

Variação Diurna e Resposta da Cinética do $\dot{V}O_2$ de Ciclistas Durante Exercício Muito Intenso

ARTIGO ORIGINAL



Diurnal Variation and $\dot{V}O_2$ Kinetic Response of Cyclists During Heavy Exercise

Marcos G. Santana¹
Sergio Tufik^{1,4}
Giselle S. Passos¹
Donald M. Santee²
Benedito S. Denadai^{3,4}
Marco T. Mello^{1,4}

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

Endereço para correspondência:

Prof. Dr. Marco Túlio de Mello - Departamento de Psicobiologia - Universidade Federal de São Paulo - Rua Marselhesa 535 - Vila Clementino - CEP 04020-060 São Paulo - SP - Brasil
Tel.: +55-11-55720177
Fax.: +55-11-50836900
Email: tmello@psicobio.epm.br

Submetido em 25/12/2007

Versão final recebida em 10/12/2007

Aceito em 17/01/2008

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da hora do dia nos parâmetros da cinética do consumo de oxigênio de ciclistas durante exercício muito intenso. Nove voluntários do sexo masculino realizaram exercícios de carga constante às 08:00, 13:00 e 18:00 h, em dias diferentes. Estes exercícios foram realizados duas vezes em cada visita, com um intervalo de 1 h entre eles. A intensidade usada foi de 75% Δ (75% da diferença entre o $\dot{V}O_2$ no limiar de lactato e o $\dot{V}O_{2max}$). A amplitude do componente primário do $\dot{V}O_2$ (2597 ± 273 ml.min⁻¹, 2513 ± 268 ml.min⁻¹ e 2609 ± 370 ml.min⁻¹), a constante de tempo do componente primário do $\dot{V}O_2$ (19.3 ± 2.5 s, 18.4 ± 3.0 s e 19.7 ± 3.9 s), o componente lento do $\dot{V}O_2$ (735 ± 81 ml.min⁻¹, 764 ± 99 ml.min⁻¹ e 680 ± 121 ml.min⁻¹) e o tempo de resposta média (51.8 ± 4.2 s, 51.2 ± 4.2 s e 51.4 ± 3.4 s) não apresentaram diferenças significativas entre os diferentes horários do dia (08:00, 13:00 e 18:00 h), assim como os demais parâmetros da cinética do $\dot{V}O_2$. Estes resultados sugerem que a resposta da cinética do $\dot{V}O_2$ de ciclistas durante exercício muito intenso (75% Δ) não é influenciada pela hora do dia.

Palavras-chave: exercício, ritmo circadiano, cinética do $\dot{V}O_2$, constante de tempo, ciclismo.

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the influence of the time of day on the parameters of oxygen uptake kinetics of trained cyclists during high intensity exercise. Nine male volunteers repeated bouts at constant loads at 08:00, 13:00 and 18:00 h on different days. These exercise bouts were performed twice on each occasion, with an interval of 1 h between them. The load intensity used was 75% Δ (75% of the difference between the $\dot{V}O_2$ at the lactate threshold and the $\dot{V}O_{2max}$). The primary $\dot{V}O_2$ amplitude (2597 ± 273 ml.min⁻¹, 2513 ± 268 ml.min⁻¹ and 2609 ± 370 ml.min⁻¹), the primary $\dot{V}O_2$ time constant (19.3 ± 2.5 s, 18.4 ± 3.0 s and 19.7 ± 3.9 s), the $\dot{V}O_2$ slow component (735 ± 81 ml.min⁻¹, 764 ± 99 ml.min⁻¹ and 680 ± 121 ml.min⁻¹) and the mean response time (51.8 ± 4.2 s, 51.2 ± 4.2 s and 51.4 ± 3.4 s) did not present significant differences at the different times (08:00, 13:00 and 18:00 h), neither did the other parameters of the $\dot{V}O_2$ kinetics. These results suggest that the response of the $\dot{V}O_2$ kinetics of cyclists exercising at high intensity (75% Δ) is not influenced by the time of day.

