

VELOCIDADE CRÍTICA COMO ESTIMADOR DO LIMIAR ANAERÓBIO NA NATAÇÃO

Eduardo KOKUBUN*

RESUMO

Dentre as técnicas não invasivas de determinação do limiar anaeróbio (LAn) o método da velocidade crítica (Vcrit) tem merecido grande atenção. O presente estudo teve como objetivos verificar na natação se a Vcrit: a) corresponde ao LAn determinado pelo lactato sanguíneo e à intensidade do equilíbrio dinâmico máximo do lactato e b) é sensível ao treinamento. Um total de 48 nadadores de ambos os sexos foram sujeitos em três protocolos experimentais. No primeiro foi determinado LAn (3 x 200 m progressivos, lactato= 4mM) e a Vcrit resolvendo-se a equação: distância= a + b Vcrit, para tiros de 100 a 800 m. No segundo protocolo, foram coletadas amostras de sangue ao longo de 5 x 400 m a intensidades de 100, 102 e 104% da Vcrit. No terceiro protocolo a Vcrit foi determinada em duas fases distintas do treinamento. Os principais resultados foram: a) a correlação entre o LAn e a Vcrit foi de $r = 0,890$ ($p < 0,05$); b) a 100% da Vcrit o lactato permaneceu estável, tendo aumentado em 102 e 104% e c) o LAn e a Vcrit aumentaram significativamente com o treinamento. Esses resultados indicam que o método da Vcrit é um excelente estimador do LAn.

UNITERMOS: Velocidade crítica; Limiar anaeróbio; Natação.

INTRODUÇÃO

Tem sido amplamente demonstrado que o limiar anaeróbio (LAn) é um preditor preciso da “performance” de longa duração, um indicador da aptidão e uma ferramenta útil para a prescrição de exercícios (Costill, Thomason & Roberts, 1973; Denis, Fouquet, Poty, Geysan & Lacour, 1982; Sjodin, Jacobs, Svendenhag, 1982; Weltman, Katch, Sady & Freedson, 1978).

Evidências experimentais indicam que exercícios de longa duração produzem pequeno ou nenhum acúmulo de ácido láctico no sangue (Stegemann & Kindermann, 1982). Entretanto, um pequeno aumento na intensidade de exercício acima do LAn resulta em rápido aumento de ácido láctico sanguíneo (Heck, Mader, Hess, Müller & Hollmann, 1985; Hollmann, 1985; Wasserman & McIlroy, 1964).

O ácido láctico é considerado um importante indutor de fadiga muscular, possivelmente por contribuir com a produção de cerca de 85% do H^+ muscular durante o exercício (Sahlin & Henriksson, 1984; Tesch, 1980). A diminuição do pH intracelular sabidamente provoca diminuição da atividade glicolítica e da eficiência do acoplamento excitação e contração musculares (Booth & Thomason, 1991). Assim, o rápido aumento da concentração de lactato sanguíneo, que ocorre em exercícios realizados em intensidade superior ao LAn, resultaria em acidose metabólica, indução de fadiga com conseqüente diminuição no tempo ou intensidade do exercício, ausência de “steady state” da ventilação, consumo de oxigênio e produção de CO_2 (Wasserman & McIlroy, 1964).

Inúmeros trabalhos descreveram uma alta correlação entre a velocidade de corrida correspondente ao LAn e a velocidade média de corrida na maratona (Farrel, Wilmore, Coyle, Billing &

* Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista (Rio Claro - SP).

Costill, 1979; Sjödin & Jacobs, 1981). Foi também verificado que a velocidade correspondente ao LAN poderia ser mantida durante 50 minutos ou mais de corrida (Stegemann & Kindermann, 1982). A maior eficiência para o treinamento aeróbio parece ocorrer com intensidade de treinamento correspondente ao LAN, conforme demonstrado em natação (Maglischo, Maglischo, Smith, Bishop & Hovland, 1984), em cicloergômetro (Denis, Dormois, Castells, Bonnefoy, Padilla, Geysant & Lacour, 1988; Denis, Dormois & Lacour, 1984; Denis et alii, 1982) e em esteira rolante (Pierce, Weltman, Seip & Snead, 1990). Verificou-se também que o LAN apresenta uma especificidade ao tipo de exercício, maior do que para o VO_{2max} , sugerindo que o primeiro é um indicador das adaptações musculares periféricas (Pierce et alii, 1990).

Particularmente na natação, o limiar anaeróbio tem sido empregado extensivamente. Maglischo et alii (1984) aplicaram três tiros de 200 m (70 - 80%, 80 - 90%, acima de 90% da velocidade máxima para a distância) em três fases do treinamento e verificaram que a velocidade e a frequência cardíaca para a mesma concentração de lactato aumentava com o treinamento. Olbrecht, Madsen, Mader, Liesen & Hollmann (1985) verificaram que a velocidade correspondente ao lactato sanguíneo de 4 mM poderia ser utilizado para estabelecer a intensidade ideal de treinamento.

Mais recentemente tem-se procurado estabelecer o perfil metabólico de nadadores com o uso de diferentes protocolos de teste. Troup (1986) apresentou um conjunto de critérios para a aplicação de testes de lactato para a elaboração de um programa anual de treinamento em natação. Prins (1988) sugere a utilização de diferentes procedimentos de testes para monitorar os efeitos do treinamento aeróbio e anaeróbio. Keskinen, Komi, & Rusko (1989) apresentaram um estudo comparativo entre três tipos de testes de lactato utilizados na natação, tendo verificado que as mais elevadas concentrações de lactato eram obtidas em tiros máximos de 100 m e que os tiros mais longos eram mais apropriados para a avaliação da capacidade anaeróbia.

Assume-se, frequentemente que o LAN é demarcado pela maior intensidade de exercício que pode ser realizada sem aumento da concentração sanguínea de lactato, ou seja, o equilíbrio dinâmico máximo do lactato sanguíneo ($[Lac]_{SSSmax}$) (Oyono-Enguelles, Heitz, Paterson & Smith, 1990).

Usualmente, o LAN é determinado submetendo-se o sujeito a um esforço de cargas progressivas, durante o qual a concentração de lactato sanguíneo é medida. Alguns trabalhos demonstraram que havia correlação significativa entre a intensidade correspondente ao $[Lac]_{SSSmax}$ e o desvio da linha base da concentração do lactato (Kindermann, Simon & Keul, 1979; Wasserman & McIlroy, 1964), ou ainda com a intensidade de trabalho correspondente a uma concentração fixa de lactato (Heck et alii, 1985; Sjödin & Jacobs, 1981). Entretanto, o primeiro procedimento apresenta pequena objetividade enquanto o segundo está sujeito a variações conforme o estoque de glicogênio muscular (Yeh, Gardner, Adams, Yanowitz & Crapo, 1983)

Mais recentemente tem crescido o interesse pela utilização de técnicas não invasivas de determinação do LAN, Conconi, Ferrari, Ziglio, Droghetti & Codeca (1982) propuseram a determinação do LAN a partir da perda da linearidade entre a velocidade de corrida e a frequência cardíaca. Contudo, Chicharro, Legido & Hertas (1990) não conseguiram encontrar resultados satisfatórios com este método.

Uma técnica não invasiva de determinação do LAN consiste em utilizar um dos parâmetros da função hiperbólica que relaciona a intensidade com o tempo máximo de exercício. Monod & Scherrer (1965) propuseram um teste para determinação da potência crítica (P_{crit}) que foi definido como o coeficiente de regressão linear entre o trabalho realizado no tempo. Moritani, Nagata, DeVries & Muro (1981) aplicaram este teste para a bicicleta ergométrica, e apresentaram evidências de que o intercepto da reta de regressão estava associada com a capacidade anaeróbia, tendo sido denominado de capacidade de trabalho anaeróbio (CTAnaer).

Poole, Ward, Gardner & Whipp (1988) e Poole, Ward & Whipp (1990) determinaram a P_{crit} no cicloergômetro e verificaram que ela demarcava a potência correspondente ao $[Lac]_{SSSmax}$. Resultado semelhante foi verificado por Overend, Cunningham, Paterson & Smith (1992) em esteira que denominaram esta intensidade de velocidade crítica (V_{crit}).

