

Limiar glicêmico: validade com limiar de lactato e concordância com a variabilidade da frequência cardíaca

Glucose threshold: concurrent validity with lactate threshold and agreement with heart rate variability threshold

Luciana Carletti¹ , Igor Ziviani Araujo¹ , Letícia Nascimento Santos Neves¹ , Victor Hugo Gasparini Neto¹ , Richard Diego Leite¹ 

1. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil

RESUMO

Introdução: Na intensidade do limiar de lactato (LL2) ocorre um aumento da atividade do sistema nervoso simpático, aumento das catecolaminas plasmáticas e da glicemia, que representam o limiar glicêmico (LG) e o segundo limiar de variabilidade da frequência cardíaca (LVFC2). Esses limiares podem apresentar concordância e permitir a prescrição do exercício por meios mais acessíveis. **Objetivo:** O objetivo do estudo foi analisar a validade concorrente do limiar glicêmico com o limiar de lactato; e sua concordância como o limiar de variabilidade da frequência cardíaca para identificação do segundo limiar anaeróbio. **Métodos:** 31 homens saudáveis e ativos (22 ± 2 anos) foram submetidos a um protocolo escalonado de Teste Cardiopulmonar de Exercício (TCPE), monitorados por medidas de glicemia, lactacemia e variabilidade da frequência cardíaca para a identificação do LG, LL2 e LVFC2. O coeficiente de correlação intraclasse (CCI), erro típico (ET), coeficiente de variação (CV) e Bland-Altman testaram a confiabilidade e concordância. **Resultados:** A HR apresentou boa confiabilidade (ICC = 0,80) e boa exatidão (ET = 4,7% e CV = 6,6%) para o LG com LL2. Para o LG e LVFC2, a FC apresentou confiabilidade moderada (ICC = 0,60) e boa precisão (ET = 5,9% e CV = 8,4%). **Conclusão:** O LG e o LL2 apresentaram validade concorrente para identificação do segundo limiar anaeróbio. A concordância entre o LG e o LVFC2 é reforçada pelos eventos fisiológicos que os relacionam.

Palavras-chave: limiar anaeróbio; intensidade do exercício; glicemia; frequência cardíaca.

ABSTRACT

Introduction: At lactate threshold (LT2) intensity, there is an increase in the activity of the sympathetic nervous system, an increase in plasma catecholamines, and an increase in blood glucose, which represent the glucose threshold (GT) and the heart rate variability threshold (HRVT). These thresholds may concord and allow exercise prescription through more accessible means. **Aim:** To analyze the concurrent validity of GT with LT2 and assess whether there is a concordance between GT and HRVT. **Methods:** 31 healthy and active men (22 ± 2 years) underwent two days of cardiopulmonary exercise testing (CPET). On the second day, the test aimed to identify GT, LT2, and HRVT. The intraclass correlation coefficient (ICC), typical error (TE), coefficient of variation (CV), and Bland-Altman tested their reliability and concordance. **Results:** The HR showed good reliability (ICC = 0.80) and good precision (TE = 4.7% and CV = 6.6%) for GT with LT2. For GT and HRVT, the HR showed moderate reliability (ICC = 0.60) and good precision (TE = 5.9% and CV = 8.4%). **Conclusion:** GT and LT2 presented concurrent validity for identifying the second anaerobic threshold. GT concordance with LT2 is reinforced by the mechanisms that link them.

Keywords: anaerobic threshold; exercise intensity; blood glucose; heart rate.

Introdução

A definição de intensidades mais precisas para a prática de exercícios físicos identificando os limiares metabólicos favorece a determinação de zonas de treinamento individualizadas e melhorias mais eficientes nos parâmetros de aptidão física relacionados à saúde [1] ou desempenho [2]. Os limiares metabólicos consistem em índices fisiológicos submáximos medidos durante um teste de exercício incremental.

O limiar anaeróbio (LA) é amplamente utilizado na ciência do esporte [3,4] sendo um fenômeno fisiológico que pode ser identificado por meio de diferentes parâmetros como, por exemplo, limiar ventilatório (LV), limiar de lactato (LL), limiar de variabilidade de frequência cardíaca (LVFC), Limiar Glicêmico (LG), entre outros [3,5]. Tradicionalmente, LL e LV têm sido usados para avaliar esse fenômeno [6,7]. O LL pode ser identificado em dois momentos distintos denominados limiar de lactato 1 e limiar de lactato 2, antigamente denominados genericamente de limiar aeróbio e limiar anaeróbio [8]. Sabe-se que o LL2 é caracterizado pelo aumento exponencial de lactato no sangue e que, quando considerados valores fixos, é de aproximadamente $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ [8].

Esse fenômeno ocorre em intensidades de exercício em que há também aumento de catecolaminas plasmáticas [9]. O aumento das catecolaminas plasmáticas favorece a biodisponibilidade da glicose sanguínea por meio da estimulação da glicogenólise e da gliconeogênese [10]. A literatura científica aponta concordância entre os métodos de limiar glicêmico e segundo limiar ventilatório para determinação do limiar anaeróbio em pacientes com diabetes tipo 2 [11].

