



Caracterização da curva do lactato sanguíneo e aplicabilidade do modelo Dmax durante protocolo progressivo em esteira rolante

Flávio de Oliveira Pires¹, Adriano Eduardo Lima Silva², João Fernando Laurito Gagliardi¹, Ronaldo Vilela Barros¹ e Maria Augusta Peduti Dal' Molin Kiss¹

RESUMO

Propósito: Caracterizar o comportamento do lactato sanguíneo ([La]), durante protocolo progressivo em esteira rolante, e investigar a aplicabilidade do modelo Dmax na detecção do limiar de lactato (LL) e rendimento esportivo. **Métodos:** Vinte e sete homens atletas de nível regional executaram protocolo de Heck *et al.* (1985), com incrementos a cada três minutos. O rendimento esportivo foi obtido pela velocidade média da prova de 10km. O 1º e 2º LL foram determinados através de análise visual da curva das [La] (LLv1 e LLv2) e por interpolação na velocidade referente às concentrações de 2,0 e 3,5 mmol.l⁻¹ (LL_{2,0} e LL_{3,5}). O modelo Dmax identificou o LL em valores medidos (Dmax_{MED}) e preditos pelas funções polinomial (Dmax_{POL}), linear de dois segmentos (Dmax_{SEG}) e exponencial contínua (Dmax_{EXP}). A característica do lactato sanguíneo durante o teste incremental foi verificada pelos ajustes linear de dois segmentos e exponencial contínua. **Resultados:** Não houve diferença significativa entre o somatório dos resíduos quadrados dos ajustes de curva, porém, houve tendência de melhor ajuste exponencial contínua em 70,4% da amostra. Enquanto não houve diferença significativa entre os Dmax_{MED}, Dmax_{POL}, Dmax_{SEG} e Dmax_{EXP}, os métodos Dmax foram maiores do que LLv1, menores do que LL_{3,5} e não diferentes de LL_{2,0}. Todos os critérios Dmax foram significativamente menores do que a velocidade média da prova de 10km. **Conclusões:** Enquanto as [La] tenderam a um aumento exponencial durante protocolos progressivos em esteira rolante, o modelo Dmax apresentou evidências da sua aplicabilidade para a detecção do LL, mas não do rendimento esportivo.

ABSTRACT

Characterization of the blood lactate curve and applicability of the Dmax model in a progressive protocol on treadmill

Purpose: To characterize the blood lactate ([La]) behavior along a progressive protocol on treadmill, and to investigate the applicability of the Dmax model in detecting the lactate threshold (LT) and the sportive performance. **Methods:** Twenty-seven male athletes of regional level performed the Heck *et al.* protocol (1985) incremented every 3 minutes. The sportive output was attained by the mean velocity of the 10 km-test. The first and second LT

Palavras-chave: Ajustes de curva. Protocolo progressivo. Limiar de lactato.

Keywords: Curve adjustments. Progressive protocol. Lactate threshold.

Palabras-clave: Ajustes de la curva. Protocolo progresivo. Umbral del lactato.

were determined through visual analysis of the [La] (LTv1 and LTv2) curve, and by interpolation of the velocity related to the 2.0 and 3.5 mmol.l⁻¹ concentrations (LT_{2,0} and LT_{3,5}). The Dmax model has identified the LT in measured values (Dmax_{MED}), and was predicted by the polynomial functions (Dmax_{POL}), the 2-segment linear (Dmax_{SEG}) and the continuous exponential (Dmax_{EXP}). The characteristic of the blood lactate along the incremental test was checked through 2-segment linear adjustments and continuous exponential. **Results:** There was no significant difference between the sums of the square residues of the curve adjustments, but there was a trend for a better continuous exponential adjustment at 70.4% of the sampling. Although there was no significant difference between the Dmax_{MED}, Dmax_{POL}, Dmax_{SEG}, and Dmax_{EXP}, the Dmax methods were higher than the LTv1, lower than the LT_{3,5}, and were not different of the LT_{2,0}. Every Dmax criteria were significantly lower than the mean velocity of the 10 km-test. **Conclusions:** While the [La] trended to an exponential increase along the progressive protocols on treadmill, the Dmax model presented evidences of its applicability to detect the LT, but not for the sportive output.

RESUMEN

La caracterización de la curva del lactato sanguíneo y la pertinencia del Dmax durante el protocolo progresivo en la cinta rodante