Tegtbur, Busse & Baumann (1993) apresentaram uma técnica de determinação do $[Lac]_{SSSmax}$ que consistia em aplicar um teste progressivo após um esforço prévio máximo de curta duração. Verificaram que o lactato diminuía nas cargas iniciais do teste até uma concentração mínima, cuja intensidade foi denominada velocidade de lactato mínimo (VLM), voltando a aumentar novamente. Os resultados deste estudo indicaram fortemente que a VLM corresponderia à $[Lac]_{SSSmax}$ e à V_{crit} segundo a técnica de Poole et alii (1988, 1990) e Overend et alii (1992).

Em resumo, o LAn tem sido amplamente utilizado como meio para a avaliação do condicionamento de atletas, em particular, na natação. As técnicas de determinação procuram identificar a intensidade que corresponde ao $[Lac]_{SSSmax}$ podendo ser invasivas ou não. As técnicas não invasivas tem sido investigadas devido à sua utilidade prática, contudo, muitas delas tem se demonstrado frágeis em diferentes aspectos.

O presente estudo foi elaborado com o propósito de verificar a viabilidade de utilização da Vcrit em natação. A vantagem desta técnica de determinação é que ela é não invasiva, podendo ser aplicada no contexto do treinamento, já que requer a realização de tiros máximos em diferentes distâncias, executando a modalidade específica do nadador.

Assim, no presente trabalho, foram testadas três hipóteses. A primeira é que a Vcrit corresponde ao LAn determinado através de técnica convencional, ou seja, a intensidade correspondente à concentração de lactato de 4 mM em teste progressivo. Para este propósito foi determinado o LAn e a Vcrit.

A segunda hipótese é a de que a Vcrit corresponde efetivamente ao $[Lac]_{SSSmax}$. Isto foi testado analisando-se o comportamento do lactato durante a realização de um esforço com intensidade correspondente à Vcrit e outros com intensidades ligeiramente superiores.

Finalmente, a determinação da Vcrit foi realizada em diferentes períodos de treinamento, com o intuito de verificar a sensibilidade da Vcrit aos efeitos do treinamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram sujeitos deste estudo, 48 nadadores de ambos sexos, envolvidos em programa regular de treinamento de natação, filiados à Federação Paulista de Natação, e que estavam treinando regularmente há pelo menos dois anos.

Foram utilizados três protocolos experimentais. O primeiro protocolo foi realizado com o propósito de verificar a correlação entre o LAn e a Vcrit. O segundo protocolo teve como objetivo verificar se a Vcrit corresponde ao $[Lac]_{SSSmax}$. O terceiro protocolo foi realizado com o propósito de verificar o efeito de diferentes períodos de treinamento sobre a Vcrit.

Protocolo I: correlação entre o LAn e a Vcrit

Foram determinados o LAn e a Vcrit, conforme procedimento descrito a seguir.

Determinação do LAn: Os sujeitos foram submetidos a três tiros de 200 m em nado crawl, a intensidade de 85, 95 e 100% da velocidade máxima para a distância. Em cada tiro, aos um, três, cinco, sete e 10 minutos de recuperação, foram coletadas amostras de 25 μ l de sangue do lóbulo de orelha em tubo capilar heparinizado e calibrado, que foram imediatamente transferidas a tubos contendo 50 μ l de solução hemolisante (fluoreto de sódio, 1% p/v e Triton X-100, 0,02% v/v).

As soluções de sangue hemolisado foram utilizadas para análise de lactato em analisador eletroquímico (YSL 2300 STAT¹ Yellow Spring Co., EUA). Todas as análises foram realizadas em duplicata. Para efeito de análise foi considerada a concentração mais elevada de lactato ao final de cada tiro (pico de lactato).

O LAn foi definido como a velocidade correspondente à concentração do lactato sangüíneo de 4 mM, por interpolação linear dos resultados dos 3 x 200 m. O LAn foi expresso em velocidade absoluta (m/s).

Determinação da Vcrit: Os sujeitos realizaram tiros máximos de 100, 200 e 400 m em nado crawl, registrando-se os tempos para cálculo da velocidade média. A Vcrit foi determinada linearizando-se a função hiperbólica retangular abaixo (FIGURA 1) (Overend et alii, 1992):

$$(V - V_{crit}) \times t = CT_{Anaer} \quad \{Eq.I\}$$

rearranjando:

$$V - V_{crit} = CT_{Anaer} \times 1/t$$

$$V = CT_{Anaer} \times 1/t + V_{crit}$$

multiplicando-se por t , e considerando $V \times t = D$ (distância), temos a forma:

$$D = CT_{Anaer} + V_{crit} \times t \quad \{Eq.II\}$$

Onde: V = Velocidade de nado (m/s)
 CT_{Anaer} = Cap.trab. Anaeróbio (m)
 t = Tempo (s)
 D = Distância (m)

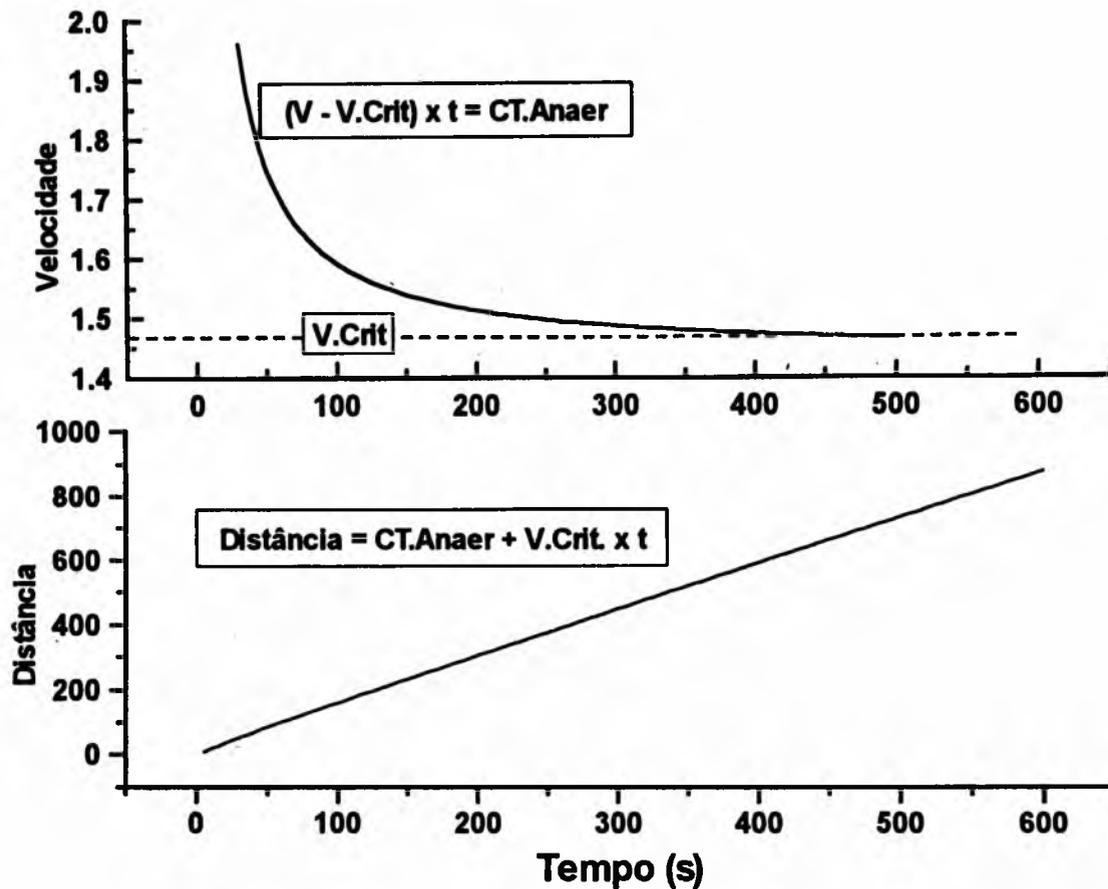


FIGURA 1 - Determinação da velocidade crítica segundo Overend et alii (1992). O gráfico à esquerda representa a função hipérbole entre velocidade e duração do esforço. À direita, a função linearizada, cuja inclinação, corresponde à velocidade crítica.

Os coeficientes CT_{Anaer} e V_{crit} da equação linearizada (Eq.II) foram determinados para cada sujeito, através de regressão linear simples.