Um crescente corpo de evidências indicava a determinação do LA por níveis de glicose, denominados Limiar Glicêmico Individual (LGI) [12]. Os autores observaram que os níveis de glicose sanguínea diminuíram ao mesmo tempo em que o lactato sanguíneo aumentou (LL) [12]. O LGI foi definido pelo menor valor de glicose antes do aumento abrupto associado ao LL2 em corredores que realizaram um teste de pista [12].

Além disso, é esperada uma relação fisiológica entre a resposta glicêmica durante o exercício e a variabilidade da frequência cardíaca devido ao efeito do sistema nervoso simpático no metabolismo da glicose [10]. A literatura sugere o uso da VFC para estimar limiares fisiológicos, como o limiar ventilatório ou de lactato, em um teste incremental [13]. Acredita-se que a LVFC2 possa identificar a intensidade de esforço semelhante à do LG, pois em exercícios com intensidades maiores, o sistema nervoso simpático é predominante [14], fatores que comprovam o aumento da glicemia também são observados [10].

Portanto, é necessário analisar a validade concorrente do Limiar Glicêmico com o segundo limiar de lactato, e sua concordância com o segundo limiar de variabilidade da frequência cardíaca para identificar o limiar anaeróbio de forma mais acessível. Nossa hipótese é que LG apresentará boa concordância com LL2 e LVFC2.

Métodos

Amostra

A amostra foi composta por 31 universitários, saudáveis, do sexo masculino, com idade média de 22 ± 2 anos. Os participantes foram informados sobre os procedimentos. Critérios de inclusão: ser capaz de realizar exercício físico (avaliado pelo nível habitual de atividade física ≥ 150 min·semana⁻¹) e ter idade compreendida entre os 18 e os 30 anos. Os critérios de exclusão foram: uso de qualquer medicamento, limitações locomotoras ou doenças testadas, história de tabagismo e etilismo. O comitê de ética em pesquisa aprovou o estudo da Universidade Federal do Espírito Santo (CAAE 76607717.5.0000.5542).

Procedimentos

Os procedimentos foram realizados conforme a Figura 1. O levantamento de informações pessoais e de saúde foi feito por meio de um questionário autopreenchido. Primeiramente, os participantes foram elegíveis, respeitando os critérios de inclusão e exclusão. Posteriormente, houve visita ao laboratório em dois dias, com intervalo de 48 horas. No primeiro dia foram realizadas anamnese, avaliação antropométrica e teste cardiopulmonar com coleta de sangue do lóbulo da orelha, repouso e recuperação. Teste cardiopulmonar foi aplicado para triagem médica e familiarização. No segundo dia, foi realizado o segundo teste cardiopulmonar (protocolo escalonado) devido à estabilidade necessária para uma boa coleta da variabilidade da frequência cardíaca, além da coleta de sangue, em repouso, durante o teste e durante a recuperação. Por fim, foi realizada a identificação dos limiares de glicose, lactato e variabilidade da frequência cardíaca. Três participantes foram excluídos devido à dificuldade em identificar o limiar glicêmico, conforme descrito na seção sobre coleta e identificação do limiar glicêmico. (Figura 1).

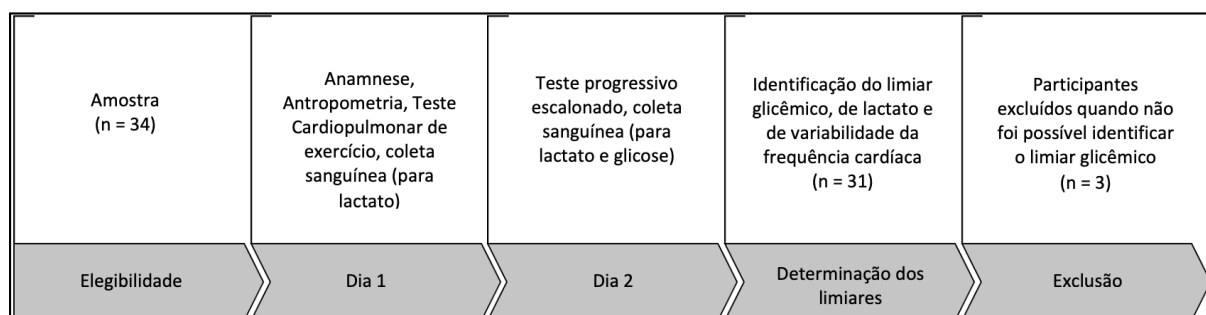


Figura 1 – Desenho do estudo

Antropometria

A massa corporal e a estatura foram mensuradas por meio de balança antropométrica digital com estadiômetro de precisão de 1 mm (Marte Científica, L200, São Paulo) com capacidade máxima de 201 kg e sensibilidade de 50 g para calcular o índice de massa corporal (IMC). A composição corporal foi medida usando um paquíme-

tro científico de dobras cutâneas com sensibilidade de 0,1 mm e amplitude de leitura de 85 mm (Mitutoyo/Cescorf, RS), incluindo sete dobras cutâneas (tricipital, subescapular, peitoral, axilar média, suprailíaca, abdominal e coxa). Por fim, o percentual de gordura foi calculado por meio da fórmula proposta por Jackson e Pollock [15].

