

Precisão da Medida do Limiar Anaeróbico por meio do Calorímetro Portátil

Measurement Precision of the Anaerobic Threshold by means of a Portable Calorimeter

Fernando dos Santos Nogueira e Fernando Augusto Monteiro Sabóia Pompeu

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Resumo

Fundamento: Muitos métodos são empregados para determinar o Limiar Anaeróbico (LAn) por meio de ergoespirômetros sofisticados.

Objetivo: Testar a variação no LAn, detectado por modelos matemáticos e de inspeção visual, quando empregado ergoespirômetro de baixo custo e destinado à aplicação clínica.

Métodos: Foram voluntários para esse estudo 79 indivíduos aparentemente saudáveis; desses, 57 homens. O VO_{2max} e o limiar ventilatório foram determinados por calorimetria indireta de circuito aberto. O método eletroenzimático foi empregado para análise da lactacidemia e determinação direta do limiar de lactato (LL). O LAn foi determinado por dois métodos matemáticos (MM_{SQR} e MM_{slope}), baseados nas trocas gasosas, e pelo método de inspeção visual do log-log, para determinação do LL. Dois pesquisadores independentes determinaram o LAn através da inspeção visual de três gráficos, considerando dois métodos ($LAn_a = V-slope, EqV$; e $LAn_b = V-slope, EqV$ e $ExCO_2$). Os dados foram analisados por meio da estatística paramétrica para determinação das diferenças entre LAn_a versus $ExCO_2$, MM_{SQR} e MM_{slope} ; LAn_b versus MM_{SQR} e MM_{slope} ; e LL versus LAn_a , LAn_b , MM_{SQR} e MM_{slope} .

Resultados: O MM_{slope} foi o único método que apresentou diferença significativa entre o LAn_a e LAn_b ($p=0,001$), com $CV\% >15$. O LL versus MM_{slope} não apresentou diferença significativa ($p=0,274$), contudo, observou-se um elevado CV (24%).

Conclusão: Conclui-se que com o equipamento de baixo custo os métodos MM_{SQR} e LAn_a podem ser utilizados para a determinação do LAn. O método MM_{slope} não apresentou precisão satisfatória para ser empregado com esses equipamentos. (Arq Bras Cardiol 2010; 95(3) : 354-363)

Palavras-chave: Teste de esforço, modelo matemático, limiar ventilatório, ergoespirometria.

Abstract

Background: Many methods are used for determining the Anaerobic Threshold (AT) by means of sophisticated ergospirometer.

Objective: To test the AT variation, detected by mathematical models and visual inspection, when low cost ergospirometer is used and intended for clinical application.

Methods: Seventy nine apparently healthy subjects were volunteers in this study; from these, 57 men. The VO_{2max} and the ventilatory threshold were determined by indirect, open-circuit calorimetry. The electro-enzymatic method was used for analyzing the lactacidemia and direct determination of the Lactate Threshold (LT). The AT was determined by two mathematical methods (MM_{RSS} and MM_{slope}), based on the gases exchange, and by the log-log visual method, for determining the LT. Two independent investigators determined the AT through visual inspection of three graphs, considering two methods ($AT_a = V-slope, EqV$; and $AT_b = V-slope, EqV$ and $ExCO_2$). The data were analyzed by means of parametric statistics for determining the differences between AT_a versus $ExCO_2$, MM_{RSS} and MM_{slope} ; AT_b versus MM_{RSS} and MM_{slope} ; and LT versus AT_a , AT_b , MM_{RSS} and MM_{slope} .

Results: The MM_{slope} was the only method that presented a significant difference between the AT_a and AT_b ($p=0.001$), with $CV\% >15$. LT versus MM_{slope} did not present significant difference ($p=0.274$), however, it was observed a high CV (24%).

Conclusion: It was concluded that with the low cost equipment, the MM_{RSS} and AT_a methods can be used for determining the TAn. The MM_{slope} method did not present satisfactory precision to be employed with this equipment. (Arq Bras Cardiol 2010; 95(3) : 354-363)

Key words: Exercise test, mathematical model, ventilatory threshold, ergospirometry.

Full texts in English - <http://www.arquivosonline.com.br>

Correspondência: Fernando dos Santos Nogueira •

Rua Conselheiro Paranaguá, 48/101 - Vila Isabel - 20551-150 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

E-mail: nogueira_ufrj@hotmail.com, mportomedicina@yahoo.com.br

Artigo recebido em 15/07/09; revisado recebido em 12/12/09; aceito em 02/03/10.

Introdução

O limiar anaeróbio (LAN) foi inicialmente proposto como índice da tolerância ao exercício por cardiopatas¹. Atualmente, a determinação do LAN é de primordial importância nas ciências do exercício porque é um indicador do condicionamento em diversos grupos de indivíduos²⁻⁷. Para determinação indireta e incruenta do LAN empregam-se medidas de trocas gasosas e ventilatória durante um teste ergométrico com incrementos na sobrecarga⁸.

Acredita-se que o melhor ajuste para detecção do LAN é a inflexão na relação entre o VO_2 versus VCO_2 , com $b > 1,15$, que é obtida por meio da interseção entre dois segmentos de reta^{9,10}. Essa detecção é realizada por meio da inspeção visual de diagramas de dispersão, porém algoritmos matemáticos e cálculos estatísticos vêm auxiliando na automatização e/ou semiautomatização desse procedimento⁹⁻¹².

Os ergoespirômetros com sistemas computadorizados são amplamente utilizados na mensuração das trocas gasosas e na inferência do LAN. Equipamentos sofisticados e de maior custo restringem-se ao uso em laboratórios de pesquisas. Ergoespirômetros mais simples e de menor custo foram criados para investigação clínica e de campo. Diversos estudos validaram as medidas do VO_2 , VCO_2 e V_E por meio de tais equipamentos clínicos¹³⁻¹⁹, porém poucos estudos determinaram a qualidade das medidas derivadas como o LAN²⁰.

Considerando-se o baixo custo dos equipamentos clínicos e a relevância fisiológica do LAN para os diversos profissionais de saúde, o objetivo do presente estudo retrospectivo foi analisar a precisão do LAN detectado por meio de medidas obtidas pelo sistema de calorimetria indireta TEEM 100® *Total Metabolic Analysis System* (Aerosport, Inc., Ann Arbor, Mich., EUA)¹⁷⁻²⁰, determinando-se a objetividade e a acurácia dos modelos matemáticos de Beaver e cols.⁹ adaptado por Gaskil e cols.²¹ e de Vieth¹⁰ e, dos métodos de inspeção visual V -slope²², V_E/VO_2 ²³, $ExCO_2$ ²¹ e Limiar de Lactato²⁴.

Métodos

Sujeitos

A presente investigação foi dividida em dois ensaios compostos por dois grupos de voluntários de ambos os sexos, de 18 a 37 anos, aparentemente saudáveis, não tabagistas e não atletas, com ou sem experiência no cicloergômetro,

engajados ou não em programas de treinamento aeróbio (tab. 1). No primeiro grupo analisou-se a discrepância entre os métodos matemáticos e os de inspeção visual para determinação do LAN. No outro grupo, investigou-se a associação entre os parâmetros ventilatórios e de trocas gasosas com a concentração sanguínea do lactato, para a determinação do LAN.