Protocolo II: correspondência entre V_{Crit} e $[Lac]_{SSSmax}$

Numa primeira sessão de testes, foi determinada a V_{crit} de cada sujeito, conforme procedimento já descrito. Na segunda, terceira e quarta sessões de testes, cada sujeito realizou cinco tiros de 400 m em nado crawl, respectivamente a 100, 102 e 104% da V_{crit} , com pausa de 30 segundos entre os tiros para coleta de sangue ao final do primeiro, terceiro e quinto tiros, e análise de lactato, conforme procedimento já descrito.

Protocolo III: efeito do treinamento na relação entre a V_{crit} e LAn

As coletas de dados foram realizadas em duas fases da periodização: a) ao final do período de preparação específica (PPE) e b) ao final do período competitivo (PC).

Período de preparação específica: Nas três semanas que antecederam as coletas do PPE, os nadadores realizavam seis sessões semanais de treinamento de 5 000 a 6 000 m por sessão. Em duas sessões da semana (às quartas-feiras e sábados), os nadadores eram submetidos a treinamento anaeróbio intenso realizando séries de quatro a cinco tiros de 200 m ou oito a 12 tiros de 50 m com pausa de dois a cinco minutos à velocidade máxima possível. Essas séries foram classificadas respectivamente como séries de tolerância e de produção de lactato (Maglischo, 1993). A determinação do LAn foi realizada conforme procedimento já descrito, após aquecimento leve de aproximadamente 1 000 m. Após a aplicação do teste para determinação do LAn os sujeitos realizaram tiros máximos de 100 m, 200 m e 400 m, sempre com um descanso de no mínimo 20 minutos entre cada esforço.

Período competitivo: Neste período, com duração de três semanas, os nadadores realizavam seis sessões semanais de 2 500 m a 3 000 m de treinamento. Duas a três vezes por semana, realizavam séries de velocidade (quatro a oito tiros máximos de 25 m com pausa de um a três minutos) e também simulações de prova (4 x 25 m ou 50 m, com pausa de cinco a 10 segundos entre tiros, em velocidade equivalente à prova de 100 m ou 200 m). O restante do treinamento era composto de exercícios leves, incluindo educativos, saídas e viradas. Para a determinação da Vcrit, foram utilizados resultados de provas de 100 m, 200 m, 400 m e 800 m em competição (Campeonato Estadual Paulista). No segundo ou terceiro dia após a competição, os nadadores foram submetidos ao teste para determinação do LAn conforme descrição anterior.

Procedimento estatístico

As médias do LAn e Vcrit obtidas no primeiro protocolo foram comparadas através do teste t de Student para amostras dependentes. Foi também determinado o coeficiente de correlação de Pearson para as duas variáveis. Os mesmos testes estatísticos foram utilizados para a comparação das médias da Vcrit e LAn obtidas no PPE e PC.

No segundo protocolo, foi utilizada a análise de variância para medidas repetidas para a comparação das médias de lactato dos intervalos entre tiros.

Em todas as análises estatísticas o nível de significância foi pré-fixado em $p < 0,05$.

RESULTADOS

Na FIGURA 2 está representada a relação entre o tempo e a distância no tiro máximo de 100 a 800 m. Esses dados foram obtidos em sessões de treinamento, onde os técnicos se utilizavam de tiros máximos como parte do treinamento. Infelizmente, não foi possível obter dados de todas as distâncias para todos os sujeitos. De um total de 49 nadadores, 86%, 94%, 22% e 12% realizaram tiros máximos de 100 m, 200 m, 400 m e 800 m respectivamente. Nem sempre o técnico concordava em permitir a aplicação de tiros máximos nas quatro distâncias. Assim, foi dada prioridade para a coleta de dados em tiros de 100 m e 200 m.

Na TABELA 1 estão apresentados os tempos e velocidades médias para os tiros. Conforme pode ser visualizado, os nadadores que se submeteram os tiros mais longos, eram aqueles com melhor desempenho, na medida em que as velocidades médias são maiores.

Na FIGURA 3 e TABELA 2 estão apresentados os resultados da Vcrit e LAn. Não houve diferença significativa entre a média dessas duas variáveis e a correlação foi elevada ($r = 0,8904$). O erro padrão da estimativa do LAn a partir da Vcrit foi de 0,053, o que corresponde a um erro de 4,2%.

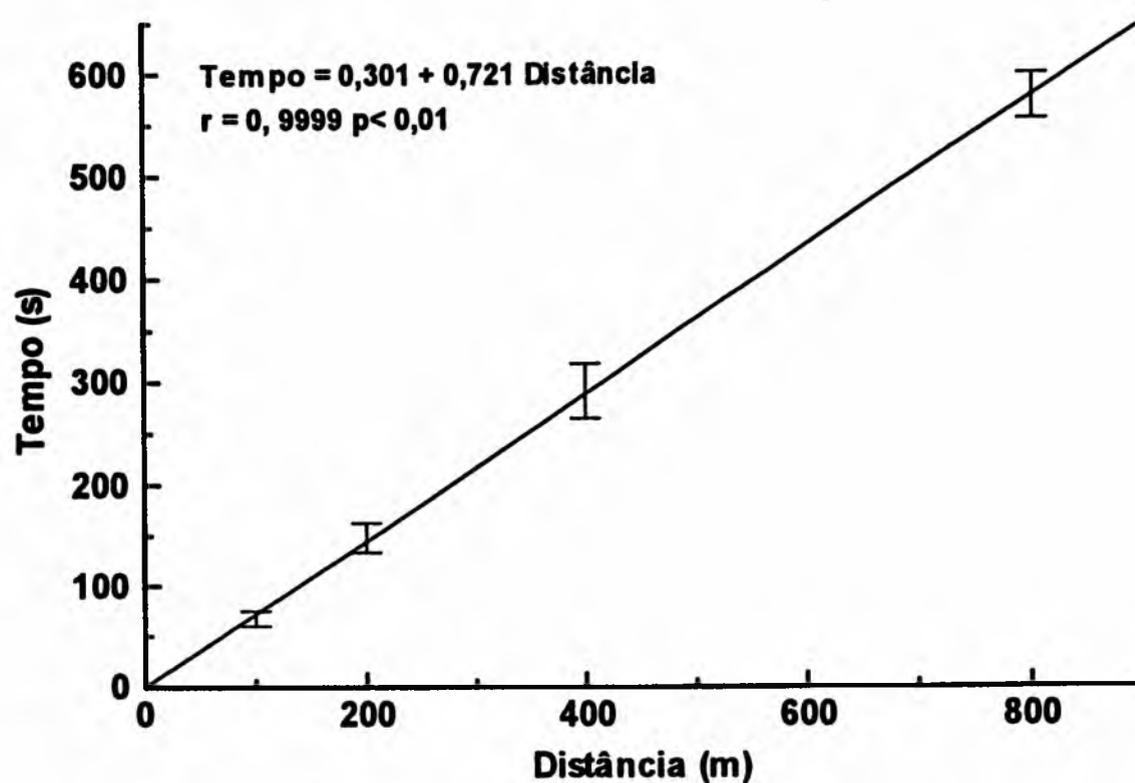


FIGURA 2 - Relação entre tempo realizado e distância do tiro máximo.

TABELA 1 - Média \pm desvio padrão do tempo e lactato em tiros máximos de 100 e 200 m (n = 49).