Propósito: Este estudio tenía como los objetivos, para caracterizar la conducta del lactato sanguíneo ([La]), durante el protocolo progresivo en la cinta rodante, y para investigar la pertinencia del Dmax en el descubrimiento del umbral de lactato (LL) y el ingreso deportivo. **Métodos:** Veintisiete atletas de nivel regional ejecutaron protocolo de Heck *et al.* (1985), con incrementos cada 3 minutos. El ingreso deportivo se obtuvo por la velocidad de la prueba de 10 km. El 1 y 2 LL sea cierto a través del análisis visual de la curva del [La] (LLv1 y LLv2), y para la interpolación en la velocidad con respecto a las concentraciones de 2,0 y 3,5 mmol.l⁻¹ (LL_{2,0} y LL_{3,5}). EL Dmax identificó LL en los valores moderados (Dmax_{MED}), y se predijo por el polinomial de las funciones (Dmax_{POL}), lineal de dos segmentos (Dmax_{SEG}), y exponencial continuo (Dmax_{EXP}). La característica del lactato sanguíneo durante la prueba incremental se verificó por los ajustes lineal de 2 segmentos y exponencial continuo. **Resultados:** No había diferencia significativa entre el sumatoria de los residuos cuadrados de los ajustes de la curva, sin embargo, había una tendencia continua de ajuste exponencial bueno en 70,4% de la muestra. Mientras que no había diferencia significativa entre Dmax_{MED}, Dmax_{POL}, Dmax_{SEG} y Dmax_{EXP}, el método Dmax es más grande que LLv1, más pequeño que LL_{3,5}, y no pre-

1. Laboratório de Desempenho Esportivo – Escola de Educação Física e Esporte – Universidade de São Paulo – São Paulo (SP).

2. Laboratório de Pesquisa Morfo-Funcional – Centro de Educação Física, Fisioterapia e Desporto – Universidade do Estado de Santa Catarina – Florianópolis (SC).

Recebido em 24/11/04. Versão final recebida em 30/7/05. Aceito em 3/11/05.

Endereço para correspondência: Flávio de Oliveira Pires, Rua Acalanto de Bartira, 166, Jd. Bonfiglioli, Butantã – 05358160 – São Paulo, SP. Tel.: (11) 3731-3071, fax: (11) 3763-2588. E-mail: piresfo@usp.br

sentada diferencia con el de $LL_{2,0}$. Todo el criterio D_{max} sea significativamente más pequeño que la velocidad elemento de la prueba de 10 km. **Conclusiones:** Mientras las [La] tenderon a un aumento exponencial durante los protocolos progresivos en la cinta rodante, el D_{max} ejemplar presentó evidencias de pertinencia mayor el descubrimiento de LL, pero no para rendimiento deportivo.

INTRODUÇÃO

A análise da curva das concentrações sanguíneas de lactato ([La]) tem fornecido importantes subsídios para a compreensão dos fenômenos relacionados ao rendimento esportivo⁽¹⁾. Na década de 1980, empregando ajustes matemáticos de curva, Hughson *et al.* (1987)⁽²⁾ e Campbell *et al.* (1989)⁽³⁾ demonstraram um aumento exponencial desta variável durante protocolos progressivos, diferentemente de estudos posteriores que verificaram uma característica curvilínea com dois ou três segmentos^(4,5). No entanto, Hughson *et al.*⁽²⁾ e Campbell *et al.*⁽³⁾ utilizaram protocolos em bicicleta ergométrica, restringindo a extrapolação destes resultados quando do emprego de esteira rolante, já que o comportamento desta variável é dependente do padrão motor e tamanho da massa muscular recrutada^(6,7).

A análise das concentrações de lactato sanguíneo possibilita, ainda, a identificação de uma ou duas zonas de transição metabólica, dependentes da terminologia e metodologia adotadas, e comumente denominadas limiar de lactato (LL)⁽⁵⁾. Este ponto tem sido investigado devido a suas propriedades na detecção do nível de capacidade aeróbia e predição do rendimento esportivo, pois representa, teoricamente, um estado de equilíbrio máximo nas [La] durante exercícios constantes^(8,9). Na verdade, quando se utilizam metodologias para a identificação de duas zonas de transição metabólica, freqüentemente se assume o segundo ponto como referência desta intensidade⁽¹⁰⁾. Neste sentido, inúmeros métodos foram propostos para a determinação objetiva^(11,12) e prática^(13,14) deste ponto, porém, boa parte deles possui limitações e implicações metodológicas.

Na década de 1990, Cheng *et al.* (1992)⁽¹⁵⁾ sugeriram o modelo D_{max} para a determinação do LL (figura 1), sob a suposição de permitir identificações mais individualizadas do que a utilização de concentrações fixas, e menos subjetivas do que as análises visuais, pois calcula esta intensidade de forma objetiva, considerando todos os valores contidos na curva⁽¹⁵⁾. Conseqüentemente, o ponto identificado pelo D_{max} está diretamente atrelado ao comportamento de toda a curva do lactato sanguíneo, durante teste incremental. Apesar das evidências de validade deste modelo⁽¹⁶⁻¹⁸⁾, quando se admite a existência de duas zonas de transição metabólica, lacunas surgem em relação a qual destas zonas de transição este método é marcador.