Teste Cardiopulmonar de Exercício – (TCPE)

Os indivíduos foram submetidos à avaliação cardiológica de repouso e esforço, para avaliar suas condições de saúde e definir a intensidade do limiar ventilatório 1 (LV1). A velocidade correspondente ao LV1 foi o parâmetro adotado para determinar a velocidade de início do teste escalonado progressivo.

As variáveis ventilatórias foram medidas com o analisador de gases metabólicos Cortex Metalyzer 3b (Leipzig, Alemanha) com coleta respiração a respiração e analisadas com o software Metasoft™. O equipamento foi calibrado utilizando uma mistura de gases conhecida (11,97% O₂ e 4,95% CO₂ original, certificada pelo fabricante). O sistema foi calibrado novamente a cada novo teste utilizando a referência de ar ambiente. O sensor de volume foi calibrado com uma seringa de 3L (Hans Rudolph, Oklahoma, EUA). Foram utilizadas máscaras coletoras de tamanhos variados, de acordo com as dimensões faciais de cada sujeito. O teste foi acompanhado por um cardiologista e um profissional de educação física. Houve incentivo verbal na fase final do TCPE, visando atingir o esforço máximo. Para identificar o teste como máximo, foram adotados pelo menos três dos seguintes critérios: a) exaustão voluntária relatada imediatamente após o teste; b) frequência cardíaca de pelo menos 90% do previsto para a idade (220-idade); c) relação de troca respiratória (RER) igual ou superior a 1,05; d) consumo máximo de oxigênio, observado pelo conceito de platô ou pico [16].

Teste Incremental Escalonado – (TIE)

Pelo menos 48 horas após a primeira visita, os participantes realizaram um novo teste de esforço. O protocolo utilizado foi um incremento contínuo de carga, 3 min por estágio com incremento de 1 km·h⁻¹ a cada 3 min. Antes do teste, o participante permanecia em repouso, ficando 5min em decúbito dorsal e 5min em pé. A velocidade inicial do protocolo foi de 4 km·h⁻¹ abaixo do primeiro limiar ventilatório (LV1) identificado pelo primeiro TCPE e continuou até o esforço máximo, não ultrapassando 10 estágios de exercício.

Limiar Glicêmico (LG) e Limiar de Lactato 2 (LL2)

Durante o período de repouso, foram coletados 25 µL de sangue arterializado do lóbulo da orelha, sem hiperemia, para determinação da concentração sanguínea de glicemia e lactato. O sangue foi imediatamente transferido para microtúbulos de polietileno tampados de 1,5 ml contendo 5 µL de fluoreto de sódio (1%) e embalado para posterior análise.

Durante o exercício, também foi coletada amostra de sangue do lóbulo da orelha (25 µL) entre cada estágio. Ao final de cada etapa, o participante saltava da esteira

e, logo após a coleta, retornava. Posteriormente, foram analisados os valores de glicemia e lactato sanguíneo ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) coletados [6]. Foi utilizado o analisador de glicose e lactato YSI 2300 STAT Plus (Ohio, EUA). As amostras de sangue foram armazenadas sob refrigeração (-80°C) para análise conjunta.

O critério para determinar em qual estágio ocorreu o limiar de glicose foi o menor valor de glicose antes de um aumento abrupto [17]. O Limiar de Lactato 2 foi identificado pelo segundo ponto de quebra de linearidade e acúmulo exponencial de lactato [18,19].

Variabilidade da frequência cardíaca

Um sensor cardíaco Polar H7 conectado via Bluetooth com um smartphone foi usado para coletar a variabilidade da frequência cardíaca (VFC), batimento a batimento (intervalos R-R). Cada estágio descrito no teste do degrau foi registrado no aplicativo Elite HRV (Elite HRV, Asheville-NC) [20] e editado no software Kubios HRV Standard 3.0 [21]. Os dados em repouso e imediatamente após o término do teste de exercício foram utilizados para análise.

Os intervalos R-R foram agrupados em sequências de três minutos para análise da VFC. A filtragem dos dados foi realizada no software Kubios quando houve demonstrações de interferência nos dados, os primeiros 90 segundos de atividade física de cada etapa foram excluídos da análise devido ao tempo de ajuste da FC e VFC.

Este estudo escolheu a Raiz do Quadrado Médio das Diferenças Sucessivas (RMSSD) e os índices do gráfico de Poincaré (SD1 e SD2) como índices da VFC (parâmetros da VFC no domínio do tempo e não lineares). Para analisar o segundo limiar de VFC (LVFC2), foram utilizadas as variáveis RMSSD e SD1, definidas como RMSSD – análise da variabilidade da frequência cardíaca no domínio do tempo, calculada pela raiz quadrada média das diferenças sucessivas entre intervalos R-R adjacentes e SD1 – análise da variabilidade da frequência cardíaca por método geométrico (gráfico de Poincaré). Representa a análise de curto prazo da variabilidade do intervalo R-R. A LVFC2 foi determinada pelo ponto de quebra de linearidade após o menor valor com posterior aumento do RMSSD e SD1 confirmado pela quebra de linearidade das variáveis SD1/SD2 somente quando necessário (determinado por inspeção visual) [22,23]. Eles foram identificados no software Excel (Microsoft Excel® 2022).

