

RESPOSTA DO VO_2 E TEMPO DE EXAUSTÃO DURANTE A CORRIDA REALIZADA NA VELOCIDADE ASSOCIADA AO VO_{2MAX} : APLICAÇÕES PARA O TREINAMENTO AERÓBIO DE ALTA INTENSIDADE*

Dndo. FABRIZIO CAPUTO

Doutorando em Ciências da Motricidade

Laboratório de Avaliação da Performance Humana – Universidade Estadual Paulista

E-mail: fabriziocaputo@hotmail.com

Dr. BENEDITO SÉRGIO DENADAI

Professor Livre-Docente

Laboratório de Avaliação da

Performance Humana – Universidade Estadual Paulista

E-mail: bdenadai@rc.unesp.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi verificar, de maneira transversal, os efeitos do treinamento aeróbio na resposta do VO_2 e tempo de exaustão (T_{lim}) durante o exercício severo realizado na corrida. Dezesesseis corredores e onze sedentários realizaram em dias diferentes os seguintes testes: 1) teste incremental para determinação do VO_{2max} e a menor velocidade associada ao VO_{2max} (vVO_{2max}), e 2) Teste de velocidade constante até a exaustão na vVO_{2max} para determinar o T_{lim} e os tempos para se atingir e manter o VO_{2max} ($TAVO_{2max}$ e $TMVO_{2max}$, respectivamente). Os índices de aptidão aeróbia foram maiores nos corredores do que nos sedentários. Os sedentários apresentaram um maior T_{lim} e $TAVO_{2max}$, porém um mesmo $TMVO_{2max}$ em relação aos corredores. Podemos concluir que o T_{lim} e o $TAVO_{2max}$ foram sensíveis ao treinamento aeróbio.

PALAVRAS-CHAVE: Corrida; tempo limite; consumo máximo de oxigênio; treinamento aeróbio.

*Apoio: CNPq e Fapesp

INTRODUÇÃO

Há várias décadas muitos técnicos e atletas vêm utilizando empiricamente programas de treinamento intervalado com o objetivo de melhorar a performance aeróbia. Porém, só recentemente os cientistas do esporte têm buscado entender os mecanismos fisiológicos envolvidos por trás desta prática. Nos últimos anos, inúmeros estudos têm descrito o perfil fisiológico de atletas de elite em diferentes modalidades. Estas investigações têm consistentemente identificado diversas variáveis fisiológicas que estão estritamente relacionadas com o sucesso em eventos de *endurance*. Dentre as principais está um elevado consumo máximo de oxigênio (VO_2max) (Billat et al., 2002), velocidade associada ao VO_2max ($v\text{VO}_2\text{max}$) (Noakes et al., 1990), e limiar anaeróbio (LAN) (Sjodin, Jacobs, 1981). Atualmente, diferentes modelos de estudo têm buscado entender como essas variáveis respondem ao treinamento aeróbio crônico e a sua possível aplicação para a prescrição adequada do treinamento aeróbio (Sjodin et al., 1982; Billat et al., 1999).

Em indivíduos sedentários ou ativos melhoras tanto de performance aeróbia quanto dos índices fisiológicos que predizem esta performance são evidentes após um treinamento aeróbio realizado em intensidades submáximas (Green et al., 1987). No entanto, um aumento adicional no treinamento aeróbio submáximo (maior volume) em indivíduos altamente treinados não parece modificar a performance aeróbia nem suas variáveis fisiológicas associadas (i.e., VO_2max , LAN) (Lake et al., 1996). Desta forma, as melhoras de performance aeróbia em indivíduos treinados parecem ser alcançadas somente através do treinamento intervalado de alta intensidade (TAI) (Laursen, Jenkins, 2002).

Uma variável que tem sido utilizada para a prescrição do TAI com um razoável sucesso em corredores é a $v\text{VO}_2\text{max}$, definida como a velocidade de corrida na qual o VO_2max é atingido durante um teste incremental (Billat, 2001). Esta variável tem sido amplamente validada como um índice apropriado para prescrição da intensidade adequada do treinamento (Anderson, 1994; Billat et al., 1999; Ortiz et al., 2003). O que ainda permanece incerto seria a escolha de uma duração ótima de exercício para ser realizado em cada estímulo. Um modelo que tem sido proposto é a utilização fracionada do tempo que cada atleta pode correr até a exaustão na sua respectiva $v\text{VO}_2\text{max}$ (Tlim), estabelecendo individualmente a duração ideal de cada estímulo (Billat et al., 1999; Smith et al., 2003).

