



Comparação entre limiar anaeróbio determinado por variáveis ventilatórias e pela resposta do lactato sanguíneo em ciclistas

Alexandre Hideki Okano^{1,2,4}, Leandro Ricardo Altinari^{1,4}, Herbert Gustavo Simões⁵, Antonio Carlos de Moraes^{1,4}, Fábio Yuzo Nakamura^{1,2,3}, Edilson Serpeloni Cyrino^{1,2,3} e Roberto Carlos Burini⁶

RESUMO

Muitas investigações têm demonstrado que a coincidência entre os limiares ventilatórios e os limiares que se utilizam da resposta do lactato nem sempre ocorre, sugerindo que não existe relação entre causa e efeito entre os fenômenos. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivos comparar e correlacionar os valores de consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$), potência (W) e frequência cardíaca (FC) obtidos por protocolos de determinação do limiar ventilatório (LV) e limiar anaeróbio individual (IAT). A amostra foi constituída por oito ciclistas de níveis paulista e nacional (idade: $27,88 \pm 8,77$ anos; massa corporal: $65,19 \pm 4,40$ kg; estatura: $169,31 \pm 5,77$ cm). O IAT foi determinado iniciando-se com aquecimento de três minutos a 50W com aumentos progressivos de 50W.3min⁻¹ até a exaustão voluntária, com as coletas de sangue aos 20 segundos finais de cada estágio e durante a recuperação. Para a determinação do LV, utilizou-se o mesmo protocolo adotado para a determinação do IAT, porém, sem efetuar as coletas de sangue. O LV foi identificado pelas mudanças da ventilação pulmonar e dos equivalentes ventilatórios de O₂ e CO₂. O teste *t* de Student não revelou diferenças estatisticamente significantes em nenhuma das variáveis obtidas. As associações encontradas foram altas e significativas. O $\dot{V}O_2$ (ml.kg⁻¹.min⁻¹), P (W) e FC (bpm) correspondente ao LV e IAT, e as associações entre as variáveis foram, respectivamente, de: $48,00 \pm 3,82$ vs $48,08 \pm 3,71$ ($r = 0,90$); $256,25 \pm 32,04$ vs $246,88 \pm 33,91$ ($r = 0,84$); $173,75 \pm 9,18$ vs $171,25 \pm 12,02$ ($r = 0,97$). De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que o IAT e o LV produzem valores semelhantes de $\dot{V}O_2$, W e FC, o que favorece a adoção do LV por ser um método não-invasivo para determinação do limiar anaeróbio em ciclistas.

Palavras-chave: Limiar anaeróbio. Resposta do lactato sanguíneo. Ciclistas.

Keywords: Anaerobic threshold. Blood lactate response. Cyclists.

Palabras-clave: Umbral anaerobio. Respuesta del lactato sanguíneo. Ciclismo.

ABSTRACT

Comparison between anaerobic threshold determined by ventilatory variables and blood lactate response in cyclists

Many investigations have shown that the coincidence between the ventilatory thresholds and those thresholds using the lactate response does not happen all of the time, suggesting that there is no relationship between the cause-effect between these phenomena. Thus, the present study had as main purpose to compare and correlate the Oxygen consumption ($\dot{V}O_2$), the power (W), and the heart rate (HR) values attained using protocols to determine the Ventilatory Threshold (VT) and the Individual Anaerobic Threshold (IAT). The sampling was constituted by eight State and National level cyclists (age: 27.88 ± 8.77 years; body mass: 65.19 ± 4.40 kg; height: 169.31 ± 5.77 cm). The IAT was determined starting from a three minutes 50 W warm up with progressive increases of 50 W.3min⁻¹ up to achieving the voluntary exhaustion, when the blood was collected in the last 20 seconds of each phase, and during the recovering period. In order to determine the VT, it was used the same protocol used to determine the IAT, but without performing the blood collection. The VT was identified through the changes in the pulmonary ventilation, as well as of the ventilatory equivalent of the O₂ and CO₂. The t-Student test showed no significant statistical difference in any of the attained variables. The associations found were high and significant. The $\dot{V}O_2$ (ml.kg⁻¹.min⁻¹), P (W), and HR (bpm) corresponding to the VT and IAT, as well as the associations between variables were respectively: 48.00 ± 3.82 vs. 48.08 ± 3.71 ($r = 0.90$); 256.25 ± 32.04 vs. 246.88 ± 33.91 ($r = 0.84$); 173.75 ± 9.18 vs. 171.25 ± 12.02 ($r = 0.97$). According to the results attained, it can be concluded that the IAT and the VT produce similar $\dot{V}O_2$, W, and HR values, favoring the adoption of the VT because it is a non-invasive method to determine the anaerobic threshold in cyclists.