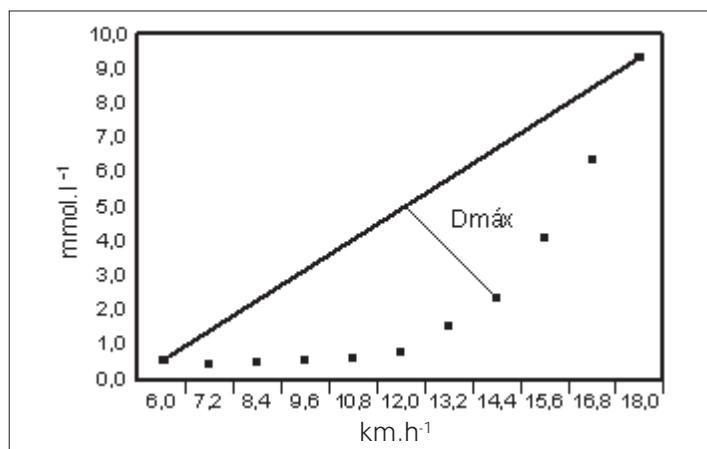


Figura 1 – Velocidade do LL (seta sólida) identificada pelo modelo D_{max}

Portanto, algumas especulações devem ser investigadas a partir do supracitado. Primeiro, não se sabe em qual extensão as [La] apresentam aumento exponencial durante testes progressivos em esteira rolante, pois a característica exponencial observada anteriormente^(2,3) não foi confirmada neste tipo de ergômetro. Segundo, considerando que o modelo D_{max} está condicionado ao comportamento de toda a curva das [La], surgem algumas dúvidas sobre a sua aplicabilidade para a determinação do LL e do desempenho esportivo. Isso porque, enquanto alguns estudos aplicaram este método em dados ajustados com regressão polinomial⁽¹⁹⁾, outros empregaram função exponencial contínua⁽²⁰⁾, sugerindo que a utilização de diferentes funções matemáticas possa gerar distorções na intensidade determinada por este modelo.

Dessa maneira, os objetivos deste trabalho foram caracterizar o comportamento do lactato sanguíneo durante protocolo progressivo em esteira rolante, e verificar a aplicabilidade e consistência do modelo D_{max} na detecção do LL e do rendimento esportivo, a partir de valores medidos e valores ajustados por diferentes funções matemáticas.

MÉTODOS

Amostra – Vinte e sete homens, atletas de nível regional (triatletas e maratonistas), participaram deste estudo ($29,1 \pm 5,4$ anos; $172,3 \pm 8,1$ cm; $67,2 \pm 9,3$ kg; $58,5 \pm 10,8$ ml.kg⁻¹.min⁻¹), após assinatura de consentimento informado. Este estudo teve aprovação do comitê de ética para estudos com humanos (EEFE-USP).

Protocolo progressivo – Os sujeitos executaram teste incremental em esteira rolante da marca Quinton® (modelo 2472), com velocidade inicial de 6,0km.h⁻¹ e incrementos de 1,2km.h⁻¹ a cada estágio, até a exaustão. Cada estágio teve duração de três minutos de exercício, com 30 segundos de pausa para coleta de sangue⁽¹³⁾.

Coleta e análise dos dados – Nos 30 segundos finais de cada estágio, 25µl de sangue arterializado foram coletados no lóbulo da orelha (previamente hiperemiado com Finalgom®), armazenados em microtubos com adição de 50µl de fluoreto de sódio e mantidos sob temperatura de 10°C, para posterior análise em lactímetro Yellow Springs® (modelo 2300). As [La] obtidas foram plotadas em função da velocidade, para a identificação dos LL (expressos em km.h⁻¹).

Identificação dos limiares de lactato – Os 1º e 2º limiares de lactato (LL1 e LL2) foram identificados através de análise visual da curva do lactato sanguíneo, a partir da observação (mediana) de três avaliadores. Enquanto LL1 foi determinado no ponto de aumento das [La] em relação aos valores de repouso (1º quebra de linearidade da curva), LL2 foi determinado na intensidade em que as [La] apresentaram aumento abrupto e contínuo (2º quebra de linearidade da curva)⁽⁷⁾. Quando necessário, LL1 ou LL2 foram aproximados de acordo com outros critérios⁽²¹⁾.

Os LL1 e LL2 também foram identificados por interpolação⁽⁶⁾ da velocidade correspondente às concentrações fixas de lactato de 2,0 e 3,5mmol.l⁻¹, sendo estas representativas de LL1 e LL2, respectivamente^(10,13). Para uma melhor compreensão dos termos, enquanto LL1 e LL2 obtidos visualmente serão chamados de LLv1 e LLv2, os LL1 e LL2 obtidos pela utilização de concentrações fixas serão chamados de LL_{2,0} e LL_{3,5}.

O LL também foi determinado no ponto em que as [La] apresentaram aumento $\geq 1,0$ mmol.l⁻¹⁽¹⁹⁾. Este critério, tratado aqui como L1,0, foi utilizado por permitir a identificação de apenas uma zona de transição metabólica. Por último, o modelo D_{max} ⁽¹⁵⁾ identificou o LL no ponto de maior distância perpendicular entre os valores das [La] contidos na curva, e uma linha de regressão traçada entre o primeiro e o último valor desta curva.

Ajustes da curva do lactato sanguíneo – A caracterização da curva do lactato sanguíneo em função da velocidade foi verificada segundo as funções matemáticas linear de dois segmentos e ex-

ponencial contínua, com variação entre sete e 11 pontos. Posteriormente, calculou-se o modelo Dmax em dados medidos ($D_{max_{MED}}$), e em dados ajustados pelas funções linear de dois segmentos ($D_{max_{SEG}}$), exponencial contínua ($D_{max_{EXP}}$) e polinomial de 3ª ordem ($D_{max_{POL}}$).