Mesmo adotando frações do Tlim para prescrição do TAI, ainda permanece o debate sobre a fração ideal a ser utilizada. Alguns dados previamente reportados na literatura sugerem que estímulos em torno de 50-60% do Tlim parecem ser ótimos para melhorar a performance em eventos de *endurance* (Billat et al., 1999;

Ortiz et al., 2003; Smith et al., 2003). Por outro lado, Hill e Rowell (1997) criticam esta utilização, uma vez que seus voluntários (corredoras de meio-fundo) alcançaram o VO_2max (TAVO_2max) a 80% Tlim , indicando que estímulos próximos ou inferiores a 60% Tlim não seriam suficientes para se atingir o VO_2max . Um outro fator apontado também por Hill e Rowell (1997) e Hill et al. (1997), seria a variabilidade individual apresentada pelo TAVO_2max tanto para corredoras como indivíduos ativos, sugerindo que os estímulos do TAI fossem individualizados a partir do TAVO_2max . Esses dados demonstram a grande influência da cinética do VO_2 sobre o TAVO_2max e, conseqüentemente, na elaboração dos programas de TAI baseados na vVO_2max e no Tlim . Desta forma, seria importante entender como o VO_2 responde durante o exercício realizado na vVO_2max , e ainda que possíveis efeitos o treinamento aeróbio pode exercer sobre essa resposta. Portanto, o objetivo deste estudo foi verificar, de maneira transversal, os efeitos do treinamento aeróbio de corrida na resposta do VO_2 e Tlim durante o exercício realizado na velocidade correspondente ao VO_2max .

MATERIAL E MÉTODOS

Sujeitos

Participaram do estudo 16 corredores ($23,3 \pm 5,4$ anos, $63,7 \pm 6,5$ kg, $173,3 \pm 7,6$ cm) bem treinados em provas de fundo e 11 indivíduos sedentários ($26,8 \pm 4,1$ anos, $74,9 \pm 14,3$ kg, $175,1 \pm 5,1$ cm), sendo todos do sexo masculino. Os atletas possuíam $4,6 \pm 1,6$ anos de treino específico na modalidade e treinavam em média 75 ± 13 km por semana, na época referente ao experimento. Cada voluntário foi informado sobre os procedimentos do experimento e suas implicações, tendo assinado um termo de consentimento para a participação no estudo. O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da universidade onde o estudo foi realizado.

Procedimentos experimentais

Cada voluntário participou de 2 sessões experimentais, com intervalos de 3 a 5 dias entre as sessões. Os sujeitos foram orientados a comparecerem aos testes descansados, alimentados e hidratados e a não realizarem esforços intensos nas últimas 48 horas. Em relação a cada voluntário, os testes foram realizados no mesmo local e horário do dia (± 2 horas).

Os testes de corrida foram realizados em uma esteira rolante motorizada (Inbramed Millenium Super ATL, Porto Alegre, Brasil) mantida com 1% de inclinação. As variáveis respiratórias foram medidas usando um analisador de gases (Cosmed K4, Roma, Itália), coletando dados respiração a respiração, sendo feitas posteriormente médias a cada 15 s para o teste incremental e médias a cada 5 s para os testes de carga constante na $\dot{V}O_{2\max}$. A frequência cardíaca (FC) foi monitorada através de um frequencímetro (Polar, Kempele, Finlândia) interligado ao analisador de gases. Este analisador foi previamente validado em diversas intensidades de exercício (McLaughlin et al., 2001). Antes de cada teste, os sistemas de análise do O_2 e CO_2 foram calibrados usando o ar ambiente e um gás com concentrações conhecidas de O_2 e CO_2 , enquanto a turbina bidirecional (medidor de fluxo) foi calibrada usando uma seringa de 3-L (Cosmed K4b², Roma, Itália). As amostras de sangue foram analisadas através de um analisador eletroquímico de lactato (YSL 2300 STAT, Ohio, EUA).

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

O teste incremental realizado na esteira rolante teve a velocidade inicial de 13 km.h⁻¹ para os corredores e 8 km.h⁻¹ para os sedentários, com incrementos de 1 km.h⁻¹ a cada três minutos, até a exaustão voluntária. Ao final de cada estágio houve uma pausa de 30 s, onde foram coletadas a frequência cardíaca (FC) e 25µl de sangue do lóbulo da orelha.

