

Efeito do exercício prévio severo nos parâmetros da relação potência - tempo em indivíduos ativos no ciclismo

Effect of previous severe exercise on the power-time relationship in active individuals during cycling

Renato Aparecido Corrêa Caritá¹, Cintia Picarelli¹, Camila Coelho Greco^{1*}, Benedito Sérgio Denadai¹

ARTIGO ORIGINAL | ORIGINAL ARTICLE

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar o efeito do exercício prévio severo (EPS) sobre a potência crítica (PC) e a capacidade de trabalho anaeróbio (CTA) determinados durante o exercício de ciclismo. Sete indivíduos realizaram os seguintes protocolos em cicloergômetro: (a) teste progressivo para determinação do limiar ventilatório (LV), consumo máximo de oxigênio (VO₂max) e sua respectiva intensidade (IVO₂max); (b) seis testes de carga constante em ordem aleatória, com (EPS) e sem (CON) a realização de EPS. O EPS foi realizado durante 6 min a 70%Δ (i.e., 70% da diferença entre o LV e a IVO₂max). A PC na condição CON (199.71 ± 27.08 W) não foi significativamente diferente da condição EPS (211.71 ± 29.92 W). Do mesmo modo, a CTA não foi significativamente diferente entre as condições (CON = 23.46 ± 10.76 kJ vs. EPS = 17.51 ± 8.44 kJ). Portanto, o exercício prévio severo (70%Δ) seguido por 6 min. de recuperação não influencia a determinação da PC e da CTA em indivíduos ativos.

Palavras-chaves: treinamento aeróbio, aquecimento, metabolismo

ABSTRACT

The aim of this study was to analyse the effect of prior severe exercise (PSE) on the critical power (CP) and anaerobic work capacity (AWC) determined during cycling exercise. Seven males, performed on different days, the following protocols on a cycle ergometer: (a) incremental test to determine ventilatory threshold (VT), maximal oxygen consumption (VO₂max) and its corresponding intensity (IVO₂max), (b) six constant-work-rate tests in random order, with (PSE) and without (CON) the completion of PSE. The PSE was preceded by 6 min at 70%Δ (i.e., 70% of the difference between VT and IVO₂max). The estimation of the CP at CON condition (199.71 ± 27.08 W) was not significantly different from the condition PSE (211.71 ± 29.92 W). Similarly, AWC was not significantly different between conditions (CON = 23.46 ± 10.76 kJ vs. PSE = 17.51 ± 8.44 kJ). Thus, prior severe exercise (70%Δ) followed by 6 min of recovery does not influence the estimation of CP and AWC in active individuals.

Keywords: aerobic training, warm up, metabolism

Artigo recebido a 09.09.2013; Aceite 02.06.2014

¹ Laboratório de Avaliação da Performance Humana - UNESP - Rio Claro, São Paulo, Brasil

* Autor correspondente: Av. 24 A, 1515, Bela Vista - Rio Claro - SP - Brasil - CEP - 13506-900;

E-mail: greccoc@rc.unesp.br

INTRODUÇÃO

As respostas do consumo de oxigênio (VO_2) e do lactato sanguíneo ao exercício de carga constante têm sido utilizadas para caracterizar os diferentes domínios de intensidade de exercício (i.e., moderado, pesado e severo) (Gaesser & Poole, 1996). No domínio moderado, as concentrações de lactato são próximas aos valores de repouso e o VO_2 , após 2-3 minutos do início do exercício, apresenta-se estável ao longo do tempo. Assim, este domínio tem seu limite superior no limiar de lactato (LL - primeiro e sustentado aumento da concentração de lactato em relação aos valores de repouso). O domínio pesado apresenta intensidades de exercício entre o LL e a potência crítica (PC). Estas intensidades apresentam concentrações mais elevadas de lactato sanguíneo ($\sim 2 - 6$ mM), mas que ainda possuem estabilidade ao longo do tempo. Neste domínio, pelo surgimento da componente lenta, o VO_2 apresenta uma estabilidade mais tardia (i.e., após 15-20 min). No domínio severo, que compreende intensidades de exercício acima da PC, o lactato sanguíneo e o VO_2 não apresentam estabilidade ao longo do tempo. A maior amplitude da componente lenta do VO_2 permite que seu valor máximo (i.e., $\text{VO}_{2\text{max}}$) seja alcançado.

Para exercícios realizados no domínio severo, a relação entre a potência gerada externamente (P) e o seu respectivo tempo máximo de exercício (i.e., tempo limite - t_{lim}) tem sido descrita por diferentes modelos matemáticos (Bergstrom et al., 2012; Bull, Housh, Johnson, & Perry, 2000; Hill, 1993). Os modelos de dois parâmetros (lineares - equações 1 e 2 e hiperbólico - equação 3) têm sido comumente adotados para estimar a PC e a capacidade de trabalho anaeróbio (CTA) (Bull et al., 2000; Dekerle, Brickley, Hammond, Pringle, & Carter, 2006).

$$P = (CTA/t_{\text{lim}}) + PC \quad (1)$$

$$\text{Trabalho} = (PC \times t_{\text{lim}}) + CTA \quad (2)$$

$$t_{\text{lim}} = CTA/(P-PC) \quad (3)$$

Onde: t_{lim} = tempo limite, CTA = capacidade de trabalho anaeróbio, P = potência e PC = potência crítica.

