

Máximo estado estável de lactato estimado por diferentes métodos de determinação do limiar anaeróbio

Maximal lactate steady state estimated by different methods of anaerobic threshold

Kristopher Mendes de Souza¹

Talita Grossi¹

Rubens José Babel Junior¹

Ricardo Dantas de Lucas¹

Vitor Pereira Costa¹

Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo¹

Resumo – O objetivo deste estudo foi determinar e comparar o limiar anaeróbio (LAN) obtido por quatro diferentes métodos com o máximo estado estável de lactato (MLSS) em corredores de endurance. Nove corredores moderadamente treinados realizaram, em diferentes dias, os seguintes testes: um teste incremental máximo para determinação do consumo máximo de oxigênio ($VO_2\max$), velocidade correspondente ao $VO_2\max$ ($vVO_2\max$) e resposta do lactato sanguíneo e; dois a cinco testes de intensidade constante, com 30 min de duração, para determinação do MLSS. A partir do teste incremental, foram utilizados quatro métodos de determinação do LAN: LAN1 - velocidade correspondente a [La] fixa de 3,5 mmol.L⁻¹; LAN2 - velocidade referente a [La] do menor equivalente [La]-velocidade somado com 1,5 mmol.L⁻¹; LAN3 - velocidade correspondente ao Dmax; LAN4 - velocidade anterior ao segundo incremento consecutivo de [La] maior que 0,5 mmol.L⁻¹. Não existiram diferenças significativas entre o MLSS e o LAN determinado pelos quatro métodos estudados. Entretanto, a análise de Bland-Altman expressou a extensão da discordância entre as variáveis quando os sujeitos foram analisados individualmente. Houve correlações significativas entre MLSS e LAN1 ($r = 0,68$; $p = 0,04$) e entre MLSS e o LAN2 ($r = 0,79$; $p = 0,01$). Assim, apesar de não haver diferença significativa entre os métodos de determinação do LAN com o MLSS, deve-se ter cautela para utilizá-los de forma intercambiável.

Palavras-chave: Corrida; Exercício aeróbio; Lactato sanguíneo.

Abstract – The aim of this study was to compare anaerobic threshold (AT) as determined by four different methods with maximal lactate steady state (MLSS) in endurance runners. Nine moderately trained runners performed the following tests on different days: a maximal incremental exercise test to determine maximal oxygen uptake ($VO_2\max$), velocity at $VO_2\max$ ($vVO_2\max$), and blood lactate response; and two to five 30-min constant load tests to determine MLSS. Based on the incremental test, four methods of AT determination were used: AT1 – velocity at 3.5 mmol.L⁻¹ blood lactate; AT2 – velocity corresponding to the minimum lactate-velocity equivalent plus 1.5 mmol.L⁻¹; AT3 – velocity at Dmax; and AT4 – velocity before the second consecutive blood lactate increase greater than 0.5 mmol.L⁻¹. There were no significant differences between MLSS and AT as determined by four different methods. However, the Bland-Altman analysis showed the extent of disagreement between variables when the subjects were analyzed individually. MLSS was significantly correlated with AT1 ($r=0.68$; $p=0.04$) and AT2 ($r=0.79$; $p=0.01$). Thus, although no significant differences were found between AT methods and MLSS, one should be cautious about using these methods interchangeably.

Key words: Aerobic exercise; Blood lactate; Running.

¹ Universidade Federal de Santa Catarina. Laboratório de Esforço Físico. Centro de Desportos. Florianópolis, SC, Brasil.

Recebido em 20/07/10

Revisado em 16/05/11

Aprovado em 28/11/11



Licença
Creative Commons

INTRODUÇÃO

O máximo estado estável de lactato (MLSS) é definido como sendo a mais alta intensidade que pode ser mantida em exercícios submáximos, sem um contínuo acúmulo de lactato no sangue¹. O MLSS é considerado o padrão ouro para determinação da capacidade aeróbia e é a variável que, segundo alguns autores, demarca os domínios fisiológicos pesado e severo². Contudo, para determiná-lo é necessário que os indivíduos realizem, em diferentes dias, duas a cinco sessões de testes de intensidade constante com 30 min de duração^{3,4}.

Sendo assim, para simplificar a determinação do MLSS, tem sido proposto nas últimas décadas metodologias que utilizam concentrações de lactato sanguíneo ([La]) fixas determinadas a partir de um único teste incremental⁵. Heck et al.⁵, propuseram que o MLSS pode ser estimado a partir de um único teste incremental pela intensidade de exercício referente à [La] fixa de 4,0 ou 3,5 mmol.L⁻¹ para protocolos com estágios de 5 e 3 min de duração, respectivamente. Entretanto, a adoção de [La] fixas pode apresentar uma limitação no sentido de não avaliar a cinética individual da curva de lactato durante um teste incremental. Dessa forma, a utilização desse método poderia subestimar ou superestimar o MLSS⁶⁻¹⁰.

Assim, buscando considerar as variações individuais existentes na cinética de lactato e assumindo um comportamento exponencial característico dessa variável em resposta ao aumento da intensidade, outros métodos têm sido propostos para estimar o MLSS⁶⁻¹⁰. Mesmo antes do estudo de Heck et al.⁵, Stegmann et al.⁶ já haviam proposto a identificação do MLSS por meio da análise individual das [La] determinadas durante um protocolo de exercício incremental, o qual considera tanto a fase de esforço como a subsequente e imediata fase de recuperação (*individual anaerobic threshold* - IAT). No entanto, em virtude das características complexas de determinação do IAT⁶, Berg et al.⁷ propuseram que o MLSS pode ser estimado, de maneira geral, somando-se 1,5 mmol.L⁻¹ à [La] referente ao menor equivalente lactato/intensidade.