Keywords: exercise, circadian rhythm, kinetics, time constant, cycling.

INTRODUÇÃO

O estudo dos ritmos biológicos tem proporcionado nas últimas décadas informações e aplicações práticas importantes nas áreas da fisiologia do exercício e da medicina esportiva¹. Em geral, quase todas as variáveis fisiológicas apresentam uma ritmicidade circadiana que se repete em períodos cíclicos de aproximadamente 24 h. De acordo com Atkinson e Reilly⁽¹⁾ muitas respostas fisiológicas flutuam em paralelo ao ritmo da temperatura corporal, a qual possui um valor máximo próximo às 18:00 h e um valor mínimo próximo às 04:00 h.

A resposta do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) na transição de repouso, para a condição de exercício (moderado, intenso, muito intenso e supramáximo) realizado em carga constante tem sido bem descrita na literatura⁽²⁻⁴⁾. No início do exercício (após a fase I "cardiodinâmica" - 15 a 20 s iniciais) realizado em intensidade moderada (ex.: abaixo do limiar de lactato - LL), o $\dot{V}O_2$ aumenta de acordo com um modelo mono-exponencial (Fase 2) para alcançar um novo estado estável (Fase 3) dentro de 2 a 3 min. Quando o exercício é intenso (acima do LL) ou muito intenso (acima da máxima fase estável do lactato), o componente primário da

cinética do $\dot{V}O_2$ é suplementado por um adicional componente lento (CL), o qual causa um aumento no $\dot{V}O_2$ e, conseqüentemente, um atrasado e aumentado estado estável, podendo alcançar valores de consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$)⁽²⁻⁴⁾.

A análise da cinética do $\dot{V}O_2$ tem sido sugerida como um importante parâmetro de avaliação da capacidade aeróbia de atletas, assim como da capacidade de tolerância ao exercício^(5,6). No entanto, poucos estudos têm investigado a influência da hora do dia na cinética do $\dot{V}O_2$ ⁽⁷⁻⁹⁾. Inicialmente, Hill⁽⁷⁾ realizou um estudo em cicloergômetro com estudantes universitários (12 mulheres, $\dot{V}O_{2max}$: 44.2 ml.kg⁻¹.min⁻¹ e 12 homens, $\dot{V}O_{2max}$: 48.3 ml.kg⁻¹.min⁻¹) e encontrou que o tempo de resposta média (TRM; tempo necessário para alcançar 63% da resposta total do $\dot{V}O_2$) foi 6% mais rápido no período da tarde (entre 15:00 e 17:00 h) comparado com a manhã (entre 07:00 e 09:00 h), em intensidade próxima ao $\dot{V}O_{2max}$. Posteriormente, Marth *et al.*⁽⁸⁾ em condições experimentais similares encontraram uma tendência estatística para a mesma variável, semelhante a descrita por Hill⁽⁷⁾. Mais recentemente, Carter *et al.*⁽⁹⁾ realizaram um estudo com sujeitos fisicamente ativos

(3 mulheres, $\dot{V}O_{2max}$: 47.5 ml.kg⁻¹.min⁻¹ e 6 homens, $\dot{V}O_{2max}$: 59.2 ml.kg⁻¹.min⁻¹), utilizando corrida em esteira com exercício intenso (50%Δ: 50% da diferença entre o $\dot{V}O_2$ no limiar ventilatório e o $\dot{V}O_{2max}$) em três diferentes horários do dia (06:00, 13:00 e 18:00 h), mas não encontraram variação diurna nos parâmetros temporais da cinética do $\dot{V}O_2$. Estes dados aparentemente antagônicos poderiam ser explicado, em parte, pela aptidão dos sujeitos, pois de acordo com Atkinson e Reilly⁽¹⁾ parece que esta variável pode afetar as respostas das flutuações fisiológicas. No entanto, para o nosso conhecimento, nenhum estudo foi realizado com o objetivo de investigar a influência da hora do dia na cinética do $\dot{V}O_2$ em ciclistas, embora este tipo de informação seja de grande relevância para a interpretação dos dados obtidos nas avaliações, assim como para o acompanhamento dos efeitos do treinamento. Assim, a proposta deste estudo foi avaliar a influência da hora do dia na resposta da cinética do $\dot{V}O_2$ de ciclistas praticando exercício muito intenso (75%Δ: 75% da diferença entre o $\dot{V}O_2$ no LL e o $\dot{V}O_{2max}$).

