



# Comparação entre diferentes métodos de análise do componente lento do consumo de oxigênio: uma abordagem no domínio muito intenso de exercício

Marcos G. Santana<sup>1</sup>, Sergio Tufik<sup>1,4</sup>, Giselle S. Passos<sup>1</sup>, Donald M. Santee<sup>2</sup>, Benedito S. Denadai<sup>3,4</sup> e Marco T. Mello<sup>1,4</sup>

## RESUMO

O objetivo do presente estudo foi comparar, em domínio muito intenso de exercício, diferentes técnicas utilizadas para medir a amplitude do componente lento (CL) da cinética do consumo de oxigênio. Dez ciclistas treinados, do gênero masculino [média  $\pm$  DP (idade:  $25 \pm 3,6$  anos, massa corporal:  $67,2 \pm 4,5$ kg, altura:  $174,8 \pm 6,5$ cm e  $\dot{V}O_{2max}$ :  $62,4 \pm 3,1$ ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)], realizaram duas idênticas transições de carga constante (intensidade de 75% $\Delta$ : 75% da diferença entre o  $\dot{V}O_2$  no limiar de lactato e o  $\dot{V}O_{2max}$ ) em dias diferentes. O CL foi calculado a partir de diferentes métodos: (1) modelo biexponencial [ $\dot{V}O_2(t) = \dot{V}O_{2base} + A_1(1 - e^{-(t-TA1/\tau1)}) + A_2(1 - e^{-(t-TA2/\tau2)})$ ], (2) intervalos predeterminados (o  $\Delta\dot{V}O_{2,6-2}$ : diferença do  $\dot{V}O_2$  entre o segundo e o sexto minuto de exercício e o  $\Delta\dot{V}O_{2,6-3}$ : diferença do  $\dot{V}O_2$  entre o terceiro e o sexto minuto de exercício) e (3) diferença entre o  $\dot{V}O_2$  obtido no final do exercício e o valor obtido a partir de um ajuste monoexponencial do "componente primário" (tempo predeterminado de 120s) (CL<sub>6-CP</sub>). Todos os métodos foram comparados entre si. Os resultados demonstraram significante subestimação do CL obtido pelo método de intervalos predeterminados ( $\Delta\dot{V}O_{2,6-2}$ :  $432 \pm 126$ ml.min<sup>-1</sup> e  $\Delta\dot{V}O_{2,6-3}$ :  $279 \pm 88$ ml.min<sup>-1</sup>) quando comparado com o modelo biexponencial ( $676 \pm 136$ ml.min<sup>-1</sup>) e ao CL<sub>6-CP</sub> ( $719 \pm 265$ ml.min<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$ )). Não houve diferenças significativas entre as outras comparações. Os resultados sugerem que a utilização de tempos predeterminados pode subestimar o CL quando comparado com o modelo biexponencial e com o CL<sub>6-CP</sub>.

## ABSTRACT

### Comparison between different methods of analysis of slow component of oxygen uptake: a view in severe exercise domain

The objective of the present study was to compare in severe exercise domain, different techniques used for measuring the amplitude of the slow component (SC) of oxygen uptake kinetics. Ten trained cyclists, male (age:  $25 \pm 3.6$  years, body mass:  $67.2 \pm 4.5$  kg, height:  $174.8 \pm 6.5$  cm and  $\dot{V}O_{2max}$ :  $62.4 \pm 3.1$  mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>),

1. Departamento de Psicobiologia, Centro de Estudos em Psicobiologia e Exercício, Universidade Federal de São Paulo-SP, Brasil.

2. Departamento de Matemática, Universidade Federal de Goiás – Campus de Catalão, Catalão-GO, Brasil.

3. Laboratório de Avaliação da Performance Humana, Universidade Estadual Paulista – Rio Claro-SP, Brasil.

4. Pesquisador, CNPq.

Aceito em 31/1/07.

**Endereço para correspondência:** Prof. Dr. Marco Túlio de Mello, Departamento de Psicobiologia, Universidade Federal de São Paulo, Rua Marcella, 535, Vila Clementino – 04020-060 – São Paulo, SP, Brasil. Tel.: +55-11-5572-0177, fax.: +55-11-5083-6900. E-mail: tmello@psicobio.epm.br