Adicionalmente, Cheng et al.⁸ sugeriram que o modelo Dmax, que considera o comportamento de toda a curva de [La] durante um teste incremental, pode ser um método interessante para determinação do MLSS. Por outro lado, tem sido sugerido que o protocolo do lactato mínimo permite a identificação do MLSS em apenas uma única sessão de teste progressivo⁹. Baldari e Guidetti¹⁰ têm proposto também que o MLSS pode ser estimado a partir da intensidade anterior ao segundo aumento consecutivo de [La] maior que 0,5 mmol.L⁻¹ em um teste incremental.

Muitos estudos têm verificado a validade de alguns destes métodos para estimar o MLSS em corredores de *endurance*^{5,9,11,12}, ciclistas^{11,13-16}, remadores¹⁷, atletas de modalidades coletivas^{9,18}, indivíduos fisicamente ativos¹⁹⁻²² e indivíduos não treinados⁴. Todavia, especificamente na corrida, ainda não foram investigadas, de forma direta, as relações existentes entre MLSS e LAn determinado pelos métodos propostos por Berg et al.⁷, Cheng et al.⁸

e Baldari e Guidetti¹⁰. Contudo, considerando as abordagens específicas de cada método, pode-se hipotetizar que a concordância do LAn com o MLSS nem sempre ocorra, sugerindo que esses aspectos podem implicar em diferentes intensidades de exercício para identificar o mesmo fenômeno fisiológico e, dessa forma, interferir na prescrição e controle do treinamento aeróbio. Além disto, Faude et al.²³ e Figueira et al.²⁴ relataram que existe uma carência na literatura de estudos que analisam a concordância por meio da análise de *Bland-Altman* entre o MLSS medido diretamente e o LAn proveniente de testes incrementais em corredores.

Com base nesses fatores, o objetivo deste estudo foi determinar e comparar o LAn obtido pelos métodos propostos por Heck et al.⁵, Berg et al.⁷, Cheng et al.⁸ e Baldari e Guidetti¹⁰ com o MLSS em corredores de *endurance* moderadamente treinados.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Sujeitos

Participaram deste estudo nove corredores moderadamente treinados com no mínimo dois anos de experiência de treinamento e provas de *endurance*. A média e o desvio padrão (DP) da idade, massa corporal, estatura e percentual de gordura corporal foram: $29,2 \pm 10,9$ anos; $64,2 \pm 8,5$ kg; $171,8 \pm 5,7$ cm; e $11,3 \pm 3,7\%$, respectivamente. O volume médio semanal de treinamento de corrida dos participantes era de 70 km. Todos os procedimentos utilizados neste estudo foram aprovados previamente pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos e a inclusão dos participantes na amostra se deu com a assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido (UFSC - protocolo 222/08).

Protocolo experimental e procedimentos

Os sujeitos foram instruídos a chegar ao laboratório em totais condições de hidratação e alimentação, sendo que, além disso, não poderiam realizar nenhum treinamento de alta intensidade 48h antes do teste. O protocolo experimental foi realizado dentro de um prazo de duas semanas com todos os testes sendo realizados num mesmo período do dia. Inicialmente, os sujeitos foram submetidos a um teste incremental para determinação do consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}), velocidade correspondente ao VO_{2max} (vVO_{2max}) e resposta do lactato sanguíneo. Na sequência foram realizadas duas a cinco sessões de testes de intensidade constante com 30 min de duração para determinação do MLSS. Todos os testes foram realizados em situações climáticas semelhantes ($T = 20-22^{\circ}C$ e $URA = 60\%$) e com um intervalo de no mínimo 48h entre cada um deles.

Determinação do VO_{2max} , vVO_{2max} e LAn

O VO_{2max} foi determinado utilizando-se um protocolo incremental em esteira rolante (IMBRAMED SUPER ATL, Porto Alegre, Brasil). A velocidade inicial foi de 10 km.h^{-1} (1% de inclinação), com incrementos de 1

km.h⁻¹ a cada 3 min até à exaustão voluntária. Entre cada estágio, houve um intervalo de 30 s para a coleta de 25 µL de sangue do lóbulo da orelha para a dosagem da [La] por meio de um analisador eletroquímico (YSI 2700 STAT, Yellow Springs, OH, USA).

O consumo de oxigênio (VO₂) foi mensurado respiração a respiração durante todo o teste a partir do gás expirado (K4b², Cosmed, Roma, Itália), sendo os dados reduzidos à média de 15 s. O VO₂max foi considerado como o maior valor obtido durante o teste nestes intervalos de 15 s. Para considerar que durante o teste os indivíduos atingiram o VO₂max, foram adotados os critérios propostos por Lacour et al.²⁵. A vVO₂max foi considerada como sendo a menor velocidade de corrida na qual ocorreu o VO₂max²⁶.