	Tempo (min'seg'')	Velocidade média (m/s)
100 m n= 42	1'08,09" \pm 7,21"	1,484 \pm 0,157
200 m n= 46	2'27,98" \pm 14,64"	1,364 \pm 0,130
400 m n= 11	4'50,86" \pm 26,56"	1,385 \pm 0,117
800 m n= 6	9'35,46" \pm 22,37"	1,392 \pm 0,054

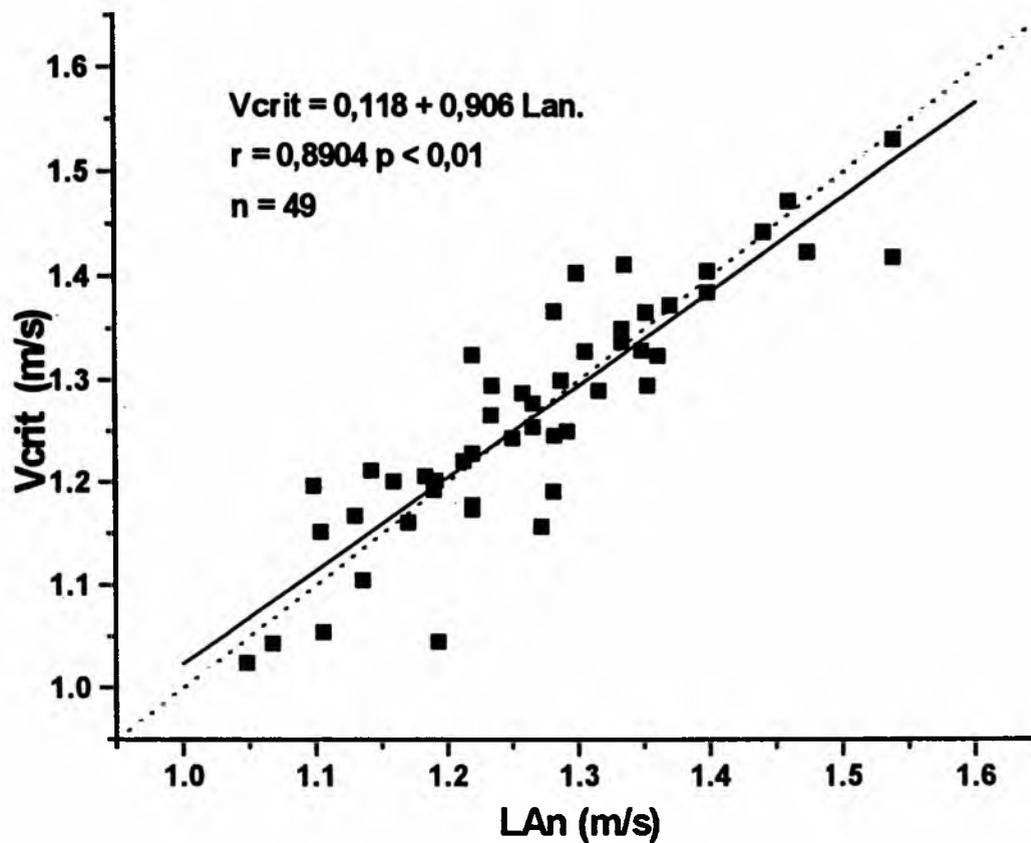


FIGURA 3 - Gráfico de dispersão do LAn e Vcrit.

TABELA 2 - Média \pm desvio padrão da velocidade correspondente ao limiar anaeróbio (LAn) e velocidade crítica (Vcrit) e capacidade de trabalho anaeróbio (CTAnaer) (n = 49).

CTAnaer (m)	VCrit (m/s)	LAn (m/s)	
15,73 \pm 6,74	1,267 \pm 0,117	1,269 \pm 0,115	n.s.
$r = 0,8904$		$p < 0,05$	

n.s.: Diferença não significativa entre LAn e Vcrit.

Na FIGURA 4 e TABELA 3 estão apresentados os resultados dos 5 x 400 m. A análise de variância indicou que não houve diferença significativa da velocidade entre os cinco tiros de cada série (dados não mostrados), contudo, houve diferença significativa entre as três séries. Assim, a variação do lactato entre o primeiro, terceiro e quinto tiros de cada série não pode ser atribuída à variação da intensidade do exercício.

Na primeira série (100% Vcrit) não houve diferença significativa da concentração de lactato entre as três coletas.

Na segunda série, realizada a 102% da Vcrit, houve aumento do lactato entre o primeiro e o terceiro tiro, porém não houve diferença entre o terceiro e o quinto tiro. A concentração de lactato no terceiro e quinto tiros foi maior do que nos tiros correspondentes da série 100% Vcrit.

Já na série mais intensa (104%) a concentração de lactato sanguíneo aumentou progressivamente ao longo das três coletas. Além disso, no primeiro e terceiro tiros, a concentração de lactato foi maior do que na série a 100% Vcrit, e no quinto tiro maior do que as demais séries.

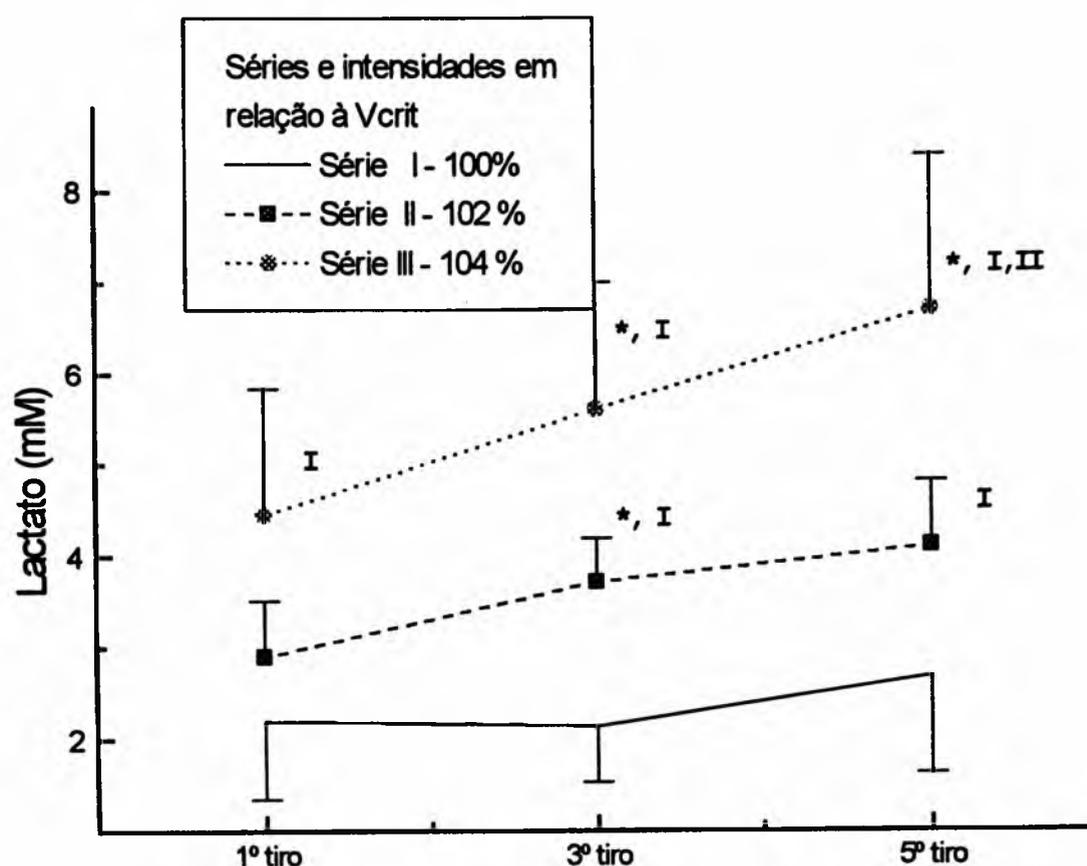


FIGURA 4 - Resposta do lactato sanguíneo a 5 x 400 m a 100 (Série I), 102 (Série II) e 104% (série III) da Vcrit.* Diferença significativa em relação ao tiro anterior ($p < 0,05$). I, II: Diferença significativa em relação à série I, ou II.

TABELA 3 - Média \pm desvio padrão da velocidade e concentrações de lactato sanguíneo em 3 x 5 x 400 m com 30 segundos pausa. As séries foram realizadas com intensidades previstas para 100, 102 e 104% da Vcrit (S.I, S.II e S.III) (n=16).

	Veloc. Média (m/s)	Lactato (mM)		
		1º tiro	3º tiro	5º tiro
S.I	1,293 \pm 0,073	2,21 \pm 0,86	2,14 \pm 0,60	2,68 \pm 1,05
S.II	1,312 \pm 0,057	2,90 \pm 0,61	3,71 \pm 0,48 *,I	4,10 \pm 0,71 I
S.III	1,370 \pm 0,092	4,45 \pm 1,39 I	5,61 \pm 1,40 *,I	6,69 \pm 1,68 *, I, II
Vcrit	1,286 \pm 0,124			

* Diferença significativa em relação ao tiro anterior ($p < 0,05$).

I, II: Diferença significativa em relação à série I, ou II.

Na FIGURA 5 e TABELA 4 estão apresentados os resultados das estimativas da Vcrit e LAN no período de preparação específica e período competitivo. Houve diferença significativa para essas duas variáveis entre os dois períodos. Contudo, os parâmetros estimados pela análise de regressão entre Vcrit e LAN, não foram estatisticamente diferentes entre os dois períodos (TABELA 5). A CTAnaer contudo diminuiu significativamente entre PPE e PC.