**Palavras-chave:** Cinética. Consumo de oxigênio. Ciclistas. Lactato. Modelo bi-exponencial.

**Keywords:** Kinetics. Oxygen uptake. Cyclists. Lactate. Bi-exponential model.

performed two identical bouts transitions at constant load [mean  $\pm$  SD (intensity 75% $\Delta$ : 75% of the difference between the  $\dot{V}O_2$  lactate threshold and the  $\dot{V}O_{2max}$ )] in different days. The SC was calculated from different methods: (1) bi-exponential model [ $\dot{V}O_2(t) = \dot{V}O_{2base} + A_1(1 - e^{-(t-TA1/\tau1)}) + A_2(1 - e^{-(t-TA2/\tau2)})$ ], (2) predetermined intervals ( $\Delta\dot{V}O_{2,6-2}$ : difference between the second min  $\dot{V}O_2$  and the end  $\dot{V}O_2$ ;  $\Delta\dot{V}O_{2,6-3}$ : difference between the third min  $\dot{V}O_2$  and the end  $\dot{V}O_2$ ) and (3) difference between the end  $\dot{V}O_2$  and the value obtained from a mono-exponential adjustment of the "primary component" (predetermined time of 120 s) (SC<sub>6-CP</sub>). All the methods were compared among themselves. The results showed a significant underestimation of the SC obtained by method of predetermined intervals ( $\Delta\dot{V}O_{2,6-2}$ :  $432 \pm 126$  ml.min<sup>-1</sup> and  $\Delta\dot{V}O_{2,6-3}$ :  $279 \pm 88$  ml.min<sup>-1</sup>) when compared with bi-exponential model ( $676 \pm 136$  ml.min<sup>-1</sup>) and SC<sub>6-CP</sub> ( $719 \pm 265$  ml.min<sup>-1</sup> ( $p < 0.05$ )). There was not significant difference among the other comparison. The results suggest that the use of predetermined time may underestimate the SC when compared with bi-exponential model and SC<sub>6-CP</sub>.

## INTRODUÇÃO

A resposta do consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ) na transição de repouso ou exercício leve, para a condição de exercício (moderado, intenso, muito intenso e supramáximo) em carga constante tem sido bem descrita na literatura<sup>(1-3)</sup>. No início do exercício (após a fase I "cardiodinâmica" – 15 a 20s iniciais) realizado em intensidade moderada (i.é., abaixo do limiar de lactato – LL), o  $\dot{V}O_2$  aumenta de acordo com um modelo monoexponencial (fase 2) para alcançar um novo estado estável (fase 3) dentro de 2 a 3 min. Por outro lado, durante exercícios intensos e muito intensos (acima do LL), o componente primário da cinética do  $\dot{V}O_2$  é suplementado por um adicional componente lento (CL), o qual causa aumento no  $\dot{V}O_2$  e, conseqüentemente, atrasado e aumentado estado estável, podendo alcançar valores de consumo máximo de oxigênio ( $\dot{V}O_{2max}$ )<sup>(1,3)</sup>. Durante a realização de exercícios de carga constante em domínio intenso [intensidades entre o LL e a máxima fase estável do lactato (MFEL)], o CL estabiliza-se no decorrer do exercício, mas durante os exercícios denominados muito intensos (intensidades entre a MFEL e o  $\dot{V}O_{2max}$ ), o CL aumenta progressivamente, podendo alcançar o  $\dot{V}O_{2max}$ <sup>(4-5)</sup>.

O CL pode ser calculado por meio de modelos matemáticos, os quais permitem identificar e medir a magnitude da amplitude<sup>(2,6)</sup>, ou por meio de intervalos predeterminados (ex.:  $\Delta\dot{V}O_{2,6-3}$ : diferença do  $\dot{V}O_2$  entre o terceiro e o sexto minuto de exercício<sup>(1,7-11)</sup> ou  $\Delta\dot{V}O_{2,6-2}$ : diferença do  $\dot{V}O_2$  entre o segundo e o sexto minuto de exercício<sup>(12)</sup>). Estes últimos tipos de análise simplificam os proce-

dimentos; entretanto, podem gerar dados que não reflitam o adequado comportamento do fenômeno estudado. Nesse sentido, Bearden e Moffatt<sup>(13)</sup>, em um estudo com ciclistas, observaram que os valores do CL obtidos a partir de intervalos predeterminados ( $\dot{V}O_{2,6-3}$ ), durante exercício intenso ( $\Delta 30\%$ : 30% da diferença entre o  $\dot{V}O_2$  no LL e o  $\dot{V}O_{2,max}$ ), apresentaram menores amplitudes quando comparados com os dados obtidos pelo modelo matemático de ajuste. No entanto, análises similares à de Bearden e Moffatt<sup>(13)</sup> não foram ainda realizadas em um domínio de intensidade muito intenso (intensidades em que não há estabilização do CL).