O ajuste linear de dois segmentos⁽²²⁾ foi obtido por uma equação de regressão linear, com intercepto inicialmente desconhecido, calculado a partir de todos os possíveis pontos visuais de intersecção entre os segmentos. O intercepto que melhor dividiu a curva em dois segmentos teoricamente lineares foi assumido no maior valor de R² e menor somatório de resíduos quadrados (SRQ). Dessa maneira, os segmentos da curva foram preditos pelas seguintes equações:

$$Y = a + b_1(x_1), \text{ para o } 1^\circ \text{ segmento}$$

$$Y = a + b_2(x_2) + c, \text{ para o } 2^\circ \text{ segmento}$$

onde y é o valor predito das [La], a é o intercepto dos dois segmentos, b_1 e b_2 são, respectivamente, a inclinação do 1º e 2º segmentos, x_1 e x_2 são, respectivamente, a velocidade do 1º e 2º segmentos, e c é a tangente entre os dois segmentos.

A característica exponencial das [La] durante testes progressivos foi testada pela função exponencial contínua⁽²⁾, através da seguinte equação:

$$Y = a + b \exp(cx) + e$$

onde y é o valor predito das [La], x é a velocidade, e é o erro residual, a , b e c são estimativas minimizadas do SRQ entre os valores medidos e preditos das [La], e $\exp(cx)$ é a estimativa maximizada do coeficiente de correlação entre as variáveis x e y .

A função polinomial de 3ª ordem foi utilizada para atenuar os ruídos contidos nos valores brutos das [La], sem alterar as características iniciais da curva, permitindo uma das variações do modelo Dmax ($D_{max_{POL}}$). A equação gerada foi:

$$Y = b_1(x^3) + b_2(x^2) + b_3(x) + a$$

onde y é o valor predito das [La], b_1 , b_2 e b_3 são as constantes de inclinação da curva; x é a velocidade e a é o intercepto.

Rendimento esportivo – Após intervalo inferior a 30 dias do protocolo progressivo, a amostra realizou uma prova de 10km em pista de atletismo de 400 metros. O tempo e a velocidade média da prova de 10km (VM_{10km}) foram registrados.

Análise estatística – Após verificar a distribuição dos dados (Shapiro-Wilk's), obteve-se a significância das diferenças entre as variáveis estudadas pela Anova de Friedman, com teste de sinalização de pares combinados de Wilcoxon (*post hoc*). A associação entre as variáveis foi obtida pelo teste de Spearman Rank. Em todas as análises (SPSS versão 10,0), adotou-se um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Em todos os cálculos foram utilizadas mediana e desvio médio como medidas de tendência central e dispersão, respectivamente. Para eventuais comparações, alguns dados referentes à prova de 10km e ao SRQ entre as funções matemáticas de ajuste estão apresentados também em média e desvio-padrão.

Qualidade dos ajustes de curva

O ajuste polinomial de 3ª ordem não foi incluído na análise residual, por não possuir uma base teórica que justifique a sua aplicação na tentativa de descrever o fenômeno estudado. Em relação ao ajuste linear de dois segmentos, oito sujeitos apresentaram o 2º segmento ajustado com apenas dois pontos. Não houve diferença significativa entre o SRQ do ajuste exponencial contínuo e o SRQ do ajuste linear de dois segmentos ($0,11 \pm 0,18 \text{ mmol.l}^{-1}$ versus $0,09 \pm 0,07 \text{ mmol.l}^{-1}$ – valores em média e desvio-padrão). Quan-

do se comparou o SRQ de forma individual, dos 27 sujeitos contidos na análise, 19 (70,4%) apresentaram tendência de melhor ajuste exponencial contínuo. O ajuste linear de dois segmentos tendeu ser melhor em sete sujeitos (25,9%), enquanto um indivíduo (3,7%) mostrou valor residual idêntico entre as duas funções matemáticas. Os 10 primeiros colocados na prova de 10km mostraram tendência de melhor ajuste exponencial contínuo.

Dmax e os diferentes métodos de identificação dos LL

Quatro sujeitos não atingiram valores de concentrações de 2,0 e/ou $3,5 \text{ mmol.l}^{-1}$ durante o teste incremental. Não houve diferenças significativas entre as variações do modelo Dmax, seja aplicado nos valores medidos e/ou nos valores ajustados pelas três diferentes funções matemáticas (tabela 1).