De acordo com o modelo da PC, existem apenas dois componentes que fornecem energia para o exercício (i.e., anaeróbio e aeróbio) (Morton, 2006). O metabolismo aeróbio possui grande capacidade energética (i.e., total de energia que pode ser transferida para a ressíntese de adenosina trifosfato - ATP), mas é limitado em relação à sua taxa de produção de energia (i.e., quantidade de energia que pode ser transferida para a ressíntese de ATP por unidade de tempo). No modelo, a PC representa o limite superior de intensidade de exercício onde existe uma sustentável taxa de ressíntese de ATP que é realizada predominantemente pelo metabolismo aeróbio, podendo ser mantida teoricamente por um tempo indefinido (Morton, 2006). De fato, vários estudos com delineamentos transversais (ex., correlações entre a PC e a resposta do lactato ao exercício) (Denadai, Gomide, & Greco, 2005; Greco, Caritá, Dekerle, & Denadai, 2012) e longitudinais (efeitos do treino) (Jenkins & Quigley, 1992) têm confirmado que a PC é sensível a mudanças que podem ocorrer no metabolismo aeróbio em função dos diferentes níveis de aptidão aeróbia. Ainda de acordo com o modelo, o metabolismo anaeróbio apresenta uma alta taxa de produção energética, mas com capacidade de produção de energia reduzida, sendo seus estoques representados pela CTA. Assim, a CTA compreende os estoques limitados de energia, ou seja, as reservas de fosfatos (ATP e creatina fosfato - CP), a quantidade de O_2 no sangue e ligado à mioglobina e a glicólise anaeróbia, podendo ser definida como a quantidade constante de trabalho que pode ser realizada acima da PC.

Tem sido descrito que o aquecimento / exercício prévio pode melhorar a performance (i.e., t_{lim}) de um exercício subsequente realizado acima da PC (i.e., domínio severo) (Jones, Wilkerson, Burnley, & Koppo, 2003). Muitos estudos têm relacionado este aumento do t_{lim}

a fatores como o aumento da velocidade da condução nervosa, alteração na relação força-velocidade da contração muscular e/ou aumento do fluxo sanguíneo muscular (Bishop, 2003; Carter et al., 2005; Gerbino, Ward, & Whipp, 1996). Carter, Grice, Dekerle, Brickley, Hammond, e Pringle (2005) e Burnley, Doust, e Jones (2002) demonstraram que o exercício prévio pode influenciar a cinética do VO_2 , aumentando a amplitude primária e diminuindo a componente lenta, o que pode reduzir a contribuição anaeróbia no início do exercício. Assim, de acordo com o modelo da PC, a tolerância (tempo de exaustão) ao exercício realizado no domínio severo pode aumentar pela menor taxa de depleção da CTA no início do exercício (Jones, Wilkerson, DiMenna, Fulford, & Poole, 2008).

O exercício prévio realizado no domínio pesado (i.e., < PC) seguido de uma recuperação suficiente (> 9-10 min) pode prolongar o tlim em até 60% (Bailey, Vanhatalo, Wilkerson, Dimenna, & Jones, 2009; Carter et al., 2005; Jones et al., 2003). Em contraste, o exercício prévio realizado no domínio severo (carga para induzir a exaustão entre 6-8 min) seguido por recuperações mais curtas (2-6 min) (Ferguson et al., 2007, 2010) ou mesmo mais longas (15 min) (Ferguson et al., 2010) pode reduzir o tlim, refletindo na redução da CTA. Entretanto, o exercício severo realizado em menor intensidade (70% da diferença da carga do limiar ventilatório - LV e do VO_{2pico} - VO_{2pico} , tlim ~ 15-20 min) e com recuperação suficiente (> 6 min) aumenta em até 15-30% o tlim no domínio severo (Bailey et al., 2009). Assim, para o exercício prévio realizado no domínio severo, parece existir uma relação ótima entre a intensidade e a duração da recuperação, para que a tolerância ao exercício possa ser aumentada. Esta combinação provavelmente otimiza o balanço entre os efeitos positivos do exercício prévio na cinética do VO_2 e o tempo suficiente de recuperação da homeostase muscular (restauração de CP e íons H^+). Além disso, tem sido verificado um aumento da eletromiografia integrada (iEMG) nos dois primeiros minutos

de exercício severo que é realizado após o exercício prévio, sugerindo uma mudança no padrão de recrutamento muscular (Burnley et al., 2002). Esta mudança no início do exercício permite que a demanda metabólica por fibra muscular seja reduzida e que o recrutamento adicional de fibras ao longo do exercício severo (i.e., acima de 2 min de exercício), possa ser menor (Bailey et al., 2009). O padrão de recrutamento muscular tem implicações no desenvolvimento da componente lenta do VO_2 , a qual também se tem mostrado menor após o exercício prévio (Bailey et al., 2009). Menor componente lenta do VO_2 pode explicar o aumento da tolerância no exercício realizado no domínio severo (Jones et al., 2011).

Deste modo, o objetivo deste estudo foi investigar o efeito do exercício prévio severo na estimativa da PC e da CTA em indivíduos ativos. Baseado nos estudos citados anteriormente (Bailey et al., 2009), foi colocada a hipótese de que o exercício prévio severo, que permite exaustão por volta de 15-20 min, e tempo de recuperação adequado (> 6 min), pode aumentar o tlim e, conseqüentemente, a PC, sem modificar a CTA.

MÉTODO

Amostra

Participaram neste estudo sete indivíduos do sexo masculino, ativos mas não treinados em qualquer tipo de treinamento regular, específico do ciclismo (idade: 21.85 ± 1.21 anos; massa corporal: 80.58 ± 13.86 kg; estatura: 175.28 ± 5.34 cm; VO_{2max} : 3527.28 ± 612.42 $ml \cdot min^{-1}$). Todos os indivíduos foram informados sobre os procedimentos do experimento e suas implicações, assinando um termo de consentimento livre e esclarecido para participação deste estudo. O protocolo deste estudo foi aprovado pelo comitê de ética local em pesquisa da universidade onde o estudo foi conduzido e foi realizado de acordo com a declaração de Helsinki.