MÉTODOS

Participaram do presente estudo, nove ciclistas⁽¹⁰⁾ do sexo masculino, idade: 25 ± 3.8 anos, massa corporal 66.8 ± 4.6 kg e altura 174.4 ± 6.7 cm. Todos os voluntários foram informados sobre o objetivo da pesquisa, assim como seus possíveis riscos e benefícios. Após concordarem com a proposta do estudo, e com todos os procedimentos experimentais aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de São Paulo (n.º 1246/03), os participantes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Durante o processo de seleção, os critérios para ciclistas do sexo masculino foram: idade entre 20 e 35 anos, volume semanal de treino de no mínimo 250 km/semana e experiência mínima de 1 ano em competições nacionais. Foram excluídos do estudo os sujeitos que relataram queixas de sono, verificados pela escala de Pittsburgh⁽¹¹⁾ (escores ≥ 5), fumantes e aqueles que apresentavam histórico de problemas de saúde, bem como anormalidade nos exames eletrocardiograma de repouso e esforço (realizados uma semana antes do início do experimento).

Protocolo Experimental

A temperatura ambiente do laboratório foi mantida em 23 ± 2° C. Os sujeitos visitaram o laboratório em cinco ocasiões distintas, durante um período de duas semanas. Na primeira visita, eles foram familiarizados com o ciclo-ergômetro e demais procedimentos experimentais (11:00 h). Na segunda, realizaram um teste incremental de cargas até a exaustão voluntária, para a avaliação do LL e do $\dot{V}O_{2max}$ (11:00 h). Na terceira, quarta e quinta visitas, os sujeitos realizaram duas transições de carga constante em domínio muito intenso [75%Δ = $\dot{V}O_2$ LL + 0.75 x ($\dot{V}O_{2max}$ - $\dot{V}O_2$ LL)] às 08:00, 13:00 e 18:00 h. A carga relativa a esta intensidade foi determinada por regressão linear, a partir dos valores do $\dot{V}O_{2max}$ e da potência obtidos durante cada estágio do teste incremental. Os horários adotados representaram três momentos típicos do dia em que geralmente são realizados testes físicos em atletas. Para evitar o efeito de ordem, todos os testes foram distribuídos aleatoriamente nos diferentes horários. Os voluntários não realizaram aquecimento e alongamento nos momentos que antecediam os testes. Este procedimento teve como intuito prevenir possíveis alterações na resposta da cinética do $\dot{V}O_2$. Antes do início de cada teste, foram mensuradas a frequência cardíaca (FC) e a temperatura oral de repouso. Os voluntários foram instruídos a evitar exercício físico extenuantes nas 24 horas anteriores aos testes. Além disso, foi requerido um intervalo de 48 h entre as visitas.

Os participantes foram instruídos a manter um tempo habitual de sono (mínimo 6 h) nas noites anteriores aos testes (verificado por meio de um diário de sono), e foram orientados a chegar ao laboratório, hidratados, sem ter consumido álcool, cafeína ou qualquer tipo de suplementação nos dias de teste, 1 h antes do horário marcado.

Medidas da Frequência Cardíaca e da Temperatura Oral em Repouso

Anteriormente à realização das transições de carga constante, os sujeitos repousaram em posição supina por 30 min. A FC de repouso foi mensurada por telemetria, sendo considerada a média dos últimos 60 s (Polar, Advantage NV). A temperatura oral foi registrada com um termômetro clínico digital (Onron, precisão: 0.1°C) inserido sublingualmente por um período de 3 min após o período de repouso.