O mais alto $\dot{V}O_2$ obtido durante 15 s foi considerado como o $\dot{V}O_{2\max}$. Todos os sujeitos preencheram no mínimo dois dos três critérios para o $\dot{V}O_{2\max}$: 1) Razão de trocas gasosas (R) $\geq 1,1$; 2) concentração pico de lactato maior que 8 mM, e; 3) FCmax no mínimo igual 90% da máxima prevista para idade (Taylor et al., 1955). A $\dot{V}O_{2\max}$ foi considerada como a menor velocidade em que o $\dot{V}O_{2\max}$ foi obtido (Billat, Koralsztejn, 1996). Se a intensidade na qual ocorreu o $\dot{V}O_{2\max}$ não fosse sustentada por pelo menos 1 min, a velocidade do estágio anterior foi assumida como a $\dot{V}O_{2\max}$. O LAn foi encontrado através de interpolação linear, considerando-se uma concentração fixa de lactato de 3,5 mM (Heck et al., 1985).

Determinação do Tlim na $\dot{V}O_{2\max}$

Inicialmente, os indivíduos realizaram um aquecimento de 10 min numa intensidade correspondente a 60% da $\dot{V}O_{2\max}$. Após repousarem por 5 min no ergômetro, a velocidade foi rapidamente ajustada até a $\dot{V}O_{2\max}$ (dentro de no máximo 5 s), acionando-se a seguir o cronômetro. O Tlim foi iniciado no momento em que

a esteira atingiu a $\dot{V}O_2\text{max}$, até a exaustão voluntária. Foi considerada exaustão voluntária quando o sujeito deixava a esteira, com as mãos apoiadas sobre corrimão.

O Tlim foi considerado como o tempo total de esforço mantido na $\dot{V}O_2\text{max}$ e expresso em segundos. A distância percorrida durante o Tlim (Dlim) foi determinada multiplicando a $\dot{V}O_2\text{max}$ (em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) pelo Tlim. Durante os testes de carga constante, o maior VO_2 obtido durante 15 s foi considerado como $VO_2\text{pico}$. A resposta do VO_2 foi descrita por uma função monoexponencial para todos os testes na $\dot{V}O_2\text{max}$ através de um modelo de regressão não linear (Microcal Origin 6.0, Northampton, MA, EUA), usando a seguinte equação:

$$VO_2(t) = VO_2\text{base} + A \times (1 - e^{-(t/\tau)}) \quad (1)$$

Onde o $VO_2(t)$ é o consumo de oxigênio no tempo t ; $VO_2\text{base}$ é o consumo de oxigênio ao início de teste; A é a amplitude no consumo de oxigênio ($VO_2\text{assíntota} - VO_2\text{base}$) e o τ é a constante de tempo (definida como o tempo requerido para atingir 63% de A).

Nós consideramos que o VO_2 tenha essencialmente alcançado seu valor máximo quando o valor de $(1 - e^{-(t/\tau)})$ a partir da equação 1 foi 0,99, i.e., quando $t = (4,6 \times \tau)$, e assumindo que o VO_2 projetado é o $VO_2\text{max}$ (Hill et al., 2002). Portanto, para cada teste, o $TAVO_2\text{max}$ foi definido como $4,6 \times \tau$. O tempo mantido no $VO_2\text{max}$ foi determinado pela subtração do $TAVO_2\text{max}$ do Tlim. Cada percentual do Tlim correspondente ao $TAVO_2\text{max}$ (%Tlim) foi determinado individualmente dividindo o $TAVO_2\text{max}$ pelo Tlim.

Análise Estatística

Todos os dados estão expressos como média \pm DP. As variáveis máximas e submáximas ($VO_2\text{max}$, $\dot{V}O_2\text{max}$ e LAn) obtidas no teste incremental foram comparadas utilizando-se o teste t Student para amostras independentes. As comparações do Tlim, Dlim, $TAVO_2\text{max}$ e $TMVO_2\text{max}$ foram realizadas pelo teste não paramétrico Mann-Whitney. Em todos os testes foi adotado um nível de significância de $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

A tabela 1 mostra os valores das variáveis máximas e submáximas obtidas durante o teste incremental. Os valores de $VO_2\text{max}$, $\dot{V}O_2\text{max}$ e LAn apresentados pelos corredores foram significativamente maiores em relação aos sedentários. No entanto, não foram observadas diferenças na $FC\text{max}$, R e $[LAC]\text{pico}$ entre os dois grupos.

	Corredores (N = 16)	Sedentários (N = 11)
VO ₂ max (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	66,4 ± 5,8 *	43,5 ± 7,0
vVO ₂ max (km·h ⁻¹)	19,4 ± 1,4 *	12,8 ± 1,0
FCmax (bpm)	194,0 ± 9,0	199,1 ± 7,1
R	1,12 ± 0,05	1,16 ± 0,05
[LAC]pico (mM)	8,8 ± 1,6	9,1 ± 1,9
LAn (km·h ⁻¹)	16,7 ± 1,4 *	9,7 ± 0,8

* p < 0,05 em relação aos sedentários.