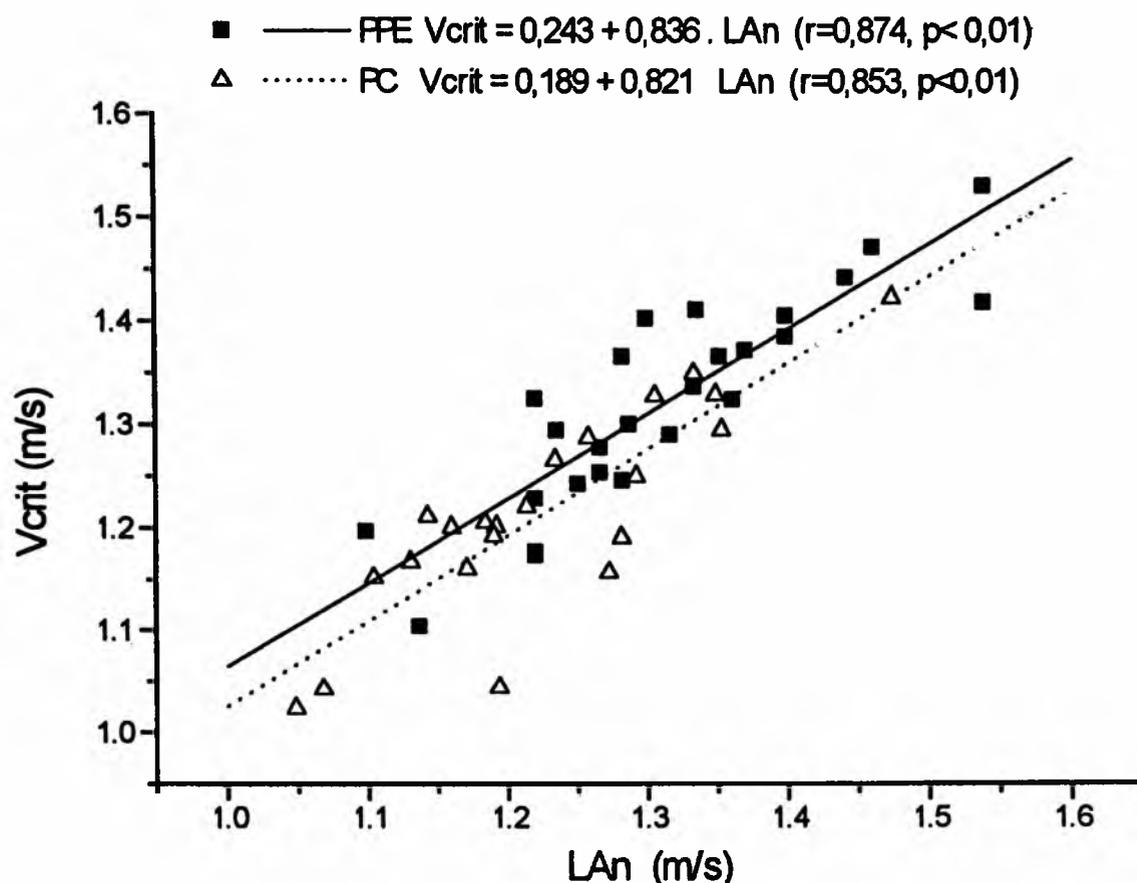


FIGURA 5 - Gráfico de dispersão entre V_{crit} e LAn obtidos no período específico (PPE) e competitivo (PC) de treinamento.

TABELA 4 - Médias \pm desvios padrões do LAn , V_{crit} e CT_{Anaer} obtidos no final do período específico e no período competitivo ($n = 21$).

	Período Específico	Período Competitivo
Limiar anaeróbio (m/s)	1,225 \pm 0,103	1,312 \pm 0,108*
Velocidade crítica (m/s)	1,226 \pm 0,096	1,321 \pm 0,103*
$CT_{Anaeróbio}$ (m)	17,151 \pm 6,608	14,438 \pm 6,851*

* Diferença significativa em relação ao período específico ($p < 0,05$).

TABELA 5 - Resultado da análise de regressão entre o LAn e V_{crit} em testes aplicados ao final do período específico e competitivo ($n = 21$).

	Período Específico	Período Competitivo
Coefficiente de correlação (r)	0,874	0,853
Constante (a)	0,243	0,189
Coefficiente de regressão (b)	0,836	0,821

Não houve diferença significativa entre r, a e b, nos dois períodos de treinamento.

DISCUSSÃO

Desde o trabalho de Monod & Scherrer (1965) o teste para a determinação da Potência crítica e o significado dos coeficientes P_{crit} e CT_{Anaer} tem sido objeto de muitos estudos.

Os resultados do presente estudo evidenciam uma correlação elevada entre o L_{An} e o V_{crit} . Além disso, a ausência de diferença significativa entre ambos, indica que se tratam da mesma medida.

A existência do equilíbrio dinâmico de lactato nos tiros realizados em intensidade correspondente à V_{crit} e o acúmulo de lactato em intensidade superior é outro indicativo de que este índice reflete a intensidade correspondente ao $[Lac]_{SSS_{max}}$.

Olbrecht et alii (1985) submeteram 59 nadadores alemães a testes de duas velocidades (2 x 400 m a 85 e 100% do melhor tempo) para determinação do L_{An} , teste máximo, 95 e 90% de 30 minutos e máximo de 60 minutos, séries de treinamento de 2 400 m (6 x 400 m, 12 x 200 m, 24 x 100 m, 48 x 50 m) com 10 segundos ou 30 segundos de pausa. Verificaram que o teste máximo de 30 minutos apresentava uma correlação elevada com o limiar anaeróbio ($r = 0,97$). Verificaram ainda que nas séries de treinamento, as concentrações de lactato eram significativamente menores do que os previstos pelo teste de duas velocidades. Em particular na série de 6 x 400 m com 30 segundos de pausa, para um lactato previsto de $3,40 \pm 0,47$ mM, observou-se concentrações de $3,47 \pm 0,49$ mM após o primeiro tiro a $2,48 \pm 0,43$ mM após o segundo tiro, permanecendo nesse patamar até o último tiro. No presente estudo, nas séries de 5 x 400 m com 30 segundos de pausa, semelhantes portanto ao aplicado por Olbrecht et alii (1985), não houve alteração na concentração do lactato ao longo da série a 100% V_{crit} , porém aumento nas intensidades superiores. Deste modo, aumento na velocidade de apenas 2% resultaram em perda do equilíbrio dinâmico do lactato. Este resultado é consistente com a hipótese de que a V_{crit} é um estimador do $[Lac]_{SSS_{max}}$.

Entretanto, trabalhos realizados em cicloergômetro tem relatado que a P_{crit} tem superestimado a intensidade correspondente ao $[La]_{SSS_{max}}$.

Jenkins & Quigley (1992) observaram que tanto antes, como após oito semanas de treinamento aeróbio, os sujeitos eram capazes de realizar 40 minutos de exercício em intensidade somente cerca de 5,4 a 5,7% inferior à P_{crit} . Durante esse esforço, observaram que havia equilíbrio dinâmico do lactato em concentrações entre $8,2 \pm 2,2$ a $10,8 \pm 2,2$ mM.

Esta mesma linha de evidência é apresentada por McLellan & Cheung (1992) quando determinaram o limiar anaeróbio individual (IAT) e a P_{crit} em 14 homens ($234,9 \pm 44,4$ vs. $265,1 \pm 39,3$ W), respectivamente. Apesar da elevada correlação entre os dois indicadores ($r = 0,98$) houve diferença significativa no tempo de exercício até a exaustão na intensidade correspondente ao IAT e P_{crit} ($29,9 \pm 0,5$ vs. $20,5 \pm 4,5$ minutos), ausência de equilíbrio dinâmica do lactato ($6,8 \pm 1,9$ mM aos 15 minutos na P_{crit} vs. $4,4 \pm 2,4$ mM aos 30 minutos no IAT), pH e pCO_2 sanguíneos na última. Mais recentemente Gasser, Carnevale, Garfinkel, Walter & Womack (1995) também verificaram que a P_{crit} superestimava a intensidade correspondente ao limiar ventilatório (239 ± 25 vs. 189 ± 34 W).

O fato da P_{crit} em cicloergômetro superestimar o $[Lac]_{SSS_{max}}$ e o mesmo não ter ocorrido no presente estudo com relação à V_{crit} merece melhor consideração.