Recentemente, Burnley *et al.*<sup>(14)</sup> utilizaram outro modelo matemático para calcular o CL. Esse modelo foi adaptado a partir do estudo de Rossiter *et al.*<sup>(15)</sup> e teve como proposta o ajuste do componente primário a partir de um intervalo de tempo fixo (120s). Nesta análise, o CL foi calculado pela diferença entre o valor médio dos últimos segundos de exercício e o valor ajustado do "componente primário" ( $CL_{6-CP}$ ). As possíveis diferenças entre esse modelo e os demais não têm sido investigadas. De acordo com Bearden e Moffatt<sup>(13)</sup>, diferentes métodos de análises do CL podem resultar na obtenção de diferentes amplitudes. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi comparar diferentes métodos de análise do CL durante exercício muito intenso (75% $\Delta$ -75% da diferença entre o  $\dot{V}O_2$  no LL e o  $\dot{V}O_{2,max}$ ).

## MÉTODOS

Participaram do presente estudo 10 ciclistas treinados do gênero masculino (idade:  $25,0 \pm 3,6$  anos, massa corporal:  $67,2 \pm 4,5$ kg e altura:  $174,8 \pm 6,5$ cm). A distância média percorrida semanalmente pelos voluntários foi de  $378 \pm 60,4$ km e a experiência em competições de  $4,6 \pm 2,1$  anos. Todos os voluntários foram informados sobre o objetivo da pesquisa, assim como seus possíveis riscos e benefícios. Após concordar com a proposta do estudo e com todos os procedimentos experimentais aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de São Paulo (nº 1246/03), os participantes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Os critérios para a inclusão no estudo foram: (a) ciclistas treinados do gênero masculino, (b) idade entre 20 e 35 anos, (c) volume semanal de treino de no mínimo 250km/semana e (d) experiência mínima de um ano em competições nacionais. Foram realizados exames de eletrocardiograma (repouso e esforço) uma semana antes do início do experimento.

### Protocolo experimental

Os participantes visitaram o laboratório em quatro ocasiões distintas, durante um período de duas semanas. Na primeira visita, foram familiarizados com o cicloergômetro e demais procedimentos experimentais. Na segunda visita, realizaram um teste incremental de cargas até a exaustão voluntária, com o intuito de avaliar o LL e o  $\dot{V}O_{2,max}$ . Na terceira e quarta visitas, os voluntários realizaram duas transições de carga constante [75% $\Delta$  =  $\dot{V}O_2$  LL +  $0,75 \times (\dot{V}O_{2,max} - \dot{V}O_2$  LL)]. A carga relativa a essa intensidade de exercício foi determinada por regressão linear, a partir dos valores do  $\dot{V}O_2$  e da potência obtidos durante cada estágio do teste incremental.

Os participantes foram instruídos a chegar ao laboratório 1h antes do horário marcado, bem hidratados e não tendo consumido álcool, cafeína ou qualquer tipo de suplementação nos dias de teste, além de evitar exercício físico extenuante nas 24 horas anteriores aos testes. Foi requerido um intervalo mínimo de 48h entre cada visita.

Todos os testes foram realizados em um cicloergômetro de frenagem mecânica (*Monark 834 E*, Ergomedic, Suécia). A altura do banco e a posição do guidão foram registradas na primeira visita e replicadas nas subseqüentes sessões de testes. As variáveis ventilatórias foram determinadas, respiração por respiração, por um sistema de teste computadorizado de circuito aberto (*Sensor Me-*

*discs - Vmax 29 series - Metabolic Measurement Cart*, Yorba Linda, CA). A medida do fluxo expiratório foi realizada por um sensor de fluxo de massa (anemômetro), calibrado antes de cada sessão de teste, por uma seringa de três litros, em três diferentes níveis de fluxo. Uma máscara facial *Hans Rudolph flow-by face mask* (Kansas City, MO, EUA) foi utilizada para coleta dos gases expirados. Os sistemas de análise do  $O_2$  e do  $CO_2$  foram calibrados, antes de cada sessão, usando o ar ambiente e uma concentração de gases conhecida (16% de  $O_2$  e 4% de  $CO_2$ ). A FC foi registrada a cada 5s, durante todos os testes, por telemetria (*Polar, Advantage NV*).