O LAn foi determinado a partir de quatro métodos. Utilizando o método de Heck et al.⁵ (figura 1A), o LAn foi considerado como sendo a velocidade correspondente a [La] fixa de 3,5 mmol.L⁻¹ (LAn1). Por outro lado, a determinação do LAn pelo método de Berg et al.⁷ (figura 1B) foi realizada por intermédio da identificação da [La] correspondente a menor relação existente entre [La] e velocidade de corrida (menor razão entre [La] e velocidade). Uma vez identificada a [La] referente ao valor mínimo dessa relação, foi adicionado a esta o valor de 1,5 mmol.L⁻¹ e assim encontrou-se a [La] que representaria o LAn e a sua velocidade correspondente (LAn2).

Utilizando o método matemático Dmax (figura 1C), proposto por Cheng et al.⁸, o LAn foi identificado a partir de gráficos individuais, sendo as [La] obtidas no final de cada estágio plotadas em função das respectivas velocidades de corrida. Na sequência, foi realizado um ajuste polinomial de terceira ordem e, posteriormente, empregado um ajuste linear, utilizando-se os dois extremos da curva (a primeira e a última velocidade do protocolo incremental), derivando-se assim uma reta. O Dmax foi definido como o ponto de maior distância obtida perpendicularmente a partir da reta gerada pela equação linear e a curva originária da equação polinomial. Deste modo, o LAn foi considerado como a velocidade derivada da [La] correspondente ao Dmax (LAn3). Por último, por meio do método de Baldari e Guidetti¹⁰ (figura 1D), assim como no método anterior⁸, o LAn foi identificado através de gráficos individuais, sendo as [La] obtidas no final de cada estágio plotadas em função das respectivas velocidades de corrida. No entanto, neste caso particularmente, o LAn correspondeu à velocidade anterior ao segundo incremento consecutivo de [La] maior que 0,5 mmol.L⁻¹ (LAn4).

Determinação do MLSS

Para determinação do MLSS foram realizados dois a cinco testes de intensidade constante com duração de 30 min. Em cada teste houve intervalos de 30 s no 10° e 30° min para a coleta de 25 µl de sangue do lóbulo da orelha para a dosagem da [La]. A intensidade do primeiro teste foi 80% da vVO₂max. A partir do comportamento da lactatemia do primeiro teste, os próximos foram realizados em velocidade inferior ou superior (0,5 km.h⁻¹), em diferentes dias, até que fosse encontrada estabilidade da

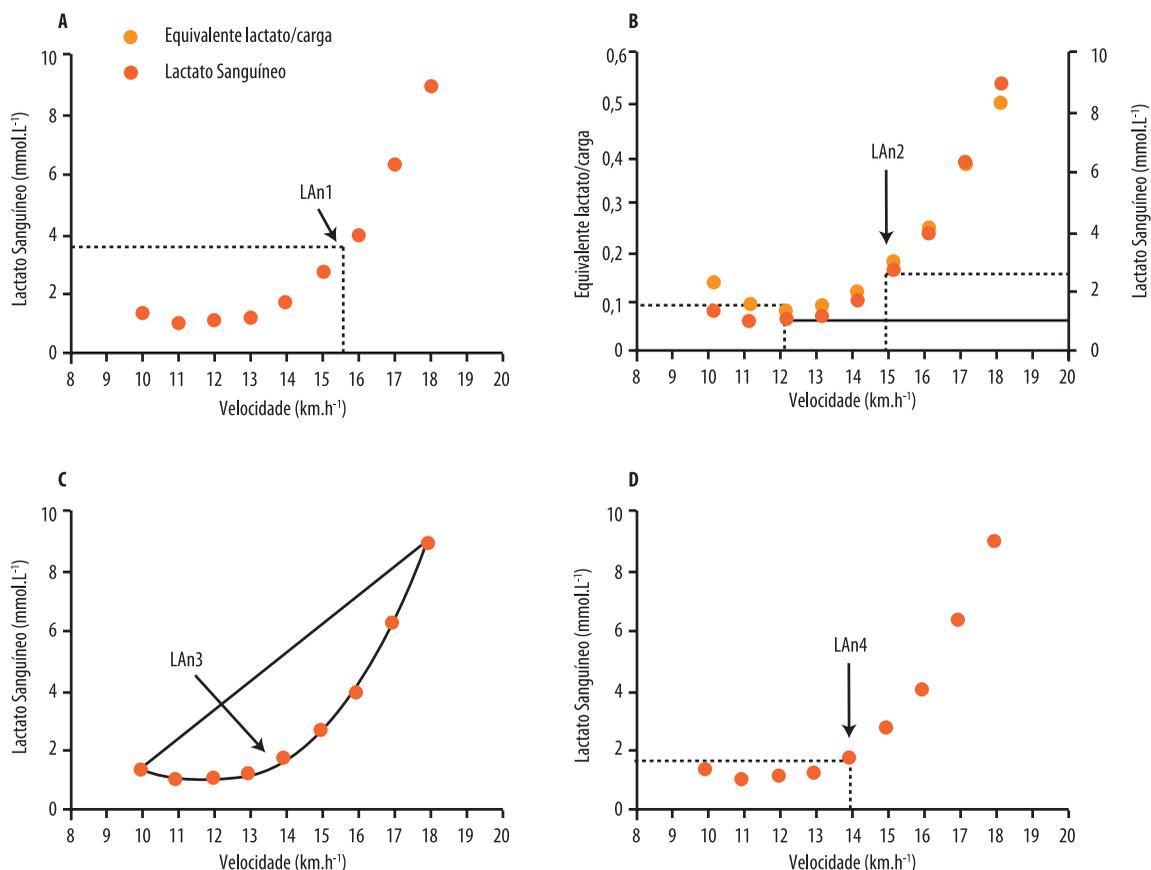


Figura 1. Determinação do limiar anaeróbio (LAN) conforme os métodos propostos por Heck et al.⁵ (A), Berg et al.⁷ (B), Cheng et al.⁸ (C) e Baldari e Guidetti¹⁰ (D). Os dados são representativos de um sujeito.