RESUMEN

Comparación entre umbral anaeróbico determinado por variables ventilatorias y por la respuesta del lactato sanguíneo en ciclistas

Muchas investigaciones han estado demostrando que la coincidencia entre los umbrales ventilatorios y los umbrales que se usan en la respuesta del lactato ni siempre ocurre, mientras que también se sugiere que no existe una relación causa-efecto entre es-

1. GEPEMENE – Grupo de Estudo e Pesquisa em Metabolismo, Nutrição e Exercício – Centro de Educação Física e Desporto (CEFD) – Universidade Estadual de Londrina – Londrina (PR) – Brasil.
2. Grupo de Estudo das Adaptações Fisiológicas ao Treinamento – Centro de Educação Física e Desporto (CEFD) – Universidade Estadual de Londrina – Londrina (PR) – Brasil.
3. Centro de Educação Física e Desporto – CEFD – Universidade Estadual de Londrina – UEL – Londrina (PR) – Brasil.
4. Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) – Campinas (SP) – Brasil.
5. Departamento de Educação Física, Universidade Católica de Brasília – Brasília (DF) – Brasil.
6. Centro de Metabolismo em Exercício e Nutrição, Faculdade de Medicina, UNESP/Botucatu (SP) – Brasil.

Recebido em 3/8/04. Versão final recebida em 25/7/05. Aceito em 5/9/05.

Endereço para correspondência: Alexandre Hideki Okano, Unicamp – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física – Departamento de Ciências do Esporte, Av. Érico Veríssimo, 701, Caixa Postal 6134 – 13083-851 – Campinas, SP, Brasil. E-mail: ahokano@fef.unicamp.br

tos fenómenos. De esta manera, el estudio presente tiene como objetivos comparar y poner en correlación los valores de consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$), potencia (W) y frecuencia cardíaca (FC) obtenidos por los protocolos de determinación del umbral ventilatorio (UV) y el umbral anaeróbico individual (UAI). La muestra se constituyó de ocho ciclistas de nivel de paulistas y nacionales (de edad: $27,88 \pm 8,77$ años; de masa corpórea: $65,19 \pm 4,40$ kg; de estatura: $169,31 \pm 5,77$ centímetros). UAI fue al principio determinado con un calentamiento de tres minutos a $50 W$ con aumentos progresivos de $50W \cdot 3min^{-1}$ hasta el agotamiento voluntario, con colecta de sangre a los 20 segundos finales de cada fase y durante la recuperación. Para la determinación de UV , el mismo protocolo se usó adoptando para la determinación de UAI , sin embargo, sin hacer esta vez las colectas de sangre. UV se identificó por los cambios de la ventilación pulmonar y de los equivalentes ventilatorios de O_2 y CO_2 . La prueba t de Student no reveló las diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables obtenidas. Las asociaciones encontradas eran altas y significativas. $\dot{V}O_2$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), P (W) y FC (el bpm) correspondiendo a UV y UAI , y las asociaciones entre las variables eran, respectivamente de: $48,00 \pm 3,82$ contra $48,08 \pm 3,71$ (el $r = 0,90$); $256,25 \pm 32,04$ contra $246,88 \pm 33,91$ (el $r = 0,84$); $173,75 \pm 9,18$ contra $171,25 \pm 12,02$ (el $r = 0,97$). De acuerdo con los resultados obtenidos, puede concluirse que UAI y UV producen valores similares de $\dot{V}O_2$, W y FC , lo que favorece la adopción de UV como un método no-invasivo para la determinación del umbral anaeróbico en ciclistas.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, limiares metabólicos têm sido alvo de diversas investigações dentro da fisiologia do exercício, sendo considerados parâmetros extremamente importantes, superando inclusive o consumo máximo de oxigênio para a prescrição da intensidade do treinamento⁽¹⁻³⁾, controle dos efeitos do treinamento^(4,5) e predição de desempenho físico⁽⁶⁻⁸⁾.

O termo limiar anaeróbico (LAn) foi introduzido por Wasserman e McIlroy⁽⁹⁾ e definido como a intensidade de esforço anterior ao aumento exponencial do lactato no sangue em relação aos níveis de repouso. Posteriormente, verificou-se a existência de dois limiares, o que levou Kindermann *et al.*⁽²⁾ a introduzirem o termo "transição aeróbia-anaeróbia". O primeiro ponto de transição é identificado como limiar aeróbico (LAE), refletindo a intensidade de exercício correspondente ao início do acúmulo do lactato sanguíneo. O segundo ponto de transição seria denominado de LAn e representa a intensidade de exercício que corresponde ao máximo estado estável de lactato no sangue ($MEEL$)⁽¹⁰⁾. Os autores sugerem que a primeira transição corresponde ao LAn proposto por Wasserman e McIlroy⁽⁹⁾ ou ao limiar ventilatório 1 (LV_1)⁽¹¹⁾. O segundo ponto de transição é considerado o ponto de compensação respiratória⁽⁹⁾ ou, ainda, limiar ventilatório 2 (LV_2)⁽¹¹⁾. Essas diferentes terminologias para fenômenos correlatos trouxeram alguma confusão na área de fisiologia do exercício. Para a determinação das intensidades correspondentes aos LAE e LAn , Kindermann *et al.*⁽²⁾ adotam concentrações fixas de 2 e $4mmol \cdot l^{-1}$ de lactato no sangue, respectivamente, em protocolo incremental de exercício.