Instrumentos

Os testes foram realizados em um cicloergômetro de frenagem eletromagnética (Excalibur Sport, Lode, BV, Croningen, Holanda). O VO_2 foi mensurado respiração a respiração durante todos os testes a partir do gás expirado (QuarkPFTergo, Cosmed, Roma, Itália). A análise da concentração de lactato sanguínea ([La]) foi feita por meio de um analisador eletroquímico (YSI 2300 STAT, Yellow Spring, Ohio, EUA). A frequência cardíaca (FC) foi mensurada por meio da utilização de monitor cardíaco Polar (S810, Polar Electro, Finland).

Procedimentos

Foram realizados sete testes em dias diferentes, dentro de um período de 2 a 3 semanas. Foi observado pelo menos 48 horas de intervalo entre cada sessão experimental. Inicialmente os sujeitos realizaram um teste progressivo para determinação do LV, do $\text{VO}_{2\text{max}}$ e da sua respectiva intensidade ($\text{IVO}_{2\text{max}}$). A seguir foram realizados seis testes preditivos de carga constante com e sem a realização de um exercício prévio severo nas intensidades de 95, 100 e 110% $\text{IVO}_{2\text{max}}$ em ordem aleatória para determinação da PC e da CTA. Todos os testes foram realizados em dias diferentes, em um laboratório com condições ambientais controladas (temperatura 21 - 23°C, umidade relativa do ar - 40 - 50%) e no mesmo horário do dia (\pm 2h). Os sujeitos foram instruídos a não praticar exercícios exaustivos no dia anterior ao da avaliação, não ingerir bebidas contendo cafeína e álcool nas 24 horas que antecederam os testes e a comparecerem alimentados e hidratados no dia do teste. Todos os voluntários relataram ter cumprido estas orientações.

Protocolo incremental

Os sujeitos realizaram um teste progressivo para determinação do LV, $\text{VO}_{2\text{max}}$ e $\text{IVO}_{2\text{max}}$ com intensidade inicial de 35 W e incrementos de 35 W a cada 3 minutos, com frequência de pedalada mantida a 70 rpm até a exaustão voluntária (Caputo & Denadai, 2008). No final de cada estágio foram coletados, sem pausa, a

FC e 25 μl de sangue do lóbulo da orelha. A calibração do sistema de análise das concentrações de oxigênio (O_2) e gás carbônico (CO_2) foi realizada antes de cada teste, usando ar ambiente e um gás com concentrações conhecidas de O_2 e CO_2 de acordo com as instruções do fabricante (Cosmed, 2003). A turbina do analisador foi calibrada através de uma seringa de três litros (Cosmed, Roma, Itália). Os dados de VO_2 foram suavizados e obtidas as médias de 15 s, sendo que o mais alto valor neste intervalo foi considerado como o $\text{VO}_{2\text{max}}$. Todos os sujeitos preencheram no mínimo dois dos três critérios para o $\text{VO}_{2\text{max}}$: 1) Razão de trocas gasosas ($R \geq 1.1$); 2) Frequência cardíaca máxima no mínimo igual 90% da máxima prevista pela idade; 3) concentração pico de lactato maior que 8 mM (Taylor, Buskirk, & Henschel, 1955). O LV foi estimado conforme as recomendações de Beaver, Wasserman, e Whipp (1986), no qual o LV foi examinado visualmente, usando as respostas dos parâmetros equivalentes ventilatórios do CO_2 (VE/CO_2) e do O_2 (VE/O_2) e das frações expiradas de CO_2 (PETCO_2) e de O_2 (PET O_2). Os critérios para determinar o LV foram: aumento na curva da relação VE/VO_2 e na $\text{P}_{\text{ET O}_2}$, sem alteração da relação VE/VCO_2 e na $\text{P}_{\text{ET CO}_2}$. O LV foi detectado por dois observadores independentes. No caso de discordância entre os avaliadores (1 voluntário), um terceiro pesquisador foi consultado. A $\text{IVO}_{2\text{max}}$ foi considerada como sendo a menor intensidade de exercício na qual ocorreu o $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Billat, Hill, Pinoteau, Petit, & Koralsztein, 1996).

Protocolo para determinação da PC e CTA nas condições controle (CON) e com exercício prévio severo (EPS)

Os voluntários foram submetidos a 6 testes de carga constante com (EPS) e sem (CON) a realização de um exercício prévio severo, nas intensidades de 95, 100 e 110% $\text{IVO}_{2\text{max}}$. Todos os testes foram realizados em ordem aleatória e em dias diferentes (Caputo & Denadai, 2008). Na condição CON os voluntários pedalarão a 20 W por 3 min,

