

ABREVIACÕES E SIMBOLOS

%	=	percentagem
°C	=	graus Celsius
A/D	=	analógico/digital
ATP	=	adenosina trifosfato
ATP - CP	=	creatinina fosfato
bpm	=	batimentos por minuto
BTPS	=	“body temperature and pressure, saturated with water vapor”
cm	=	centímetros
CO ₂	=	dióxido de carbono
DII	=	derivação eletrocardiográfica bipolar referente  diferença de potencial entre os eletrodos posicionados no braço direito (negativo) e na perna esquerda (positivo)
ECG	=	eletrocardiograma
FC	=	freqncia cardica
FC máx	=	freqncia cardica máxima
FSH	=	hormônio folículo estimulante
FR	=	freqncia respiratória
Hinkley – FC	=	modelo matemático de regressão linear bi-segmentado aplicado aos dados de freqncia cardica
Hinkley – $\dot{V}CO_2$	=	modelo matemático de regressão linear bi-segmentado aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono
IMC	=	ndice de massa corpórea
iR-R	=	intervalos R-R
kg	=	quilogramas

kg/m ²	= quilogramas por metro quadrado
L/min	= litros por minuto
LA	= limiar de anaerobiose
m	= metros
MC5	= derivação eletrocardiográfica bipolar referente à diferença de potencial entre os eletrodos posicionados no ápice do manúbrio esternal (negativo) e no quinto espaço intercostal na direção da linha axilar anterior esquerda (correspondente a V5) (positivo).
min	= minutos
mIU	= micro unidades internacionais
mL	= mililitros
mL/min	= mililitros por minuto
mL/kg/min	= mililitros por quilograma por minuto
mmHg	= milímetros de mercúrio
mph	= milhas por hora
MV	= método visual
NUPEF	= Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico
O ₂	= oxigênio
PA	= pressão arterial
PAD	= pressão arterial diastólica
PAS	= pressão arterial sistólica
PET CO ₂	= pressões parciais ao final da expiração de CO ₂
PET O ₂	= pressões parciais ao final da expiração do O ₂
R	= onda “R” do eletrocardiograma
RER	= razão de trocas respiratórias

rpm	=	rotações por minuto
r_s	=	coeficiente de correlação de <i>Spearman</i>
s	=	segundos
ST	=	segmento “ST” do eletrocardiograma
STPD	=	“Standard temperature and pressure (0 °C, 760 mmHg), dry”
T	=	onda “T” do eletrocardiograma
TEFDC-R	=	teste de esforço físico dinâmico contínuo do tipo rampa
TSH	=	hormônio estimulante da tireoide
UFSCar	=	Universidade Federal de São Carlos
USP	=	Universidade de São Paulo
V2	=	derivação eletrocardiográfica unipolar no 4° espaço intercostal ao lado esquerdo do esterno
VC	=	volume corrente
$\dot{V}CO_2$	=	produção de dióxido de carbono
$\dot{V}E$	=	ventilação pulmonar
$\dot{V}E/\dot{V}CO_2$	=	equivalente de dióxido de carbono
$\dot{V}E/\dot{V}O_2$	=	equivalente de oxigênio
$\dot{V}O_2$	=	consumo de oxigênio
W	=	Watts