[La] ou até que a estabilidade fosse perdida, respectivamente. O MLSS foi definido como a mais alta velocidade na qual a [La] não excedeu mais do que 1 mmol.L⁻¹ nos últimos 20 min do teste³. A [La] correspondente ao MLSS foi determinada a partir da média entre o 10^o e o 30^o min do exercício realizado no MLSS³.

Análise estatística

Os dados estão expressos com média e DP. A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de *Shapiro-Wilk* ($n < 50$). Para analisar as diferenças entre os métodos foi utilizada a ANOVA *one-way* para medidas repetidas, complementada pelo teste de *Bonferroni*. Para verificar as correlações existentes entre o MLSS e os diferentes métodos foi utilizada a correlação de *Pearson*. Adicionalmente, foi verificada a concordância dos métodos com o MLSS por meio do gráfico de *Bland-Altman*. Em todas as análises foi adotado um nível de significância de 5%.

RESULTADOS

O VO₂max e a vVO₂max dos sujeitos foram $63,9 \pm 4,0$ mL.kg⁻¹.min⁻¹ e $17,6 \pm 0,9$ km.h⁻¹, respectivamente. A tabela 1 apresenta as [La] cor-

respondentes ao MLSS e ao LAn determinado pelos quatro métodos estudados. De acordo com a análise de variância, existiu diferença significativa da [La] do MLSS com a [La] do LAn2 e LAn4. Os valores absolutos ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) e relativos ($\%v\text{VO}_2\text{max}$) do LAn e do MLSS também estão dispostos na tabela 1. Não foram encontradas diferenças significativas entre o MLSS e o LAn identificado pelos diferentes métodos. Entretanto, o *bias* \pm 95% dos limites de concordância para as comparações entre MLSS e LAn1 ($-0,4 \pm 2,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; $-2,3 \pm 15,9\%$), MLSS e LAn2 ($-0,1 \pm 1,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; $-0,3 \pm 8,5\%$), MLSS e LAn3 ($-0,3 \pm 1,9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; $-1,9 \pm 13,0\%$) e MLSS e LAn4 ($0,3 \pm 2,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; $2,6 \pm 18,3\%$) expressam a extensão da discordância entre as variáveis quando se analisa os sujeitos de forma individual (figura 2). De acordo com os gráficos da figura 2, houve casos de atletas que ficaram acima (superestimando o MLSS) e abaixo (subestimando o MLSS) dos limites de concordância para LAn1 e LAn4, respectivamente. A tabela 2 apresenta a frequência de sujeitos que tiveram o MLSS estimado com boa precisão (dentro de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), subestimado (abaixo de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) ou superestimado (acima de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) por cada um dos métodos analisados. Analisando esta tabela observa-se que o método de determinação do LAn2 foi o que apresentou a maior frequência de sujeitos com boa estimativa do MLSS. Com referência às correlações existentes entre o MLSS e o LAn, somente ocorreu correlação significativa entre o MLSS e o LAn1 ($r = 0,68$; $p = 0,04$) e entre MLSS e o LAn2 ($r = 0,79$; $p = 0,01$).

Tabela 1. Valores das velocidades e das [La] correspondentes ao MLSS e ao LAn determinado pelos quatro métodos estudados.

	MLSS	LAn1	LAn2	LAn3	LAn4
[La] ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	$4,3 \pm 1,1$	$3,5 \pm 0,0$	$3,1 \pm 0,6^*$	$3,4 \pm 1,4$	$2,7 \pm 1,0^*$
Velocidade ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	$14,3 \pm 0,7$	$14,7 \pm 1,4$	$14,4 \pm 1,0$	$14,6 \pm 0,7$	$14,0 \pm 1,5$
$\%v\text{VO}_2\text{max}$ (%)	$81,7 \pm 5,2$	$83,8 \pm 8,5$	$81,9 \pm 5,8$	$83,2 \pm 3,3$	$79,7 \pm 7,4$

[La] = concentração de lactato sanguíneo; MLSS = máximo estado estável de lactato; LAn1 = LAn determinado conforme o método de Heck et al.⁵; LAn2 = LAn determinado conforme o método de Berg et al.⁷; LAn3 = LAn determinado conforme o método de Cheng et al.⁸; LAn4 = LAn determinado conforme o método de Baldari e Guidetti¹⁰; $\%v\text{VO}_2\text{max}$ = percentual da $v\text{VO}_2\text{max}$ referente ao LAn (determinado pelos quatro métodos) e o MLSS; * $p < 0,05$ em relação à [La] do MLSS.

Tabela 2. Frequência de sujeitos que apresentaram a velocidade correspondente ao LAn dentro, abaixo e acima de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do MLSS.

	Dentro de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do MLSS	Abaixo de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do MLSS	Acima de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do MLSS
LAn1	3	1	5
LAn2	5	2	2
LAn3	3	2	4
LAn4	2	5	2

MLSS = máximo estado estável de lactato; LAn1 = LAn determinado conforme o método de Heck et al.⁵; LAn2 = LAn determinado conforme o método de Berg et al.⁷; LAn3 = LAn determinado conforme o método de Cheng et al.⁸; LAn4 = LAn determinado conforme o método de Baldari e Guidetti¹⁰.