posteriormente, a intensidade foi ajustada para 95, 100 ou 110%IVO₂max e os voluntários pedalararam até a exaustão voluntária ou até que não pudessem manter a intensidade estipulada (cadência < 70 rpm) (Figura 1). Na condição EPS, os sujeitos pedalararam a 20 W por 3 min, posteriormente realizaram um EPS por 6 min a 70%Δ (70% da diferença entre o LV e a IVO₂max), seguidos por 6 min a 20 W (Burnley, Doust, Carter, & Jones, 2001). Foi realizada uma coleta de sangue do lóbulo da orelha no final do 6º min do EPS e no final do 6º min de recuperação para dosagem da [La]. Posteriormente, a intensidade foi ajustada para 95, 100 ou 110%IVO₂max e os indivíduos pedalararam até a exaustão voluntária ou até que não pudessem manter a intensidade estipulada (cadência < 70 rpm) (Figura 1). As intensidades das cargas preditivas foram escolhidas para se atingir a exaustão entre 3 - 15 min, aproximadamente (di Prampero, 1999; Hill, 1993). O tlim foi considerado como o tempo total de esforço mantido na carga preditiva e expresso em segundos (Hill, 1993). Durante todo o teste o indivíduo foi encorajado a realizar o esforço máximo, não recebendo, entretanto nenhuma informação sobre a duração do teste. A FC foi monitorada durante todo o teste e ao final do mesmo foi realizada uma coleta de sangue do lóbulo da orelha para dosagem da [La]. O VO₂ foi mensurado respiração a respiração durante todo o protocolo a partir do gás expirado, sendo os dados reduzidos às médias de 15 s. O VO₂pico foi considerado o maior valor médio de 15 s analisado durante o teste de carga constante.

Os valores individuais de potência e tlim obtidos durante os testes de carga constante foram ajustados a partir dos três modelos de dois parâmetros [$P = CTA/t_{lim} + PC$; $t_{lim} = CTA/(P-PC)$; $P = PC.t_{lim} + CTA$] para estimar a PC e a CTA (Bull et al., 2000). A PC e a CTA determinadas pelas três equações foram comparadas e o modelo com o menor erro padrão da estimativa (Hill & Smith, 1994), foi utilizado para as comparações nas diferentes condições experimentais.

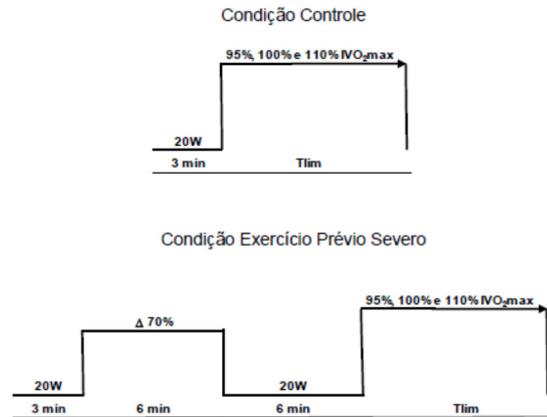


Figura 1. Esquema representativo do delineamento experimental. No topo da figura, a condição controle (CON), e na parte inferior a condição com a realização do exercício prévio severo (EPS).

Determinação dos parâmetros da cinética do consumo de oxigênio

Nos testes de carga constante realizados a 95, 100 e 110%IVO₂max os valores do VO₂ medido respiração-a-respiração foram filtrados e interpolados para obter-se um valor a cada segundo. Os dados dos primeiros 20 s de exercício foram removidos da análise.

Para a intensidade de 95%IVO₂max, a análise da cinética do VO₂ foi feita por meio de um modelo bi-exponencial (Equação 4).

$$VO_2(t) = VO_{2b} + A_1 \left[1 - \ell^{-\left(\frac{t-TD_1}{\tau_1}\right)} \right] + A_2 \left[1 - \ell^{-\left(\frac{t-TD_2}{\tau_2}\right)} \right] \quad (4)$$

Onde: VO₂(t) - consumo de oxigênio no tempo t; VO_{2b} - VO₂ de base representa o VO₂ médio dos últimos 60 s antes do início do exercício; A₁ - amplitude da resposta primária do VO₂ (diferença entre o VO₂assíntota e o VO₂base); o TD₁ é o tempo de atraso da resposta primária do VO₂; o τ₁ é a constante de tempo da resposta primária do VO₂ (definida como o tempo necessário para atingir 63% de A); o A₂ é a amplitude da sua resposta secundária; o TD₂ é o tempo de atraso da resposta secundária do VO₂; o τ₂ é a constante de tempo da resposta secundária.

O incremento relevante do VO₂ corresponde à amplitude da fase I (A₁'), que reflete de forma mais próxima a cinética da troca gasosa em nível muscular, foi calculado da seguinte forma:

$$A_1' = A_1 \left(1 - e^{\left(\frac{-(TD_2 - TD_1)}{\tau_1} \right)} \right) \quad (5)$$

Como o valor da assíntota (A_2) pode representar um valor maior do que o real no final do exercício, o valor do componente exponencial lento do VO_2 no final do exercício foi definido como A_2' :

$$A_2' = A_2 \left(1 - e^{\left(\frac{-(ED - TD_2)}{\tau_2} \right)} \right) \quad (6)$$

Onde: ED é a duração do exercício.

Para as intensidades de 100 e 110% IVO_2 max, os valores de VO_2 foram plotados por meio de um modelo monoexponencial por meio da seguinte equação:

$$VO_2(t) = VO_{2b} + A_1 \left[1 - e^{\left(\frac{t - TD_1}{\tau_1} \right)} \right] \quad (7)$$

Onde: $VO_2(t)$ - consumo de oxigênio no tempo t ; VO_{2b} - VO_2 de base; A - amplitude da resposta pri-

mária do VO_2 ; o TD é o tempo de atraso da resposta primária do VO_2 ; o τ é a constante de tempo da resposta primária do VO_2 .

Análise Estatística

Foram calculadas as médias \pm DP dos dados obtidos. A existência de normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. A comparação entre as diferentes condições (CON vs. EPS) foi realizada por meio do teste t Student para dados pareados. O tamanho do efeito (*Score d*) foi calculado de acordo com Cohen (1988). Para a análise da cinética do VO_2 foi utilizado o software Microcal Origin 6.0 (Northampton, MA, EUA). Em todos os testes foi adotado um nível de significância de $p < 0.05$. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico SPSS 18.0.