Procedimentos estatísticos

Todos os dados foram tabulados e duplamente verificados por pesquisadores independentes. A normalidade foi testada pelo teste de Shapiro-Wilk e submetida à avaliação do histograma, curtose e assimetria. Os resultados foram apresentados como média \pm desvio padrão (DP). Para comparar os métodos de identificação do LG com LL2 e do LG com LVFC2, foi utilizado o teste “t” de Student pareado. Reprodutibilidade, confiabilidade e precisão foram compreendidas pelos testes de coeficiente de correlação intraclassa (CCI), erro típico (ET) e coeficiente de variação (CV). Para CCI, valores $< 0,5$ são indicativos de baixa confiabilidade, $0,5 - 0,75$ moderada, $0,75 - 0,90$

boa e $> 0,90$ excelente confiabilidade [24]. Para apresentar boa reprodutibilidade e confiabilidade, os valores de ET e CV devem estar abaixo do ponto de corte, 10% e 20% [25], respectivamente. A técnica de Bland Altman foi utilizada para analisar a concordância entre os métodos. As análises inferenciais foram realizadas no software SPSS 20.0 e as figuras foram criadas no GraphPad Prism 6. Foi adotado $P < 0,05$.

Resultados

A Tabela I demonstra as características dos participantes, que apresentam IMC e percentual de gordura normais segundo a OMS [15]. As variáveis de desempenho confirmam que o esforço máximo foi alcançado no Teste Cardiopulmonar de Exercício.

Tabela I - Características antropométricas e fisiológicas máximas dos participantes do teste cardiopulmonar de exercício (n = 31)

| | Média \pm DP |
|--|------------------|
| Idade (anos) | 22.0 \pm 2.0 |
| Massa corporal (kg) | 73.6 \pm 8.8 |
| Altura (cm) | 176 \pm 7 |
| Percentual de gordura (%) | 9.0 \pm 3.7 |
| IMC ($m \cdot kg^{-2}$) | 23.8 \pm 2.6 |
| Velocidade máxima ($km \cdot h^{-1}$) | 13.4 \pm 1.2 |
| FC _{máx} medida (bpm) | 194 \pm 8 |
| FC _{máx} predita (%) | 97.9 \pm 3.9 |
| VO _{2máx} ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) | 47.7 \pm 4.6 |
| VO _{2máx} ($L \cdot min^{-1}$) | 3.5 \pm 0.4 |
| RERpico | 1.02 \pm 0.09 |
| [La] pico depois do test ($mmol \cdot L^{-1}$) | 10.54 \pm 2.06 |

Valores de média \pm DP; DP = Desvio padrão; La = Concentração de lactato; FC_{máx} = Frequência cardíaca máxima; IMC = Índice de Massa Corporal; RR = intervalo R-R em repouso; RER = razão de troca respiratória; VO_{2máx} = consumo máximo de oxigênio

Não foram encontradas diferenças (Tabela II) entre os métodos LG vs. LL2 e LG vs. LVFC2 para as variáveis: velocidade, VO₂, %VO₂, FC, %FC, lactato e RER ($P > 0,05$).

Na Tabela III, foi testada a acurácia do LG, tendo como referência o LL2. O LG apresenta confiabilidade moderada (CCI) para VO₂ (0,55) e boa confiabilidade para FC (0,80). Além disso, houve boa reprodutibilidade para VO₂: TE = 3,8 (9,4%) e CV = 13,3%; e, para FC: TE = 8,2 (4,7%) e CV = 6,6.

LG e LVFC2 também foram comparados e apresentaram valores de ET = 10,4 (5,9%), CV = 8,4% e CCI = 0,60, apenas para a variável FC, que apresentou confiabilidade moderada, boa reprodutibilidade e precisão (Tabela III). Velocidade (CV = 18,0) e VO₂ (CV = 16,3) apresentaram valores dentro do ponto de corte, porém, maior variância dos dados, e consequentemente interpretados com concordância moderada (Tabela III).