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Ilustração do posicionamento dos eletrodos negativo (vermelho), positivo (amarelo) e neutro (preto) para a captação do eletrocardiograma na derivação MC5.....	21
Figura 2.	Representação esquemática do teste de exercício físico dinâmico contínuo em degrau, realizado em esteira elétrica automática com protocolo de Bruce modificado II.....	22
Figura 3.	Representação esquemática do teste de exercício físico dinâmico contínuo do tipo rampa (TEFDC-R) com carga inicial de 4W durante 4 min e incrementos de potência de 10 a 20W/min até a exaustão física, seguidos de 2 min de recuperação ativa.....	26
Figura 4.	Ilustração da montagem experimental. A: sistema ergoespirométrico (CPX/D – MedGraphics); B: monitor cardíaco; C: computador com o software de aquisição dos dados da frequência cardíaca; D: cicloergômetro de frenagem eletromagnética.....	27
Figura 5.	Ilustração da aquisição dos dados da frequência cardíaca, batimento a batimento em tempo real, obtida a partir dos intervalos R-R do eletrocardiograma durante o teste de exercício físico incremental de uma das voluntárias estudadas.....	29
Figura 6.	Ilustração do aparato bucal utilizado pelas voluntárias para a coleta das variáveis ventilatórias e metabólicas durante os experimentos. A: peça bucal; B: coletor de saliva; C: pinça de oclusão nasal; D: suporte; E: pneumotacógrafo de <i>Pitot</i>	31
Figura 7.	Ilustração da tela de aquisição do sistema ergoespirométrico durante o teste de exercício físico dinâmico incremental, mostrando em A, velocidade de rotação em azul e incremento de potência em verde, e em B, frequência cardíaca em preto, consumo de oxigênio em vermelho, produção de gás carbônico em azul e ventilação pulmonar em verde, respiração a respiração.....	32

Figura 8.	Ilustração da tela de aquisição do sistema ergoespirométrico durante o teste de exercício físico dinâmico incremental, mostrando em A, velocidade de rotação em azul e incremento de potência em verde, e em B, frequência cardíaca em preto, consumo de oxigênio em vermelho, produção de gás carbônico em azul e ventilação pulmonar em verde, em médias móveis de 8 ciclos respiratórios.....	33
Figura 9.	Ilustração gráfica do sistema ergoespirométrico, no qual eram analisadas as variáveis $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$, plotadas em função do tempo, em médias móveis de 8 respirações, observando-se a perda do paralelismo entre elas (linha AT), de uma das voluntárias estudadas.....	37
Figura 10.	Ilustração do tempo, em segundos, de inflexão determinado pelo ajuste do modelo matemático de regressão linear bi-segmentado aplicado aos dados de frequência cardíaca, obtidos durante o teste de exercício físico dinâmico incremental de uma das voluntárias estudadas (ACM).....	39
Figura 11.	Ilustração do tempo, em segundos, de inflexão determinado pelo ajuste do modelo matemático de regressão linear bi-segmentado aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono, obtidos durante o teste de exercício físico dinâmico incremental de uma das voluntárias estudadas (ACM).....	40
Figura 12.	Valores de potência, em W, no limiar de anaerobiose identificado pelo método visual gráfico (padrão-ouro) (Visual) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de frequência cardíaca (H-FC) e aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono (H- $\dot{V}CO_2$).....	51
Figura 13.	Valores de frequência cardíaca, em bpm, no limiar de anaerobiose identificado pelo método visual gráfico (padrão-ouro) (Visual) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de frequência cardíaca (H-FC) e aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono (H- $\dot{V}CO_2$).....	53
Figura 14.	Valores de consumo de oxigênio relativo, em mL/kg/min, no limiar de anaerobiose identificado pelo método visual gráfico (padrão-ouro) (Visual) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de frequência cardíaca (H-FC) e aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono (H- $\dot{V}CO_2$).....	55

Figura 15.	Valores de consumo de oxigênio absoluto, em mL/min, no limiar de anaerobiose identificado pelo método visual gráfico (padrão-ouro) (Visual) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de frequência cardíaca (H-FC) e aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono ($H-\dot{V}CO_2$).....	57
Figura 16.	Valores de produção de dióxido de carbono, em mL/min, no limiar de anaerobiose identificado pelo método visual gráfico (padrão-ouro) (Visual) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de frequência cardíaca (H-FC) e aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono ($H-\dot{V}CO_2$).....	59
Figura 17.	Valores de ventilação, em L/min, no limiar de anaerobiose identificado pelo método visual gráfico (padrão-ouro) (Visual) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de frequência cardíaca (H-FC) e aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono ($H-\dot{V}CO_2$).....	61
Figura 18.	Correlação entre os valores de potência em W, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual gráfico das variáveis ventilatórias (padrão ouro) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de frequência cardíaca, no grupo jovem (A) e no grupo pós-menopausa (B). Nível de significância $\alpha = 5\%$	65
Figura 19.	Correlação entre os valores de potência em W, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual gráfico das variáveis ventilatórias e metabólicas (padrão ouro) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono, no grupo jovem (A) e no grupo pós-menopausa (B). Nível de significância $\alpha = 5\%$	66
Figura 20.	Correlação entre os valores de frequência cardíaca em bpm, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual gráfico das variáveis ventilatórias e metabólicas (padrão ouro) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de frequência cardíaca, no grupo jovem (A) e no grupo pós-menopausa (B). Nível de significância $\alpha = 5\%$	68