Determinação do LL e do $\dot{V}O_{2max}$

Todos os testes foram realizados em um ciclo-ergômetro 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. Para a determinação do $\dot{V}O_{2max}$ e do LL, os participantes realizaram um teste contínuo progressivo, com carga inicial de 105 W e incrementos de 35 W a cada 3 minutos, mantendo uma cadência constante de 70 rpm⁽¹²⁾. No final de cada estágio, foi coletada uma amostra de sangue (25 µl) 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. Como critério de análise, dois observadores independentes e experientes foram consultados. Houve uma concordância, por parte dos observadores, sobre o ponto no qual ocorreu o LL para todos os sujeitos. A FC foi registrada a cada 5 s durante todos os testes por telemetria (Polar, Advantage NV).

As variáveis ventilatórias foram determinadas, respiração por respiração, por um sistema de teste computadorizado de circuito aberto (Sensor Medics - Vmax 29 series - Metabolic Measurement Cart, Yorba Linda, CA). A mensuração do fluxo expiratório foi realizada por um sensor de fluxo de massa (anemômetro), calibrado antes de cada sessão de teste, por uma seringa de 3 litros, em três diferentes níveis de fluxo. Uma máscara facial Hans Rudolph flow-by face mask (Kansas City, MO USA) foi utilizada para coleta de todos os gases expirados durante as respirações. Os sistemas de análise do O₂ e do CO₂ foram calibrados, antes de cada sessão, usando o ar ambiente e um gás com concentrações conhecidas (16% de O₂ e 4% de CO₂). O $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ foram expressos em STPD (pressão e temperatura padrões, seco) e a $\dot{V}E$ em BTPS (temperatura corporal, pressão e saturação ambientes).

O $\dot{V}O_{2max}$ foi definido como valor mais alto do $\dot{V}O_2$, medido em intervalos de 20 s, durante o teste incremental. Todos os sujeitos cumpriram no mínimo, dois dos seguintes critérios para $\dot{V}O_{2max}$: (1) uma taxa de troca gasosa > do que 1.1, (2) uma [La] pico > do que 8 mmol.l⁻¹, e (3) uma frequência cardíaca de pico ≥ a 90% do valor máximo esperado para a idade⁽¹³⁾.

Determinação da Cinética do $\dot{V}O_2$ e do [ΔLa]

Cada sujeito realizou duas transições de carga constante em cada visita, sendo que, cada transição, consistiu em 4 min pedalando em carga leve (35 watts), seguida por uma aplicação abrupta de carga, por um período de 6 min, a uma intensidade de 75%Δ. A cadência foi mantida constante em 70 rpm e a FC registrada a cada 5 s durante todos os testes por telemetria. Amostras de sangue (25 µl) foram coletadas do lóbulo da orelha, imediatamente antes e após o período de 6 min de exercício. A diferença entre a [La] final e a [La] inicial, foi expressa como o valor delta da concentração de lactato sanguíneo (Δ [La]). Após 1 h de recuperação da primeira transição, uma amostra de sangue foi coletada, e a FC de repouso registrada para verificar se a [La] e a FC tinham retornado aos seus valores basais. Em seguida, os sujeitos realizaram outra transição de carga constante com características idênticas as do primeiro teste⁽¹⁴⁻¹⁵⁾. Como forma de controle do experimento foi recomendado aos voluntários não conversarem durante os testes.

Coleta de Sangue e Análise da [La]

Por amostra foram coletados 25 µl de sangue arterializado do lóbulo da orelha, sem hiperemia, para determinar a [La]. O sangue foi imediatamente transferido para microtúbulos de polietileno com tampa - tipo Eppendorff - de 1,5 ml, contendo 50 µl de solução de Fluoreto de Sódio (NaF) a 1%. As amostras foram analisadas imediatamente após a coleta por meio de um analisador eletroquímico (YSI STAT 2300, Yellow Springs, Ohio, USA)