Para a determinação do  $\dot{V}O_2$  e do LL, os participantes realizaram um teste contínuo progressivo, com carga inicial de 105W e incrementos de 35W a cada três minutos, mantendo cadência constante de 70rpm<sup>(16)</sup>. No final de cada estágio, foi coletada uma amostra de sangue (25 $\mu$ l) do lóbulo da orelha para determinar a concentração de lactato sanguíneo [La]. O LL foi determinado pelo método visual ([La] x potência) e definido como a intensidade de exercício anterior ao primeiro e sustentado aumento da [La] acima das concentrações de repouso<sup>(17)</sup>. Como critério de análise, dois observadores independentes e experientes foram consultados. Houve concordância, por parte dos observadores, sobre o ponto no qual ocorreu o LL para todos os voluntários. O  $\dot{V}O_2$  foi definido como o valor mais alto do  $\dot{V}O_2$ , medido em intervalos de 20s, durante o teste incremental. Todos os voluntários cumpriram, no mínimo, dois dos seguintes critérios para  $\dot{V}O_{2,max}$ : (1) taxa de troca gasosa > do que 1,1, (2) [La] pico > do que 8mmol. l<sup>-1</sup>, e (3) frequência cardíaca de pico  $\geq 90\%$  do valor máximo esperado para a idade<sup>(18)</sup>.

Na terceira e quarta visitas, os voluntários realizaram transições de carga constante, que foram iniciadas com um período de 4 min, pedalando em uma carga leve (35 watts), seguida por uma abrupta aplicação de carga, por um período de 6 min (intensidade de 75% $\Delta$ ). A cadência foi mantida constante em 70rpm. A utilização de dois dias para realização das transições de carga constante, seguindo as recomendações de Lamarra *et al.*<sup>(19)</sup>, teve como intuito aumentar a confiabilidade dos dados.

### Análise da cinética do $\dot{V}O_2$

Para cada transição de carga leve para exercício, os dados do  $\dot{V}O_2$  (respiração por respiração) foram interpolados linearmente para obter valores com intervalos de 1s. Os dados referentes às duas transições foram alinhados e, posteriormente, calculadas as médias para os valores do  $\dot{V}O_2$ . Esse procedimento teve como objetivo diminuir o "ruído" e acentuar as características das respostas fisiológicas. O  $\dot{V}O_2$  de linha de base ( $\dot{V}O_{2,base}$ ) foi definido como o valor médio dos 4 min iniciais (pedalando em carga leve). Os primeiros 20s de exercício (fase I "cardiodinâmica") não foram incluídos no modelo do ajuste. A resposta do  $\dot{V}O_2$ , após os 20s de exercício, foi descrita a partir de dois componentes exponenciais. Cada resposta média foi descrita usando a seguinte equação<sup>(2)</sup>:

$$\dot{V}O_2(t) = \dot{V}O_{2,base} + A_1(1 - e^{-(t-TA_1/\tau_1)}) + A_2(1 - e^{-(t-TA_2/\tau_2)}) \quad \text{Equação 1}$$

O modelo exponencial incluiu amplitudes ( $A_1$  e  $A_2$ ), constantes de tempo ( $\tau_1$  e  $\tau_2$ ) e tempos de atraso ( $TA_1$  e  $TA_2$ ). Para determinar os parâmetros do melhor ajuste das curvas, foi utilizado um algoritmo não linear dos quadrados mínimos (*MatLab*, versão 6.5), que adotou a minimização da soma dos erros quadrados como critério de convergência. A  $A_1$ ,  $\tau_1$  e o  $TA_1$  descrevem os parâmetros relacionados ao componente primário, enquanto a  $A_2$ ,  $\tau_2$  e o  $TA_2$  descrevem os parâmetros relacionados ao CL do  $\dot{V}O_2$ . Como o valor da assíntota  $A_2$  pode representar um valor mais alto do que atualmente alcançado no final dos 6 min de exercício, o valor do CL foi definido como  $A_2'$ .

Para a obtenção dos outros valores referentes ao CL, foram adotados intervalos predeterminados de tempo, tais como, o  $\Delta\dot{V}O_{2,6-3}$ : diferença entre os valores do  $\dot{V}O_2$  no terceiro (média dos 20s ini-

ciais) e sexto (média dos 20s finais) minutos de exercício<sup>(1)</sup> e o  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:2}$ : diferença entre os valores do  $\dot{V}O_2$  no segundo (média dos 20s iniciais) e sexto (média dos 20s finais) minutos de exercício<sup>(12)</sup>. Além desses, o CL foi obtido a partir do modelo utilizado por Burnley *et al.*<sup>(14)</sup> e adaptado de Rossiter *et al.*<sup>(15)</sup>. Neste modelo, o componente primário foi ajustado por meio de um tempo fixo (120s). Os primeiros 20s de exercício (fase “cardiodinâmica”) foram excluídos do ajuste. A equação utilizada foi a seguinte:

$$\dot{V}O_2(t) = \dot{V}O_{2\ base} + A(1 - e^{-(t-TA)/\tau}) \quad \text{Equação 2}$$

O CL foi calculado como a diferença entre o valor médio dos últimos 20 segundos de exercício e o valor da amplitude “primária” (120s iniciais de exercício), obtida pelo ajuste monoexponencial (CL<sub>6-CP</sub>”).