Grande parte dos investigadores utilizam concentrações fixas de $4mmol \cdot l^{-1}$ de lactato sanguíneo para determinação do $MEEL$, sendo propostas diversas terminologias para identificar tal fenômeno^(2,12-15). Heck *et al.*⁽¹⁰⁾ justificam a escolha dessa concentração fixa de lactato no sangue ($4mmol \cdot l^{-1}$) em função de a maioria dos sujeitos apresentarem nessa intensidade de exercício a capacidade máxima de remoção do lactato produzido. Entretanto, no mesmo estudo, verifica-se que o $MEEL$ pode ocorrer em concentrações de lactato no sangue variando entre 3,1 e $5,5mmol \cdot l^{-1}$.

Resultados semelhantes foram verificados por Stegmann *et al.*⁽¹⁶⁾, que encontraram valores individuais diferentes de lactato

sanguíneo na identificação do $MEEL$ em teste incremental, que variavam entre 1,4 e $7,5mmol \cdot l^{-1}$. Tendo em vista essa grande variabilidade interindividual nos resultados encontrados, os autores introduziram o termo limiar anaeróbico individual (IAT), que constitui um método de identificação do $MEEL$ de forma a não respeitar o critério de concentração fixa de lactato, podendo ser empregado durante a corrida, no cicloergômetro, no remoergômetro, na avaliação do desempenho, prescrição e controle do treinamento^(3,4,17-25).

Muitos pesquisadores têm investigado a relação entre o IAT e outros protocolos para identificação do $MEEL$, porém, nesses estudos, a resposta do lactato sanguíneo foi determinada por método direto^(20,22,23,26). A determinação da resposta do lactato sanguíneo por método direto exige coletas de sangue programadas; assim, torna-se necessária a utilização de métodos não-invasivos para identificação desse fenômeno.

Alguns estudos foram desenvolvidos envolvendo métodos não-invasivos para determinação do IAT . Contudo, não foi encontrada coincidência na intensidade de exercício obtida pelo IAT quando comparada com a potência crítica⁽¹⁹⁾ e o ponto de deflexão da frequência cardíaca proposta por Conconi⁽²⁷⁾.

O método não-invasivo que permite a identificação do $MEEL$ durante o exercício de cargas incrementais envolve a estimativa do LV . No entanto, a coincidência entre LV e os limiares que se utilizam do lactato nem sempre ocorre, sugerindo que não existe uma relação de causa-efeito entre os fenômenos. Os achados dos estudos que têm analisado a relação entre o IAT e o LV são bastante controversos^(11,28,29).

Com base nesses fatos, os objetivos do presente estudo foram: estabelecer comparações entre os valores de consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$), intensidade (W) e frequência cardíaca (FC) obtidos durante a realização de protocolos de determinação do IAT e LV em atletas de ciclismo e, posteriormente, verificar as possíveis associações entre os parâmetros obtidos pelos dois métodos.

MÉTODOS

Indivíduos

Fizeram parte deste estudo oito atletas de ciclismo, níveis paulista e nacional, do sexo masculino que competiam nas categorias *Bike Speed* ($N = 4$) e *Mountain Bike* ($N = 4$). As características gerais da amostra são apresentadas na tabela 1. Como pré-requisitos para admissão no experimento, os atletas deveriam ter experiência mínima em competições regionais ou estaduais de dois anos. Todos os sujeitos, após examinados por um médico, receberam informações sobre as finalidades do estudo e os procedimentos aos quais seriam submetidos e assinaram consentimento livre e esclarecido. O estudo foi desenvolvido no CeMENutri (Centro de Metabolismo em Exercício e Nutrição) e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina/UNESP de Botucatu-SP.

Controle dietético

No sentido de o experimento não sofrer qualquer tipo de interferência nos resultados do teste, no que se refere à disponibilidade de substratos energéticos^(30,31), os atletas tiveram acompanhamento nutricional durante o estudo. A partir da aplicação do inquérito alimentar (recordatório de 24 horas e hábitos alimentares), a equipe de nutricionistas elaborou dietas comuns aos hábitos alimentares dos sujeitos investigados. Os indivíduos foram orientados a seguir essa dieta durante todo o período do experimento. Além disso, foi elaborado um café da manhã padronizado, a ser ingerido duas horas antes da realização dos testes. Os indivíduos foram orientados, também, a não consumir produtos cafeinados nas 24 horas precedentes aos testes, visto que essa substância pode influenciar nos resultados⁽³²⁾. As informações sobre a

quantidade e a qualidade dos alimentos ingeridos foram processadas por meio do programa de análise nutricional *Virtual Nutri*, versão 1.0.

Delineamento experimental

Na primeira etapa do experimento, os indivíduos compareceram ao laboratório para realização do exame médico, medidas antropométricas para caracterização da amostra e entrevista com as nutricionistas, quando foi orientada a conduta alimentar a ser seguida durante o período do experimento. Além disso, foram agendados os horários em que cada atleta deveria comparecer ao laboratório na etapa seguinte. Posteriormente, os sujeitos realizaram um teste pré-experimental, no intuito de familiarizar-se com o equipamento e o protocolo.

A partir da segunda etapa do experimento, os indivíduos compareceram ao laboratório nos horários predefinidos, onde foram submetidos ao teste para determinação do IAT e LV_2 , os quais foram realizados aleatoriamente. Todos os testes (pré-experimental, IAT e LV_2) foram aplicados com intervalo de 72 horas entre os mesmos. Os indivíduos foram instruídos a não realizar atividades físicas 24 horas antes de cada teste, para evitar interferências.