TABELA 1. Valores médios ± DP das variáveis determinadas a partir do teste incremental. VO₂max, consumo máximo de oxigênio; vVO₂max, velocidade associada com o VO₂max; FCmax, frequência cardíaca máxima; R, razão de trocas gasosas; [LAC]pico, concentração pico de lactato; LAn, limiar anaeróbio.

	Corredores (N = 16)	Sedentários (N = 11)
Tlim (s)	325,7 ± 144,0 *	439,8 ± 99,4
Dlim (m)	1.735,7 ± 718,2	1.566,3 ± 367,2
VO ₂ pico (ml ¹⁰⁰ kg ⁻¹ min ⁻¹)	66,1 ± 5,9	45,5 ± 7,4
%VO ₂ max	99,6 ± 8,9	102,2 ± 4,5
TAVO ₂ max (s)	144,1 ± 33,7 *	238,3 ± 38,1
%Tlim	49,4 ± 15,2	55,5 ± 8,5
TMVO ₂ max (s)	182,4 ± 125,5	201,4 ± 78,7

* p < 0,05 em relação aos sedentários.

TABELA 2. Valores médios ± DP das variáveis obtidas no teste de velocidade constante realizado na intensidade referente ao VO₂max. Tlim, tempo limite; Dlim, distância limite; VO₂pico, consumo pico de oxigênio; %VO₂max, VO₂pico em porcentagem do VO₂max; TAVO₂max, tempo para atingir o VO₂max; %Tlim, TAVO₂max em porcentagem do Tlim; TMVO₂max, tempo mantido no VO₂max.

Os valores das variáveis obtidas durante os testes de velocidade constante estão descritos na tabela 2. Os valores de VO₂pico obtidos no teste de velocidade constante não foram diferentes dos valores de VO₂max obtidos durante o teste incremental para os dois grupos. Os corredores apresentaram um Tlim e TAVO₂max significativamente menores em relação aos sedentários. Porém, nenhuma diferença foi encontrada para a Dlim, o %Tlim, e o TMVO₂max entre os dois grupos.

DISCUSSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar a resposta do $\dot{V}O_2$ e o Tlim durante o exercício máximo na corrida, e verificar os possíveis efeitos do treinamento aeróbio sobre estas respostas. Nossos principais achados foram: um menor Tlim e $T\dot{V}O_{2max}$ apresentados pelos corredores durante o exercício exaustivo realizado na $\dot{V}O_{2max}$, e uma ausência dos efeitos do treinamento aeróbio sobre a Dlim, $TM\dot{V}O_{2max}$ e o %Tlim.

Para nosso conhecimento, este foi o primeiro estudo a analisar de maneira transversal os efeitos do treinamento aeróbio sobre a resposta do $\dot{V}O_2$ e Tlim durante o exercício na $\dot{V}O_{2max}$. Os modelos de estudo que analisam de modo longitudinal os efeitos do treinamento podem ser considerados, inicialmente, como os melhores modelos de investigação. Nestes modelos, as possíveis influências da carga genética sobre os índices que serão investigados são potencialmente melhor controladas. Por outro lado, a quase totalidade destes estudos longitudinais analisou períodos relativamente pequenos (4 a 24 semanas), dificultando a obtenção de informações sobre as adaptações que podem ocorrer mais a longo prazo com o treinamento (1 a 2 anos). Deste modo, a utilização de modelos transversais, como realizado em nosso estudo, pode ser a mais adequada ou viável para analisar os efeitos do treinamento aeróbio a longo prazo.

Esse tipo de análise transversal pode estar associado com algumas limitações. As principais seriam a falta de controle nas possíveis influências da carga genética e do treinamento realizado por estes atletas. No entanto, as variáveis máximas ($\dot{V}O_{2max}$ e $\dot{V}O_{2max}$) e submáximas (LAN) apresentadas pelos nossos atletas são semelhantes aos dados previamente reportados na literatura para indivíduos bem treinados (Billat et al., 1994). Assim, parece razoável assumir que os valores de tais índices não poderiam ser atingidos sem o engajamento num programa sistematizado de treinamento aeróbio a longo prazo.

Os valores do Tlim apresentados pelos nossos corredores foram semelhantes aos encontrados por Hill et al. (1997) e Billat et al. (1999). Em contrapartida, foram maiores daqueles reportados por Renoux et al. (1999). Essa diferença entre os estudos pode ser explicada pela grande variabilidade individual que ocorre no Tlim e também pelos protocolos utilizados para determinar a $\dot{V}O_{2max}$.