Tabela II - Comparação entre a identificação dos métodos

| Variáveis | LG | LL2 | LVFC2 |
|---|---------------|--------------|--------------|
| | Média ± DP | Média ± DP | Média ± DP |
| Velocidade (km·h ⁻¹) | 11.15 ± 1.75 | 10.72 ± 1.02 | 10.82 ± 1.15 |
| Lactato (mmol·L ⁻¹) | 4.89 ± 2.43 | 4.09 ± 1.49 | 4.15 ± 1.28 |
| VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 40.59 ± 5.64 | 39.48 ± 3.70 | 39.79 ± 3.94 |
| VO _{2max} (%) | 85.27 ± 10.76 | 82.93 ± 5.78 | 83.56 ± 6.29 |
| RER | 0.94 ± 0.07 | 0.92 ± 0.07 | 0.92 ± 0.07 |
| FC (bpm) | 177 ± 16 | 175 ± 13 | 175 ± 11 |
| FC _{max} (%) | 89.82 ± 6.46 | 88.81 ± 3.77 | 89.47 ± 3.37 |

Os valores médios ± DP. Os dados foram comparados pelo teste t pareado. bpm = Batimentos por minuto; DP = Desvio padrão; TG = Limiar glicêmico; FC = Frequência cardíaca; LVFC2 = Segundo limiar de variabilidade da frequência cardíaca; LT = Limiar de lactato; VO₂ = Consumo de oxigênio; RER = Relação de troca respiratória. Não houve diferença significativa (P > 0,05).

Tabela III - Valores de Erro Típico (ET), Coeficiente de Variação (CV) e Coeficiente de Correlação Intra-classe (CCI) entre os métodos LG vs. LL2 e LG vs. LVFC2

| Variáveis | LG vs. LL2 | | |
|---|--------------|--------|--------|
| | ET (%) | CV (%) | CCI |
| Velocidade (km·h ⁻¹) | 1.2 (10.9) | 15.5 | 0.46 |
| VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 3.8 (9.4) | 13.3 | 0.55* |
| FC (bpm) | 8.2 (4.7) | 6.6 | 0.80** |
| Variáveis | LG vs. LVFC2 | | |
| | ET (%) | CV (%) | CCI |
| Velocidade (km·h ⁻¹) | 1.4 (12.7) | 18.0 | 0.20 |
| VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 4.6 (11.5) | 16.3 | 0.17 |
| FC (bpm) | 10.4 (5.9) | 8.4 | 0.60** |

bpm = Batimentos por minuto; GT = Limiar de Glicose; FC = Frequência cardíaca; LVFC2 = Limiar de variabilidade da frequência cardíaca, LT = Limiar de lactato; VO₂ = Consumo de oxigênio. *P < 0,05; e **P < 0,01 para ICC

A figura 2 mostra a concordância dos valores entre LL2 e LG (A, C e E) e LG e LVFC2 (B, D e F). Houve uma boa concordância entre as variáveis VO₂, FC, e velocidade na comparação entre LL2 e LG, e; LG e LVFC2 que apresentou média das diferenças próxima a zero.