Ergoespirometria

Os testes incrementais foram realizados em cicloergômetro eletromagnético (*Corival 400*, Quinton®, EUA). As variáveis ventilatórias foram medidas continuamente em sistema ergoespirométrico de circuito aberto (*QMC™ 90 Metabolic Cart*, Quinton®, Bothell, EUA) utilizando-se da técnica *breath-by-breath*. No início de cada teste foi efetuada a calibração usando seringa de calibração de três litros Hans Rudolf 5530 e uma mistura de gás de 26% de O_2 com balanço de N_2 e 4% de CO_2 e 16% O_2 (White Martins Praxair, Inc., São Paulo, Brasil).

A análise foi processada em computador IBM mediante cálculos da ventilação minuto (VE), do $\dot{V}O_2$, da produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) e da relação entre produção de dióxido de carbono e consumo de oxigênio (R).

A FC foi mensurada por um cardiofrequencímetro (*Vantage NV*, Polar Electro OY, Finlândia) com registros a cada cinco segundos, descarregados em *software* (*Polar Precision Performance™*, Finlândia) para posterior análise. A FC correspondente às diferentes cargas foi determinada a partir do registro dos valores dos últimos cinco segundos de cada estágio. As variáveis de temperatura ambiente e umidade relativa do ar foram mantidas entre 21 e 24°C e 40 e 60%, respectivamente.

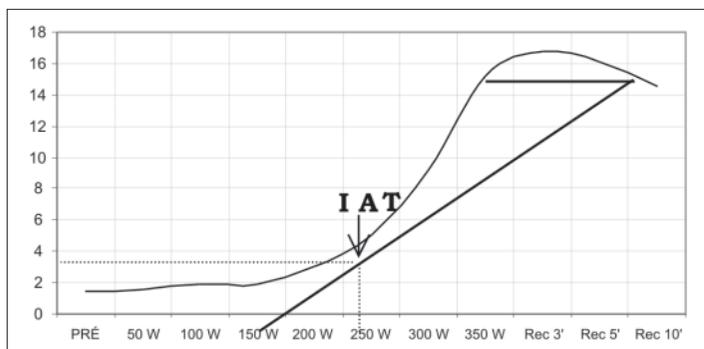


Fig. 1 – Determinação da intensidade correspondente ao IAT

IAT

Para determinação do IAT, inicialmente os indivíduos realizaram aquecimento de três minutos a uma carga de 50W e em seguida iniciou-se o teste incremental com aumento de carga de 50W a cada três minutos, mantendo cadência de 70 revoluções por minuto. Os sujeitos foram incentivados verbalmente durante o teste

incremental para prosseguir no exercício até a exaustão voluntária. A coleta de sangue foi realizada no lóbulo da orelha em situação de repouso (pré-esforço), aos 20 segundos finais de cada carga até a exaustão, e aos três, cinco e dez minutos após o término do teste. A partir da construção de um gráfico apresentando os valores de lactato sanguíneo em cada estágio do teste incremental e durante a recuperação passiva (figura 1), determinou-se o IAT de acordo com os procedimentos proposto por Stegmann *et al.*⁽¹⁶⁾.

LV_2

O LV_2 foi identificado mediante aplicação do mesmo protocolo utilizado para determinar o IAT, porém, nessa situação, não foram realizadas as coletas de sangue. O LV_2 , ou ponto de compensação respiratória, foi identificado em duplicata mediante o uso do equivalente ventilatório de oxigênio ($VE/\dot{V}O_2$), equivalente ventilatório de dióxido de carbono ($VE/\dot{V}CO_2$), considerando o aumento abrupto do $VE/\dot{V}CO_2$, de acordo com os critérios propostos por McLellan⁽¹¹⁾. A figura 2 ilustra a identificação dos limiares; contudo, neste estudo foi analisado somente o LV_2 .

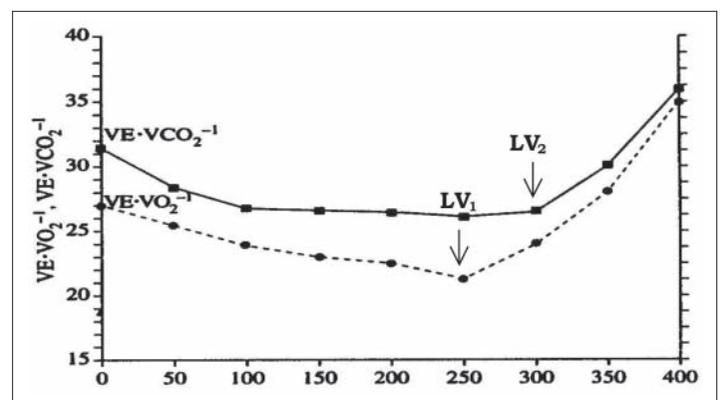


Fig. 2 – Identificação do LV_1 e LV_2 de acordo com $VE/\dot{V}O_2$ e $VE/\dot{V}CO_2$

Análises bioquímicas

Foram coletados 25µl de sangue do lóbulo da orelha através de capilares de vidro heparinizados, previamente calibrados, sendo, imediatamente transferidos para microtúbulos de polietileno tipo "Ependorf" de 1,5ml, contendo 50µl de solução de fluoreto de sódio 1%. Em seguida, as amostras foram armazenadas a -70°C. A análise do lactato foi realizada através de analisador eletroenzimático (*YSL 2300 STAT*, Yellow Spring Co., EUA), sendo os valores expressos em mmol.l⁻¹.