Análise da Cinética do $\dot{V}O_2$

Para cada transição de exercício, os dados de respiração por respiração do $\dot{V}O_2$ foram linearmente interpolados para obter valores com intervalos de 1 s. Os dados referentes às duas transições de cada visita foram alinhados, e posteriormente, calculadas as médias para os valores do $\dot{V}O_2$, com o objetivo de diminuir o “ruído” e acentuar as características fundamentais das respostas fisiológicas. O $\dot{V}O_2$ de linha de base ($\dot{V}O_{2\text{base}}$) foi definido como o valor médio dos 4 minutos pedalando em carga leve (35 watts). Os primeiros 20 s de exercício (fase “cardiodinâmica”) não foram incluídos no modelo do ajuste. O tempo de curso da resposta do $\dot{V}O_2$, após os 20 s de exercício, foi descrito em termos de dois componentes exponenciais. Subsequentemente, cada resposta média foi descrita usando a seguinte equação:

$$\dot{V}O_2(t) = \dot{V}O_{2\text{base}} + A_1 (1 - e^{-(t-TD1)/\tau_1}) + A_2 (1 - e^{-(t-TD2)/\tau_2}) \quad \text{Equação 1}$$

O modelo exponencial incluiu amplitudes (A_1 e A_2), constantes de tempo (τ_1 e τ_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 , τ_1 e TA_1 descrevem os parâmetros relacionados ao componente primário, enquanto a A_2 , τ_2 e TA_2 descrevem os parâmetros relacionados ao componente lento 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 componente lento foi definido como (A_2'). O $\dot{V}O_2$ no final do exercício ($\dot{V}O_2$ Final) foi definido como o aumento absoluto no $\dot{V}O_2$ acima dos valores de base (tempo = 360 s).

O tempo de resposta média (TRM) foi calculado a partir das duas transições obtidas em cada visita, e foi determinada usando uma única equação mono-exponencial, com a análise começando no início do exercício e sem atraso de tempo⁽¹⁶⁾.

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

Procedimentos Estatísticos

Os dados estão apresentados como a média \pm desvio padrão (D.P.). Foi adotado para a verificação da normalidade da amostra o teste de Kolmogorov-Smirnov, e para comparação entre os três diferentes horários, a análise de variância para medidas repetidas (ANOVA). O teste de Tukey foi usado para verificar a posição das diferenças. As análises estatísticas foram realizadas pelo software STATISTICA (Statsoft, Inc, versão 6.0). Foi estabelecido um nível de significância de $p < 0,05$.

RESULTADOS

O valor médio do $\dot{V}O_{2\text{max}}$ no teste incremental foi de $63,0 \pm 2,73$ ml.kg⁻¹.min⁻¹ e o LL ocorreu em um percentual de $65,1 \pm 7,8\%$ do $\dot{V}O_{2\text{max}}$. A potência máxima alcançada foi de 338 ± 35 watts, a [La] pico foi de $9,6 \pm 1,9$ mmol.l⁻¹ e a FC máxima foi de 188 ± 6 bpm. A média da potência correspondente à 75% Δ foi de 309 ± 34 watts.

A Tabela 1 apresenta os efeitos da hora do dia nas condições de repouso (temperatura oral e FC) e de exercício ($\dot{V}E$ e FC no final do exercício e o Δ [La]). Com exceção da temperatura, todas as variáveis

observadas não apresentaram diferenças significativas. A temperatura oral às 08:00 h ($36,2 \pm 0,2^\circ\text{C}$) foi significativamente mais baixa do que às 13:00 h ($36,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$) e às 18:00 h ($36,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$) ($p < 0,05$).

A Tabela 2 apresenta as respostas do $\dot{V}O_2$ para o exercício muito intenso em função da hora do dia. Os resultados demonstraram que os parâmetros da cinética do $\dot{V}O_2$, durante as transições de carga constante, não sofreram nenhuma variação diurna significativa. A Figura 1 ilustra a similaridade da cinética do $\dot{V}O_2$ nos diferentes horários do dia de um sujeito representativo do estudo.