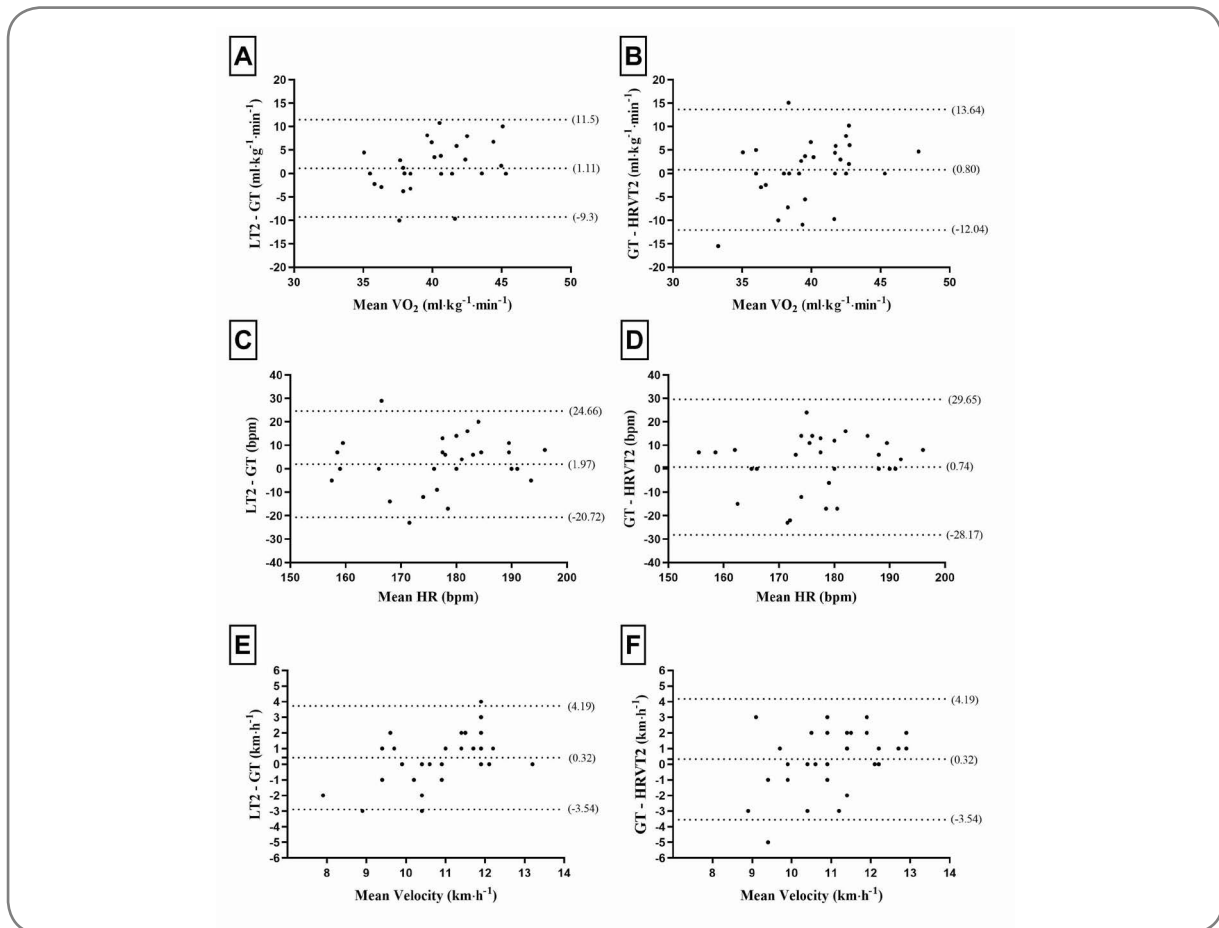


Gráfico de Bland-Altman: eixo Y – linha tracejada superior (indica limite superior +2DP), linha tracejada no centro (indica a diferença entre as médias) e linha tracejada inferior (indica limite inferior - 2DP). Consumo relativo e absoluto de oxigênio (VO_2), Frequência cardíaca (FC), Limiar glicêmico (LG), Limiar de lactato (LL2), Limite de variabilidade da frequência cardíaca (LVFC2)

Figura 2 – Limites de concordância da técnica de Bland Altman entre os métodos de LG vs. LL2 e LG vs. LVFC2

Discussão

O presente estudo confirma a hipótese de que existe boa concordância entre LG e LL2, especificamente para os parâmetros FC e VO_2 . Esse achado se destaca por permitir o uso do LG de forma intercambiável com o LT2 para identificar o limiar anaeróbio.

O limiar de lactato é um dos métodos mais utilizados para identificar o LA. No entanto, há demanda por equipamentos caros (analisador de lactato laboratorial) para identificá-lo. Também é possível utilizar equipamentos portáteis; no entanto, o custo é maior quando comparado a um glicosímetro portátil. Por outro lado, o método LG é considerado um teste mais fácil, de menor custo e acessível [26]. No entanto, no presente estudo, a análise da glicemia foi realizada com equipamentos caros. Apesar disso, outras investigações empregaram medidas com equipamentos portáteis mostrando resultados confiáveis [27,11].

A velocidade de corrida correspondente ao LG parece ser um bom preditor de LL2 e máxima fase estável do lactato (MFEL) para homens inativos que realizaram teste em esteira [26] e testes realizados em pista com sujeitos fisicamente ativos [28].

Além disso, nossos achados mostraram semelhança estatística entre as variáveis: glicemia, VO_2 e FC. Enfatizando principalmente o VO_2 e a FC que são parâmetros essenciais para a prescrição de exercícios [2].

Portanto, o presente estudo apresenta a constatação de que o fenômeno também é observável durante um TCPE, que consiste em uma avaliação de estresse, é mais aplicado em ambientes clínicos e pode ser usado em populações com condições comórbidas [11]. Nesse sentido, esses achados tornam o método LG mais acessível e pode ser incluído como medida complementar em testes clínicos quando há interesse em acessar informações mais individualizadas para a prescrição de exercícios. Por exemplo, um estudo analisou a resposta na capacidade cardiorrespiratória em homens e mulheres sedentários, comparando um programa de treinamento individualizado com zonas de treinamento pré-estabelecidas com base em percentuais da $FC_{máx}$. O mesmo concluiu que o treinamento individualizado teve efeito mais significativo na resposta da capacidade cardiorrespiratória [29]. Portanto, a utilização de limiares para determinação de zonas de treinamento pode ser uma excelente opção para obtenção de resultados mais eficientes.

Neste estudo, LG e LL2 foram identificados com intensidade de 89,8% e 88,8% da $FC_{máx}$, respectivamente, demarcando intensidades muito próximas quando um ou outro método foi utilizado. Isso torna possível usar o LG para identificar o LA para uso profissional na prática.

Além disso, se você coletar valores de FC durante o teste de LG, será possível usá-lo para controlar as intensidades dos exercícios. Por exemplo, estudos que realizaram a prescrição individualizada pelo limiar com adultos não atletas observaram melhoras significativas na eficiência ventilatória, tolerância ao exercício máximo e submáximo [1] e aptidão cardiorrespiratória [29].

Outro objetivo deste estudo foi testar se o LG concorda com o LVFC2 para esclarecer se sua relação é observada na prática de identificação do LA. Alguns eventos fisiológicos podem explicar a proximidade da ocorrência de LG e LL2, pois existe uma relação entre o aumento da glicose plasmática e o acúmulo de lactato. Em intensidades de exercício correspondentes ao LA, a concentração plasmática de catecolaminas é elevada. Esses biomarcadores atuam concomitantemente como neurotransmissores e hormônios com ação hiperglicêmica, ou seja, quebram o glicogênio hepático (glicogenólise) e estimulam a gliconeogênese a partir do lactato, alanina e glicerol, aumentando a glicemia [10,30]. Além disso, altos níveis de catecolaminas inibem a liberação de insulina, o que também contribui para o efeito hiperglicêmico [10].