Foram recomendadas para as 24 horas prévias ao exame a abstinência de atividades físicas extenuantes (> 5 METs) e não ingestão de álcool. Recomendou-se também a manutenção da dieta mista nas 48 horas precedentes ao exame. Solicitou-se a abstinência de alimentos e caféina nas três horas prévias ao esforço. Cada sujeito foi informado quanto aos riscos associados aos procedimentos adotados. Um termo de esclarecimento e consentimento foi lido e assinado. Todos os procedimentos aqui adotados foram aprovados pelo Comitê de Ética Local para Experimentos com Seres Humanos (Rio de Janeiro, CEP/HSE 000.021/99). Este estudo foi realizado conforme a Declaração de Helsinki.

Teste máximo no cicloergômetro

Grupo 1 (G-1) - Empregou-se o protocolo de esforço escalonado, contínuo e máximo¹ no cicloergômetro mecânico (Monark®, São Paulo, SP, Brasil). A altura do selim foi ajustada para cada sujeito, de maneira que o joelho mantivesse um ângulo próximo à extensão total (aprox. 175°). A potência máxima foi estimada previamente para cada indivíduo, a fim de viabilizar incrementos de 10% da carga máxima a cada minuto²⁵. Após seis minutos em repouso, sentado sobre o selim do cicloergômetro, os sujeitos pedalarão sem carga durante quatro minutos e, posteriormente, iniciou-se a fase escalonada. A duração máxima do exercício foi de 10 ± 2 min. Os sujeitos mantiveram a cadência fixa ao longo do exame (aprox. 1,23 Hz). O ritmo foi controlado por um metrônomo audiovisual (Wittner® Junior Plast 826, Isny/ Allgäu, Alemanha).

A ventilação minuto (V_E) e a fração expirada de oxigênio e dióxido de carbono foram continuamente medidas por meio de calorimetria indireta de circuito aberto (TEEM 100® *Total Metabolic Analysis System*, Aerosport, Ann Arbor, Mich., EUA)¹⁷⁻²⁰. Os sujeitos utilizaram um clipe de nariz e um pneumotacômetro de fluxo médio (*Hans Rudolph*®, Kansas City, MO, EUA). O consumo de oxigênio por minuto (VO_2) e a excreção de gás carbônico por minuto (VCO_2) foram apresentados a cada 20 segundos. A frequência cardíaca (FC) foi monitorada continuamente ao longo do teste por meio de

Tabela 1 - Características antropométricas e variáveis ergométricas obtidas no teste máximo em cicloergômetro

Variáveis	Grupo 1 (n = 70)		Grupo 2 (n = 9)	
Idade (anos)	25 ± 5	(18-37)	23 ± 4	(19-29)
Massa (kg)	70,9 ± 12,1	(47,9,0-106,6)	76,5 ± 17,2	(51,3-106,5)
Estatura (cm)	173,0 ± 10,0	(148,0-194,0)	177,0 ± 10,0	(160,0-188,0)
VO_{2max} (l min ⁻¹)	3,37 ± 0,90	(1,57-4,84)	2,73 ± 1,10	(1,36-4,97)
VO_{2max} (ml kg min ⁻¹)	47,3 ± 9,2	(29,4-64,8)	35,6 ± 11,6	(23,8-59,2)
W_{max}	253 ± 59	(135-363)	178 ± 59	(120-325)

Média ± DP (Valor mínimo e máximo). Diferença entre grupos determinada pelo teste t de Student para amostras independentes. * Diferença significativa para $p \leq 0,05$.

telemetria (Vantage NV[®], Polar Electro Oy, Kempele, Finlândia) e o conceito de esforço percebido (CEP), na escala de Borg de 6 a 20, foi coletado ao final de cada estágio.

Grupo 2 (G-2) - O protocolo ergoespirométrico foi o mesmo aplicado no G-1, acrescentado-se as medidas do lactato sanguíneo. Foram coletados 25 µl de sangue, por punção do lóbulo da orelha em hiperemia, segundo procedimentos descritos por Shephard²⁶. As coletas foram realizadas durante o repouso, nos dois minutos prévios a realização do exame e a cada dois minutos de esforço. As amostras foram imediatamente analisadas por meio do método eletro enzimático (YSI 1500 Sport L-Lactate Analyser[®], Yellow Springs, EUA). Para determinação do lactato no sangue total, adicionou-se na solução tampão o agente hemolítico Triton X-100 (YSI #1515 Agent Cell Lysing, EUA) a 0,25%. As coletas de sangue foram realizadas por um avaliador experiente entre 20 e 25 segundos finais de cada dois minutos de esforço.

Controles e calibrações

O analisador metabólico, o analisador de lactato e o cicloergômetro foram calibrados antes de cada teste. O ergoespirometro foi calibrado em circuito fechado, mediante uma mistura certificada de gases contendo 17,01% de oxigênio, 5,00% de gás carbônico e balanceada com nitrogênio (AGA[®], Rio de Janeiro, RJ, Brasil). O fluxo foi calibrado utilizando-se uma seringa de ar de três litros (Hans Rudolph[®], Kansas City, MO, EUA). Ao final de cada teste, foi realizada a medida das frações percentuais de oxigênio e gás carbônico na mistura de gases empregada para calibragem. O erro máximo admitido foi de 16,16% a 17,86% para FO₂ e de 4,75% a 5,25% para FCO₂. O analisador de lactato teve a calibragem confirmada previamente ao teste, mediante uma solução padrão de 5 mmol.l⁻¹ (YSI #2327 Lactate Standard YSI[®], EUA) de lactato. Antes de cada teste, e a cada hora de uso, realizou-se uma nova calibragem. A linearidade do equipamento foi confirmada até 15 mmol.l⁻¹ de lactato. Antes do início do experimento a precisão do equipamento foi checada por meio de uma curva de calibragem com padrões de 1,0; 2,5; 5,0; 7,5; 12,0; 15,0; 18,0; 24,0 e 30,0 mmol.l⁻¹, preparadas mediante a diluição dos padrões fornecidos pelo fabricante (YSI #2327: 5 mmol.l⁻¹; YSI #2328: 15 mmol.l⁻¹, YSI#1530: 30 mmol.l⁻¹ Lactate Standard YSI[®], EUA). A associação entre os valores medidos e esperados na curva de calibragem foi $r=0,999$, $y=0,9436x + 0,33011$ e $EPE=0,20$ mmol.l⁻¹. O cicloergômetro foi calibrado por meio de um lastro de 3 kg.