RESULTADOS

As variáveis obtidas no teste incremental estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1

Valores médios \pm DP das variáveis obtidas no protocolo incremental ($N = 7$)

	Média \pm DP
IVO_2max (W)	271.1 \pm 40.6
VO_2max (ml.min⁻¹)	3527.3 \pm 612.4
VO_2max (ml.kg⁻¹.min⁻¹)	44.0 \pm 5.7
LV (W)	125.0 \pm 18.7
LV% (%IVO_2max)	46.4 \pm 5.8
FCmax (bpm)	182 \pm 5
[La]pico (mM)	11.6 \pm 1.3
R	1.21 \pm 0.12

VO_2 max - consumo máximo de oxigênio; IVO_2 max - intensidade associada ao VO_2 max; LV - limiar ventilatório; LV% - percentual do limiar ventilatório; FCmax - frequência cardíaca máxima; [La]pico - concentração de lactato pico; R = razão de trocas respiratórias.

A [La] obtida antes da sessão principal de exercício foi significativamente maior na condição EPS do que na condição CON (6.51 \pm 0.52 e 1.23 \pm 0.24 mM, respectivamente) ($p < 0.001$, $d = 13.92$). A intensidade do EPS (i.e.,

70% Δ) foi de 229.75 \pm 33.37 W, sendo significativamente maior do que a PC (199.71 \pm 27.08 W) ($p = 0.007$, $d = 0.99$). O tlim estimado para o exercício a 70% Δ foi de 23.10 \pm 18.56 min.

A Tabela 2 apresenta os valores do tlim, FC e [La] correspondentes a 95, 100 e 110%IVO₂max com (EPS) e sem (CON) a realização do exercício prévio severo. O tlim nas intensidades de 100 e 110%IVO₂max foi significativamente superior na condição CON do

que na condição EPS ($p = 0.02$, $d = 0.46$ e $p = 0.02$, $d = 0.60$, respectivamente).

A tabela 3 apresenta os valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do VO₂ nos exercícios de carga constante com (EPS) e sem (CON) a realização do exercício prévio severo.

Tabela 2

Valores médios \pm DP das variáveis obtidas a 95, 100 e 110% da intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio (IVO₂max) nas condições controle (CON) e exercício prévio severo (EPS). N= 7

		CON	EPS
95%IVO ₂ max	tlim (s)	501 \pm 140	473 \pm 99
	FC (bpm)	182 \pm 6	184 \pm 6
	[La] _{final} (mM)	10 \pm 1.4	11.1 \pm 2.7
100%IVO ₂ max	tlim (s)	381 \pm 103	334 \pm 101*
	FC (bpm)	180 \pm 7	185 \pm 8
	[La] _{final} (mM)	9.9 \pm 2.8	10.5 \pm 1.1
110%IVO ₂ max	tlim (s)	267 \pm 66	227 \pm 68*
	FC (bpm)	181 \pm 8	187 \pm 8
	[La] _{final} (mM)	8.9 \pm 2.4	11.6 \pm 2.7

tlim – tempo limite; FC – frequência cardíaca; [La]_{final} – concentração de lactato sanguíneo ao final do exercício. * $p < 0.05$ em relação à condição CON.

Tabela 3

Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do consumo de oxigênio (VO₂) nos exercícios de carga constante com (EPS) e sem (CON) a realização do exercício prévio severo. N= 7

		CON	EPS
95%IVO ₂ max	VO ₂ base (ml.min ⁻¹)	844,3 \pm 55,7	821,4 \pm 85,7
	TD1 (s)	1,81 \pm 2,2	3,39 \pm 4,3
	τ_1 (s)	20,6 \pm 6,5	20,5 \pm 10,3
	A ₁ ' (ml.min ⁻¹)	2145,3 \pm 501	2271,4 \pm 344,3
	TD ₂ (s)	94 \pm 45	107,6 \pm 30,8
	τ_2 (s)	97,6 \pm 76,1	89,1 \pm 71,5
	A ₂ ' (ml.min ⁻¹)	578,3 \pm 301,7	352,3 \pm 142,5
	VO ₂ pico (ml.min ⁻¹)	3608,7 \pm 596,9	3596,9 \pm 549,1
100%IVO ₂ max	VO ₂ base (ml.min ⁻¹)	851,1 \pm 41,2	823,1 \pm 34,4
	τ (s)	46,5 \pm 16	34,1 \pm 15,9*
	A ₁ (ml.min ⁻¹)	2631,5 \pm 479,6	2733,8 \pm 651,1
	TD (s)	10,7 \pm 8	7,7 \pm 7,6
	VO ₂ pico (ml.min ⁻¹)	3665,6 \pm 753,0	3403,4 \pm 623,6
110%IVO ₂ max	VO ₂ base (ml.min ⁻¹)	845,9 \pm 78,5	834,4 \pm 73
	τ (s)	37,3 \pm 10,3	23,6 \pm 5,6*
	A ₁ (ml.min ⁻¹)	2773,4 \pm 657,6	2601,3 \pm 591,5
	TD (s)	4,4 \pm 3,4	2,1 \pm 2,6
	VO ₂ pico (ml.min ⁻¹)	3734,9 \pm 596,6	3547,2 \pm 542,7

VO₂base - VO₂ de base; τ (s) - constante de tempo da resposta primária do VO₂; A - amplitude da resposta primária do VO₂ (ml.min⁻¹); TD (s) - tempo de atraso da resposta primária do VO₂; VO₂pico (ml.min⁻¹) - consumo de oxigênio pico. * $p < 0.05$ em relação à condição CON.