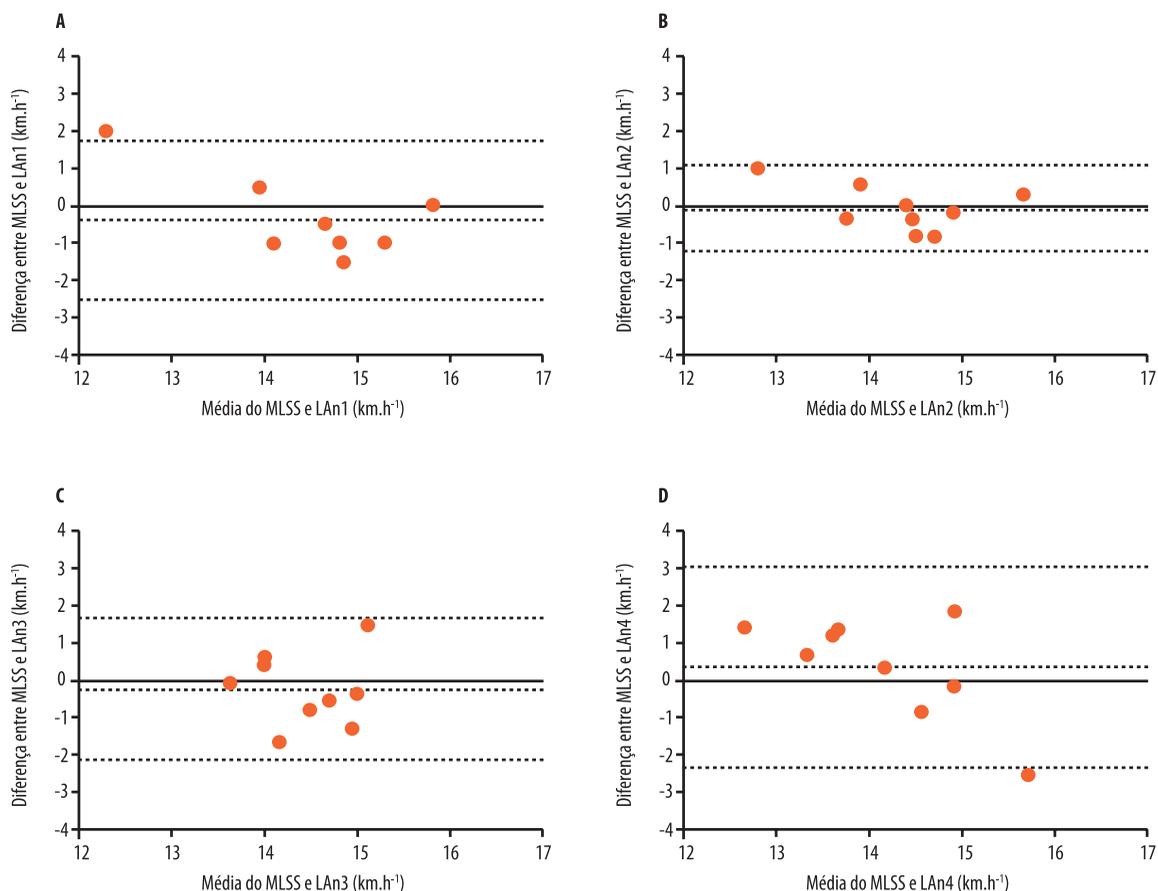


Figura 2. Gráficos de *Bland-Altman* mostrando o *bias* e os limites de concordância (linhas tracejadas) em comparações do MLSS e o LAn1 (A), MLSS e o LAn2 (B), MLSS e o LAn3 (C), e MLSS e o LAn4 (D). A linha contínua representa o *bias* = 0.

DISCUSSÃO

Os principais resultados do presente estudo revelam que não foram encontradas diferenças significativas entre o MLSS e o LAn determinado pelos quatro métodos estudados (tabela 1). Nesse sentido, embora cada uma das técnicas apresente abordagens específicas para análise da curva de [La] em um teste incremental, os valores médios foram similares ao MLSS. Entretanto, o *bias* \pm 95% dos limites de concordância para as comparações entre MLSS e os diferentes métodos de identificação do LAn expressam a extensão da discordância entre as variáveis quando se analisa os sujeitos de forma individual (figura 2). Além disso, foram encontradas correlações significativas ($p < 0,05$) entre MLSS e LAn1 ($r = 0,68$) e MLSS e LAn2 ($r = 0,79$). Dessa forma, este é o primeiro estudo que verificou o grau de concordância entre o MLSS medido diretamente com o LAn determinado de acordo com Heck et al.⁵, Berg et al.⁷, Cheng et al.⁸ e Baldari e Guidetti¹⁰. Anteriormente, alguns estudos²⁰⁻²² haviam verificado o grau de concordância entre o MLSS e o LAn identificado com o protocolo do lactato mínimo⁹.