Os testes foram considerados máximos quando observaram-se pelo menos três dos seguintes critérios²⁷: a) platô no VO₂ (aumento ≤ 150 ml.min⁻¹ ou 2 ml.kg⁻¹.min⁻¹); b) razão de trocas respiratórias (RER) ≥ 1,15; c) 90% da FC_{máx} prevista pela idade (220 - idade); d) conceito de esforço percebido ≥ 19 (6-20); e) concentração de lactato sanguíneo ≥ 8 mmol.l⁻¹; e f) fadiga voluntária máxima com incapacidade de manutenção do ritmo preestabelecido. O VO_{2máx} foi determinado como sendo o mais alto valor encontrado ao final do teste.

Métodos para detecção do LAn por inspeção visual

Três métodos para detecção do limiar anaeróbio por inspeção visual foram utilizados:

Método do equivalente ventilatório (EqV)²³ - Momento em que ocorre um aumento no equivalente ventilatório para consumo de oxigênio (V_E/VO₂) sem o concomitante aumento no equivalente ventilatório para excreção de dióxido de carbono (V_E/VCO₂).

Método do excesso de dióxido de carbono (ExCO₂)²¹ - Com o aumento da intensidade do exercício, observa-se um excesso de produção de dióxido de carbono calculado como ((VCO₂²/VO₂)-VCO₂).

Método V-slope simplificado (V-slope)²² - No gráfico de coordenadas cartesianas, tendo no eixo das abscissas o consumo oxigênio por minuto (VO₂) e no das ordenadas a excreção de gás carbônico por minuto (VCO₂), observou-se o momento em que os pontos ultrapassaram a linha paralela à bissetriz do ângulo reto.

Para cada indivíduo, os três métodos de determinação do LAn foram analisados visualmente por dois investigadores experientes.

Análise do LAn por método matemático

Duas funções de regressão linear foram descritas para o exame a partir da relação entre VO₂ versus VCO₂, assim como segue:

$$y_1 = a_1 + b_1 \cdot x_1 \quad x_1 \leq x_0 \quad (\text{eq.01})$$

$$y_2 = a_2 + b_2 \cdot x_1 \quad x_1 > x_0 \quad (\text{eq.02})$$

onde (x₀, y₀) representam as coordenadas do ponto crítico (LAn).

Na primeira interação, as observações x₁, x₂ e x₃ foram incluídas estimando os parâmetros da primeira linha de regressão. As n-3 observações remanescentes x₄,...,x_n foram usadas para ajustar a segunda linha de regressão. Na interação seguinte, a primeira linha de regressão foi ajustada com as observações x₁,...,x₄ e os parâmetros da segunda linha de regressão foram baseados nas n-4 observações. A cada interação, uma observação adicional da segunda parte dos dados foi transferida para a primeira parte e a segunda linha de regressão foi ajustada com as observações remanescentes.

Método matemático de Vieth¹⁰ (MM_{SQR}) - A estimativa dos parâmetros foi baseada no método dos mínimos quadrados. Para a inferência do ponto de inflexão, a soma dos quadrados dos resíduos (SQR) foi calculada para cada linha de regressão.

$$SQR = \sum_{x_i \leq x_0} [y_i - (a_1 + b_1 \cdot x_i)]^2 + \sum_{x_i > x_0} [y_i - (a_2 + b_2 \cdot x_i)]^2 \quad (\text{eq.03})$$

A SQR é usada como um critério para determinar o melhor ajuste. Os ajustes ótimos de a₁, b₁, a₂, b₂ e x₀ são os valores pertencentes a mínima SQR para as duas retas.

Método matemático modificado²¹ do V-slope de Beaver e cols.⁹ (MM_{slope}) - A interseção entre duas linhas de regressão foi empregada para determinação do LAn. A solução foi aceita ao observar-se um aumento na inclinação do segmento inferior para o superior igual a um. Esse método, que originalmente empregava a análise dos gases coletados a cada incursão

respiratória, foi modificado para a utilização da média das incursões a cada 20 segundos²¹.

Determinação do Limiar de Lactato

Os resultados obtidos pela análise de lactato sanguíneo foram determinados individualmente através do método log-log, descrito por Beaver e cols.²⁴. A transformação dos dados para a base logarítmica foi realizada para localização do ponto de inflexão, ou do limiar de lactato, que foi entendido como o ponto de cruzamento entre as duas retas formadas.

Análise estatística

O tratamento estatístico foi realizado por meio dos aplicativos *Statistical Package for the Social Sciences*® (SPSS, EUA), *SigmaPlot*® (*Systat Software Inc.*, Alemanha) e *Microsoft Excel*® para *Windows XP*® (*Microsoft*, EUA). Empregou-se a estatística descritiva com a média \pm desvio padrão (DP). Utilizou-se a grande média dos resultados obtidos a partir dos métodos EqV e V-slope, pelos dois avaliadores, denominando-se LAN_a. A grande média dos resultados obtidos a partir dos métodos EqV, V-slope e ExCO₂ pelos dois avaliadores foi denominado LAN_b. Os valores medidos a partir do LAN_a versus ExCO₂, MM_{SQR}, MM_{slope} e LAN_b versus MM_{SQR} e MM_{slope} para G-1 e; LL versus LAN_a, LAN_b, MM_{SQR} e MM_{slope} para G-2, foram confrontados mediante análise de variância (ANOVA) com um fator e teste *post-hoc* de Tukey-HSD. Os limites de concordância de Bland-Altman²⁸ foram empregados. O grau de associação entre os métodos foi determinado por meio do coeficiente de correlação intraclassa (CCI). O erro também foi observado por meio do erro técnico da medida ($s = D.P._{dif} \div \sqrt{2}$) e do coeficiente de variação (CV). Empregou-se também o tratamento estatístico acima para avaliar os resultados obtidos através dos dois avaliadores. Compararam-se os índices obtidos de LAN_a e LAN_b versus Avaliador 1 e Avaliador 2 por meio de ANOVA com dois fatores e teste *post-hoc* de

Tukey-HSD. Todos os testes estatísticos foram realizados no nível de significância $\leq 0,05$.

Resultados

As características dos sujeitos encontram-se na tabela 1. A tabela 2 apresenta a média e DP para o LAN_a, LAN_b, ExCO₂, MM_{SQR}, MM_{slope} e LL, incluindo estatística comparativa entre LAN_a versus ExCO₂, MM_{SQR}, MM_{slope} e LAN_b versus MM_{SQR}, MM_{slope} para G-1 e LL versus LAN_a, LAN_b, MM_{SQR} e MM_{slope} para G-2. Nota-se que apenas o MM_{slope} apresentou diferença significativa, quando confrontado com LAN_a e LAN_b ($p = 0,001$) e CV foi acima de 18% nas duas formas de detecção do LAN. Não foi observada diferença significativa entre o LAN_a versus ExCO₂ e MM_{SQR} e LAN_b versus MM_{SQR}. No G-2 os métodos de inspeção visual apresentaram boa correlação, assim como o MM_{SQR} quando comparados com o LL.