A determinação da V_{crit} parte do pressuposto de que potência e velocidade estão linearmente relacionados. Contudo, Wakayoshi, D'Acquisto, Cappaert & Troup (1995) submeteram 10 nadadores a teste progressivo em "swimming flume" tendo medido o VO_2 e lactato sanguíneo, a partir dos quais foram estabelecidos o L_{An} (velocidade correspondente a lactato de 4 mM, V_{OBLA}) e o VO_{2pico} . Observaram que a relação entre o VO_2 e velocidade era melhor representada pelo cubo da velocidade. A V_{OBLA} foi de $1,412 \pm 0,017$ m/s, e as velocidades correspondentes a 80 e 100% do VO_{2pico} de respectivamente $1,507 \pm 0,036$ e $1,658 \pm 0,038$ m/s. Assim, considerando-se as relação cúbica entre VO_2 e velocidade pode-se estimar o L_{An} em torno de 69% do VO_{2pico} . Este resultado é semelhante ao IAT descrito por McLellan & Cheung (1992) para cicloergômetro.

A relação cúbica entre VO_2 e velocidade de nado (Wakayoshi et alii, 1995) contudo, viola um dos pressupostos da linearidade entre essas variáveis, importante para a aplicação da relação hiperbólica entre distância e velocidade. Entretanto, substituindo-se os valores da distância na equação para cálculo da V_{crit} , pelo produto da velocidade ao cubo e tempo, a estimativa da V_{crit} diminui em apenas 1,5% (de 1,267 m/s para 1,248 m/s na TABELA 1). De fato, DiPrampero, Pendergast, Wilson & Rennie (1974) verificaram que o VO_2 e velocidade de natação poderiam ser relacionados por regressão linear simples.

Toussaint & Hollander (1995) apresentaram uma estimativa teórica para o gasto energético na natação. Admitiram que a potência da produção energética no exercício (P_{total}) é a somatória da potência anaeróbia (P_{anr}) e aeróbia (P_{aer}):

$$P_{total} = P_{aer} + P_{anr} \quad \{\text{Eq. III}\}$$

e que a P_{aer} e P_{anr} são assintóticos:

$$P_{aer} = P_{aer.max} (1 - e^{-K_{aer.t}}) \quad \{\text{Eq. IV}\}$$

e

$$P_{anr} = P_{anr.max} e^{-K_{anr.t}} \quad \{\text{Eq. V}\}$$

O trabalho fisiológico realizado durante a natação (T) seria portanto:

$$T_{total} = \int P_{aer} dt + \int P_{anr} dt \quad \{\text{Eq. VI}\}$$

cuja solução é:

$$\begin{aligned} T_{total} &= \int [P_{aer.max} (1 - e^{-K_{aer.t}})] dt + \int [P_{anr.max} e^{-K_{anr.t}}] dt \\ &= P_{aer.max} t + P_{aer.max} (1 - e^{-K_{aer.t}})/-K_{aer} + \\ &\quad P_{anr.max} (1 - e^{-K_{anr.t}})/K_{anr} \end{aligned} \quad \{\text{Eq. VII}\}$$

quando $t \rightarrow \infty$

$$T_{total} = P_{aer.max} t - P_{aer.max}/K_{aer} + P_{anr.max}/K_{anr} \quad \{\text{Eq. VIII}\}$$

Para Toussaint & Hollander (1995) podemos admitir para a natação que $K_{aer} = K_{anr}$ de modo que a Eq. VIII se torna:

$$T_{total} = P_{aer.max} t + (P_{anr.max} - P_{aer.max})/K_{aer} \quad \{\text{Eq. VIII}\}$$

que tem a forma clássica para o cálculo da potência crítica e:

$$\text{Potência Crítica} = P_{aer.max} \quad \{\text{Eq. IXa}\}$$

$$\text{CTAnaeróbio} = (P_{anr.max} - P_{aer.max})/K_{aer} \quad \{\text{Eq. IXb}\}$$

A potência média durante um esforço pode ser calculada dividindo-se o T_{total} {Eq. VII} pelo tempo:

$$P_{total} = P_{aer.max} + (P_{anr.max} - P_{aer.max}) (1 - e^{-K_{aer.t}})/(K_{aer} t) \quad \{\text{Eq. X}\}$$

Segundo DiPrampo et alii (1974) a potência fisiológica pode ser relacionada com a potência mecânica do nado segundo a relação:

$$P_{fisiológica} = P_{mecânica}/E = F_a v/E \quad \{\text{Eq. XI}\}$$

onde E representa o produto entre a eficiência bruta ($E_g = 60\%$) e eficiência propulsiva ($E_p = 9\%$), F_a a força de arrasto ativo e v a velocidade do nado.

A força de arrasto na água equivale, segundo a lei de Bernoulli ao produto entre o coeficiente de arrasto (C_x), à densidade da água (R), à superfície frontal (S) e o quadrado da velocidade (v^2):

$$F_a = C_x R S v^2 \quad \{\text{Eq. XII}\}$$

Admitindo-se que C_x , R e S da Eq. XII e E da Eq. XI permaneçam constantes, podemos fazer $A = C_x R S/E$ e

$$P_{\text{fisiológica}} = F_a v/E = A \cdot v^3 \quad \{\text{Eq. XIII}\}$$

Já que

$$P_{\text{fisiológica}} = P_{\text{total}} = P_{\text{aer}} + P_{\text{anr}}$$

Podemos igualar a Eq. X com a Eq. XIII

$$A \cdot v^3 = P_{\text{aer.max}} + (P_{\text{anr.max}} - P_{\text{aer.max}}) (1 - e^{-K_{\text{aer}} \cdot t}) / (K_{\text{aer}} \cdot t)$$

ou

$$v = \{1/A [P_{\text{crit}} + CT_{\text{Anaer}} (1 - e^{-K_{\text{aer}} \cdot t}) / (K_{\text{aer}} \cdot t)]\}^{1/3} \quad \{\text{Eq. XIV}\}$$

Os valores sugeridos por Toussaint & Hollander (1995) para os parâmetros da Eq. XIII são: $C_x \cdot R \cdot S = 23 \text{ kg/m}$; $A = 425,9 \text{ kg/m}$; $P_{\text{aer.max}} = 18,8 \text{ W/kg}$; $P_{\text{anr.max}} = 46,53 \text{ W/kg}$; $K_{\text{aer}} = 0,031 \text{ s}$ o que resulta em:

$$P_{\text{crit}} = 18,8 \text{ W/kg e}$$

$$CT_{\text{Anaer}} = (46,53 - 18,8) / 0,031 = 895 \text{ J/kg}$$

Admitindo um nadador com peso corporal de 65 kg, podemos converter a P_{crit} em V_{crit} :

$$A \cdot V_{\text{crit}}^3 = P_{\text{crit}} \cdot \text{Peso}$$

cuja solução é

$$V_{\text{crit}} = 1,421 \text{ m/s}$$

Este valor teórico para a V_{crit} está na mesma ordem de grandeza dos resultados do presente estudo que variaram de $1,267 \pm 0,177 \text{ m/s}$ (TABELA 1) a $1,321 \pm 0,103 \text{ m/s}$ (TABELA 4).

Na FIGURA 6 estão apresentadas a velocidade teórica prevista pela equação XIV e o resultado da regressão para estimativa da V_{crit} e CT_{Anaer} no intervalo de cinco a 600 segundos. A V_{crit} e CT_{Anaer} foram estimadas em $1,435 \text{ m/s}$ e $15,76 \text{ m}$ respectivamente. Esses resultados estão bastante próximos aos encontrados no presente estudo.

Pode-se também verificar que no intervalo entre 100 a 800 m, as curvas teórica e da estimativa de V_{crit} apresentam velocidades bastante semelhantes. Contudo, em distâncias inferiores a 100 m, o procedimento para determinação da V_{crit} tende a superestimar a velocidade teórica.