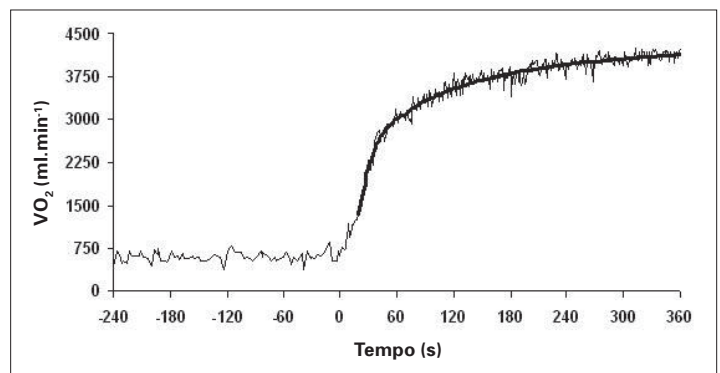
### Procedimentos estatísticos

Os dados estão apresentados como a média  $\pm$  desvio-padrão (DP). Foi adotado para a verificação da normalidade dos dados da amostra o teste de Kolmogorov-Smirnov e, para comparação entre os diferentes métodos de análise do CL, a análise de variância para medidas repetidas (ANOVA). O teste de Tukey foi usado para verificar a posição das diferenças. A correlação de Pearson foi utilizada para verificar a relação entre os diferentes modelos. As análises estatísticas foram realizadas pelo *software STATISTICA* (Statsoft, Inc, versão 6.0). Foi estabelecido nível de significância de  $p < 0,05$ . A precisão no procedimento de ajuste da curva foi avaliada pelo cálculo do coeficiente de determinação ( $r^2$ ).

## RESULTADOS

O valor médio do  $\dot{V}O_{2\ max}$  no teste incremental foi de  $62,4 \pm 3,1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  e o LL ocorreu a  $66,3 \pm 74\% \dot{V}O_{2\ max}$ . A potência máxima alcançada foi de  $339 \pm 33$  watts, a [La] pico foi de  $9,3 \pm 2,1 \text{ mmol.l}^{-1}$  e a FC máxima foi de  $188 \pm 6$  bpm. O  $\dot{V}O_2$  referente a  $75\% \Delta$  no final do exercício foi de aproximadamente 95% do  $\dot{V}O_{2\ max}$ .

As amplitudes do CL determinadas pelos diferentes métodos e os demais parâmetros obtidos com o ajuste biexponencial estão apresentados na tabela 1. A figura 1 ilustra um ajuste biexponencial do  $\dot{V}O_2$  de um voluntário representativo do estudo. Os resulta-



**Figura 1** – Resposta do  $\dot{V}O_2$  de um sujeito representativo (ajustado a partir de modelo biexponencial) realizando exercício em domínio muito intenso ( $75\% \Delta$ )

dos desse estudo demonstraram que o CL determinado a partir do  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:2}$ :  $432 \pm 126 \text{ ml.min}^{-1}$  e do  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:3}$ :  $279 \pm 88 \text{ ml.min}^{-1}$  foram significativamente menores (31,8 e 57,9%, respectivamente) do que a amplitude do CL obtida pelo ajuste biexponencial ( $A_2'$ :  $676 \pm 136 \text{ ml.min}^{-1}$ ;  $p < 0,05$ ). O CL<sub>6-CP</sub>” ( $719 \pm 265 \text{ ml.min}^{-1}$ ), o qual utilizou um tempo fixo para o ajuste do componente primário, não foi significativamente diferente da  $A_2'$ . Houve correlação positiva estatisticamente significativa entre  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:2}$  e o  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:3}$  ( $r = 0,79$ ). As demais correlações ( $A_2'$  versus  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:2}$ :  $r = 0,07$ ;  $A_2'$  versus  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:3}$ :  $r = 0,11$ ;  $A_2'$  versus CL<sub>6-CP</sub>”:  $r = -0,43$ ; CL<sub>6-CP</sub>” versus  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:2}$ :  $0,58$ ; CL<sub>6-CP</sub>” versus  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:3}$ :  $r = 0,21$ ) não foram estatisticamente significativas. O valor médio encontrado para o  $r^2$  foi de 0,97, o que indicou bom ajuste do modelo biexponencial para os dados do  $\dot{V}O_2$ .