Os diagramas de dispersão do lado esquerdo das figuras 1 e 2 apresentam a relação entre LAN_a versus ExCO₂, MM_{SQR}, MM_{slope} e LAN_b versus MM_{SQR}, MM_{slope}, respectivamente. Na figura 3 encontra-se a relação entre LL versus LAN_a, LAN_b, MM_{SQR} e MM_{slope}. Nota-se a aproximação entre a linha de identidade e as linhas de tendência para LAN_a versus ExCO₂ e MM_{SQR} e LAN_b versus MM_{SQR} e LL versus LAN_a, LAN_b e MM_{SQR}. Os dados do lado direito dessas figuras referem-se aos limites de concordância de Bland-Altman²⁷. A tabela 2 resume os valores encontrados para cada análise.

Não houve diferença significativa para determinação do LAN por meio da inspeção visual entre avaliadores ($p=0,757$) e métodos ($p=0,700$), assim como não houve interação entre avaliadores versus métodos ($p=0,876$). Os avaliadores apresentaram para LAN_a: limites de concordância = $0,02 \pm 0,29$ l.min⁻¹, CCI = 0,92, $s = 0,11$ l.min⁻¹ e CV = 7%; e para LAN_b: limites de concordância = $0,01 \pm 0,24$ l.min⁻¹, CCI = 0,95, $s = 0,09$ l.min⁻¹ e CV = 6%.

A tabela 3 apresenta os índices de confiabilidade obtidos a partir de estudos prévios de equipamentos clínicos ou para o

Tabela 2 - Médias de VO₂ (l.min⁻¹) no LAN obtidas por meio dos métodos de inspeção visual e matemático (Grupo 1, n = 70) e por meio dos métodos de inspeção visual, matemático e Limiar de Lactato (Grupo 2, n = 9) incluindo estatística comparativa

	Grupo 1					Grupo 2			
	LAN _a (1,49 \pm 0,37 l.min ⁻¹) versus			LAN _b (1,51 \pm 0,38 l.min ⁻¹) versus		LL (1,21 \pm 0,46 l.min ⁻¹) versus			
	ExCO ₂	MM _{SQR}	MM _{slope}	MM _{SQR}	MM _{slope}	LAN _a	LAN _b	MM _{SQR}	MM _{slope}
VO ₂ (l.min ⁻¹)	1,55 \pm 0,43	1,42 \pm 0,43	1,93 \pm 0,67*	1,42 \pm 0,43	1,93 \pm 0,67*	1,30 \pm 0,43	1,32 \pm 0,47	1,25 \pm 0,57	1,77 \pm 0,89
Limites de Concordância (\pm 1,96 DP)	-0,06 \pm 0,43	0,07 \pm 0,42	-0,45 \pm 0,95	0,09 \pm 0,38	-0,43 \pm 0,88	-0,09 \pm 0,37	-0,10 \pm 0,32	-0,04 \pm 0,44	-0,56 \pm 0,98
CCI	0,85	0,85	0,61	0,88	0,66	0,91	0,94	0,91	0,75
S	0,15	0,15	0,34	0,14	0,32	0,13	0,12	0,16	0,35
CV%	10	11	20	09	18	11	09	13	24
P	0,877	0,851	0,001	0,574	0,001	0,997	0,996	0,999	0,274

CCI - coeficiente de correlação intraclassa; s - erro típico; CV% - coeficiente de variação %; p - significância estatística; DP - desvio padrão; LAN_a - grande média EqV e V-slope; LAN_b - grande média EqV, V-slope e ExCO₂; ExCO₂ - método do excesso de CO₂; MM_{SQR} - método matemático da soma dos quadrados dos resíduos; MM_{slope} - método matemático para o V-slope.; LL - Limiar de Lactato. Grupo 1 = LAN_a versus ExCO₂, MM_{SQR} e MM_{slope} e LAN_b versus MM_{SQR} e MM_{slope}. Grupo 2 = LL versus LAN_a, LAN_b, MM_{SQR} e MM_{slope}. * Diferença significativa para $p < 0,05$ determinada pela ANOVA com um fator e teste *post-hoc* de Tukey HSD.