TABELA 1
Velocidade dos LL identificados pelos métodos de análise visual, [La] fixas, $\geq 1,0 \text{ mmol.l}^{-1}$, e pelo modelo Dmax aplicado em dados reais e ajustados. Os valores estão apresentados em mediana e desvio médio

LLv1 km.h ⁻¹	LLv2 km.h ⁻¹	LL _{2,0} km.h ⁻¹	LL _{3,5} km.h ⁻¹	L1,0 km.h ⁻¹
11,1 ± 1,3 ^{††}	13,2 ± 1,0 [†]	13,2 ± 2,0	14,4 ± 1,3 ^{††}	14,4 ± 1,6
	Dmax _{MED} km.h ⁻¹	Dmax _{POL} km.h ⁻¹	Dmax _{SEG} km.h ⁻¹	Dmax _{EXP} km.h ⁻¹
	13,2 ± 1,0	13,2 ± 0,9	13,2 ± 0,9	13,2 ± 1,0

† diferente de Dmax_{POL} e Dmax_{SEG}; †† diferente de Dmax_{MED} e Dmax_{EXP} ($p < 0,05$); análise visual (LLv1 e LLv2); [La] fixas (LL_{2,0} e LL_{3,5}); $\geq 1,0 \text{ mmol.l}^{-1}$ (L1,0); Dmax em valores medidos (Dmax_{MED}) e em valores ajustados (Dmax_{POL}, Dmax_{SEG}, Dmax_{EXP}).

Em relação aos outros métodos, não foram encontradas diferenças significativas entre qualquer critério Dmax e os LL_{2,0} e L1,0 (p entre 0,06 e 0,09). Entretanto, enquanto Dmax_{MED} e Dmax_{EXP} foram diferentes de LLv2, o mesmo não foi observado para os Dmax_{POL} e Dmax_{SEG}. Todos os critérios Dmax foram maiores do que LLv1 e menores do que LL_{3,5} (tabela 1). Curiosamente, LL1 e LL2 obtidos por concentrações fixas foram maiores do que LL1 e LL2 obtidos por análise visual (LL_{2,0} > LLv1 e LL_{3,5} > LLv2). Não se observou diferença entre LLv2 e L1,0.

Os Dmax_{MED}, Dmax_{SEG}, Dmax_{EXP} e Dmax_{POL} apresentaram um coeficiente de correlação variando entre 0,57 e 0,80 ($p < 0,01$). A tabela 2 mostra o nível de associação entre os critérios Dmax e os outros métodos.

Dmax e o rendimento esportivo

O tempo de prova e a VM_{10km} foram $37,8 \pm 3,2$ minutos e $16,0 \pm 1,3 \text{ km.h}^{-1}$, respectivamente. Todas as variações Dmax, assim como os outros métodos de identificação do LL, foram significativamente menores do que a VM_{10km} . De outro lado, apenas o Dmax_{EXP} mostrou correlações significantes com a VM_{10km} ($r = 0,68$) (tabela 2).

TABELA 2
Coeficiente de correlação entre o modelo Dmax e os diferentes métodos de identificação dos LL, velocidade média dos 10km e pico de velocidade em esteira

	LLv1	LLv2	LL _{2,0}	LL _{3,5}	L1,0	Vel _{10km}	PVE
Dmax _{MED}	0,58**	0,69**	0,40*	0,41*	0,39	0,34	0,48*
Dmax _{POL}	0,57**	0,60**	0,32	0,38	0,58**	0,41	0,64**
Dmax _{SEG}	0,55**	0,66**	0,45*	0,61**	0,65**	0,37	0,64**
Dmax _{EXP}	0,67**	0,77**	0,68**	0,65**	0,72**	0,68**	0,88**

** significante para $p < 0,01$; * significante para $p < 0,05$; Dmax em valores medidos (Dmax_{MED}) e em valores ajustados (Dmax_{POL}, Dmax_{SEG}, Dmax_{EXP}); análise visual (LLv1 e LLv2); [La] fixas (LL_{2,0} e LL_{3,5}); $\geq 1,0 \text{ mmol.l}^{-1}$ (L1,0); velocidade média dos 10km (Vel_{10km}); pico de velocidade em esteira (PVE).

DISCUSSÃO

Historicamente, problemas conceituais e metodológicos limitam uma definição mais abrangente dos fenômenos relacionados ao metabolismo de lactato durante exercício. A abordagem destes fica expressamente atrelada aos diferentes modelos utilizados para sua investigação. Nosso trabalho reforça essa premissa.

A maior contribuição deste estudo foi a tendência de aumento exponencial das [La] em função da carga de trabalho, observada em 70,4% da amostra analisada. Neste caso, a ausência de diferença significativa entre o SRQ das funções matemáticas pode estar condicionada a alguns fatores.

Primeiro, diferentemente dos estudos que verificaram um melhor ajuste exponencial nas [La]^(2,3), o protocolo empregado aqui gerou um menor número de pontos por curva. Como a função exponencial contínua (figura 2) prediz os valores de lactato sanguíneo com correção progressiva, minimizando o SRQ através da maximização do coeficiente de correlação entre os valores de x e y ⁽²⁾, o menor número de pontos poderia ser uma das causas da ausência de diferenças entre as funções matemáticas. De fato, a duração do protocolo pode influenciar o comportamento da curva das [La] em teste incremental⁽²³⁾.