## DISCUSSÃO

O principal achado deste estudo foi que a magnitude do CL, analisado a partir de intervalos predeterminados de tempo ( $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:2}$  e  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:3}$ ), durante exercícios realizados em domínio muito intenso ( $75\% \Delta$ ) foi subestimada quando comparada com os modelos biexponencial<sup>(2)</sup> e CL<sub>6-CP</sub>”<sup>(14)</sup>. Os resultados referentes à comparação entre o modelo biexponencial e o  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:3}$  estão em concordância com os achados de Bearden e Moffatt<sup>(13)</sup>, os quais encontraram efeitos similares em exercícios realizados em domínio intenso ( $30\% \Delta$ ).

Nas últimas décadas, modelos matemáticos têm sido desenvolvidos e aprimorados com o propósito de investigar a resposta da cinética do consumo de oxigênio<sup>(2,6)</sup>. Diversas metodologias têm sido utilizadas para determinar o CL ao longo dos anos<sup>(1-2,12)</sup>. Inicialmente, Whipp e Wasserman<sup>(1)</sup> propuseram a utilização do  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:3}$  como forma de quantificar o CL. Posteriormente, Barstow e Mole<sup>(2)</sup> propuseram o modelo matemático de ajuste biexponencial como uma ferramenta importante na determinação da magnitude do CL, tornando-se no decorrer dos anos um modelo muito utilizado. Mais recentemente, na tentativa de readequar o modo de calcular o CL com tempo predeterminado ( $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:3}$ ), Koppo e Bouckaert<sup>(12)</sup> utilizaram o  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:2}$ , baseados em prévias informações de que o surgimento do CL poderia ocorrer em tempo inferior a 3 min (aproximadamente de 70 a 120s). Nesse sentido, o presente estudo demonstrou que, mesmo utilizando  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:2}$ , os resultados do CL foram subestimados (31,8%) quando comparado com o modelo biexponencial de ajuste. O mesmo ocorreu com o  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:3}$ , o qual foi subestimado em 57,9%. Uma possível justificativa para esse resultado é o precoce surgimento do CL, que no presente estudo teve média de 74s e amplitude de 58-95s. Similares tempos de atraso para o início do CL ( $TA_2$ ) têm sido descritos na literatura<sup>(20)</sup>. Barstow *et al.*<sup>(20)</sup>, em estudo com indivíduos treinados e não treinados, sugerem que o  $TA_2$  independe da aptidão física. Além dis-

**TABELA 1**  
Parâmetros da resposta da cinética do consumo de oxigênio durante exercício muito intenso (média  $\pm$  DP)

Variáveis	
$\dot{V}O_{2\ base}$ (ml.min <sup>-1</sup> )	667 $\pm$ 167
$TA_1$ (s)	16 $\pm$ 2
$A_1$ (ml.min <sup>-1</sup> )	2.659 $\pm$ 326 bcd
$\tau_1$ (s)	21 $\pm$ 4
$TA_2$ (s)	79 $\pm$ 19
$A_2'$ (ml.min <sup>-1</sup> )	671 $\pm$ 130
$\tau_2$ (s)	181 $\pm$ 72
$A_{2\ min}$ (ml.min <sup>-1</sup> )	3.592 $\pm$ 372 ad
$A_{3\ min}$ (ml.min <sup>-1</sup> )	3.766 $\pm$ 360 ad
$A_{CP}$ (ml.min <sup>-1</sup> )	3.361 $\pm$ 491 abc
$\Delta\dot{V}O_{2\ 6:2}$ (ml.min <sup>-1</sup> )	457 $\pm$ 145 #
$\Delta\dot{V}O_{2\ 6:3}$ (ml.min <sup>-1</sup> )	282 $\pm$ 84 #
CL <sub>6-CP</sub> ” (ml.min <sup>-1</sup> )	687 $\pm$ 272

$\dot{V}O_{2\ base}$ : valor de base do consumo de oxigênio;  $\tau_1$  e  $\tau_2$  são as constantes de tempo;  $TA_1$  e  $TA_2$  são os atrasos de tempo;  $A_1$ , amplitude da assíntota da fase primária;  $A_2'$ , valor do CL no final do exercício obtido pelo ajuste biexponencial;  $A_{2\ min}$ : amplitude referente ao segundo minuto de exercício;  $A_{3\ min}$ : amplitude referente ao terceiro minuto de exercício;  $A_{CP}$ : amplitude referente ao “componente primário” ajustado com um tempo fixo de 120s;  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:2}$ : diferença entre o segundo e o sexto minuto de exercício;  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6:3}$ : diferença entre o terceiro e o sexto minuto de exercício; CL<sub>6-CP</sub>”: diferença entre valor da amplitude “primária” (120s iniciais de exercício) e o sexto minuto de exercício.

a significativamente diferente da  $A_1$  ( $p < 0,05$ ).

b significativamente diferente da  $A_{2\ min}$  ( $p < 0,05$ ).

c significativamente diferente da  $A_{3\ min}$  ( $p < 0,05$ ).

d significativamente diferente da  $A_{CP}$  ( $p < 0,05$ ).