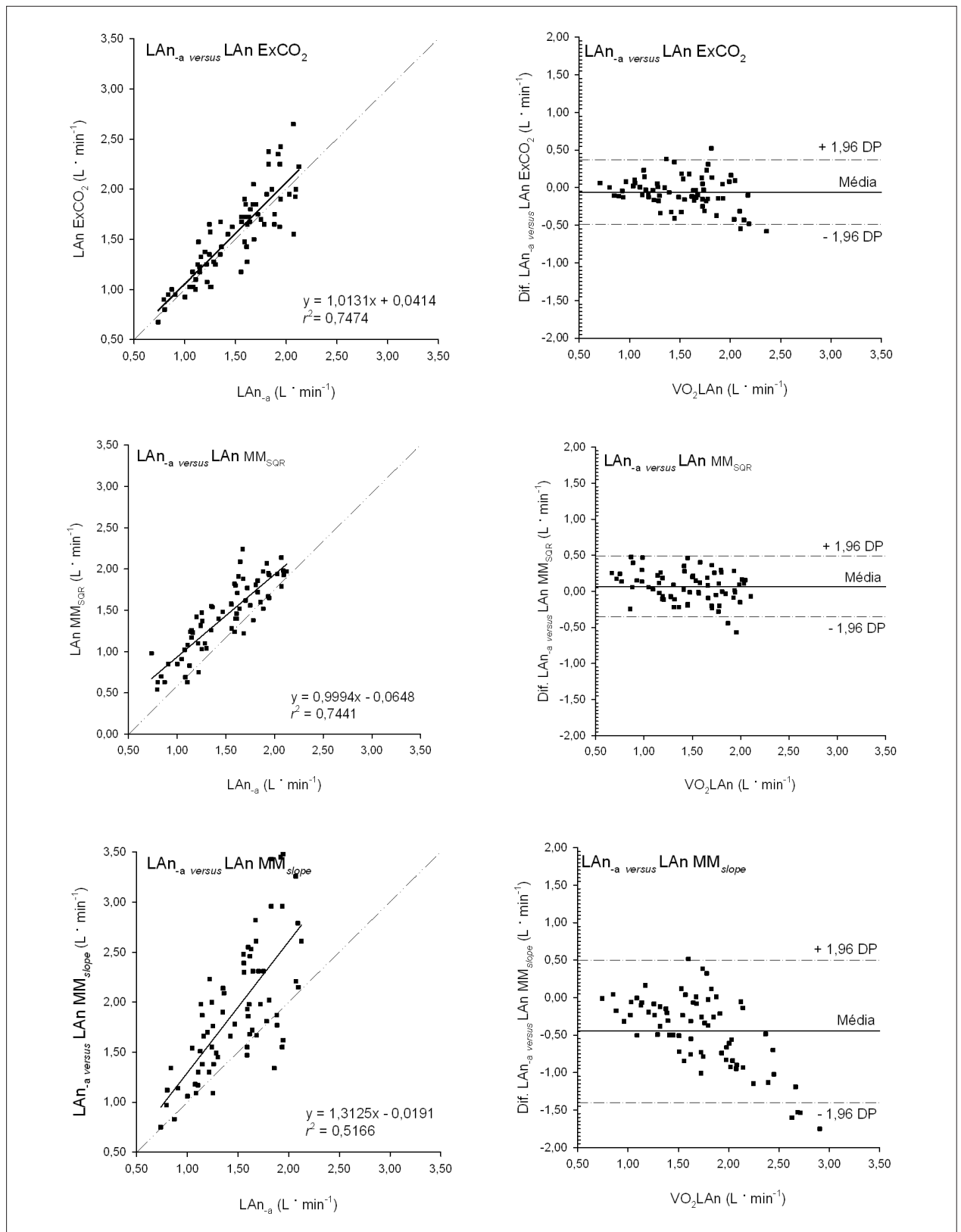


Fig. 1 - Teste de validade entre os métodos para sujeitos masculinos e femininos (Grupo 1, n = 70). Os gráficos apresentam a relação entre LAn_a versus LAn ExCO₂, MM_{SQR} e MM_{slope}. Os gráficos à esquerda apresentam a relação entre os métodos por meio da linha de identidade (linha intermitente), linha de tendência (linha contínua) e equação de regressão com coeficiente de determinação (r²). Os gráficos à direita apresentam os limites de concordância de Bland-Altman. As linhas escuras referem-se à média das diferenças e as linhas intermitentes a variação para ± 1,96 DP. As figuras 2 e 3 seguem o mesmo formato.

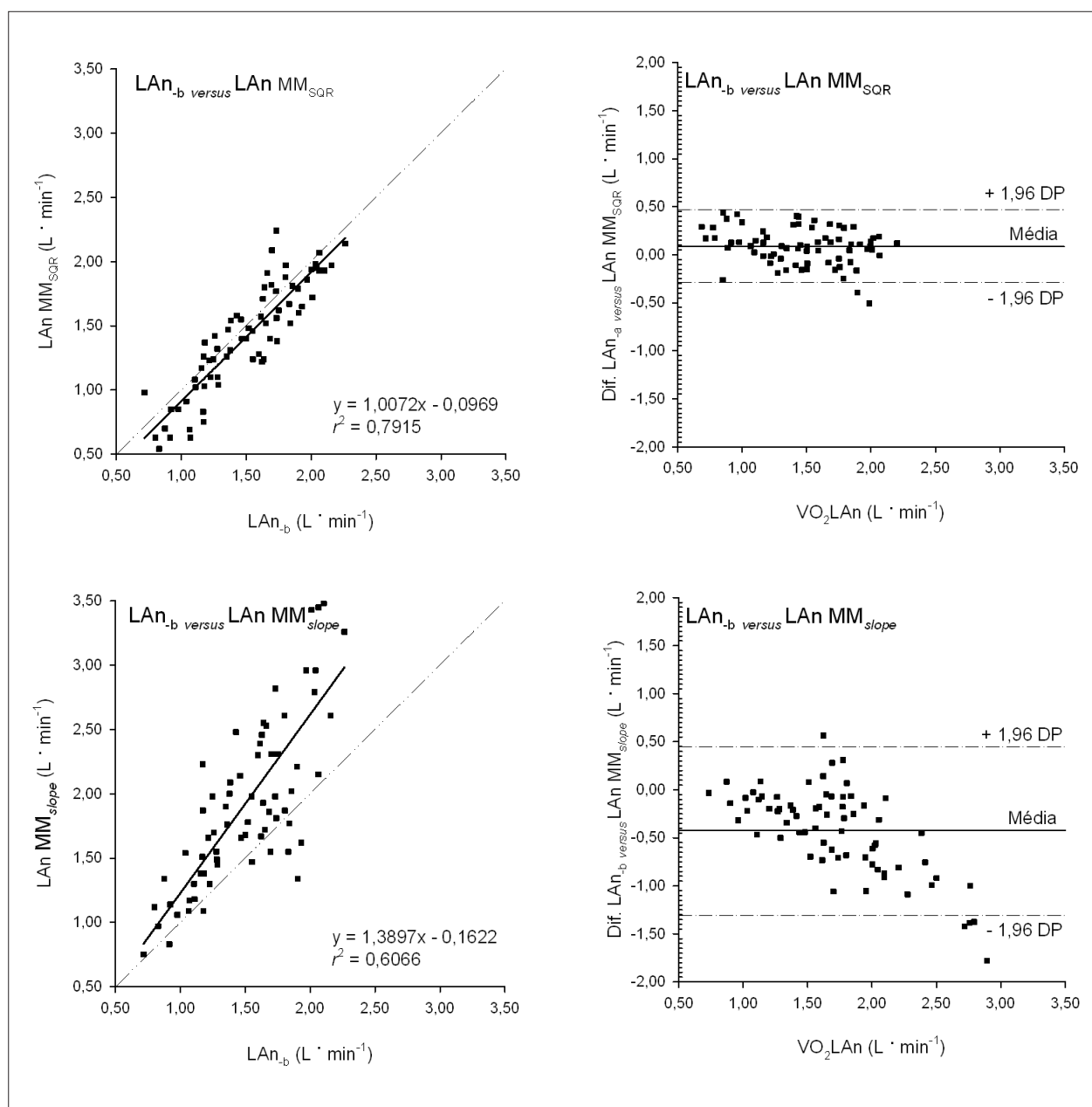


Fig. 2 - Teste de validade entre LAn_b versus MM_{SQR} e MM_{slope} (Grupo 1, n = 70).

uso laboratorial. Observam-se índices CCI elevados entre os equipamentos para o uso clínico, com exceção do MetaMáx II. Índices semelhantes são encontrados em equipamentos de uso laboratorial.

Discussão

O teste ergoespirométrico e a análise do LAn permitem o estudo da integração entre os sistemas pulmonar, cardiovascular e musculoesquelético^{29,30}. Há casos em que esse é o único meio para compreensão de mecanismos fisiopatológicos como na severa doença vascular pulmonar sem hipertensão direita, no forame oval aberto com

desenvolvimento de *shunt* esquerda-direita durante o exercício, na dispneia de esforço, na hipoxemia de esforço, entre outras³¹. Sua aplicação em grupos de cardiopatas e pneumopatas é vantajosa antes de procedimentos invasivos ou de alto custo^{30,31}. A proposta do presente estudo foi testar a acurácia de um equipamento ergoespirométrico que permite mensurações com qualidade destinada a aplicação clínica. Compararam-se os métodos matemáticos propostos por Beaver e cols.⁹ e Vieth¹⁰, com os métodos V-Slope²², Equivalente Ventilatório para o VO₂²³, Excesso de CO₂²¹ e Limiar de Lactato²⁴ para a determinação do LAn.