Tabela 1. Parâmetros mensurados em condições de repouso e exercício em função da hora do dia (média \pm D.P.)

Variáveis	Hora do dia		
	08:00 h	13:00 h	18:00 h
Repouso			
Temperatura oral ($^\circ\text{C}$)	$36,2 \pm 0,2^*$	$36,5 \pm 0,2$	$36,6 \pm 0,2$
FC (bpm)	58 ± 5	57 ± 5	58 ± 7
Exercício de carga constante			
Δ [La] (mmol l ⁻¹)	$7,4 \pm 1,8$	$7,6 \pm 1,7$	$7,3 \pm 1,2$
FC _{Final} (bpm)	173 ± 6	173 ± 7	174 ± 7
$\dot{V}E_{\text{Final}}$ (l.min ⁻¹)	$99,7 \pm 16,2$	$101,6 \pm 15,7$	$97,7 \pm 16,1$

Notas: FC frequência cardíaca; Δ [La] mudança na concentração de lactato sanguíneo; FC_{Final} frequência cardíaca no final do exercício; $\dot{V}E_{\text{Final}}$ ventilação minuto no final do exercício.

• $p < 0,05$ significativamente menor às 08:00 h do que às 13:00 h e às 18:00 h.

Tabela 2. Parâmetros da resposta da cinética do consumo de oxigênio durante exercício muito intenso em função da hora do dia (média \pm D.P.)

Variáveis	Hora do dia		
	08:00 h	13:00 h	18:00 h
$\dot{V}O_{2\text{base}}$ (ml.min ⁻¹)	666 ± 177	681 ± 209	678 ± 186
TA_1 (s)	$14,8 \pm 2,8$	$14,6 \pm 2,7$	$15,3 \pm 2,2$
A_1 (ml.min ⁻¹)	2597 ± 273	2513 ± 268	2609 ± 370
τ_1 (s)	$19,3 \pm 2,5$	$18,4 \pm 3,0$	$19,7 \pm 3,9$
A_2' (ml.min ⁻¹)	735 ± 81	764 ± 99	680 ± 121
τ_2 (s)	$193,5 \pm 84,6$	$227,1 \pm 107,4$	$184,7 \pm 79,1$
TA_2 (s)	$71,7 \pm 5,6$	$70,1 \pm 6,3$	$72,3 \pm 12,2$
$\dot{V}O_{2\text{Final}}$ (ml.min ⁻¹)	3332 ± 289	3305 ± 293	3311 ± 355
TRM (s)	$51,8 \pm 4,2$	$51,2 \pm 4,2$	$51,4 \pm 3,4$

Notas: $\dot{V}O_{2\text{base}}$ valor de base do consumo de oxigênio; τ_1 e τ_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 componente lento no final do exercício; $\dot{V}O_{2\text{Final}}$ valor do $\dot{V}O_2$ acima dos valores de linha de base; TRM, tempo de resposta média.

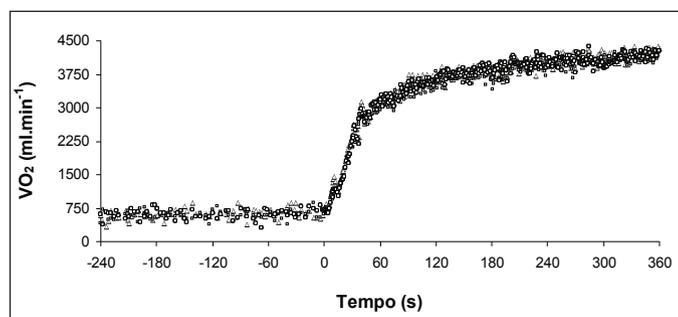


Figura 1. Respostas do $\dot{V}O_2$ de um sujeito representativo realizando exercício em domínio muito intenso às 08:00 h (Δ), às 13:00 h (\circ) e às 18:00 h (\square).