Em nosso estudo, as diferenças no Tlim entre os corredores e sedentários indicam um efeito do treinamento aeróbio sobre o Tlim. A literatura tem demonstrado que o treinamento intervalado de alta intensidade pode reduzir (Demarle et al., 2001) ou não modificar (Billat et al., 1999) o Tlim durante o exercício severo realizado na mesma intensidade relativa (93 e 100% $\dot{V}O_{2max}$, respectivamente)

em corredores treinados. Billat et al. (1994) encontraram uma relação inversa entre $Tlim$ e o VO_2max e o $Tlim$ e a vVO_2max em corredores de elite de longa distância. Além disso, Billat et al. (2000) verificaram que durante a corrida na vVO_2max , o $TAVO_2max$ foi positivamente correlacionado ($r = 0,94$) com o tempo em que o exercício foi sustentado ($Tlim$). Assim, os maiores valores de $Tlim$ durante a corrida, para os sedentários comparados com os corredores, estão de acordo com os estudos citados anteriormente, e sugerem que quanto maior a potência aeróbia e/ou menor o $TAVO_2max$, menor será o $Tlim$ durante a corrida na vVO_2max . O significado do $Tlim$ na vVO_2max ainda necessita de considerações. De fato, não está claro se as grandes diferenças interindividuais são causados por uma maior potência aeróbia, ou como sugeridos em alguns estudos, por diferenças individuais na capacidade anaeróbia (Faina et al., 1997; Renoux et al., 1999). É importante notar que no presente estudo não foi encontrada diferença na $Dlim$ entre os grupos analisados.

Os valores de $TAVO_2max$ dos nossos corredores foram menores do que aqueles reportados por Hill et al. (1997) e Hill e Rowell (1997) em corredores e corredoras de meio-fundo, respectivamente. Já os valores de $TAVO_2max$ apresentados pelos sedentários foram superiores aos dos nossos corredores e dos indivíduos ativos estudados por Billat et al., (2000). A principal causa dessa diferença, encontrada entre os corredores e sedentários no presente estudo, pode ser atribuída à lenta resposta do VO_2 no início do exercício apresentada pelos sedentários. A aceleração que ocorre na resposta do VO_2 após o treinamento aeróbio, é comumente reportada na literatura para os diferentes domínios de intensidade de exercício (Phillips et al., 1995; Demarle et al., 2001). Uma consequência lógica do maior $TAVO_2max$ apresentado pelos sedentários seria um menor $TMVO_2max$. Ao contrário do que seria esperado, os valores do $TMVO_2max$ dos sedentários não foram diferentes daqueles demonstrados pelos corredores. Essa igualdade foi conseguida às custas do maior $Tlim$ apresentado pelos sedentários. Como já citado anteriormente, estes dados indiretamente concordam com os reportados por Billat et al. (2000), nos quais os autores encontraram um maior $Tlim$ para os indivíduos que apresentavam um maior $TAVO_2max$.

Na prática, a vVO_2max tem sido utilizada para individualizar a intensidade, enquanto o $Tlim$ (vVO_2max), a duração dos estímulos durante um treinamento intervalado no qual o objetivo é manter-se exercitando o maior tempo possível no VO_2max (Billat et al., 1999). Alguns estudos (Billat, 2001; Ortiz et al., 2003; Smith et al., 2003) têm verificado a necessidade da inclusão de sessões (1 a 2 por semana) de treinamento intervalado de alta intensidade, para que sujeitos altamente treinados apresentem melhoras tanto no VO_2max como na vVO_2max . Na literatura, há uma variação relativamente grande nas durações dos estímulos (50-75%