Tratamento estatístico

Os resultados foram agrupados em valores de média e desvio-padrão utilizando-se do pacote estatístico *Statistica 6.0®* (Statsoft Inc., EUA). Mediante a aplicação do teste de Shapiro Wilk verificou-se que as distribuições dos dados eram normais. Assim, as variáveis obtidas nos protocolos foram contrastadas a partir do teste *t* de Student para amostras dependentes. Coeficiente de correlação linear de Pearson foi empregado para verificar as associações entre as variáveis obtidas nos protocolos de determinação do IAT e LV_2 . O nível de significância adotado para todas as análises foi de 1%.

RESULTADOS

A tabela 1 apresenta as características gerais da amostra.

Na tabela 2 são apresentados os valores de $\dot{V}O_2$ max, intensidade no momento da exaustão ($W\dot{V}O_2$ max) e FCmax obtidos nos dois protocolos administrados neste estudo (IAT e LV_2). Não foram encontradas diferenças significativas quando comparadas as variáveis acima descritas no momento da exaustão para os testes

de IAT e LV₂. Na mesma tabela, podem-se observar os valores de lactato sanguíneo na intensidade correspondente ao IAT e à carga máxima.

TABELA 1

Características gerais da amostra expressas em média e desvio-padrão (DP)

Variáveis	Média	DP
Idade (anos)	27,88	8,97
Massa corporal (kg)	65,19	4,40
Estatura (cm)	169,31	5,77
Tempo de prática (anos)	6,17	4,7
Volume de treino semanal (km)	146,7	34,5
Frequência de treino semanal (dias)	5,00	0

TABELA 2

Média e desvio-padrão das variáveis obtidas no momento da exaustão nos protocolos de determinação do limiar anaeróbio individual (IAT) e limiar ventilatório (LV)

Variáveis	Média	DP
Teste do IAT		
VO ₂ max (l.min ⁻¹)	3,73	0,29
VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	57,50	4,22
WVO ₂ max (W)	331,25	45,81
FCmax (bpm)	186,00	11,59
LA IAT (mmol.l ⁻¹)	3,44	1,23
LAmáx (mmol.l ⁻¹)	11,56	3,06
Teste do LV		
VO ₂ max (l.min ⁻¹)	3,78	0,41
VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	58,01	4,66
WVO ₂ max (W)	331,25	45,81
FCmax (bpm)	186,63	10,35

VO₂max = consumo máximo de oxigênio; WVO₂max = intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio; FCmax = frequência cardíaca máxima; LA IAT = lactato sanguíneo correspondente ao limiar anaeróbio individual; LAmáx = lactato sanguíneo correspondente à carga máxima.

Os resultados do VO₂, W e FC correspondentes ao LV₂ e IAT, são apresentados na tabela 3. O teste *t* de Student não identificou diferenças significantes entre os valores de VO₂, W e FC obtidos nos protocolos de LV₂ e IAT.

TABELA 3

Média e desvio-padrão das variáveis obtidas nos protocolos de determinação do limiar anaeróbio individual (IAT) e limiar ventilatório (LV)

Variáveis	LV	IAT
VO ₂ Limiar (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	48,00 ± 1,35	48,08 ± 1,31
WVO ₂ Limiar (W)	256,25 ± 11,32	246,88 ± 11,98
FCLimiar (bpm)	173,75 ± 3,2	171,25 ± 4,25

LV = limiar ventilatório; IAT = limiar anaeróbio individual; VO₂Limiar = consumo de oxigênio nos limiares; WVO₂Limiar = intensidade correspondente aos limiares; FCLimiar = frequência cardíaca correspondente aos limiares.

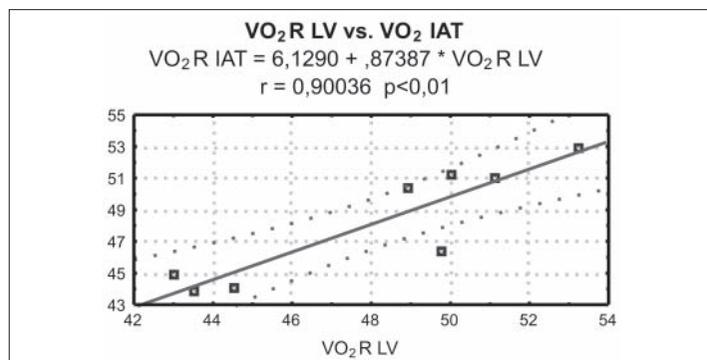


Fig. 3 – Regressão linear entre VO₂ no limiar anaeróbio individual (IAT) e limiar ventilatório 2 (LV)