O LAn1 não diferiu do MLSS e houve uma correlação significativa moderada entre as variáveis ($r = 0,68$). Isso está de acordo com alguns

estudos realizados anteriormente em corredores de *endurance*^{5,12}, ciclistas^{4,13-16}, atletas de modalidades coletivas¹⁸, indivíduos fisicamente ativos¹⁹ e indivíduos não treinados⁴. Jones e Doust¹² verificaram que em corredores de *endurance* o LAn1 e o MLSS foram estatisticamente similares e altamente correlacionados ($r = 0,93$). De modo semelhante, Denadai et al.¹⁸ e Figueira et al.¹⁹ verificaram, respectivamente, que o LAn1 não apresentou diferença do MLSS em jogadores de futebol e em indivíduos fisicamente ativos, sendo obtida uma alta correlação entre essas variáveis ($r = 0,80$ e $r = 0,94$, respectivamente).

Já no cicloergômetro, tanto em ciclistas treinados quanto em indivíduos não treinados, a intensidade correspondente ao LAn de [La] fixa de $3,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ não diferiu do MLSS^{4,13-15}. Entretanto, apesar do LAn de [La] fixa ter sido similar ao MLSS em alguns estudos realizados na corrida^{5,12,18,19} e no ciclismo^{4,13-16}, outros, realizados também em diferentes modos de exercício, têm mostrado diferença entre essas duas variáveis^{11,17,19}. A principal crítica com relação à utilização desse método é o fato do mesmo não avaliar a cinética individual da curva de lactato durante um teste incremental, podendo, desta forma, subestimar ou superestimar o MLSS¹⁰, visto que existe uma grande variação interindividual na [La] do MLSS^{6,17}.

Com base neste pressuposto, Stegmann et al.⁶ inicialmente propuseram que o LAn poderia ser identificado a partir de valores individuais de [La] determinadas durante um teste incremental. Tendo em vista a grande variabilidade interindividual nos resultados encontrados ([La] entre 1,4 e $7,5 \text{ mmol.L}^{-1}$), os autores introduziram um método de estimativa individual do MLSS (*individual anaerobic threshold* - IAT) que não utilizava o critério de [La] fixa⁶. Corroborando esse modelo, Urhausen et al.¹¹ verificaram que o IAT não diferiu do MLSS em corredores de *endurance* e em ciclistas treinados. Do mesmo modo, Figueira e Denadai¹³ não encontraram diferenças entre o IAT e o MLSS em ciclistas treinados. Contudo, apesar do IAT ter apresentado similaridade com o MLSS nas modalidades de corrida¹¹ e ciclismo^{11,13}, quando verificado no remo¹⁷, o MLSS foi significativamente superestimado.

Entretanto, em virtude das características complexas de determinação do IAT⁶, Berg et al.⁷ propuseram um interessante método a fim de tornar mais simples a identificação do MLSS. Por meio de análises de regressão, os autores observaram que o LAn, de maneira geral, encontra-se $1,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ acima da [La] referente ao menor equivalente lactato/velocidade em corredores de *endurance*⁷. O LAn2 determinado no presente estudo foi similar ao MLSS e apresentou a mais alta correlação ($r = 0,79$; $p = 0,01$). Em adição, este método foi o que apresentou a melhor concordância com o MLSS por meio da análise de *Bland-Altman*. Este achado pode ser confirmado também pelos resultados dispostos na tabela 2, mostrando que cinco dos nove sujeitos tiveram o LAn2 determinado dentro de uma variação de $0,5 \text{ km.h}^{-1}$ do MLSS. Este mais alto grau de concordância observado entre o LAn2 e o MLSS quando comparado aos outros métodos analisados neste estudo, pode ser explicado parcialmente por duas questões importantes. Primeiramente, a determinação de um valor mínimo a partir da relação

entre [La] e velocidade de exercício assegura a preocupação que deve ser considerada com respeito à cinética individual da curva de lactato durante um teste incremental.

Segundo, o acréscimo de um valor fixo de $1,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ à [La] correspondente a essa razão, denota uma característica mais simplificada de determinação do LAn a partir de uma consideração individual, visto à complexidade das propostas de outros modelos^{6,8}, que podem gerar alguns erros de determinação do LAn. Assim, diferente do método original do IAT⁶, o método de Berg et al.⁷ não exige que os indivíduos realizem o teste incremental até a exaustão, podendo ser encerrado em intensidades de exercício submáximas quando o objetivo for identificar apenas o LAn.

Contudo, sob a suposição de permitir identificações mais individualizadas do que a utilização de [La] fixas, e menos subjetivas do que as análises mais simplificadas, Cheng et al.⁸ sugeriram que o modelo Dmax, o qual considera o comportamento de toda a curva de [La] durante um teste incremental, pode ser um método interessante para determinação de variáveis fisiológicas associadas à capacidade aeróbia. Entretanto, além da ausência de evidências concretas sobre a validade deste modelo¹⁶, o mesmo, proposto originalmente em cicloergômetro⁸, apresenta pouco destaque na literatura científica para a sua utilização em outros modos de exercício, o que ressalta ainda mais a importância da presente investigação sobre a sua aplicação na corrida.