DISCUSSÃO

Para o nosso conhecimento, este é o primeiro estudo a descrever a influência da hora do dia na cinética do $\dot{V}O_2$ (componentes primário e lento) em ciclistas. A principal descoberta deste estudo foi que os parâmetros temporais da cinética do $\dot{V}O_2$ destes atletas não são influenciados pela hora do dia ao realizar exercício muito intenso (75% Δ) às 08:00, 13:00 e 18:00 h. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Carter *et al.*⁽⁹⁾, os quais analisaram os efeitos da hora do dia durante corrida em esteira (exercício intenso - 50% Δ), nos horários 06:00, 12:00 e 18:00 h. A única variável que apresentou variação diurna significativa foi a temperatura corporal (Tabela 1). Estes resultados são consistentes com diversos outros estudos (revisado por Atkinson e Reilly⁽¹¹⁾).

O TRM não apresentou uma variação diurna significativa nos horários avaliados. Resultado contrário foi observado por Hill⁽⁷⁾, o qual analisou o TRM por meio de uma única transição em domínio muito intenso de exercício. Hill⁽⁷⁾ observou em seu estudo que o TRM foi 6% mais rápido no período da tarde (entre 15:00 e 17:00h) do que na manhã (entre 07:00 e 09:00 h). No entanto, baseados nas descobertas de Hill⁽⁷⁾, nossos resultados parecem indicar que a variação diurna da cinética do $\dot{V}O_2$ depende da aptidão física, como é sugerido por Atkinson e Reilly⁽¹⁾. Além disso, Drust *et al.*⁽¹⁷⁾ relatam que durante exercícios de alta intensidade pode ocorrer um “efeito teto” das capacidades fisiológicas e este poderia consequentemente reduzir a amplitude de variação.

A amplitude do $\dot{V}O_2$ do componente primário também não apresentou diferenças significativas nos diferentes horários de avaliação (08:00, 13:00 e 18:00 h). Em contraste a este resultado, Carter *et al.*⁽⁹⁾ encontraram em um estudo com sujeitos fisicamente ativos que a amplitude do componente primário foi menor às 12:00 h quando comparado às 06:00 e 18:00 h (exercício intenso - 50% Δ). Estes autores⁽⁹⁾ sugerem que a diferença encontrada pode estar relacionada com o pico de catecolaminas que é conhecida para ocorrer próximo às 12:00 h. A diferença entre estes resultados e os do presente estudo, pode ser explicada pelas diferenças nos modalidades de exercício. De acordo com Carter *et al.*⁽⁹⁾ o exercício realizado em esteira poderia ser mais suscetível de sofrer uma variação diurna, devido a ação da corrida ter um maior potencial para variação do que a ação do ciclismo. Na corrida, a economia de movimento pode ser influenciada pela frequência e pelo comprimento dos passos⁽¹⁹⁾, assim como pela flexibilidade muscular e articular⁽²⁰⁾. Nesse sentido, Atkinson e Reilly⁽¹¹⁾ relatam uma marcada ritmicidade circadiana na rigidez da articulação do joelho e na massa corporal, fatores que podem interferir mais sig-

nificativamente na resposta do $\dot{V}O_2$ durante a corrida. Assim, talvez o $\dot{V}O_2$ obtido durante a corrida em esteira possa sofrer mais flutuações diurnas do que durante o ciclismo.

Os parâmetros do componente lento do $\dot{V}O_2$ não apresentaram significativas diferenças em relação a hora do dia (Tabela 2). Estes resultados estão de acordo com o encontrado por Carter *et al.*⁽⁹⁾ em exercício intenso. 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 doenças⁽⁶⁾. Nesse sentido, os achados do presente estudo sugerem que qualquer variação diurna na tolerância de ciclistas ao exercício, realizado em domínio muito intenso, não necessariamente está relacionada ao componente lento.