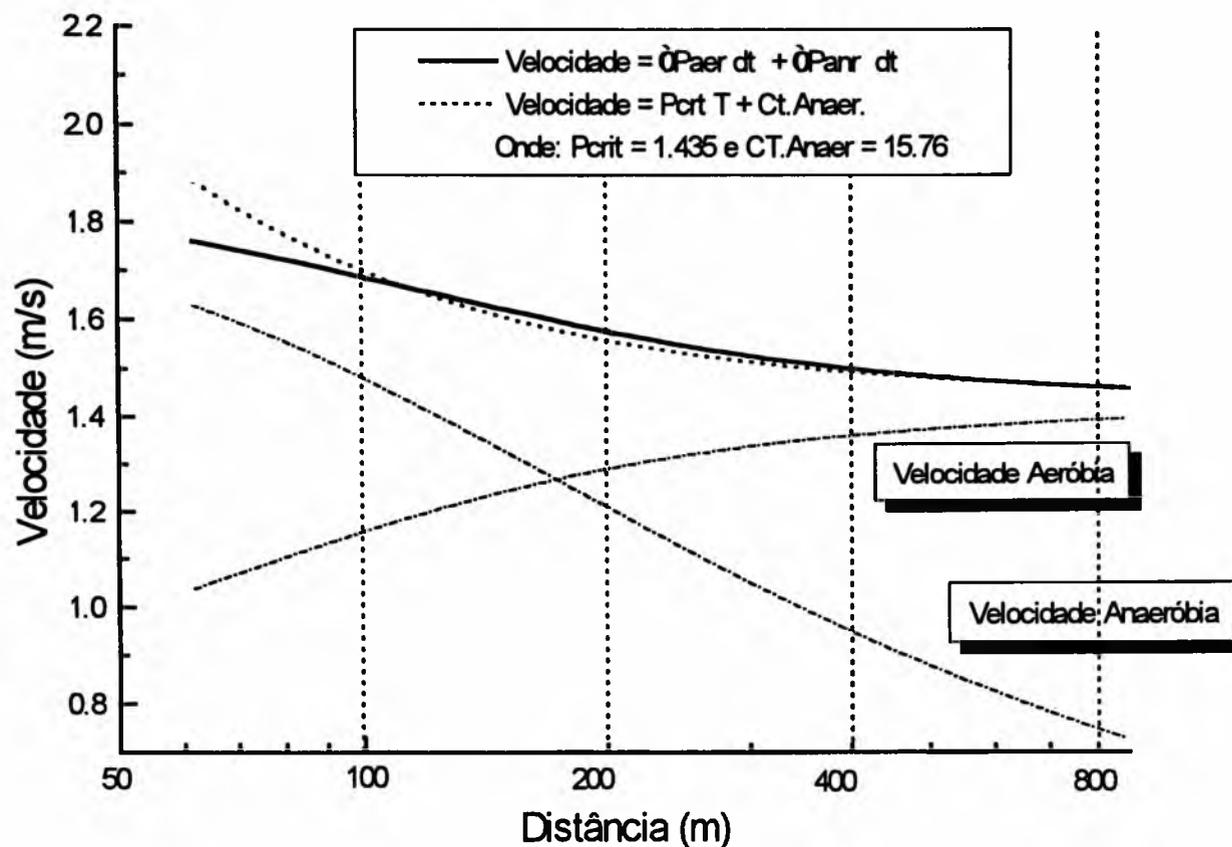


FIGURA 6 - Velocidade teórica de nado em distâncias de 50 a 800 m e a estimada pela Vcrit. Estão apresentados também a contribuição do metabolismo aeróbio e anaeróbio.

Estas estimativas indicam que relação linear distância-tempo na natação parecem produzir erro pequeno no intervalo de distância entre 100 e 800 m. Foi aplicada a regressão múltipla “passo a passo” entre as velocidades em tiros máximos de 50, 100, 200, 400 e 800 m como variável dependente e Vcrit e CTAnaer como variáveis independentes. Os resultados estão apresentados na TABELA 6.

TABELA 6 - Resultado da análise de regressão múltipla passo a passo entre a velocidade média em tiros de 50 a 800 m e a Vcrit e CTAnaer.

Distância	Coeficiente de regressão normalizado		Coeficiente de correlação múltipla
	Vcrit	CTAnaer	
50 m	0,488	0,604	0,846
100 m	0,666	0,662	1,000
200 m	0,757	0,458	1,000
400 m	0,957	0,400	0,960
800 m	0,988		0,988

Todos coeficientes apresentados são significativos a $p < 0,05$.

Um exame da TABELA 6 indica que o peso da Vcrit na predição da velocidade é maior quanto maior a distância da prova. Aos 800 m, somente a Vcrit foi significativa como estimador da velocidade.

A CTAnaer apresenta uma tendência inversa. Contudo, em 50 m, o coeficiente de correlação múltipla foi menor, indicando que há parcela da variância ($1 - 0,846^2 = 0,284$) não explicada pela regressão.

Assim, o procedimento para determinação da V_{crit} fornece parâmetros para previsão da velocidade máxima em provas de natação entre 100 e 800 m.

A natação é uma modalidade que consiste de provas entre 50 e 1 500 m para o nado livre, 100 a 400 m em "medley" e 50 a 200 m em costas, peito e borboleta. A avaliação do estado de condicionamento para estas diferentes formas de nado é importante assim como a previsão do desempenho, o que pode ser realizado através de tiros máximos de 100 e 200 m.

Os resultados do presente estudo mostram que a V_{crit} e CT_{Anaer} são sensíveis aos efeitos do treinamento. Houve aumento da V_{crit} , LAn e diminuição da CT_{Anaer} entre o PPE e PC. A equação de regressão entre V_{crit} e LAn não sofreram alterações com o treinamento, o que possibilita concluir que a V_{crit} continua sendo um bom indicador da LAn .

Jenkins & Quigley (1992, 1993) estudaram os efeitos do treinamento de resistência e de alta intensidade na P_{crit} e CT_{Anaer} . No primeiro trabalho (Jenkins & Quigley, 1992), doze voluntários ativos foram submetidos ao teste de P_{crit} antes e após oito semanas de treinamento de resistência (30 a 40 min/dia, três dias/semana em intensidade próxima à P_{crit}). A comparação dos resultados com seis voluntários do grupo controle demonstrou que o treinamento foi capaz de aumentar o VO_{2max} , a P_{crit} porém não afetou a CT_{Anaer} . O segundo trabalho (Jenkins & Quigley, 1993) foi realizado de forma bastante semelhante, porém com os sujeitos do grupo experimental sendo submetidos a treinamento intenso (5 x 60 segundos com cinco minutos de pausa a 0,736 N/kg, três dias/semana, com aumento da velocidade de pedalagem quando necessário). Os resultados indicaram aumento no VO_{2max} , CT_{Anaer} porém sem alteração na P_{crit} . Houve também aumento na concentração plasmática de lactato e trabalho não aeróbio nas sessões de treinamento.

Esses dois trabalhos demonstram claramente que os índices P_{crit} e CT_{Anaer} acompanham as alterações induzidas pelo treinamento. Além disso, sugere que entre os nadadores analisados no presente estudo, a melhora no desempenho pode ser atribuída ao aumento do LAn que compensou amplamente a diminuição na capacidade anaeróbia.

CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo demonstram que a velocidade crítica é um bom indicador do limiar anaeróbio, pois mantém com esta última uma elevada correlação. Além disso, a velocidade crítica corresponde à intensidade de máximo equilíbrio dinâmico do lactato.

O procedimento para estimar a velocidade crítica fornece também a estimativa da capacidade de trabalho anaeróbio e ambos estão simultaneamente correlacionados com o desempenho em provas de 100 a 800 m pelo menos.

A velocidade crítica, assim como o limiar anaeróbio, são sensíveis às alterações induzidas pelo treinamento.

Deste modo, a velocidade crítica é um estimador simples, barato e relativamente confiável para avaliação de nadadores.

ABSTRACT

CRITICAL VELOCITY AS A PREDICTOR OF ANAEROBIC THRESHOLD IN SWIMMING

The critical velocity (V_{crit}) has been proposed to be an accurate method to estimate the anaerobic threshold (AT). The present study was designed in order to test in swimming: a) the correlation between the V_{crit} and AT; b) whether the swimming at the V_{crit} lead to maximal blood lactate steady-state and c) the sensibility of the V_{crit} to a ordinal training program. Swimmers, who were trained for at least two years were submitted to the following tests: a) determination of V_{crit} (maximal 100, 200, 400 and 800 m times) and AT (velocity at 4 mM blood lactate in 3 x 200 m progressive load); b) blood lactate concentrations BLa during 5 x 400 m at 100, 102 and 104% V_{crit} ; c) the V_{crit} and AT were also determined before competitive period and after the tapering. There was a significant correlation between the V_{crit} and

AT ($r = 0.890$, $p < 0.05$) and both parameters increased after training period (Vcrit from 1.226 ± 0.096 to $1.321 \pm 0.103 \text{ m.s}^{-1}$ and AT from 1.225 ± 0.103 to $1.312 \pm 0.108 \text{ m.s}^{-1}$). BLa did not increase in 5 x 400 m 100% Vcrit trial ($2.21 \pm 0.86 \text{ mM}$ at the 1st and $2.68 \pm 1.05 \text{ mM}$ last) but increased from $2.90 \pm 0.61 \text{ mM}$ to $4.10 \pm 0.71 \text{ mM}$ at 102% Vcrit. These results showed that the Vcrit is a good predictor of the AT in swimming.