Embora não tenha sido encontrada diferença entre as médias do LAn3 e do MLSS, essas variáveis não apresentaram correlação significativa. Nesse sentido, para tentar explicar esses resultados, duas considerações referentes à aplicação desse método são importantes e devem ser destacadas. Primeiro, diferente dos outros métodos analisados no presente estudo^{5,7,10} e semelhante ao método proposto por Stegmann et al.⁶, o LAn determinado a partir do modelo de Cheng et al.⁸, necessita também que os avaliados realizem o teste incremental até a exaustão voluntária máxima, visto que a determinação do LAn só é possível a partir de uma análise total da curva de [La]. Segundo, considerando que o modelo Dmax está condicionado ao comportamento de toda a curva das [La], surgem algumas dúvidas sobre a sua aplicabilidade para a determinação do LAn. Isto porque, enquanto alguns autores aplicaram esse método em dados ajustados com regressão polinomial²⁷, outros empregaram função exponencial contínua²⁸, sugerindo que a utilização de diferentes funções matemáticas pode gerar distorções na intensidade determinada por este modelo.

Mais recentemente, baseado em críticas com relação à utilização de estágios com duração inferior a 6 min durante um teste incremental para determinar o LAn, Baldari e Guidetti¹⁰ propuseram uma metodologia de identificação do LAn considerando a cinética individual e o tempo necessário para que a [La] apresente um estado estável. Baseado nessas duas considerações supracitadas, a hipótese central dos autores é que a [La] em um dado estágio de 3 min durante um teste incremental representaria a [La] da velocidade do estágio anterior em um exercício de carga constante¹⁰.

O LAn4, assim como o LAn determinado pelos outros métodos^{5,7,8}, não diferiu significativamente do MLSS. Esses resultados estão de acordo com os resultados encontrados por Baldari e Guidetti¹⁰, visto que um estado estável de [La] foi observado durante 30 min de exercício realizado no LAn4 e, quando o exercício foi realizado na intensidade do estágio imediatamente acima (incrementos de 1 km.h⁻¹ e 2 km.h⁻¹, respectivamente para mulheres e homens) não foi observado estabilidade da [La] sendo que, em alguns casos, os indivíduos apresentaram exaustão e o exercício teve de ser encerrado precocemente. Contudo, algumas considerações devem ser realizadas com respeito à utilização deste método. Uma questão importante que deve ser destacada é com relação à intensidade absoluta na qual o LAn4 é determinado. Utilizando a metodologia original¹⁰ observa-se que o LAn sempre será encontrado numa carga correspondente a um determinado estágio e nunca em uma carga intermediária entre dois estágios (figura 1D).

Adicionalmente, os autores não determinaram de forma clara o MLSS, visto que para verificar a validade do LAn, os mesmos submeteram o grupo estudado ao exercício no LAn e na velocidade correspondente ao estágio imediatamente acima¹⁰. Com isto, como foi observado que durante o exercício realizado no LAn, a [La] apresentou estabilidade para todos os sujeitos avaliados e, no exercício realizado na velocidade acima, a [La] não estabilizou, os autores assumiram que o método é confiável para estimar de forma precisa o MLSS¹⁰. Entretanto, este procedimento pode determinar uma intensidade de exercício que, embora apresente um estado estável da [La], não necessariamente é o MLSS, o que, além disso, negligencia as intensidades intermediárias como sendo as possíveis intensidades reais de MLSS. De fato na presente investigação, este método foi o que apresentou o menor LAn, subestimando o MLSS para a maioria dos sujeitos (tabela 2).

A utilização do MLSS como sendo um estímulo eficaz de treinamento tem sido demonstrada recentemente por Billat et al.²⁹ e Philp et al.³⁰. Estes estudos têm apresentado efeitos significativos do treinamento no MLSS para as variáveis fisiológicas associadas ao metabolismo aeróbio, além de alterações na performance, no tempo de exaustão no MLSS e no substrato utilizado durante o exercício nesta intensidade^{29,30}. Todavia, considerando que em intensidades de exercício $\pm 5\%$ do MLSS são observadas respostas fisiológicas e adaptações ao treinamento significativamente diferentes daquelas encontradas no MLSS³⁰, como podemos considerar, de acordo com os resultados da análise de *Bland-Altman*, que os métodos de determinação do LAn verificados neste estudo são estimativas válidas do MLSS?

A discordância observada pelos intervalos de confiança de *Bland-Altman* entre o MLSS e LAn1, LAn3 e LAn4 ($\pm 15,9$; 13,0; 18,3% respectivamente), poderia conduzir alguns indivíduos a adaptações fisiológicas e metabólicas distintas, em virtude de se exercitarem em domínios fisiológicos possivelmente diferentes. Sendo assim, em situações onde ocorre a exigência de uma precisa determinação da capacidade aeróbia (ex: prescrição da intensidade de treinamento; estudos experimentais), sugere-se que o MLSS seja determinado preferencialmente de forma direta.