# significativamente diferente da  $A_2'$  ( $p < 0,05$ ).

so, outros estudos demonstram que o  $TA_2$  também independe da intensidade do exercício<sup>(21-25)</sup>. Assim, os resultados encontrados no presente estudo sugerem que esse comportamento diferenciado do CL pode estar presente em outras intensidades de exercício e entre outras populações. Outro fator que pode ter gerado as diferenças existentes entre as análises é a constante de tempo do CL ( $\tau_2$ ), a qual reflete a taxa de mudança no  $\dot{V}O_2$  em função do tempo, fator que não é considerado na análise com tempo predeterminado. Como sugerido no estudo prévio de Bearden e Mofatt<sup>(13)</sup>, as respostas do  $TA_2$  e da  $\tau_2$  são fatores que podem ter influenciado de forma significativa as diferenças encontradas entre os modelos analisados.

O modelo  $CL_{6-CP}$  adaptado de Rossiter *et al.*<sup>(15)</sup> foi recentemente utilizado por Burnley *et al.*<sup>(14)</sup> com a finalidade de detectar pequenas amplitudes do CL, em um protocolo usado para estudar a atenuação do CL em resposta à prática de exercício prévio. No presente estudo, os valores do  $CL_{6-CP}$  foram semelhantes aos valores encontrados pelo modelo de ajuste biexponencial; por outro lado, foram estatisticamente diferentes dos métodos de análise com intervalo predeterminado (tabela 1). Esse segundo resultado pode ser explicado pela diferença significativa encontrada entre a "amplitude primária" obtida com o ajuste monoexponencial dos 120s iniciais de exercícios ( $3.361 \pm 491 \text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ) e as amplitudes do segundo ( $3.592 \pm 372 \text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ) e terceiro ( $3.766 \pm 360 \text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ) minuto de exercício ( $p < 0,05$ ), valores que são fundamentais para o cálculo do CL nesses modelos. Outro ponto importante a destacar é a baixa correlação entre os resultados obtidos pelos modelos  $CL_{6-CP}$  e ajuste biexponencial ( $r = -0,43$ ). Essa baixa correlação sugere que essas análises podem não refletir o mesmo comportamento do CL. Isso também ocorreu com as demais correlações entre os diferentes modelos, exceto entre o  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6-2}$  e o  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6-3}$  ( $r = 0,79$ ). Nesse caso, existiu boa correlação, sugerindo que ambas as análises estão apresentando o mesmo comportamento do CL.

Existem limitações importantes na utilização de modelos matemáticos para a análise do CL que devem ser consideradas, principalmente quando não se alcança um estado estável no  $\dot{V}O_2$ , como, por exemplo, em exercícios caracterizados como muito intensos. Nesses casos, não há o alcance de um platô no  $\dot{V}O_2$  e isso impossibilita uma determinação totalmente precisa do CL, por meio do ajuste exponencial. Por outro lado, apesar de a determinação do CL por meio de um intervalo predeterminado ser pouco confiável, pois não leva em consideração o início do CL, ele tem sido sugerido para os protocolos de teste que realizam somente uma transição. Nesses casos, há grande variabilidade biológica entre as respirações ("ruído"), o que pode dificultar o processo de interação utilizado pelos modelos matemáticos. Futuros estudos que busquem aprimoramento dos modelos matemáticos são necessários para minimizar essas limitações.

A origem do CL da cinética do  $\dot{V}O_2$  ainda não está completamente definida. No entanto, algumas evidências sugerem que o comportamento do CL possa estar relacionado aos processos que conduzem a fadiga. O estudo dos mecanismos que envolvem o CL pode fornecer informações importantes sobre a tolerância ao exercício nas populações saudáveis e com patologias<sup>(26)</sup>. Nesse sentido, os achados do presente estudo sugerem que a utilização de diferentes metodologias para a análise do CL (domínio muito intenso) pode gerar distintas interpretações e, conseqüentemente, pode dificultar a comparação de resultados entre diferentes estudos. Assim, torna-se necessário em futuros trabalhos maior cautela na interpretação e na comparação de resultados quando se utilizam diferentes metodologias de análise do CL.