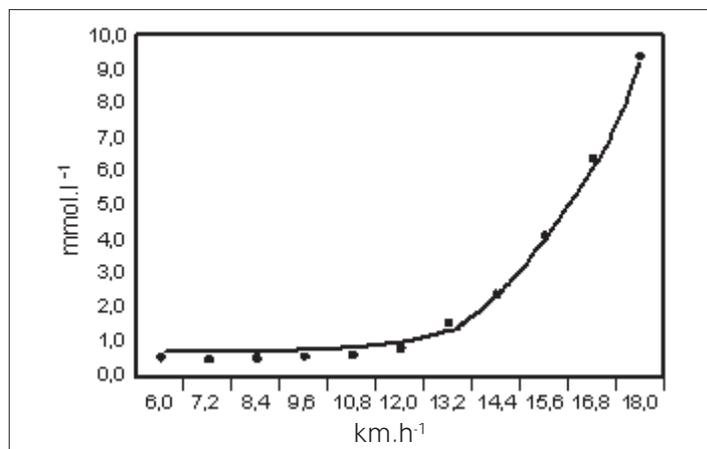


Figura 2 – Curva do lactato sanguíneo em função da velocidade, de um indivíduo com os valores ajustados segundo a função exponencial contínua (linha sólida)

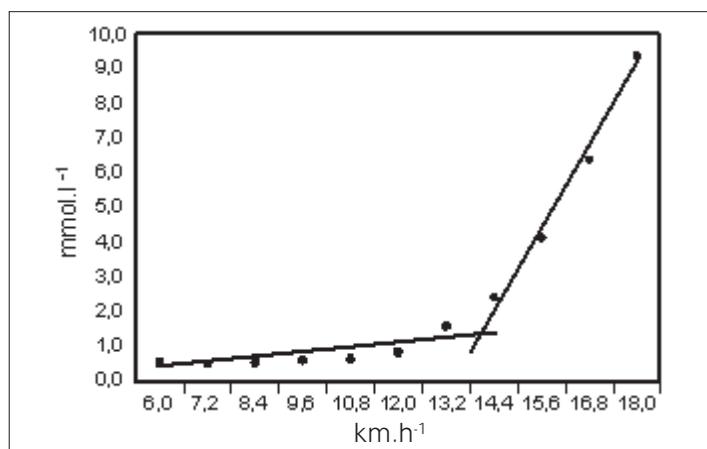


Figura 3 – Curva do lactato sanguíneo em função da velocidade, de um indivíduo com os valores ajustados segundo a função linear de dois segmentos (linha sólida)

Segundo, o ajuste linear de dois segmentos (figura 3) foi calculado com a utilização de quatro a nove pontos no primeiro segmento e dois a quatro pontos no segundo segmento. Como é necessário um mínimo de sete pontos para um ajuste de curva satisfatório⁽²⁴⁾, aqui estaria uma limitação da presente investiga-

ção, já que esta função matemática divide a curva em dois segmentos teoricamente lineares e parcialmente independentes. Assim, mesmo observando entre sete e 11 pontos para a análise de cada curva total, pode ter havido um “melhor” adequamento dos dados à função linear segmentada, pela simples divisão da curva em dois segmentos. As dificuldades em se utilizar este ajuste matemático foram previamente mencionadas⁽²⁵⁾.

Uma abordagem descritiva auxilia a compreensão dos nossos resultados. A característica do aumento do lactato sanguíneo durante protocolo progressivo deve possuir associações com o rendimento esportivo, pois os melhores colocados na prova de 10km tenderam a um aumento exponencial nas [La]. Este comportamento foi notado também em relação ao PVE, com os maiores valores sendo gerados pela maioria dos sujeitos com tendência de melhor ajuste exponencial contínuo (12 indivíduos). Embora devamos ter cautela, é razoável esperar que indivíduos com maior nível de aptidão aeróbia apresentem também, maior tendência de aumento exponencial das [La] em função da carga de trabalho⁽²⁶⁾.

A principal justificativa desta sugestão são as modificações nas características do acúmulo do lactato sanguíneo após treinamento físico⁽²³⁾. Durante teste incremental, sujeitos com maior condicionamento aeróbio conseguem se manter durante um período prolongado em baixas [La], postergando o início do aumento progressivo desta variável^(1,8,14,27), o que poderia gerar um aumento exponencial na curva do lactato sanguíneo. Este comportamento parece estar associado à maior capacidade dos sistemas tampão⁽²⁸⁾, melhor remoção^(28,29) e/ou menor taxa de produção⁽³⁰⁾ do lactato, nestes indivíduos, durante exercício.

Outra contribuição importante desta investigação foi a confirmação da aplicabilidade e consistência do modelo Dmax na determinação do LL, tanto em valores medidos, como em valores ajustados. De outro lado, mesmo sem diferenças significativas, os pontos obtidos pelas variações do modelo Dmax não se distanciaram de uma mesma maneira em relação aos outros métodos utilizados. Entretanto, algumas divergências entre métodos de identificação do LL foram previamente observadas^(16,17,19,20) e podem estar relacionadas às diferentes metodologias adotadas na obtenção desta intensidade⁽³¹⁾.