Nesse contexto, os aumentos do lactato sanguíneo induzem um estímulo para o feedback dos metaborreceptores periféricos para estimular a ação do centro de controle cardiovascular, aumentando ainda mais a estimulação do sistema nervoso simpático, o que afeta aumentos adicionais da atividade cardíaca. Assim, é possível observar que a concordância observada no presente estudo entre a LVFC2, que é um indicador do equilíbrio autonômico cardíaco, e o LG, tem explicações fisiológicas e reforça o uso do LG para a prescrição da intensidade do exercício.

Conclusão

Em conclusão, nossos resultados sugerem que LG é um método válido para identificar o segundo limiar anaeróbio, tendo como referência o LL2. A concordância entre LG e LVFC2 reforça a confiabilidade do método, pois seus mecanismos estão relacionados. Portanto, LG empregando o FC para prescrição oferece uma opção para substituir o método tradicional LL2 em adultos jovens fisicamente ativos.

Vinculação acadêmica

Este artigo é fruto do Programa Institucional de Iniciação Científica da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), do aluno de graduação Igor Ziviani Araújo, orientado pela professora Luciana Carletti, UFES

Conflito de interesses

Todos os autores são responsáveis pelo conteúdo do manuscrito e aprovaram sua versão final. Nenhuma parte comercial que apoie este artigo e tenha interesse financeiro direto nos resultados da pesquisa confere ou conferirá benefícios financeiros aos autores ou a qualquer organização à qual os autores estejam associados. Os autores declaram que não há conflitos de interesses financeiros concorrentes conhecidos ou relacionamentos pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

Fontes de financiamento

O presente trabalho foi realizado com apoio de bolsa de iniciação científica da Universidade Federal do Espírito Santo

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Carletti L, Araujo IZ, Neves LNS, Gasparini Neto VH, Leite RD; **Coleta de dados:** Araujo IZ, Neves LNS, Gasparini Neto VH; **Análise e interpretação dos dados:** Carletti L, Araujo IZ, Neves LNS, Gasparini Neto VH, Leite RD; **Análise estatística:** Carletti L, Araujo IZ, Neves LNS; **Redação do manuscrito:** Carletti L, Araujo IZ, Neves LNS, Gasparini Neto VH, Leite RD; **Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante:** Carletti L, Araujo IZ, Neves LNS, Gasparini Neto VH, Leite RD.

Referências

1. Peric R, Drobnic FM, Baker JS. Feasibility of individualized aerobic threshold-based exercise on ventilatory efficiency in sedentary adult asthma patients. *Minerva Pneumol.* 2018;57(4):92-8. doi: 10.23736/S0026-4954.18.01829-1
2. Weatherwax RM, Harris NK, Kilding AE, Dalleck LC. The incidence of training responsiveness to cardiorespiratory fitness and cardiometabolic measurements following individualized and standardized exercise prescription: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* [Internet]. 2016 [citado 2022 Jan 8];17(1):601. Disponível em: <http://trialsjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13063-016-1735-0>
3. Azevedo PHSM, Garcia A, Duarte JMP, Rissato GM, Carrara VKP, Marson RA. Limiar Anaeróbio e Bioenergética: uma abordagem didática. *Revista da Educação Física/UEM* 2009 [citado 2022 Jan 8];20(3):453-64. doi: 10.4025/reveducfis.v20i3.4743
4. Poole DC, Rossiter HB, Brooks GA, Gladden LB. The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. *J Physiol.* 2021;599(3):737-67. doi: 10.1113/JP279963
5. Peinado AB, Rojo JJ, Calderón FJ, Maffulli N. Responses to increasing exercise upon reaching the anaerobic threshold, and their control by the central nervous system. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2014;6(1):1-7. doi: 10.1186/2052-1847-6-17
6. Gaskill SE, Ruby BC, Walker AVAJ, Sanchez OA, Serfass RC, Leon AS. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med Sci Sport Exerc.* 2001;33(11):1841-8. doi: 10.1097/00005768-200111000-00007
7. Okano AH, Altimari LR, Simões HG, Moraes AC de, Nakamura FY, Cyrino ES, et al. Comparação entre limiar anaeróbio determinado por variáveis ventilatórias e pela resposta do lactato sanguíneo em ciclistas. *Rev Bras Med do Esporte.* 2006;12(1):39-44. doi: 10.1590/S1517-86922006000100008
8. Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the de-