O τ foi significativamente menor após o exercício prévio nas intensidades de 100%IVO₂max ($p = 0.04$, $d = 0.78$) e 110%IVO₂max ($p = 0.003$, $d = 1.65$). O VO₂pico atingido ao final dos testes preditivos nas condições CON e EPS não foi significativamente diferente do VO₂max ($p > 0.05$).

A PC na condição CON (199.71 ± 27.08 W; $74.12 \pm 7.56\%$ IVO₂max) não foi significativamente diferente em relação à condição EPS (211.71 ± 29.92 W; $78.33 \pm 6.87\%$ IVO₂max) ($p > 0.05$). Da mesma forma, a CTA na condição CON (23.46 ± 10.76 kJ) não foi significativamente diferente relativamente à condição EPS (17.51 ± 8.44 kJ) ($p > 0.05$) (Figura 2).

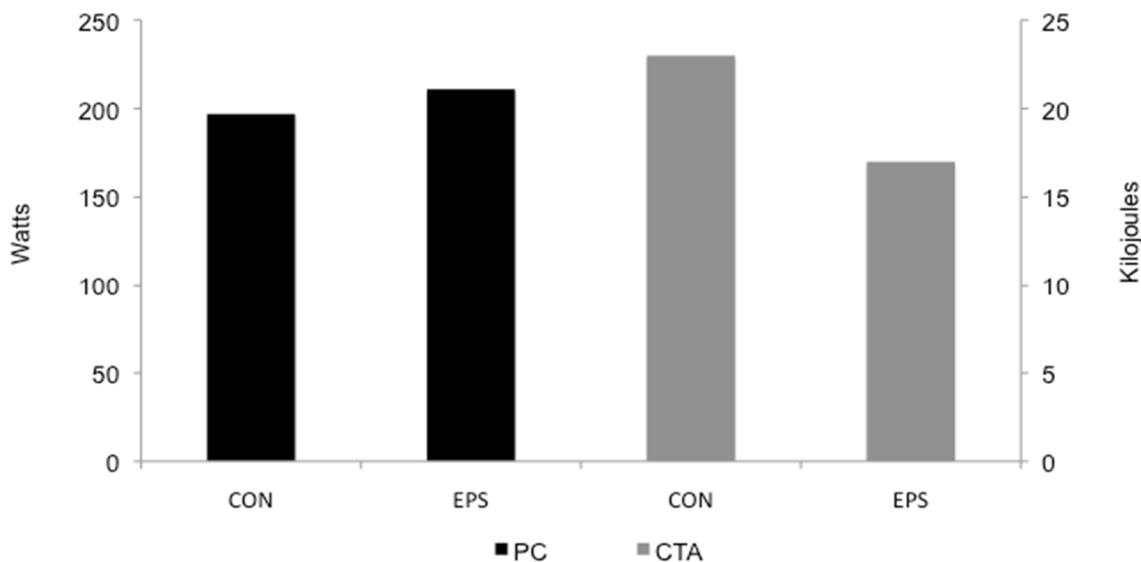


Figura 2. Valores médios da potência crítica (PC) e da capacidade de trabalho anaeróbio (CTA) com (EPS) e sem (CON) a realização do exercício prévio severo. N = 7

DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi analisar o efeito do EPS nos parâmetros da relação potência - tempo em indivíduos ativos. Nosso principal achado foi que a PC e CTA não são modificados pelo EPS durante o ciclismo. Esse dado contraria, pelo menos em parte, a nossa hipótese inicial de que em indivíduos ativos o EPS poderia influenciar a estimativa da PC sem modificar a CTA. Esse resultado é semelhante ao obtido por Burnley, Davison, e Baker (2011) que não encontraram diferenças na estimativa da PC, após 10 min da realização de um exercício prévio severo realizado durante 6 min em uma carga estimada que levaria à exaustão em 8 min.

Um aspecto que inicialmente deve ser analisado nesse estudo é a validade do protocolo utilizado para determinar a PC, já que este índice é protocolo-dependente (Bishop, Jenkins, & Howard, 1998; Calis & Denadai, 2000). Diversos estudos mostram que a PC é dependente da duração (tlim) que as cargas selecionadas permitem (isto é, quanto maior a duração das cargas utilizadas na predição menor a PC). Neste sentido, di Prampero (1999) sugere que as cargas selecionadas para a determinação da PC devem permitir um tlim entre 2 e 15 min e que o VO₂max seja atingido ao final do exercício. No presente estudo, embora o tlim nas cargas mais altas (100% e 110%IVO₂max) tenha sido reduzido pelo EPS, o mesmo está dentro do sugerido pela literatura