UNITERMS: Critical velocity; Anaerobic threshold; Swimming.

NOTAS

1. Equipamento gentilmente cedido pela PROCYON INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA LTDA., São Paulo, SP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOOTH, F.; THOMASON, D. Molecular and cellular adaptation of muscle in response to exercise: perspectives of various models. *Physiological Review*, v.71, p.541-85, 1991.
- CONCONI, F.; FERRARI, M.; ZIGLIO, P.G.; DROGHETTI, P.; CODECA, L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runner. *Journal of Applied Physiology*, v.52, p.869-73, 1982.
- CHICHARRO, J.L.; LEGIDO, J.C.; HERTAS, M. Determinación del umbral ventilatorio mediante la frecuencia respiratoria en niños entrenados. In: CONGRESSO DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MEDICINA DE LA EDUCACIÓN FÍSICA Y EL DEPORTE, 1, 1990. *Anais*. Barcelona, Sociedad Espanola de Medicina de la Educación Física y el Deporte, 1990.
- COSTIL, D.L.; THOMASON, H.; ROBERTS, E. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine and Science in Sports*, v.5, p.248-52, 1973.
- DENIS, C.; DORMOIS, D.; CASTELLS, J.; BONNEFOY, R.; PADILLA, S.; GEYSSANT, A.; LACOUR, J.R. Comparison of incremental and steady state tests of endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, v.57, p.474-81, 1988.
- DENIS, C.; DORMOIS, D.; LACOUR, J.R. Endurance training VO₂max, and OBLA: a longitudinal study of two different age groups. *International Journal of Sports Medicine*, v.5, p.167-73, 1984.
- DENIS, C.; FOUQUET, R.; POTY, P.; GEYSSANT, A.; LACOUR, J.R. Effect of 40 weeks of endurance training on anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, v.3, p.208-14, 1982.
- DiPRAMPERO, P.E.; PENDERGAST, D.R.; WILSON, D.W.; RENNIE, D.W. Energetics of swimming in man. *Journal of Applied Physiology*, v.37, p.1-5, 1974.
- FARREL, P.A.; WILMORE, J.H.; COYLE, E.F.; BILLING, J.E.; COSTILL, D.L. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medicine and Science in Sports*, v.11, p.338-44, 1979.
- GASSER, G.A.; CARNEVALE, T.J.; GARFINKEL, A.; WALTER, D.O.; WOMACK, C.J. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.27, p.1430-8, 1995.
- HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MÜLLER, R.; HOLLMANN, W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, v.6, p.117-30, 1985.
- HOLLMANN, W. Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. *International Journal of Sports Medicine*, v.6, p.109-16, 1985.
- JENKINS, D.G.; QUIGLEY, B.M. Endurance training enhances critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.24, p.1283-9, 1992.
- _____. The influence of high-intensity exercise training on the W_{lim} - T_{lim} relationship. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.25, p.275-87, 1993.
- KESKINEN, K.L.; KOMI, P.V.; RUSKO, H. A comparative study of blood lactate test in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, v.10, p.197-201, 1989.
- KINDERMANN, W.; SIMON, G.; KEUL, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, v.42, p.25-34, 1979.
- McLELLAN, T.M.; CHEUNG, K.S.Y. A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.24, p.543-50, 1990.
- MAGLISCHO, E.W. *Swimming even faster*. Bakersfield, Mayfield, 1993.

- MAGLISCHO, E.W.; MAGLISCHO, C.M.; SMITH, R.E.; BISHOP, R.A.; HOVLAND, P.N. Determining the proper training speeds for swimmers. *Journal of Swimming Research*, v.1, p.32-8, 1984.
- MONOD, H.; SCHERRER, J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, v.8, p.329-38, 1965.
- MORITANI, T.; NAGATA, A.; DeVRIES, H.A.; MURO, M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics*, v.24, p.339-50, 1981.
- OLBRECHT, J.; MADSEN, O.; MADER, A.; LIESEN, H.; HOLLMANN, W. Relationship between swimming velocity and lactate concentration during continuous and intermittent training exercise. *International Journal of Sports Medicine*, v.6, p.74-7, 1985.
- OVEREND, T.J.; CUNNINGHAM, D.A.; PATERSON, D.H.; SMITH, W.D.F. Physiological responses of young and elderly men to prolonged exercise at critical power. *European Journal of Applied Physiology*, v.64, p.187-93, 1992.
- OYONO-ENGUELLES, S.A.; HEITZ, J.; PATERSON, D.H.; SMITH, W.D.F. Blood lactate during constant-load exercise at aerobic and anaerobic thresholds. *European Journal of Applied Physiology*, v.64, p.321-30, 1990.
- PIERCE, E.F.; WELTMAN, A.; SEIP, R.L.; SNEAD, D. Effects of training specificity on the lactate threshold and VO_2 peak. *International Journal of Sports Medicine*, v.11, p.267-72, 1990.
- POOLE, D.C.; WARD, S.A.; GARDNER, G.W.; WHIPP, B.J. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*, v.31, p.1265-89, 1988.
- POOLE, D.C.; WARD, S.A.; WHIPP, B.J. The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. *European Journal of Applied Physiology*, v.59, p.421-9, 1990.
- PRINS, J. Setting a standard. *Swimming Technique*, v.25, p.13-6, 1988.
- SAHLIN, K.; HENRIKSSON, J. Buffer capacity and lactate accumulation in skeletal muscle of trained and untrained men. *Acta Physiologica Scandinavica*, v.122, p.331-9, 1984.
- SJODIN, B.; JACOBS, I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International Journal of Sports Medicine*, v.2, p.23-6, 1981.
- SJODIN, B.; JACOBS, I.; SVENDENHAG, J. Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European Journal of Applied Physiology*, v.49, p.45-7, 1982.
- STEGEMANN, H.; KINDERMANN, W. Comparison of prolonged exercise test at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold at 4 mmol-l lactate. *International Journal of Sports Medicine*, v.3, p.105-10, 1982.
- TEGTBUR, U.; BUSSE, W.M.; BAUMANN, K.M. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.25, p.620-7, 1993.
- TESCH, P. Muscle fatigue in man with special reference to lactate accumulation during short term intense exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, p.1-40, 1980. Supplementum 480.
- TOUSSAINT, H.M.; HOLLANDER, A.P. Energetics of competitive swimming. *Sports Medicine*, v.18, p.384-405, 1995.
- TROUP, J. Setting up a season using scientific training. *Swimming Technique*, v.23, p.9-16, 1986.
- WAKAYOSHI, K.; D'ACQUISTO, L.J.; CAPPAERT, J.M.; TROUP, J. Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *International Journal of Sports Medicine*, v.16, p.19-23, 1995.
- WASSERMAN, K.; McILROY, M.B. Determining the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *American Journal of Cardiology*, v.14, p.844-7, 1964.
- WELTMAN, A.; KATCH, V.; SADY, S.; FREEDSON, P. Onset of metabolic acidosis (anaerobic threshold) as a criterion measure of submaximum fitness. *Research Quarterly*, v.49, p.217-8, 1978.
- YEH, M.P.; GARDNER, R.M.; ADAMS, T.D.; YANOWITZ, F.G.; CRAPO, R.O. "Anaerobic threshold": problems of determination and validation. *Journal of Applied Physiology*, v.55, p.1178-86, 1983.

Recebido para publicação em: 29 maio 1996

Revisado em: 23 set. 1996

Aceito em: 01 out. 1996

ENDEREÇO: Eduardo Kokubun
 Depto.Ed.Física, IB/UNESP
 Av. 24 A, 1515
 13.506-900 - Rio Claro - SP - BRASIL