 2 - 3 min e 10 - 12 min, a participação anaeróbia diminui significativamente, sendo o exercício executado entre 110% e 95% do $\text{VO}_{2\text{max}}$, como inclusive observado em nosso estudo (Tabela 2). Nestas condições, tanto o $\text{VO}_{2\text{max}}$ como, principalmente, a $\text{IVO}_{2\text{max}}$ (por incluir a EM) apresentam altas correlações com a performance, sendo comum encontrarem-se correlações acima de 0,80, para o $\text{VO}_{2\text{max}}$ e acima de 0,90, para a $\text{IVO}_{2\text{max}}$ (4, 5, 14). Nessas distâncias, a capacidade aeróbia (indicada pelos índices associados à resposta de lactato sanguíneo ao exercício submáximo) parece contribuir menos para a performance, não devendo, portanto, esse índice ser o objetivo principal na seleção de atletas ou na melhora do treinamento.

Os resultados deste estudo confirmam esses dados discutidos anteriormente, que foram obtidos exclusivamente em corredores. Portanto, os programas de treinamento que visam à melhora da performance de ciclistas, que irão com-

petir em provas que durem entre 2 - 3 min e 10 - 12 min, devem privilegiar a melhora da potência aeróbia, particularmente da $\text{IVO}_{2\text{max}}$. É importante destacar, ainda, que no período específico do treinamento, sessões que busquem desenvolver a capacidade anaeróbia láctica e capacidade de tolerar a acidose também poderiam, ainda, contribuir para a melhora do rendimento, nessas distâncias.

Em relação aos exercícios máximos que durem acima de 15 min, sendo o exercício executado frequentemente abaixo de $90\% \text{VO}_{2\text{max}}$, embora os indivíduos possuam valores bem elevados de $\text{VO}_{2\text{max}}$, os níveis de correlação da performance aeróbia, com esse índice, voltam a diminuir ($r = 0,60 - 0,70$), sendo ainda altos para a $\text{IVO}_{2\text{max}}$ ($r = 0,80 - 0,90$). Para essas durações, a capacidade aeróbia começa a ter um papel decisivo, com a resposta do lactato apresentando elevadas correlações com a performance ($r > 0,90$) (8). Deste modo, o treinamento para essas provas deveria buscar não só a melhora da $\text{IVO}_{2\text{max}}$, mas também da capacidade aeróbia. Esses dados também se confirmam no ciclismo, onde se tem verificado uma maior correlação da resposta do lactato sanguíneo do que o $\text{VO}_{2\text{max}}$, com a performance em provas contra-relógio, que vão de 17 km (+ 25 min) até 40 km (50 - 60 min) (6, 16, 20).

Desse modo, pode-se concluir que a $\text{IVO}_{2\text{max}}$, determinada em teste de campo, pode apresentar maior validade do que o OBLA e $\text{VO}_{2\text{max}}$, para predizer a performance em provas de curta duração no ciclismo.

Bibliografia

1. ASTRAND, P. O. Experimental studies of physical work capacity in relation to sex and age. Copenhagen : Ejnar Munksgaard, 1952.
2. BALIKIAN, P.J. & DENADAI, B.S. Aplicações do limiar anaeróbio determinado em teste de campo para o ciclismo : Comparação com valores obtidos em laboratório. Motriz. 1996; 2 : 26-31.
3. BENEKE, R. & von DUVILLARD, S.P. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. Medicine and Science in Sports and Exercise. 1996; 28 : 241-246.
4. BILLAT, V. et al. Gender effect on the relationship of time limit at $100\% \text{O}_{2\text{max}}$ with other bioenergetic characteristics. Medicine and Science in Sports and Exercise. 1996; 28 : 1049-1055.
5. BRANDON, L.J. Physiological factors associated with middle distance running performance. Sports Medicine. 1995; 19 : 268-277.
6. COYLE, E.F. et al. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. Medicine and Science in Sports and Exercise. 1991; 23 : 93-107.

7. DANIEL, P.H.; ANTHONY, R.W.; CHRIS, M.Q. Cardiorespiratory responses to seat-tube angle variation during steady-state cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1995; 27 : 730-735.
8. DENADAI, B.S. Índices fisiológicos de avaliação aeróbia: Conceitos e aplicações. Ribeirão Preto, SP: BSD, 1999.
9. di PRAMPERO P.E. et al. Equation of motion of a cyclist. *Journal Applied Physiology*. 1979; 47 : 201-206.
10. FARRELL, P.A. et al. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1979; 11 : 338-44.
11. HECK, H. et al. Justification of the 4mmol/l lactate threshold. *International Journal Sports Medicine*. 1985; 6 : 117-130.
12. HILL, D.W. Energy system contributions in middle-distance running events. *Journal of Sports Science*. 1999; 17 : 477-483.
13. HILL, D.W. Aerobic and anaerobic contributions in middle-distance running events. *Motriz*. 2001; 7 : S63-S67.
14. LACOUR, J.R et al. Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*. 1991; 62 : 77-82.
15. McARDLE, W.D., KATCH, F.I.; KACTH, V.L. *Exercise Physiology: Energy, nutrition and human performance*. Philadelphia, Lea and Febiger, 1986.
16. MILLER, F.R. & MANFREDI, T.G. Physiological and anthropometrical predictors of 15 kilometer time trial cycling performance time. *Research Quarterly Sport Exercise*. 1987; 58 : 250-254.
17. MORGAN, D.W. et al. Variability in running economy and mechanics among trained male runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1991; 23 : 378-383.
18. PADILLA, S. et al. Validity of a velodrome test for competitive road cyclists. *European Journal Applied Physiology*. 1996; 73 : 446-451.
19. SIMÕES, H.G. et al. Blood glucose responses in humans mirror lactate responses for individual anaerobic threshold and for lactate minimum in track tests. *European Journal Applied Physiology*. 1999; 80 : 34-40.
20. SMITH, J.C., DANGELMAIER, B.S.; HILL, D.W. Critical power is related to cycling time trial performance. *International Journal Sports Medicine*. 1999; 20 : 374-378.
21. SPENCER, M.R. & GASTIN, P.B. Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2001; 33 : 157-162.
22. TOO, D. Biomechanics of cycling and factors affecting performance. *Sports Medicine*. 1990; 10 : 286-302.