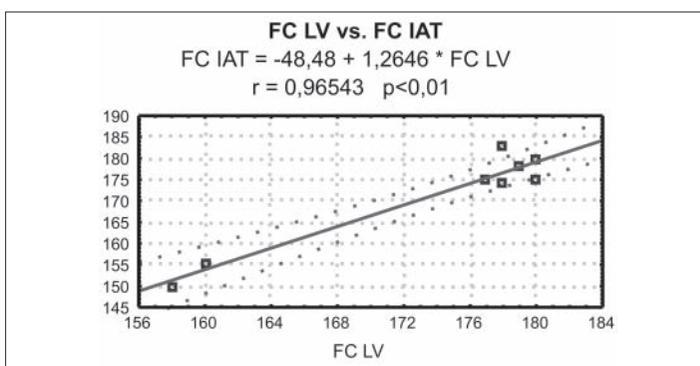


Fig. 4 – Regressão linear entre frequência cardíaca (FC) no limiar anaeróbio individual (IAT) e limiar ventilatório 2 (LV)

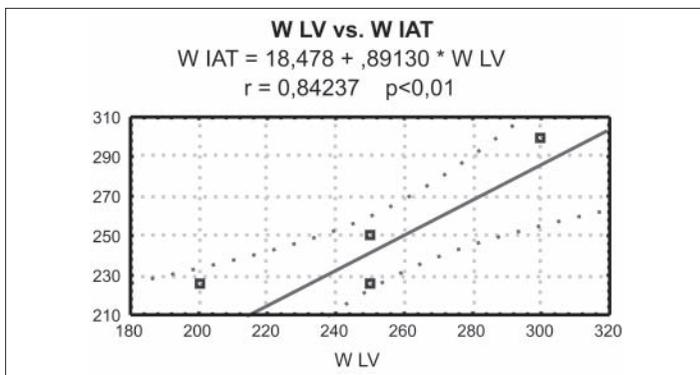


Fig. 5 – Regressão linear entre as intensidades (W) de limiar anaeróbio individual (IAT) e limiar ventilatório 2 (LV). Quatro sujeitos estão sobrepostos.

A regressão linear entre o VO₂, a FC e W obtidos pelos dois métodos são apresentadas nas figuras 3, 4 e 5, respectivamente. As associações foram altas e significativas em todas as variáveis analisadas.

DISCUSSÃO

O IAT é definido como a mais alta taxa metabólica em que a concentração do lactato sanguíneo é mantida em estado de equilíbrio durante exercício prolongado e a eliminação do lactato sanguíneo é máxima, sendo equivalente à taxa de difusão do compartimento muscular para o sangue⁽¹⁶⁾. Portanto, pode-se considerar que o protocolo do IAT é capaz de determinar a intensidade correspondente ao MEEL.

Nesse sentido, diversos estudos têm encontrado o MEEL durante teste retangular de longa duração na intensidade correspondente ao IAT, evidenciando essa relação^(4,20,23,26,33).

Diferente do limiar de concentração fixa de 4mmol.l⁻¹ de lactato sanguíneo, o protocolo de IAT considera o comportamento individual do lactato na ocorrência do segundo ponto de transição aeróbia-anaeróbia durante um teste de cargas progressivas. No presente estudo, a concentração do lactato sanguíneo correspondente ao IAT foi em média de 3,44mmol.l⁻¹, apresentando uma variação interindividual de 1,9 a 5,0mmol.l⁻¹. Esses resultados confirmam os achados de Stegmann *et al.*⁽¹⁶⁾ e Stegmann e Kindermann⁽²⁶⁾, que encontraram variação de 1,4-7,5 e 1,8-6,1mmol.l⁻¹ de lactato sanguíneo, respectivamente.

Com relação ao LV₂, a literatura tem apontado que esta variável, assim como o IAT, pode ser considerada um indicador do MEEL⁽³⁴⁻³⁶⁾. Dessa forma, teoricamente, as intensidades obtidas nos protocolos de determinação do IAT e do LV₂ deveriam coincidir. Os achados do presente estudo confirmam essa hipótese. Embora a intensidade do LV₂ seja 3,8% superior em relação à do IAT, essa

diferença não foi estatisticamente significativa. Além disso, os coeficientes de correlação entre as variáveis obtidas pelos dois métodos foram de $r = 0,84$ a $r = 0,97$. Esses resultados sugerem que quando a finalidade é classificar os sujeitos quanto à capacidade aeróbia, parece não existir interferência do protocolo utilizado.

Diversos estudos têm evidenciado estreita relação entre o LAn determinado por concentrações fixas de lactato sanguíneo e pelo método ventilatório^(35,37-39). No entanto, poucos estudos têm analisado a relação direta entre o IAT e os limiares ventilatórios^(11,28,29).

McLellan⁽¹¹⁾, em uma amostra de sujeitos não-treinados, comparou o LV₂, IAT e LAn correspondente a 4mmol.l⁻¹ obtidos em protocolos administrados no cicloergômetro. O critério adotado para identificar o LV foi a mudança do padrão da resposta do VE/VCO₂ acima da ocorrência do LV₁. O autor verificou que os valores de IAT foram estatisticamente inferiores aos observados nos demais métodos.

Dickhuth *et al.*⁽²⁸⁾, empregando testes incrementais na esteira, analisaram a relação entre a reprodutibilidade das intensidades do IAT e LV determinado pelo método *V-Slope* (LV_{V-Slope}). Os autores encontraram alta correlação ($r = 0,97$; $p < 0,01$), sendo o IAT cerca de 7-8% superior aos valores do LV.