(~ 4-9 min). Além disso, o VO_2 pico atingido em todos os testes preditivos das condições CON e EPS não foi, significativamente, diferente do VO_2 max. Diversos estudos têm verificado que a cinética do VO_2 é alterada durante o exercício severo realizado após o exercício pesado (Bailey et al., 2009; Burnley, Doust, & Jones, 2002) e severo (Burnley, Davison, & Baker, 2011; Burnley, Doust, & Jones, 2005). Nestes estudos têm-se encontrado que a amplitude do componente primário pode ser aumentada, com (Burnley et al., 2011) ou sem (Burnley et al., 2005) modificações na taxa de ajuste do VO_2 (i.e., τ). Estas modificações na cinética do VO_2 nos momentos iniciais do exercício, têm sido associadas à melhoria da tolerância (tlim) durante o esforço severo, já que haveria redução na taxa de utilização das reservas anaeróbias (i.e., CTA). De fato, o tlim durante o exercício severo parece ser influenciado pela taxa de depleção da reservas de creatina fósforo (CP) e/ou pelo acúmulo de metabólitos (i.e., H^+ , Pi) (Miura, Sato, Sato, Whipp, & Fukuba, 2000). Assim, a aceleração da cinética do VO_2 no início do exercício diminui a taxa de utilização de CP e o acúmulo de metabólitos, podendo modificar o tlim no exercício severo. No nosso estudo, a cinética do VO_2 (i.e., τ) foi acelerada durante as cargas mais altas (100% e 110% IVO_2 max). Entretanto, o tlim nestas intensidades foi significativamente menor após o EPS. O exercício severo, diferente do exercício pesado, leva a uma depleção progressiva de CP e o acúmulo de metabólitos (Jones et al., 2008), sendo que a recuperação da CTA necessita de períodos de tempo relativamente longos ($t_{1/2} \sim 234$ s) (Ferguson et al., 2010). Portanto, a aceleração da cinética do VO_2 não parecer ser suficiente para contrabalançar os menores estoques de CP e/ou maior acúmulo de metabólitos determinados pelo EPS, levando a uma diminuição do tlim nas intensidades mais elevadas.

Interessantemente, Bailey, Vanhatalo, Wilkerson, Dimenna, e Jones (2009) verificaram recentemente que o tlim durante o exercício severo (80% Δ , ~ 80% IVO_2 max) aumentou em

até 15-30% após EPS (70% Δ) com recuperação suficiente (> 6 min), não aumentando entretanto após o exercício prévio pesado (40% Δ), independente do período de recuperação. Em nosso estudo, o tlim do exercício severo de menor intensidade (i.e., 95% IVO_2 max) não foi modificado pelo EPS. Se somarmos a estes dados que o exercício prévio pesado (< PC) aumenta o tlim do exercício severo de intensidade máxima (100% IVO_2 max) e supramáxima (> 100% IVO_2 max) (Jones et al., 2003), é possível colocar a hipótese sobre as possíveis relações entre exercício prévio e a tolerância no domínio severo. Para os exercícios no domínio severo de intensidade submáxima (< 95% IVO_2 max), a tolerância pode ser aumentada quando o exercício prévio é severo e a recuperação é suficiente (> 6 min). Nestas intensidades, a taxa de depleção da CTA é mais lenta e os efeitos do exercício prévio severo parecem otimizar mais as alterações que aumentam a tolerância ao exercício (i.e., aumento da amplitude e/ou da cinética do VO_2). Já nas intensidades maiores ($\geq 100\%IVO_2$ max), onde a taxa de depleção da CTA é proporcionalmente maior e portanto, a tolerância ao esforço mais dependente da CTA, o exercício prévio pesado, por causar menor depleção à CTA, parece aumentar mais a tolerância ao esforço. Assim, parece existir uma relação ótima entre os efeitos da intensidade do exercício prévio (i.e., menor ou maior utilização da CTA), tempo de recuperação (i.e., taxa de restauração da CTA) e a intensidade do exercício realizado subsequentemente (i.e., menor ou maior utilização da CTA).

No presente estudo, o EPS não modificou significativamente a PC, sendo consistente com evidências prévias (Burnley et al., 2011) de que a tolerância no exercício severo não é alterada por modificações da PC. Do mesmo modo, a CTA não foi estatisticamente diferente após o EPS. Entretanto, este dado deve ser analisado com ressalvas, já que a nossa amostra é pequena ($N = 7$), o que pode levar a um erro do tipo II. Assim, não é possível excluir a possibilidade de que o EPS realizado 6 min antes do exercí-

cio severo, possa modificar a tolerância ao exercício ao diminuir a CTA.

CONCLUSÕES

Com base nesses resultados pode-se concluir que o EPS acelera a cinética do VO₂ durante as cargas mais altas (100% e 110%IVO₂max). Entretanto, a tolerância ao esforço nestas cargas é diminuída após 6 min de recuperação. Isto não foi acompanhado por modificações significativas da PC e CTA. Assim, alterações da cinética do VO₂ nem sempre produzem aumento da tolerância ao esforço realizado acima da PC.

Agradecimentos:

Nada a declarar.

Conflito de Interesses:

Nada a declarar.

Financiamento:

Nada a declarar.