- termination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1979;42(1):25-34. doi: 10.1007/BF00421101
9. Chmura J, Nazar K, Kaciuba-Uscilko H. Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. *Int J Sports Med*. 1994;15(4):172-6. doi: 10.1055/s-2007-1021042
10. Powers SK, Howley ET. *Fisiologia do Exercício: Teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho*. 9th ed. São Paulo: Manole; 2017. 672 p.
11. Delevatti RS, Kanitz AC, Alberton CL, Marson EC, Pantoja PD, Pinho CDF, et al. Glycemic threshold as an alternative method to identify the anaerobic threshold in patients with type 2 diabetes. *Front Physiol*. 2018;9:1-8. doi: 10.3389/fphys.2018.01609
12. Simões HG, Silvia C, Campbell G, Kokubun E. Determinação do limiar anaeróbio por meio de dosagens glicêmicas e lactacidêmicas em testes de pista para corredores. *Rev Paul Educ Fís*. 1998;12(1):17-30. doi: 10.11606/issn.2594-5904.rpef.1998.139529
13. Karapetian GK, Engels HJ, Gretebeck RJ. Use of heart rate variability to estimate LT and VT. *Int J Sports Med*. 2008;29:652-7. doi: 10.1055/s-2007-989423
14. Perrout JR, Dal'Molin MAP. Heart rate variability threshold. *Med Sci Sport Exerc*. [Internet]. 1998 [citado 2022 Jan 12];30(Suppl):250. Disponível em: <http://journals.lww.com/00005768-199805001-01423>
15. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr*. 1978;40(3):497-504. doi: 10.1079/BJN19780152
16. Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27 p. 1292-301. doi: 10.1249/00005768-199509000-00009
17. Simões HG, Grubert Campbell CS, Kokubun E, Denadai BS, Baldissera V. Blood glucose responses in humans mirror lactate responses for individual anaerobic threshold and for lactate minimum in track tests. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1999;80(1):34-40. doi: 10.1007/s004210050555
18. 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 Sep;42(1):25-34. doi: 10.1007/BF00421101
19. Pires FO, Silva AEL, Gagliardi JFL, Barros RV, Kiss MAPDM. Caracterização da curva do lactato sanguíneo e aplicabilidade do modelo Dmax durante protocolo progressivo em esteira rolante. *Rev Bras Med do Esporte* [Internet]. 2006 [citado Fev 2022];12(2):71-5. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-86922006000200003&lng=pt&tlng=pt
20. Perrotta AS, Jeklin AT, Hives BA, Meanwell LE, Warburton DER. Validity of the elite hrv smartphone application for examining heart rate variability in a field-based setting. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2017 Aug;31(8):2296-302. doi: 10.1519/JSC.0000000000001841
21. Tarvainen MP, Niskanen J-P, Lipponen JA, Ranta-aho PO, Karjalainen PA. Kubios HRV – Heart rate variability analysis software. *Comput Methods Programs Biomed* [Internet]. 2014 [citado 2022 Fev 12];113(1):210-20. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169260713002599>
22. Mankowski RT, Michael S, Rozenberg R, Stokla S, Stam HJ, Praet SFE. Heart-rate variability threshold as an alternative for spiro-ergometry testing. *J Strength Cond Res*. 2017;31(2):474-9. doi: 10.1519/JSC.0000000000001502
23. Nascimento EMF, Kiss MAPDM, Santos TM, Lambert M, Pires FO. Determination of lactate thresholds in maximal running test by heart rate variability data set. *Asian J Sports Med* [Internet]. 2017 Aug 9. doi: 10.5812/asjms.58480
24. Koo TK, Li MY. A Guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med* [Internet]. 2016;15(2):155-63. doi: 10.5812/asjms.58480
25. Hopkins WG. Correlation coefficient: a new view of statistics [Internet]. 2000 [citado 2020 Fev 17]. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/index.html>
26. Motoyama YL, Pereira PEA, Esteves GDJ, Duarte JMP, Carrara VKP, Rissato GM, et al. Métodos alternativos para estimar a velocidade da máxima fase estável de lactato em adultos jovens fisicamente ativos. *Rev Bras Cineantropom Desemp Hum*. 2014;16(4):419. doi: 10.1590/1980-0037.2014v16n4p419
27. Rocha C, Canellas A, Monteiro D, Antoniazzi M, Azevedo P. Changes in individual glucose threshold during military training. *Int J Sports Med*. 2010;31(7):482-5. doi: 10.1055/s-0030-1248284
28. Sotero RC, Pardono E, Landwehr R, Campbell CSG, Simoes HG. Blood glucose minimum predicts maximal lactate steady state on running. *Int J Sports Med*. 2009 Sep 30;30(09):643-6. doi: 10.1055/s-0029-1220729
29. Weatherwax RM, Harris NK, Kilding AE, Dalleck LC. Incidence of VO₂max responders to personalized versus standardized exercise prescription. *Med Sci Sport Exerc*. [Internet]. 2019 [citado 2022 Fev 15];51(4):681-91. Available from: <http://journals.lww.com/00005768-201904000-00010>
30. Nilton T, Souza T, Alexandra S, Yamaguti L, Simões HG. Identificação do lactato mínimo e glicose mínima em indivíduos fisicamente ativos. *Rev Bras Ciência e Mov*. [Internet]. 2003 [citado 2022 Mar 3];71-5. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-524712>