A amostra desse estudo foi composta por sujeitos não atletas hígidos, com ou sem experiência no cicloergômetro,

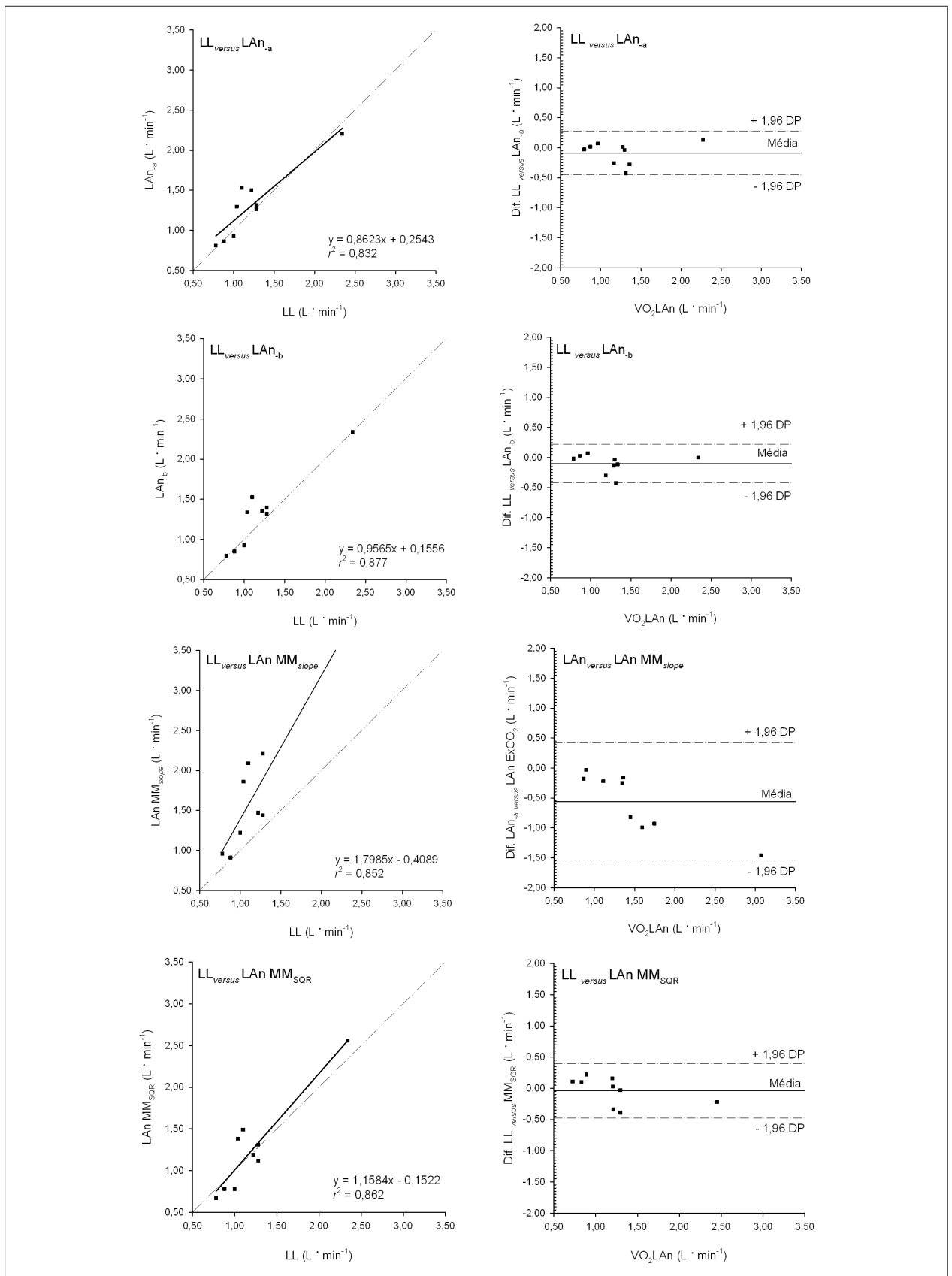


Fig. 3 - Teste de validade entre LL versus LAn_a, LAn_b, MM_{SQR} e MM_{slope} (Grupo 2, n = 9).

Tabela 3 - Estudos prévios de confiabilidade para equipamentos portáteis e estacionário

Referência	n	Condições	Sistema	CCI	CV(%)	Diferença média (± 95%)
Sistema portátil						
Lothian e cols. ¹³	1	Esteira: INC	Cosmed K2	VO ₂ VCO ₂ V _E		3,0-14,0
Lucia e cols. ¹⁴	20	Esteira: SUBMÁX e MÁX	Cosmed K2	VO ₂ VCO ₂ V _E		0,01 (NR) 1,05 (NR)
Meyer e cols. ¹⁵	23	Cicloergômetro: INC	MetaMáx I	VO ₂ VCO ₂ V _E	0,98 0,99 0,97	0,05 (± 0,30) 0,05 (± 0,30) 1,00 (± 9,00)
Larsson e cols. ¹⁶	19	Cicloergômetro: SUBMÁX 100 W (n= 9) 200 W (n= 10)	MetaMáx II	VO ₂ VCO ₂ V _E	0,56-0,90 0,66-0,88 0,43-0,84	
Melanson e cols. ¹⁷	22	Esteira: SUBMÁX	TEEM 100	VO ₂ VCO ₂ V _E	0,96 0,86	0,00 (± 0,17) 1,90 (± 1,37)
Granja Filho e cols. ²⁰	14	Cicloergômetro: INC	TEEM 100	VO ₂ VCO ₂ VE	0,97	5,5 0,14 (NR)
Crouter e cols. ³⁷	10	Cicloergômetro: INC	VO2000	VO ₂ VCO ₂ V _E	0,99 0,99 0,98	14,2 15,8 8,8 -0,04 (± 0,33) -0,02 (± 0,37) -1,22 (±11,04)
Sistema online estacionário						
Lothian e cols. ¹³	1	Esteira: INC	Quinton	VO ₂ VCO ₂ VE		1,1-3,9
Meyer e cols. ¹⁵	23	Cicloergômetro: INC	MetaLyzzer 3B	VO ₂ VCO ₂ V _E	0,97 0,96 0,95	-0,01 (± 0,40) -0,01 (± 0,40) 0,01 (± 13,00)
Carter e cols. ³⁸	10	Cicloergômetro: SUBMÁX 100 W 150 W	Douglas Bag	VO ₂ VCO ₂ V _E		3,3-5,1 3,9-5,0 5,1-5,7
Carter e cols. ³⁸	10	Cicloergômetro: SUBMÁX 100 W 150 W	Oxycon Alpha	VO ₂ VCO ₂ V _E		4,5-6,3 4,8-5,3 6,1-7,3
Carter e cols. ³⁸	10	Cicloergômetro: SUBMÁX 100 W 150 W	Pulmolab EX670	VO ₂ VCO ₂ V _E		26,8-33,6 33,1-45,8 7,6-12,5
Carter e cols. ³⁸	10	Cicloergômetro: SUBMÁX 100 W 150 W	Oxycon Pro	VO ₂ VCO ₂ V _E		4,7-6,5 5,3-7,1 6,6-7,4
Crouter e cols. ³⁷	10	Cicloergômetro: INC	TrueOne 2400	VO ₂ VCO ₂ V _E	0,99 0,99 0,96	4,7 5,7 7,3 -0,04 (± 0,23) -0,03 (± 0,28) -1,34 (± 10,56)
Crouter e cols. ³⁷	10	Cicloergômetro: INC	Douglas Bag	VO ₂ VCO ₂ V _E	0,99 0,99 0,97	5,3 6,0 8,5 -0,05 (± 0,28) -0,05 (± 0,33) -1,36 (± 11,22)

n - número de sujeitos, CCI - coeficiente de correlação intraclassa, CV - coeficiente de variação, INC - teste de incremento, SUBMAX - teste submáximo de carga fixa, NR - não relatado.