REFERÊNCIAS

- Bailey, S. J., Vanhatalo, A., Wilkerson, D. P., Dimenna, F. J., & Jones, A. M. (2009). Optimizing the «priming» effect: influence of prior exercise intensity and recovery duration on O₂ uptake kinetics and severe-intensity exercise tolerance. *Journal of Applied Physiology*, *107*(6), 1743–1756. <http://doi.org/10.1152/jappphysiol.00810.2009>
- Beaver, W. L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*, *60*(6), 2020–2027.
- Bergstrom, H. C., Housh, T. J., Zuniga, J. M., Camic, C. L., Traylor, D. A., Schmidt, R. J., & Johnson, G. O. (2012). A new single work bout test to estimate critical power and anaerobic work capacity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*(3), 656–663. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822b7304>
- Billat, V. L., Hill, D. W., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1996). Effect of protocol on determination of velocity at VO₂ max and on its time to exhaustion. *Archives of Physiology and Biochemistry*, *104*(3), 313–321. <http://doi.org/10.1076/apab.104.3.313.12908>
- Bishop, D. (2003). Warm up I: potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Sports Medicine*, *33*(6), 439–454.
- Bishop, D., Jenkins, D. G., & Howard, A. (1998). The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. *International Journal of Sports Medicine*, *19*(2), 125–129. <http://doi.org/10.1055/s-2007-971894>
- Bull, A. J., Housh, T. J., Johnson, G. O., & Perry, S. R. (2000). Effect of mathematical modeling on the estimation of critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *32*(2), 526–530.
- Burnley, M., Davison, G., & Baker, J. R. (2011). Effects of priming exercise on VO₂ kinetics and the power-duration relationship. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *43*(11), 2171–2179. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ff26d>
- Burnley, M., Doust, J. H., Carter, H., & Jones, A. M. (2001). Effects of prior exercise and recovery duration on oxygen uptake kinetics during heavy exercise in humans. *Experimental Physiology*, *86*(3), 417–425.
- Burnley, M., Doust, J. H., & Jones, A. M. (2002). Effects of prior heavy exercise, prior sprint exercise and passive warming on oxygen uptake kinetics during heavy exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology*, *87*(4-5), 424–432. <http://doi.org/10.1007/s00421-002-0647-8>
- Burnley, M., Doust, J. H., & Jones, A. M. (2005). Effects of prior warm-up regime on severe-intensity cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *37*(5), 838–845.
- Calis, J. F. F., & Denadai, B. S. (2000). Influência das cargas selecionadas na determinação da potência crítica determinada no ergômetro de braço em dois modelos lineares. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, *6*(1), 1–4. <http://doi.org/10.1590/S1517-86922000000100002>
- Caputo, F., & Denadai, B. S. (2008). The highest intensity and the shortest duration permitting attainment of maximal oxygen uptake during cycling: effects of different methods and aerobic fitness level. *European Journal of Applied Physiology*, *103*(1), 47–57. <http://doi.org/10.1007/s00421-008-0670-5>
- Carter, H., Grice, Y., Dekerle, J., Brickley, G., Hammond, A. J. P., & Pringle, J. S. M. (2005). Effect of prior exercise above and below critical

- power on exercise to exhaustion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(5), 775–781.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the behavioral sciences* (2.^a ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cosmed. (2003). *Quark PFT User manual [Manual]*. Rome: Cosmed.
- Dekerle, J., Brickley, G., Hammond, A. J. P., Pringle, J. S. M., & Carter, H. (2006). Validity of the two-parameter model in estimating the anaerobic work capacity. *European Journal of Applied Physiology*, 96(3), 257–264. <http://doi.org/10.1007/s00421-005-0074-8>
- Denadai, B. S., Gomide, E. B. G., & Greco, C. C. (2005). The relationship between onset of blood lactate accumulation, critical velocity, and maximal lactate steady state in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 364–368.
- Di Prampero, P. E. (1999). The concept of critical velocity: a brief analysis. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(2), 162–164. <http://doi.org/10.1007/s004210050574>
- Ferguson, C., Rossiter, H. B., Whipp, B. J., Cathcart, A. J., Murgatroyd, S. R., & Ward, S. A. (2010). Effect of recovery duration from prior exhaustive exercise on the parameters of the power-duration relationship. *Journal of Applied Physiology*, 108(4), 866–874. <http://doi.org/10.1152/jappphysiol.91425.2008>
- Ferguson, C., Whipp, B. J., Cathcart, A. J., Rossiter, H. B., Turner, A. P., & Ward, S. A. (2007). Effects of prior very-heavy intensity exercise on indices of aerobic function and high-intensity exercise tolerance. *Journal of Applied Physiology*, 103(3), 812–822. <http://doi.org/10.1152/jappphysiol.01410.2006>
- Gaesser, G. A., & Poole, D. C. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 24(1), 35–70.
- Gerbino, A., Ward, S. A., & Whipp, B. J. (1996). Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 80(1), 99–107.
- Greco, C. C., Caritá, R. A. C., Dekerle, J., & Denadai, B. S. (2012). Effect of aerobic training status on both maximal lactate steady state and critical power. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(4), 736–743. <http://doi.org/10.1139/h2012-047>
- Hill, D. W. (1993). The critical power concept. A review. *Sports Medicine*, 16(4), 237–254.
- Hill, D. W., & Smith, J. C. (1994). A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 34(1), 23–37.
- Jenkins, D. G., & Quigley, B. M. (1992). Endurance training enhances critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(11), 1283–1289.
- Jones, A. M., Grassi, B., Christensen, P. M., Krustup, P., Bangsbo, J., & Poole, D. C. (2011). Slow component of VO₂ kinetics: mechanistic bases and practical applications. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(11), 2046–2062. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821fcf11>
- Jones, A. M., Wilkerson, D. P., Burnley, M., & Koppo, K. (2003). Prior heavy exercise enhances performance during subsequent perimaximal exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(12), 2085–2092. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000099108.55944.C4>
- Jones, A. M., Wilkerson, D. P., DiMenna, F., Fulford, J., & Poole, D. C. (2008). Muscle metabolic responses to exercise above and below the «critical power» assessed using 31P-MRS. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 294(2), R585–593. <http://doi.org/10.1152/ajpregu.00731.2007>
- Miura, A., Sato, H., Sato, H., Whipp, B. J., & Fukuba, Y. (2000). The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. *Ergonomics*, 43(1), 133–141. <http://doi.org/10.1080/001401300184693>
- Morton, R. H. (2006). The critical power and related whole-body bioenergetic models. *European Journal of Applied Physiology*, 96(4), 339–354. <http://doi.org/10.1007/s00421-005-0088-2>
- Taylor, H. L., Buskirk, E., & Henschel, A. (1955). Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *Journal of Applied Physiology*, 8(1), 73–80.