Tlim) para examinar os efeitos de um treinamento intervalado realizado na $v\text{VO}_2\text{max}$ durante a corrida (Billat et al., 1999; Smith et al., 1999; Smith et al., 2000). Entretanto, tem-se observado que os efeitos do treinamento intervalado não parecem depender tanto da duração de cada estímulo, e que durações entre 50 e 60% do Tlim podem ser adequadas para melhorar a performance de *endurance* durante a corrida (Smith et al., 1999; Smith et al., 2000). Em contrapartida, Hill et al. (1997) e Hill e Rowell (1997) criticam estas durações (50 e 60% do Tlim), pois as mesmas não seriam suficientes para atingir o VO_2max , já que o TAVO_2max em seus estudos foi 80% Tlim. Uma outra crítica estaria na grande variabilidade individual que ocorre também com o TAVO_2max e TMVO_2max . De acordo com Hill e Rowell (1997), uma possibilidade seria individualizar a duração através do TAVO_2max e não pelo Tlim. No presente estudo, mesmo apresentando diferenças entre os corredores e sedentários, o TAVO_2max ficou em torno de 50% do Tlim (tabela 2), independente do estado de treinamento. Resultados similares foram encontrados por Billat et al. (2000) em indivíduos ativos. Isso nos leva a pensar que, independente do nível inicial de condicionamento (treinado, ativo ou sedentário), a elaboração de um treinamento intervalado utilizando 50-60% do Tlim, pode apresentar uma duração suficiente para se atingir o VO_2max e mantê-lo por um tempo prolongado, principalmente durante os estímulos subseqüentes. Além do mais, a utilização de uma recuperação ativa entre os estímulos poderá manter o VO_2 elevado, acelerar a resposta do VO_2 e aumentar a remoção do lactato, possibilitando assim um número maior de repetições.

Embora pareça lógico assumir que sustentar 100% VO_2max seja necessário para determinar as maiores melhoras no VO_2max , não deve ser negligenciado o tempo que cada indivíduo consegue permanecer se exercitando na $v\text{VO}_2\text{max}$ (independente de atingir o VO_2max), ocorrendo assim maiores estímulos para que as adaptações referentes a esta intensidade sejam otimizadas, principalmente em atletas altamente treinados. Deste modo, a utilização de maiores durações (70% Tlim) em cada estímulo pode reduzir o número de repetições e o tempo total de exercício.

Com base nesses dados podemos concluir que o treinamento aeróbio acelera a resposta do VO_2 ao início do exercício realizado na mesma intensidade relativa ($v\text{VO}_2\text{max}$) durante a corrida. Mesmo sendo sensível ao treinamento aeróbio, o TAVO_2max permaneceu em torno de 50% do Tlim, independente do grupo analisado. Concordando com os dados previamente reportados na literatura, 50-60% do Tlim parecem ser as durações ideais para a elaboração de um programa de TAI independente do nível inicial de condicionamento. Entretanto, se faz necessária a determinação individual do Tlim, devido a sua grande variabilidade individual e sensibilidade ao estado de treinamento.

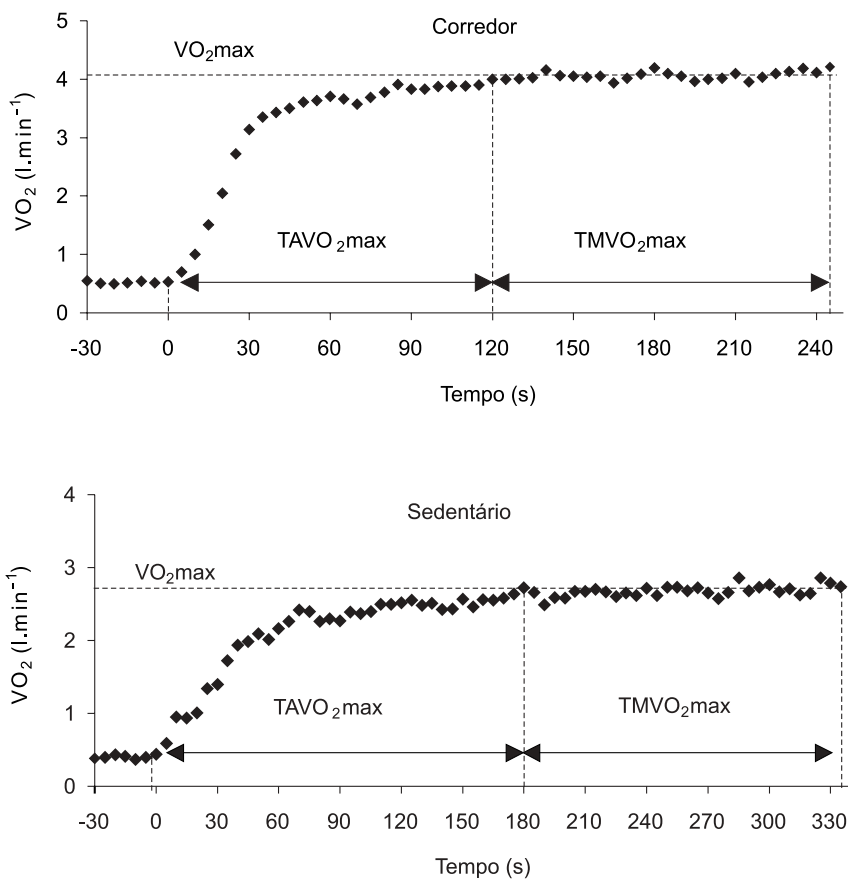


FIGURA 1. Exemplos individuais na resposta do VO_2 durante o teste de velocidade constante realizado na intensidade correspondente ao VO_2 max para um corredor (painel superior) e um sedentário (painel inferior) participantes deste estudo. TAVO₂max, tempo para atingir o VO_2 max; TMVO₂max, tempo mantido no VO_2 max.