engajados ou não em programas de treinamento aeróbio. Características hereditárias e o envolvimento em programas de exercícios podem explicar a grande dispersão nos valores do $VO_{2\text{máx}}$. Mesmo considerando a experiência dos indivíduos com o cicloergômetro, esse equipamento pode sobrecarregar os membros inferiores, causando a fadiga precocemente^{32,33}. A fadiga dos membros inferiores pode resultar em baixo $VO_{2\text{máx}}$ e LAn (%) relativamente alto³¹. O LAn pode, ainda, certamente ser supra ou subestimado em resposta aos incrementos na sobrecarga⁹. O LAn (%) encontrado para os sujeitos durante o teste progressivo foi próximo ao esperado para indivíduos não obesos, fisicamente ativos e aparentemente saudáveis³¹. Billat³⁴ demonstrou que sujeitos altamente treinados são capazes de utilizar mais intensamente as vias oxidativas, portanto com menor acúmulo de lactato, com intensidades de até 90% de seus $VO_{2\text{máx}}$. Nossos resultados permitiram estimar o LAn, pelos métodos do LAn_{-a} , LAn_{-b} , MM_{SQR} , MM_{slope} e LL, em percentagem do $VO_{2\text{máx}}$ e, foram próximos ao esperado para um teste realizado em cicloergômetro³¹.

Gaskill e cols.²¹ estudaram a associação existente entre os diversos métodos de inspeção visual e sugeriram que há benefícios na análise combinada dos métodos: *V-slope*, $ExCO_2$ e EqV. Outro estudo²⁰, utilizando o mesmo equipamento aqui adotado, também sugeriu a utilização de análises combinadas de parâmetros de trocas gasosas e ventilatórias a fim de reduzir o erro metodológico na determinação do LAn. A presente investigação optou por fazer comparações mediante dados combinados (LAn_{-a} e LAn_{-b}) e testou apenas o método do $ExCO_2$ em separado. A análise estatística mostrou uma boa associação entre o método $ExCO_2$ e o método LAn_{-a} , porém o acréscimo de mais um método para detecção do LAn não reduziu significativamente o CV% do observado para o MM_{SQR} , MM_{slope} e LL (tab. 2).

Os dados apresentados na tabela 2 e nas figuras 1, 2 e 3 sugerem uma satisfatória aproximação entre os métodos LAn_{-a} e LAn_{-b} . Esses métodos apresentaram uma excelente correlação com o MM_{SQR} e LL. Uma correlação razoável foi encontrada entre o LL e o MM_{slope} . Caiizzo e cols.²³ apresentaram o EqV como o melhor método isolado para determinação do LAn ($r = 0,93$). Segundo esses autores, o método *V-slope* não produz uma boa estimativa do LAn. Entretanto, Gaskill e cols.²¹ não encontraram diferença significativa entre os métodos *V-slope* e EqV quando comparado com o LL ($\pm 5 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$) indicando boa concordância entre os métodos. Achados semelhantes foram relatados por Santos e cols.³⁵ e por Granja Filho e cols.²⁰.

Beaver e cols.⁹ propuseram um método no qual se eliminam os pontos que produzam uma inclinação da linha de regressão menor do que 0,6 e os valores acima do ponto de compensação respiratório. A presente investigação, com base em um estudo anterior²¹, modificou o método original para que todos os dados fossem utilizados no ajuste linear. Tal adaptação foi necessária em razão da resolução temporal das medidas por meio do equipamento aqui empregado. Kelly³⁶ observou que os resultados obtidos pelo método matemático original de Beaver e cols.⁹ apresentaram um maior erro padrão da estimativa, quando comparado com o MM_{SQR} . Santos e cols.³⁵ encontraram para esse método índices percentuais de

83% do $VO_{2\text{máx}}$. No nosso estudo observamos intensidades elevadas de LAn³¹ por meio do MM_{slope} indicando uma possível imprecisão do método.

Poucos são os estudos relacionados à confiabilidade dos sistemas de análise metabólica de baixo custo. A tabela 3 apresenta alguns indicadores para equipamentos de uso clínico e científico. O equipamento aqui utilizado apresenta uma confiabilidade teste-reteste de 5,5% para o $VO_{2\text{máx}}$, segundo Granja Filho e cols.²⁰. Melanson e cols.¹⁷ encontraram CCI de 0,96 para VO_2 e 0,86 para V_E . No mesmo estudo¹⁷, validou-se o equipamento comparando-o com um sistema referência computadorizado e encontraram-se coeficientes de correlação de Pearson de 0,91 a 0,97 para V_E e 0,88 a 0,97 para VO_2 . Wideman e cols.¹⁹ encontraram diferenças de 2% a 11% para VO_2 e 5% a 17% para VCO_2 em diversas intensidades. Uma diferença média de 3,9% para VO_2 foi encontrada por Novitsky e cols.¹⁸ quando comparado com o *Sensormedics 2900*[®]. Os índices apresentados na tabela 3 referentes a validade e confiabilidade do VO_2 , VCO_2 e V_E do TEEM 100, e demais equipamentos clínicos, encontram-se ligeiramente aquém dos observados para os equipamentos mais sofisticados destinados as investigações científicas.

Considerando-se a importância do LAn como índice de tolerância ao exercício e indicador do condicionamento em diversos grupos de indivíduos¹⁻⁷, concluímos que o MM_{SQR} , assim como os métodos de inspeção visual do LAn_{-a} e LAn_{-b} , são satisfatoriamente acurados e objetivos para a determinação daquela referência metabólica. A inclusão de mais um método de inspeção visual ($ExCO_2$) não reduziu significativamente o erro. Concluímos também que o MM_{slope} não apresentou acurácia significativa para a determinação do LAn no equipamento aqui adotado³⁸.

Agradecimentos

Os autores deste estudo expressam seus agradecimentos à Associação dos Amigos do Centro de Estudos e Aperfeiçoamento do Hospital dos Servidores do Estado do Rio de Janeiro, na pessoa do Dr. Aluysio S. Aderaldo Jr. pela contribuição significativa para a realização deste trabalho e aos colegas Gilberto Sabóia Pompeu Neto, Michelle F. S. Porto Nogueira e Lucenildo Cerqueira. Esse estudo recebeu o apoio da FAPERJ e MCT/ CNPq.

Potencial Conflito de Interesses

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo foi financiado pela CAPES, MCT/CNPq e FAPERJ.