Diferentemente de estudos anteriores^(19,20), observamos que o modelo Dmax não foi capaz de detectar o rendimento esportivo, pois, além da diferença significativa entre a velocidade obtida por este método e a VM_{10km} , notamos baixos níveis de correlação entre estas variáveis. Nossos resultados corroboram a suposição de que o LL tem maior poder preditivo em provas de longa duração^(8,19,32,33), sugerindo que o PVE e o pico de lactato sanguíneo, obtidos em testes incrementais, sejam variáveis mais sensíveis na detecção do rendimento esportivo em provas curtas, com distâncias inferiores ou iguais a 10km⁽³⁴⁾. Dessa maneira, a falta de capacidade em detectar o rendimento esportivo neste tipo de prova não deve estar condicionada a este modelo específico, mas sim, ao fenômeno fisiológico representado por ele.

Esta e outras investigações⁽¹⁵⁻¹⁷⁾ permitem supor que o Dmax se situe mais próximo ao $L_{1,0}$ e mais distante do $LL_{3,5}$ e/ou do limiar de $4,0\text{mmol.l}^{-1}$. Esta suposição é justificada pela tendência à superestimação do LL quando do uso de [La] fixas, principalmente em indivíduos com maiores níveis de aptidão aeróbia^(12,13), já que os sujeitos analisados nesta, e nas outras investigações^(16,17), eram atletas aeróbios recreacionais e/ou competitivos. Adicionalmente, assumindo-se haver uma relação curvilínea entre as [La] e a carga de trabalho^(4,22), este critério pode se apresentar arbitrário e pouco sensível para a identificação desta intensidade⁽²⁵⁾.

Entretanto, considerando a existência de duas zonas de transição metabólica^(5,10), não é possível concluir sobre qual delas o modelo Dmax é marcador. Por exemplo, enquanto não foi notada diferença entre qualquer critério Dmax e o $LL_{2,0}$, os $Dmax_{MED}$ e $Dmax_{EXP}$ foram significativamente diferentes de LL_{V2} ($p = 0,03$), embora o mesmo não tenha sido observado para os $Dmax_{POL}$ e

Dmax_{SEG}. Isto dificulta a interpretação dos nossos achados, pois teoricamente, LL_{2.0} e LL₂ são considerados marcadores de diferentes zonas de transição metabólica^(5,10).

Na verdade, o modelo teórico que sugere duas zonas de transição metabólica está baseado em estudos clássicos que utilizaram análise visual da curva do lactato^(25,35-37) e/ou [La] fixas^(13,25,35,26), para a obtenção dos LL. Assim, a identificação de duas intensidades distintas é possibilitada, ou pela arbitrariedade do método de [La] fixas, ou pelo alto grau de subjetividade e dependência de interpretação do avaliador no método visual^(11,22). Considerando as limitações destes métodos clássicos, poderíamos sugerir, então, a existência de uma única zona de transição metabólica, manifestada de maneira contínua⁽²¹⁾. De fato, o melhor ajuste exponencial na curva do lactato sanguíneo observado em estudos anteriores^(2,3) e a tendência de melhor ajuste exponencial contínua observada aqui seriam evidências da presença de apenas uma zona de transição metabólica.

Apesar das limitações do presente estudo, observamos tendências de comportamento exponencial na curva do lactato sanguí-

neo durante protocolo progressivo em esteira rolante. De outro lado, notamos evidências da aplicabilidade e consistência do modelo Dmax na determinação da intensidade do LL, tanto em valores medidos, como em valores ajustados. Contudo, este método não se apresentou efetivo na detecção do rendimento esportivo em prova de 10km, sugerindo que, neste caso, a característica exponencial da curva das [La] possa ser um fenômeno que auxilie a compreensão do desempenho nestas provas. Estudos adicionais devem confirmar esta sugestão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. Dr. Fernando Roberto de Oliveira e ao Prof. Dr. Cláudio Romero Marinho pelas contribuições durante a elaboração deste estudo.