McNaughton *et al.*⁽²⁹⁾ compararam diversos métodos de determinação do LAn e, posteriormente, submeteram os sujeitos a um teste contínuo até a exaustão voluntária na intensidade obtida por cada método. A intensidade de LV_{V-Slope} superou em 13% os valores encontrados no IAT. Contudo, essas diferenças não foram estatisticamente significantes. Utilizando a intensidade do LV, os sujeitos conseguiram permanecer por 14 minutos no teste submáximo. Já quando se exercitaram na intensidade do IAT, o tempo do teste foi praticamente o dobro, alcançando por volta de 28 minutos. Esses achados indicam a necessidade de uma análise criteriosa do significado de cada limiar, sobretudo quando o propósito for a prescrição do treinamento.

Além de ser reduzido o número de estudos desenvolvidos em torno da comparação entre o IAT e os limiares ventilatórios, os resultados são bastante conflitantes. Possivelmente, a discrepância nos achados pode estar atrelada aos critérios adotados para determinação dos limiares ventilatórios, às características dos sujeitos estudados, ou ainda à utilização de diferentes tipos de exercício e/ou protocolos (intensidade de incremento da carga e duração dos estágios).

Inicialmente, os critérios adotados para identificação dos limiares ventilatórios eram os pontos de quebra da VE em relação ao VO₂. Posteriormente, além do critério citado anteriormente, foi sugerido o uso de outras variáveis como VE/VO₂, VE/VCO₂ e R^(40,41). Basicamente, o que se procura identificar durante um protocolo incremental de cargas é o momento em que ocorre um aumento do VE/VO₂ e da pressão de O₂, sem alterações no VE/VCO₂ e na pressão de CO₂. Para alguns autores, essa intensidade corresponde ao LV₁⁽¹¹⁾. A partir desse ponto, o aumento na intensidade de exercício acarretará acidose metabólica, resultando em diminuição do pH e, conseqüentemente, em aumento no VE/VCO₂ e na pressão de CO₂. Esse segundo ponto é considerado o LV₂⁽¹¹⁾, ou ponto de compensação respiratória⁽⁹⁾.

Com relação à condição física do sujeito, os mecanismos envolvidos na ocorrência do LAn parecem ser os mesmos tanto nos atletas quanto nos indivíduos não-treinados. Contudo, o ponto onde ocorre o fenômeno se diferencia entre eles⁽³⁷⁾. Isso pode ser explicado em função da variação na capacidade de difusão e/ou remoção do lactato produzido entre os diferentes segmentos⁽⁴²⁾.

Outro aspecto importante que não pode ser desconsiderado diz respeito ao protocolo adotado para determinação dos limiares ventilatórios. O protocolo ideal é aquele que permite ao investigador observar o ponto de inflexão do VE/VO₂ e a região do tampãoamento isocápnico (aumento do VE/VO₂ sem modificações do VE/VCO₂). Assim, Davis⁽⁴³⁾ sugere a utilização de protocolos incrementais com estágios de um minuto de duração. Neste estudo, o

protocolo empregado para determinar o LV foi semelhante ao adotado para identificação do IAT, ou seja, a duração dos estágios foi de três minutos. De acordo com McLellan⁽¹¹⁾, esse segundo limiar parece não sofrer influência da duração dos estágios (1, 3 ou 5 minutos).

Como se pode observar, é grande o número de critérios e terminologias utilizados para identificação dos limiares metabólicos. Assim, é fundamental observar criteriosamente o protocolo que foi adotado para determinação da resposta do lactato sanguíneo, sobretudo, quando o intuito for a prescrição da intensidade do treinamento.

É importante destacar que uma das limitações do presente estudo está relacionada à amostra reduzida. Nesse sentido, recentemente, Stone *et al.*⁽⁴⁴⁾ apontaram para a necessidade da distinção entre os conceitos de Ciência do Exercício e de Ciência do Esporte. De modo geral, encontram-se na literatura inúmeras publicações relacionadas à Ciência do Exercício; no entanto, existe uma carência de publicações relacionadas ao fenômeno desporto propriamente dito, ou seja, à Ciência do Esporte, entendida como aquela desenvolvida com o objetivo de proporcionar o incremento da *performance* desportiva através da aplicação de métodos e princípios científicos para avaliação, controle e prescrição do treinamento⁽⁴⁴⁾.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados neste estudo, podemos concluir que os protocolos de determinação do IAT e LV fornecem valores de VO₂, intensidade e FC semelhantes, apresentando, ainda, altas correlações entre essas variáveis, o que favorece a adoção do LV por ser um método não-invasivo para determinação do limiar anaeróbio em ciclistas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e à FAPESP pelo apoio.