Em conclusão, os dados do presente estudo sugerem que a magnitude do CL durante exercício muito intenso ( $75\% \Delta$ ) pode sofrer a influência do método de análise. Os valores do CL obtidos a partir do  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6-2}$  e do  $\Delta\dot{V}O_{2\ 6-3}$  podem ser subestimados quando comparados com os valores obtidos pelos modelos de ajuste biexponencial e com tempo fixo de ajuste (120s) do "componente

primário". Além disso, o presente estudo sugere que a determinação do CL durante exercício muito intenso, assim como a comparação entre os estudos, deve ser analisada com prudência, pois podem existir diferenças de resultados quando são utilizadas diferentes metodologias de análises.

## AGRADECIMENTOS

Associação Fundo de Incentivo à Psicofarmacologia (AFIP), CEPID/FAPESP #98/14303-3, CAPES, CNPq, FADA/UNIFESP e CEPE.

---

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

---

## REFERÊNCIAS

1. Whipp BJ, Wasserman K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol.* 1972;33:351-6.
2. Barstow TJ, Mole PA. Linear and non-linear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol* 1991;71:2099-106.
3. Özyener F, Rossiter HB, Ward HB, Whipp BJ. Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. *J Physiol* 2001;15:891-902.
4. Whipp BJ, Özyener F. The kinetics of exertion  $O_2$  uptake: assumptions and inferences. *Med Sport.* 1998;51:39-49.
5. Neder JA, Nery LE. Fisiologia clínica do exercício – Teoria e prática. São Paulo: Editora Artes Médicas, 2003.
6. Barstow TJ, Jones AM, Nguyen PH, Casaburi R. Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. *J Appl Physiol.* 1996;81:1642-50.
7. Koga S, Shiojiri T, Kondo N, Barstow TJ. Effect of increased muscle temperature on oxygen uptake kinetics during exercise. *J Appl Physiol.* 1997;83:1333-8.
8. Billat VL, Richard R, Binsse VM, Koralsztejn, Haouzy P. The  $\dot{V}O_2$  slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. *J Appl Physiol.* 1998;85:2118-24.
9. Jones AM, McConnell AM. Effect of exercise modality on oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Eur J Appl Physiol.* 1999;80:213-9.
10. Garland SW, Newham DJ, Turner DL. The amplitude of the slow component of oxygen uptake is related to muscle contractile properties. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91:192-8.
11. Koppo K, Bouckaert J. The effect of prior high-intensity cycling exercise on the kinetics during high-intensity cycling exercise is situated at the additional slow component. *Int J Sports Med.* 2001;22:21-6.
12. Koppo K, Bouckaert J. The decrease in the  $\dot{V}O_2$  slow component induced by prior exercise does not affect the time to exhaustion. *Int J Sports Med.* 2002;23:262-7.
13. Bearden SE, Mofatt RJ.  $\dot{V}O_2$  slow component: to model or not model? *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:677-80.
14. Burnley M, Doust JH, Jones AM. Time required for the restoration of normal heavy exercise  $\dot{V}O_2$  kinetics following prior heavy exercise *J Appl Physiol.* 2006; 101:320-7.
15. Rossiter HB, Ward SA, Kowalchuk JM, Howe FA, Griffiths JR, Whipp BJ. Effects of prior exercise on oxygen uptake and phosphocreatine kinetics during high-intensity knee-extension exercise in humans. *J Physiol.* 2001; 15:291-303.
16. Caputo F, Denadai BS. Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2004; 93:87-95.
17. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J Appl Physiol.* 1985;59:1936-40.
18. Taylor HL, Buskirk E, Henschel A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J Appl Physiol.* 1955;8:73-80.
19. Lamarra N, Whipp BJ, Ward SA, Wasserman K. Effect of interbreath fluctuations on characterizing exercise gas exchange kinetics. *J Appl Physiol.* 1987;83:1318-25.
20. Barstow TJ, Casaburi R, Wasserman K.  $O_2$  uptake kinetics and the  $O_2$  deficit as related to exercise intensity and blood lactate. *J Appl Physiol.* 1993;75:755-62.
21. Carter H, Jones AM, Barstow TJ, Burnley M, Williams C, Doust JH. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. *J Appl Physiol.* 2000;89:899-907.
22. Carter H, Pringle JS, Jones AM, Doust JH. Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. *Eur J Appl Physiol.* 2002;86:347-54.
23. Wilkerson DP, Koppo K, Barstow TJ, Jones AM. Effect of work rate on the functional 'gain' of phase II pulmonary  $O_2$  uptake response to exercise. *Respir Physiol Neurobiol.* 2004;142:211-23.
24. Jones AM, Poole DC. Oxygen uptake dynamics: from muscle to mouth – An introduction to the symposium. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37:1542-50.