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

REFERÊNCIAS

1. Mader A. Evaluation of the endurance performance of marathon runners and theoretical analysis of test results. *J Sports Med Phys Fitness* 1991;31:1-19.
2. Hughson R L, Weisiger KH, Swason GD. Blood lactate concentration increases as a continuous function in progressive exercise. *J Appl Physiol* 1987;62:1975-81.
3. Campbell ME, Hughson RL, Green HJ. Continuous increase in blood lactate concentration during different ramp exercise protocols. *J Appl Physiol* 1989;66:1104-7.
4. Kiss MAPDM, Fleishmann E, Cordani LK, Kalinovsky F, Costa R, Oliveira FR, et al. Validade da velocidade do limiar de lactato de 3,5mmol x L⁻¹ identificada através de teste em pista de atletismo. *Rev Paul Educ Fis* 1995;9:16-25.
5. Ribeiro JP. Limiares metabólicos e ventilatórios durante o exercício. *Arq Bras Cardiol* 1995;64:171-81.
6. Beneke R, Von Duvillard PS. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:241-6.
7. Beneke R, Leithäuser RM, Hütler M. Dependence of maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *Br J Sports Med* 2001;35:192-6.
8. Billat LV. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Med* 1996;22:157-75.
9. Simões HG, Campbell CSG, Kokubun E, Denadai BS, Baldissera V. Determination of maximal lactate steady state velocity coincidence with lower blood glucose. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:S68.
10. Ribeiro JP, Hughes V, Fielding RA, Holden W, Evans W, Knuttgen HG. Metabolic and ventilatory responses to steady state exercise relative to lactate thresholds. *Eur J Appl Physiol* 1986;55:215-21.
11. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986;60:2020-7.
12. Stegmann H, Kindermann W, Shnabel A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1981;2:160-5.
13. Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W. Justification of the 4 mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 1985;6:117-30.
14. Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, Billing JE, Costill DA. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports* 1979;11:338-44.
15. Cheng B, Kuipers H, Snyder AC, Jeukendrup A, Hesselink M. A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int J Sports Med* 1992;13:518-22.
16. Baptista RR, Oliveira LG, Figueiredo JB, Oliveira AR. Comparação entre a determinação do limiar de lactato em remadores pelos métodos D_{máx} e limiar de 4,0mmol.l⁻¹. *Rev Bras Med Esporte* 2003;9(Supl 1):S57.
17. Pires FO, Lima Silva AE, Barros RV, Gagliardi JFL, Degaki E, Kiss MAPDM. Estimativa do 2º limiar de lactato pelo modelo D_{máx}. *Rev Bras Med Esporte* 2003;9(Supl 1):S56.
18. Kara M, Gökbel H, Bediz CS. A combined method for estimating ventilatory threshold. *J Sports Med Phys Fitness* 1999;39:16-9.
19. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT. The relationship between plasma lactate parameters, Wpeak and 1-h cycling performance in women. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:1270-5.
20. Nicholson RM, Sleivert GG. Indices of lactate threshold and their relationship with 10-km running velocity. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:339-42.
21. Pires FO, Lima Silva AE, Barros RV, Gagliardi JFL, Degaki E, Kiss MAPDM. Possibilidade da ocorrência dos 1º e 2º limiares ventilatórios em cargas de trabalho coincidentes, durante protocolos progressivos com incrementos de longa duração. *Rev Bras Ciênc Mov* 2005;13:61-9.
22. Orr GW, Green HJ, Hughson RL, Bennett GW. A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold. *J Appl Physiol Respirat Environ Exerc Physiol* 1982;52:1349-52.
23. Maassen N, Busse MW. The relationship between lactic acid and work load: a measure for endurance capacity or an indicator of carbohydrate deficiency? *Eur J Appl Physiol* 1989;58:728-37.
24. Lima Silva AE, Gagliardi JFL, Lotufo RF, Kiss MAPDM. Ajustes lineares vs quadráticos da curva de consumo de oxigênio durante teste progressivo. *Rev Bras Ciênc Mov* 2003;11:13-8.
25. Gladden LB, Yates JW, Stremel RW, Stamford BA. Gas exchange and lactate anaerobic thresholds: inter- and intraevaluator agreement. *J Appl Physiol* 1985;58:2082-9.
26. Föhrenbach R, Mader A, Hollmann W. Determination of endurance capacity and prediction of exercise intensities for training and competition in marathon runners. *Int J Sports Med* 1987;8:11-8.
27. Costill DL, Thomason H, Roberts E. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports* 1973;5:248-52.
28. Monodero J, Donne B. Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int J Sports Med* 2000;21:593-7.
29. Green H, Halestrap A, Mockett C. Increases in muscle MCT are associated with reductions in muscle lactate after a single exercise session in humans. *Am J Physiol* 2002;282:E154-60.
30. MacRae HSH, Dennis SC, Bosch AN, Noakes TD. Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. *J Appl Physiol* 1992;72:1649-56.
31. Meyer K, Hajric R, Westbrook S, Samek L, Lehmann M, Schwaibold M, et al. Ventilatory and lactate threshold determinations in healthy normals and cardiac patients: methodological problems. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;72:387-93.
32. Kuipers H, Reijnders G, Verstappen F, Shoenmakers H, Hofman G. Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables. *Int J Sports Med* 2003;24:486-91.
33. Fernhall B, Kohrt W, Burkett LN, Walters S. Relationship between the lactate threshold and cross-country run performance in high school male and female runners. *Pediatric Exerc Sci* 1996;8:37-47.
34. Roecker K, Schotte O, Niess AM, Horstmann T, Dickhuth HH. Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:1552-7.
35. Moneta JC, Robergs RA, Costill DL, Fink WJ. Threshold for muscle lactate accumulation during progressive exercise. *J Appl Physiol* 1989;66:2710-6.
36. Simon J, Young JL, Gutin B, Blood DK, Case RB. Lactate accumulation relative to the anaerobic and respiratory compensation thresholds. *J Appl Physiol Respirat Environ Exerc Physiol* 1983;54:13-7.
37. Ivy JL, Withers RT, Van Handel PJ, Elger DH, Costill DL. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J Appl Physiol Respirat Environ Exerc Physiol* 1980;48:523-7.