Vinculação Acadêmica

Este artigo é parte de dissertação de Mestrado de Fernando dos Santos Nogueira pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Referências

1. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol.* 1973; 35 (2): 236-43.
2. Córdova C, Silva VC, Moraes CF, Simões HG, Nóbrega OT. Acute exercise performed close to the anaerobic threshold improves cognitive performance in elderly females. *Braz J Med Biol Res.* 2009; 42 (5): 458-64.
3. Moreira MM, Souza HPC, Schwingel PA, Sá CKC, Zoppi CC. Effects of aerobic and anaerobic exercise on cardiac risk variables in overweight adults. *Arq Bras Cardiol.* 2008; 91 (4): 200-6.
4. Azevedo LF, Brum PC, Roseblatt D, Perlingeiro PS, Barreto ACP, Negrão CE, et al. Cardiac and metabolic characteristics of long distance runners of the sport and exercise cardiology outpatient facility of a tertiary hospital. *Arq Bras Cardiol.* 2007; 88 (1): 16-23.
5. Braga AMFW, Rondon MUPB, Negrão CE, Wajngarten M. Predictive value of ventilatory and metabolic variables for risk of death in patients with cardiac failure. *Arq Bras Cardiol.* 2006; 86 (6): 451-8.
6. César MC, Montesano FT, Diniz RVZ, Almeida DR, Tebexreni AS, Barros TL. Cardiopulmonary responses to exercise in patients of different age group with congestive heart failure. *Arq Bras Cardiol.* 2006; 86 (1): 14-8.
7. Rocha GR, Stein R, Guimarães MR, Ribeiro JP. Effects of cimetidine on chronotropic response to cardiopulmonary exercise testing. *Arq Bras Cardiol.* 2006; 86 (3): 206-10.
8. Sociedade Brasileira de Cardiologia. Normatização de técnicas e equipamentos para realização de exames em ergometria e ergoespirometria. *Arq Bras Cardiol.* 2003; 80: 458-64.
9. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol.* 1986; 60 (6): 2020-7.
10. Vieth E. Fitting piecewise linear regression functions to biological responses. *J Appl Physiol.* 1989; 67 (1): 390-6.
11. Higa MN, Silva E, Neves VFC, Catai AM, Gallo L Jr, Silva de Sá MF. Comparison of anaerobic threshold determined by visual and mathematical methods in healthy woman. *Braz J Med Biol Res.* 2007; 40 (4): 501-8.
12. Davis JA, Rozenek R, DeCicco DM. Comparison of three methods for detection of the lactate threshold. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2007; 27 (6): 381-4.
13. Lothian F, Farrally MR, Mahoney C. Validity and reliability of the Cosmed K2 to measure oxygen uptake. *Can J Appl Physiol.* 1993; 18 (2): 197-206.
14. Lucia A, Fleck SJ, Gotshall RW, Kearney JT. Validity and reliability of the Cosmed K2 instrument. *Int J Sports Med.* 1993; 14 (7): 380-6.
15. Meyer T, George T, Becker C, Kindermann W. Reliability of gas exchange measurement from two different spirometry systems. *Int J Sports Med.* 2001; 22 (8): 593-7.
16. Larsson PU, Wadell KM, Jakobsson EJ, Burlin LU, Henriksson-Larsén KB. Validation of the Meta Max II portable metabolic system. *Int J Sports Med.* 2004; 25 (2): 115-23.
17. Melanson EL, Freedson PS, Hendelman D, Debold E. Reliability and validity of a portable metabolic measurement system. *Can J Appl Physiol.* 1996; 21 (2): 109-19.
18. Novitsky S, Segal KR, Chatr-Aryamontri B, Guvakov D, Katch VL. Validity of a new portable indirect calorimeter: the Aerosport TEEM 100. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995; 70 (5): 462-7.
19. Wideman L, Stoudemire NM, Pass KA, McGinnes CL, Gaesser GA, Weltman A. Assessment of the aerosport TEEM 100 portable metabolic measurement system. *Med Sci Sport Exerc.* 1996; 28 (4): 509-15.
20. Granja Filho PCN, Pompeu FAMS, Ribeiro P. Accuracy of VO₂máx and anaerobic threshold determination. *Rev Bras Med Esporte.* 2005; 11: 167-71.
21. Gaskill SE, Ruby BC, Walker AJ, Sanchez OA, Serfass RC, Leon AS. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc.* 2001; 33 (11): 1841-8.
22. Schneider DA, Phillips SE, Stoffolano S. The simplified V-slope method of detecting the gas exchange threshold. *Med Sci Sports Exerc.* 1993; 25 (10): 1180-4.
23. Caiozzo VJ, Davis JA, Ellis JF, Azus JL, Vandagriff R, Prietto CA, et al. A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J Appl Physiol.* 1982; 53 (5): 1184-9.
24. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J Appl Physiol.* 1985; 59 (6): 1936-40.
25. Nogueira FS, Pompeu FAMS. Maximal workload prediction models in the clinical cardio-pulmonary effort test. *Arq Bras Cardiol.* 2006; 87 (2): 137-45.
26. Shephard RJ. Muscular endurance and blood lactate. In: Shephard RJ, Astrand PO, editors. *Endurance in sport.* Oxford: Blackwell Scientific Publications; 1992. p. 215-25.
27. Howley ET, Basset DR Jr, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc.* 1995; 27 (9): 1292-301.
28. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986; 2 (8476): 307-10.
29. Åstrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Strømme SB. Evaluation of physical performance on the basis of tests. In: *Textbook of work physiology.* 4th ed. Champaign: Human Kinetics; 2003. p. 273-97.
30. Jones NL. *Clinical exercise testing.* 4th ed. Philadelphia: W.B. Saunders; 1997.
31. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ, Casaburi R. *Principles of exercise testing and interpretation.* 3rd ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1999.
32. Fleg JL, Pina IL, Balady GL, Chaitman BR, Fletcher B, Lavie C, et al. Assessment of functional capacity in clinical and research applications: An advisory from the Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention, Council on Clinical Cardiology, American Heart Association. *Circulation.* 2000; 102 (13): 1592-7.
33. Bergman BC, Brooks GA. Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and faster trained and untrained men. *J Appl Physiol.* 1999; 86: 479-87.
34. Billat LV. Use of blood lactate measurements of prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Med.* 1996; 22 (3): 157-75.
35. Santos EL, Giannella-Neto A. Comparison of computerized methods for detecting the ventilatory thresholds. *Eur J Appl Physiol.* 2004; 93 (3): 315-24.
36. Kelly GE, Thin A, Daly L, McLoughlin P. Estimation of the gas exchange threshold in humans: a time series approach. *Eur J Appl Physiol.* 2001; 85 (6): 586-92.
37. Crouter SE, Antezak A, Hudak JR, DellaValle DM, Haas JD. Accuracy and reliability of the Parvomeds TrueOne 2400 and MedGraphics VO₂2000 metabolic systems. *Eur J Appl Physiol.* 2006; 98 (2): 139-51.
38. Carter J, Jeukendrup AE. Validity and reliability of three commercially available breath-by-breath respiratory systems. *Eur J Appl Physiol.* 2002; 86 (5): 435-4.