Contudo, o presente estudo apresenta algumas limitações que devem ser destacadas. Primeiramente, uma possível limitação deste estudo pode ser o tamanho da amostra analisada. Do ponto de vista operacional, deve-se considerar a dificuldade de recrutar atletas bem treinados que tenham a disponibilidade de participar de um protocolo que prevê a vinda ao laboratório por até sete vezes em um período de duas semanas. Logicamente, nós estamos conscientes de que uma amostra maior poderia representar um mais alto poder estatístico nas análises e de maneira mais precisa quantificar as relações existentes entre os métodos de identificação do LAn utilizados neste estudo e o MLSS medido diretamente. Além do mais, para o nosso conhecimento, com exceção do LAn de [La] fixa⁵, não existem estudos na literatura que verificaram a relação entre o LAn identificado com os outros métodos analisados^{7,8,10} e o MLSS determinado de forma direta na corrida, o que limita a comparação e a discussão dos nossos resultados.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados, pode-se concluir que embora não tenha existido diferença entre a média das velocidades dos quatro métodos de determinação do LAn com o MLSS, deve-se ter cautela para utilizá-los de forma intercambiável em corredores de *endurance*. Isto, pelo fato da análise de *Bland-Altman* verificar um grande limite de concordância intra-individual. Apesar do número restrito de sujeitos, dentre os métodos analisados, conclui-se também que o proposto por Berg et al.⁷ foi o que apresentou melhor concordância com o MLSS e, desta forma, necessita de mais investigações para confirmar a sua real validade, principalmente com outras modalidades de exercício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Billat VL, Sirvent P, Py G, Koralsztejn JP, Mercier J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med* 2003;33(6):407-26.
2. Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med* 2000;29(6):373-86.
3. Beneke R. Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. *Eur J Appl Physiol* 2003;8(4-5):361-9.
4. Denadai BS, Figueira TR, Favaro ORP, Gonçalves M. Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. *Braz J Med Biol Res* 2004;37(10):1551-6.
5. Heck H, Mader A, Hess G, Mucke S, Müller R, Hollmann W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 1985;6(3):117-30.
6. Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1981;2(3):160-5.
7. Berg A, Jakob M, Lehmann HH, Dickhuth G, Huber J. Aktuelle Aspekte der modernen ergometrie. *Pneum* 1990;44:2-13.
8. Cheng B, Kuipers H, Snyder AC, Keizer HA, Jeukendrup A, Hesselink M. A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int J Sports Med* 1992;13(7):518-22.
9. Tegtbur U, Busse MW, Braumann KM. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25(5):620-7.

10. Baldari C, Guidetti L. A simple method for individual anaerobic thresholds as predictor of maximal lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(10):1798-802.
11. Urhausen A, Coen B, Weiler B, Kindermann W. Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *Int J Sports Med* 1993;14(3):134-9.
12. Jones AM, Doust JH. The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30(8):1304-13.
13. Figueira TR, Denadai BS. Relações entre o limiar anaeróbio, limiar anaeróbio individual e máxima fase estável de lactato em ciclistas. *Rev Bras Cien Mov* 2004;12(2):91-5.
14. Barbosa LF, de Souza MR, Pelarigo JG, Carità RAC, Caputo F, Denadai BS, et al. Máxima fase estável de lactato sanguíneo e o limite superior do domínio pesado em ciclistas treinados. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2009;11(3):320-5.
15. Carità RAC, Greco CC, Denadai BS. Máxima fase estável de lactato e potência crítica em ciclistas bem treinados. *Rev Bras Med Esporte* 2009;15(5):370-3.
16. Van Schuylenbergh R, Vanden Eynde B, Hespel P. Correlations between lactate and ventilatory thresholds and the maximal lactate steady state in elite cyclists. *Int J Sports Med* 2004;25(6):403-8.
17. Beneke R. Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27(6):863-7.
18. Denadai BS, Gomide EBG, Greco CC. The relationship between onset of blood lactate accumulation, critical velocity and maximal lactate steady state in soccer players. *J Strength Cond Res* 2005;19(2):364-8.
19. Figueira TR, Caputo F, Pelarigo JG, Denadai BS. Influence of exercise mode and maximal lactate-steady-state concentration on the validity of OBLA to predict maximal lactate-steady-state in active individuals. *J Sci Med Sport* 2008;11(3):280-6.
20. Pardono E, Sotero RC, Hiyane WC, Mota MR, Campbell CSG, Nakamura FY, et al. Maximal lactate steady-state prediction through quadratic modeling of selected stages of the lactate minimum test. *J Strength Cond Res* 2008;22(4):1073-80.
21. Pardono E, Madrid B, Motta DF, Mota MR, Campbell CSG, Simões HG. Lactato mínimo em protocolo de rampa e sua validade em estimar o máximo estado estável de lactato. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2009;11(2):174-80.
22. Sotero RC, Pardono E, Campbell CSG, Simões HG. Indirect assessment of lactate minimum and maximal blood lactate steady state intensity for physically active individuals. *J Strength Cond Res* 2009;23(3):847-53.
23. Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med* 2009;39(6):469-90.
24. Figueira TR, Simões HG, Denadai BS. Maximal lactate steady-state prediction. *Sports Med* 2010;40(2):179-80.
25. Lacour JR, Padilla-Magunacelaya S, Chatard JC, Arzac L, Barthélémy JC. Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol* 1991;62(2):77-82.
26. Billat VL, Flechet B, Petit B, Muriaux G, Koralsztein JP. Interval training at VO_2 max: effects on aerobic performance and over training markers. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31(1):156-63.
27. 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(8):1270-5.
28. Nicholson RM, Sleivert GG. Indices of lactate threshold and their relationship with 10-km running velocity. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(2):339-42.
29. Billat VL, Sirvent P, Lepretre PM, Koralsztein JP. Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance runners. *Eur J Appl Physiol* 2004;447(6):875-83.
30. Philp A, Macdonald AL, Carter H, Watt PW, Pringle JS. Maximal lactate steady state as a training stimulus. *Int J Sports Med* 2008;29(6):475-9.

Endereço para correspondência

Kristopher Mendes de Souza
 Universidade Federal de Santa Catarina
 Centro de Desportos - Laboratório de Esforço Físico
 Campus Universitário – Trindade,
 CEP: 88040-900 Florianópolis (SC)
 Brasil
 E-mail: kristophersouza@yahoo.com.br