A determinação e a precisão dos parâmetros estimados da cinética do $\dot{V}O_2$ em diferentes domínios de intensidade dependem da magnitude da distribuição das flutuações medidas respiração por respiração (“ruído”). Uma das alternativas para aumentar a confiabilidade é a realização de duas ou mais idênticas transições, este procedimento aumenta o sinal e diminui o “ruído”^(16,18). Nesse sentido, a realização de duas idênticas transições no mesmo dia tem sido usada em alguns estudos^(14,15). Apesar de alguns pesquisadores reportarem um efeito prévio do exercício na resposta da cinética do $\dot{V}O_2$, quando se utiliza um curto período de recuperação entre as transições^(21,22), um recente estudo realizado com ciclistas e estudantes demonstrou que exercício prévio (6 min - 70% Δ) não afeta os parâmetros dos componentes primário e lento (amplitudes e constantes de tempos), quando se utiliza um intervalo de 60 min de recuperação entre as transições⁽²³⁾, tal como o adotado no presente estudo.

Em conclusão, os dados sugerem que as respostas da cinética do $\dot{V}O_2$ de ciclistas, exercitando-se em domínio muito intenso (75% Δ), não sofrem influência da hora do dia (08:00, 13:00 e 18:00 horas). Este resultado torna mais ampla a disponibilidade de horários para a avaliação da cinética do $\dot{V}O_2$ de ciclistas, resguardando uma possível influência da variação diurna.

AGRADECIMENTOS

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

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Atkinson G, Reilly T. Circadian variation in sports performance. *Sports Medicine*, 21, 292-312. Reilly, T., & Brooks, G.A. (1990). Selective persistence of circadian rhythms in physiological responses to exercise. *Chronobiol Int* 1996; 7: 59-7.
2. Whipp BJ, Wasserman K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol* 1972; 33: 351-6.
3. Barstow TJ, Mole PA. Linear and non-linear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol* 1991; 71: 2099-106.
4. Ozyener 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.
5. Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med* 2000; 29: 373-86.
6. Jones AM, Poole DC. Oxygen uptake dynamics: From muscle to mouth - An introduction on the symposium. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37: 1542-50.
7. Hill DW. Effect of time of day on aerobic power in exhaustive high-intensity exercise. *J Sports Med Phys Fitness* 1996; 36: 155-60.
8. Marth PD, Woods RR, Hill DW. Influence of time of day on anaerobic capacity. *Percept Mot Skills* 1998; 86: 592-94.
9. Carter H, Jones AM, Maxwell NS, Doust JH. The effect of interday and diurnal variation on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *J Sports Sci* 2002; 20: 901-9.
10. Jeukendrup AE, Craig NP, Hawley JA. (2000). The bioenergetics of world class cycling. *J Sci Med Sport* 2000; 3: 414-33.
11. Buysse DJ, Reynolds III CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. The Pittsburgh sleep quality index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res* 1989; 28: 193-213.
12. 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.
13. Taylor HL, Buskirk E, Henschel A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J Appl Physiol* 1955; 8: 73-80.
14. 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.
15. 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.
16. Koga S, Shiojiri T, Kondo N. Measuring kinetics: The practicalities. In: Jones AM, Poole DC. *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*. Routledge; 2005: 39-61.
17. Drust B, Waterhouse J, Atkinson G, Edwards B, Reilly T. Circadian rhythms in sports performance: an update. *Chronobiol Int* 2005; 22: 21-44.
18. 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.
19. Morgan DW, Martin PE, Krahenbuhl GS. Factors affecting running economy. *Sports Med* 1989; 7: 310-30.
20. Jones AM. Running economy is negatively related to sit and reach test performance in international standard distance runners. *Int J Sports Med* 2002; 23: 40-3.
21. Bearden SE, Moffatt RJ and heart rate kinetics in cycling: transitions from an elevated baseline. *J Appl Physiol* 2001; 90: 2081-7.
22. Burnley M, Doust JH, Carter H, Jones, AM. Effects of prior exercise and recovery duration on oxygen uptake kinetics during heavy exercise in humans. *Exp Physiol* 2001; 86: 417-25.
23. Burnley M, Doust JH, Jones, AM. Time required for the restoration of normal heavy exercise kinetics following prior heavy exercise. *J Appl Physiol* 2006; 101: 1320-7.