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

REFERÊNCIAS

1. Jacobs I. Blood lactate. Implications for training and sports performance. *Sports Med* 1986;3:10-25.
2. Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1979;42:25-34.
3. Meyer T, Gabriel HH, Kindermann W. Is determination of exercise intensities as percentages of VO₂max or HRmax adequate? *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1342-5.
4. Keith SP, Jacobs I, McLellan TM. Adaptations to training at the individual anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992;65:316-23.
5. Gaskill SE, Walker AJ, Serfass RA, Bouchard C, Gagnon J, Rao DC, et al. Changes in ventilatory threshold with exercise training in a sedentary population: the Heritage Family Study. *Int J Sports Med* 2001;22:586-92.
6. Coyle EF. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc Sport Sci Rev* 1995;23:25-63.
7. Coyle EF, Feltner ME, Kautz SA, Hamilton MT, Montain SJ, Baylor AM, et al. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:93-107.
8. 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.
9. Wasserman K, McLlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol* 1964;14:844-52.
10. Heck H, Mader A, Hess G, Mucke S, Muller R, Hollmann W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 1985;6:117-30.
11. McLellan TM. Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols: a comparison of methods. *Int J Sports Med* 1985;6:30-5.

12. Mader A, Liesen H, Heck H, Philippi H, Schürch PM, Hollmann W. Zur beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt Sportmed* 1976;26:109-12.
13. Mader A, Liesen H, Heck H, Philippi H, Schürch PM, Hollmann W. Zur beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt Sportmed* 1976;24:80-8.
14. Sjodin B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med* 1981;2:23-6.
15. Hollmann W. Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. *Int J Sports Med* 1985;6:109-16.
16. Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1981;2:160-5.
17. Coen B, Schwarz L, Urhausen A, Kindermann W. Control of training in middle- and long-distance running by means of the individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1991;12:519-24.
18. McLellan TM, Cheung KS, Jacobs I. Incremental test protocol, recovery mode and the individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1991;12:190-5.
19. McLellan TM, Cheung KS. A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:543-50.
20. Urhausen A, Coen B, Weiler B, Kindermann W. Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *Int J Sports Med* 1993;14:134-9.
21. Urhausen A, Weiler B, Coen B, Kindermann W. Plasma catecholamines during endurance exercise of different intensities as related to the individual anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994;69:16-20.
22. Beneke R. Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:863-7.
23. Bourgois J, Vrijens J. Metabolic and cardiorespiratory responses in young oarsmen during prolonged exercise tests on a rowing ergometer at power outputs corresponding to two concepts of anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998;77:164-9.
24. Baldari C, Guidetti L. A simple method for individual anaerobic threshold as predictor of max lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1798-802.
25. Guidetti L, Musulin A, Baldari C. Physiological factors in middleweight boxing performance. *J Sports Med Phys Fitness* 2002;42:309-14.
26. Stegmann H, Kindermann W. Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol.l(-1) lactate. *Int J Sports Med* 1982;3:105-10.
27. Bourgois J, Vrijens J. The Conconi test: a controversial concept for the determination of the anaerobic threshold in young rowers. *Int J Sports Med* 1998;19:553-9.
28. Dickhuth HH, Yin L, Niess A, Rocker K, Mayer F, Heitkamp HC, et al. Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *Int J Sports Med* 1999;20:122-7.
29. McNaughton L, Wakefield G, Fasset R, Bentley D. A comparison of lactate kinetics, minute ventilation and acid-base balance as measure of the anaerobic threshold. *Journal of Human Movement Studies* 2001;41:247-61.
30. Hughes EF, Turner SC, Brooks GA. Effects of glycogen depletion and pedaling speed on "anaerobic threshold". *J Appl Physiol* 1982;52:1598-607.
31. Yoshida T. Effect of dietary modifications on lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during incremental exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1984;53:200-5.
32. Berry MJ, Stoneman JV, Weyrich AS, Burney B. Dissociation of the ventilatory and lactate thresholds following caffeine ingestion. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:463-9.
33. McLellan TM, Jacobs I. Active recovery, endurance training, and the calculation of the individual anaerobic threshold. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21:586-92.
34. Aunola S, Rusko H. Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady-state? *J Sports Sci* 1992;10:309-23.
35. 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 Occup Physiol* 1986;55:215-21.
36. Yamamoto Y, Miyashita M, Hughson RL, Tamura S, Shinohara M, Mutoh Y. The ventilatory threshold gives maximal lactate steady state. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991;63:55-9.
37. Wyatt FB. Comparison of lactate and ventilatory threshold to maximal oxygen consumption: a meta analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research* 1999;13:67-71.
38. Ahmaidi S, Hardy JM, Varray A, Collomp K, Mercier J, Prefaut C. Respiratory gas exchange indices used to detect the blood lactate accumulation threshold during an incremental exercise test in young athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1993;66:31-6.
39. Dickstein K, Barvik S, Aarsland T, Snapinn S, Karlsson J. A comparison of methodologies in detection of the anaerobic threshold. *Circulation* 1990;81:1138-46.
40. Davis JA, Frank MH, Whipp BJ, Wasserman K. Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J Appl Physiol* 1979;46:1039-46.
41. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986;60:2020-7.
42. Simon J, Young JL, Blood DK, Segal KR, Case RB, Gutin B. Plasma lactate and ventilation thresholds in trained and untrained cyclists. *J Appl Physiol* 1986;60:777-81.
43. Davis JA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17:6-21.
44. Stone MH, Sands WA, Stone ME. The downfall of sports science in the United States. *Strength Cond J* 2004; 26:72-5.