Response of VO_2 and time to exhaustion during running at the speed associated to $\text{VO}_{2\text{max}}$: applications in high-intensity aerobic training

ABSTRACT: The objective of this study was to verify, in a cross-sectional design, the effect of aerobic training on the VO_2 kinetic and time to exhaustion (Tlim) during severe exercise in running. Sixteen runners and eleven sedentary individuals performed the following tests on separate days: 1) incremental test for determination of $\text{VO}_{2\text{max}}$ and the intensity corresponding to $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($v\text{VO}_{2\text{max}}$) and; 2) all-out exercise bout performed at $v\text{VO}_{2\text{max}}$ to determine Tlim and the time to achieve and sustain $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\text{TAVO}_{2\text{max}}$ and $\text{TSVO}_{2\text{max}}$, respectively). The aerobic indexes were higher in runners than in sedentary subjects. The sedentary group presented higher Tlim and $\text{TAVO}_{2\text{max}}$, however there was no difference in $\text{TSVO}_{2\text{max}}$ between groups. We may conclude that Tlim and $\text{TAVO}_{2\text{max}}$ were sensible to the aerobic training.

KEY-WORDS: Running; time limit; maximal oxygen uptake; aerobic training.

La respuesta del VO_2 y el tiempo límite durante carrera realizada en velocidad asociada al $\text{VO}_{2\text{max}}$: aplicaciones para el entrenamiento aerobio de alta intensidad

RESUMEN: El objetivo de este estudio fue verificar, en un diseño transversal, el efecto del entrenamiento aerobio en la cinética del VO_2 y el tiempo límite (Tlim) durante un ejercicio severo de carrera. Dieciséis corredores y once individuos sedentarios realizaron las siguientes pruebas en días separados: 1) teste incremental para la determinación del $\text{VO}_{2\text{max}}$ y la intensidad asociada al $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($v\text{VO}_{2\text{max}}$) y; 2) teste de carga constante en la $v\text{VO}_{2\text{max}}$ para determinar el Tlim y los tiempos para alcanzar y sustentar el $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\text{TAVO}_{2\text{max}}$ y $\text{TSVO}_{2\text{max}}$, respectivamente). Los índices aerobios fueron mayores en los individuos corredores que en los sedentarios. Por su parte el Tlim y $\text{TAVO}_{2\text{max}}$ fueron mayores en los sedentarios, no obstante no existir diferencia en $\text{TSVO}_{2\text{max}}$ entre los grupos. Podemos concluir entonces que el Tlim y el $\text{TAVO}_{2\text{max}}$ fueron sensibles al entrenamiento aerobio.

PALABRAS CLAVES: Carrera; tiempo límite; consumo máximo de oxígeno; entrenamiento aerobio.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, O. To optimize performance, train "A la Véronique". *Running Research*, Nov-Dec: p. 1-4, 1994.

BILLAT, V.L. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. *Sports Medicine*, v. 31, p. 13-31, 2001.

BILLAT, V.L.; KORALSZTEIN, J.P. Significance of the velocity at $v\text{VO}_{2\text{max}}$ and time to exhaustion at this velocity. *Sports Medicine*, v. 22, p. 90-108, 1996.

BILLAT, V.L.; RENOUX, J.C.; PINOTEAU, J.; PETIT, B.; KORALSZTEIN, J.P. Time to exhaustion at 100% of velocity at VO_2 max and modeling of the relation time-limit/velocity in elite long distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, v. 69, p. 271-273, 1994.

BILLAT, V.L. et al. Interval training at VO_2 max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 31, p. 156-163, 1999.

BILLAT, V.L.; MORTON, R.H.; BLONDEL, N.; BERTHOIN, S.; BOCQUET, V.; KORALSZTEIN, J.P.; BARSTOW, T.J. Oxygen kinetics and modeling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*, v. 82, p. 178-187, 2000.

BILLAT, V.L.; DEMARLE, A.; PAIVA, M.; KORALSZTEIN, J.P. Effect of training on the physiological factors of performance in elite marathon runners. *International Journal Sports Medicine*, v. 23, p. 336-341, 2002.

DEMARLE, A.P.; SLAWINSKI, J.J.; LAFFITE, L.P.; BOCQUET, V.; KORALSZTEIN, J.P.; BILLAT, V.L. Decrease of O_2 deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. *Journal of Applied Physiology*, v. 90, p. 947-953, 2001.

FAINA, M.; BILLAT, V.; SQUADRONE, R.; DE ANGELIS, M.; KORALSZTEIN, J.P. Anaerobic contribution to the time to exhaustion at minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, v. 76, p. 13-20, 1997.

GREEN, H.J.; JONES, L.L.; HUGHSON, R.L.; PAINTER, D.C.; FARRANCE, B.W. Training-induced hypervolemia: lack of an effect on oxygen utilization during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 19, p. 202-206, 1987.

HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MUCKE, S.; MULLER, R.; HOLLMANN, W. Justification of the 4mmol/l lactate threshold. *International Journal Sports Medicine*, v. 6, p. 117-130, 1985.

HILL, D.W.; POOLE, D.C.; SMITH, J.C. The relationship between power and time to achieve VO_2 max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 26, p. 1327-1334, 2002.

HILL, D.W.; ROWELL, A.L. Responses to exercise at the velocity associated with VO_2 max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 29, p. 113-116, 1997.

HILL, D.W.; WILLIAMS, C.S.; BURT, S.E. Responses to exercise at 92% and 100% of the velocity associated with VO_2 max. *International Journal Sports Medicine*, v. 18, p. 325-329, 1997.

LAKE, M.J.; CAVANAGH, P.R. Six weeks of training does not change running mechanics or improve running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 28, p. 860-869, 1996.

LAURSEN, P.B.; JENKINS, D.G. The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports Medicine*, v. 32, p. 53-73, 2002.

MCLAUGHLIN, J.E.; KING, G.A.; HOWLEY, E.T.; BASSETT, D.R. JR.; AINSWORTH, B.E. Validation of the COSMED K4b² portable metabolic system. *International Journal Sports Medicine*, v. 22, p. 280-284, 2001.

NOAKES, T.D.; MYBURGH, K.H.; SCHALL, R. Peak treadmill running velocity during the VO_{2max} test predicts running performance. *Journal Sports Science*, v. 8, p. 35-45, 1990.

ORTIZ, M.J.; STELLA, S.G.; MELLO, M.T.; DENADAI, B.S. Efeitos do treinamento aeróbio de alta intensidade sobre a economia de corrida em corredores de endurance. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, v. 11, p. 53-56, 2003.

PHILLIPS, S.M.; GREEN, H.J.; MCDONALD, M.J.; HUGHSON, R.L. Progressive effect of endurance training on VO_2 kinetics at the onset of submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, v. 79, p. 1914-1920, 1995.

RENOUX, J.C.; PETIT, B.; BILLAT, V.; KORALSZTEIN, J.P. Oxygen deficit is related to the exercise time to exhaustion at maximal aerobic speed in middle distance runners. *Archives of Physiology and Biochemistry*, v. 107, p. 280-285, 1999.

SJODIN, B.; JACOBS, I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International Journal Sports Medicine*, v. 2, p. 23-26, 1981.

SJODIN, B.; JACOBS, I.; SVENDENHAG, J. Changes in the onset blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European Journal Applied Physiology*, v. 49, p. 45-57, 1982.

SMITH, T.P.; MCNAUGHTON, L.R.; MARSHALL, K.J. Effects of 4-wk training using V_{max}/T_{max} on VO_{2max} and performance in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 31, p. 892-896, 1999.

SMITH, T.P.; DILGER, J.; DAVOREN, B. Optimising high intensity treadmill training using VO_{2max} and T_{max} . *Pre-Olympic Congress*, Brisbane, Sep 7-13, 2000.

SMITH, T.P.; COOMBES, J.S.; GERAGHTY, D.P. Optimising high-intensity treadmill training using the running speed at maximal O_2 uptake and the time for which this can be maintained. *European Journal Applied Physiology*, v. 89, p. 337-43, 2003.

TAYLOR, H.L.; BUSKIRK, E.R.; HENSCHER, A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *Journal of Applied Physiology*, v. 8, p. 73-80, 1955.

Recebido: 31 mar. 2004

Aprovado: 8 jun. 2004

Endereço para correspondência

B.S. Denadai

Laboratório de Avaliação da Performance Humana

IB – UNESP

Av. 24 A, n. 1515

Bela Vista

Rio Claro-SP

CEP 13506-900