- Figura 21. Correlação entre os valores de frequência cardíaca em bpm, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual gráfico das variáveis ventilatórias e metabólicas (padrão ouro) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono, no grupo jovem (A) e no grupo pós-menopausa (B). Nível de significância $\alpha = 5\%$ 69
- Figura 22. Correlação entre os valores de consumo de oxigênio em mL/kg/min, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual gráfico das variáveis ventilatórias e metabólicas (padrão ouro) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de frequência cardíaca, no grupo jovem (A) e no grupo pós-menopausa (B). Nível de significância $\alpha = 5\%$ 71
- Figura 23. Correlação entre os valores de consumo de oxigênio em mL/kg/min, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual gráfico das variáveis ventilatórias e metabólicas (padrão ouro) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono, no grupo jovem (A) e no grupo pós-menopausa (B). Nível de significância $\alpha = 5\%$ 72
- Figura 24. Correlação entre os valores de consumo de oxigênio em mL/min, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual gráfico das variáveis ventilatórias e metabólicas (padrão ouro) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de frequência cardíaca, no grupo jovem (A) e no grupo pós-menopausa (B). Nível de significância $\alpha = 5\%$ 74
- Figura 25. Correlação entre os valores de consumo de oxigênio em mL/min, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual gráfico das variáveis ventilatórias e metabólicas (padrão ouro) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono, no grupo jovem (A) e no grupo pós-menopausa (B). Nível de significância $\alpha = 5\%$ 75

- Figura 26. Correlação entre os valores de produção de dióxido de carbono em mL/min, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual gráfico das variáveis ventilatórias e metabólicas (padrão ouro) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de frequência cardíaca, no grupo jovem (A) e no grupo pós-menopausa (B). Nível de significância $\alpha = 5\%$ 77
- Figura 27. Correlação entre os valores de produção de dióxido de carbono em mL/min, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual gráfico das variáveis ventilatórias e metabólicas (padrão ouro) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono, no grupo jovem (A) e no grupo pós-menopausa (B). Nível de significância $\alpha = 5\%$ 78
- Figura 28. Correlação entre os valores de potência em W, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual gráfico das variáveis ventilatórias e metabólicas (padrão ouro) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de frequência cardíaca, no grupo jovem (A) e no grupo pós-menopausa (B). Nível de significância $\alpha = 5\%$ 80
- Figura 29. Correlação entre os valores de ventilação em L/min, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual gráfico das variáveis ventilatórias e metabólicas (padrão ouro) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de produção de dióxido de carbono, no grupo jovem (A) e no grupo pós-menopausa (B). Nível de significância $\alpha = 5\%$ 81

LISTA DE TABELAS

Tabela I.	Idade, características antropométricas, variáveis cardiovasculares basais e dados clínicos do grupo das jovens e do grupo pós-menopausa.....	45
Tabela II.	Resultado dos exames laboratoriais de glicemia, uréia e creatinina, em mg/dl; triglicérides, colesterol total, LDL, HDL, em mg/100ml e ácido úrico, em mg/dl, dos voluntários estudados. Valores apresentados em média e desvio padrão.....	125
Tabela III.	Valores obtidos do teste ergométrico de avaliação clínica. Valores apresentados em média e desvio padrão.....	126
Tabela IV.	Valores obtidos no pico do teste de exercício físico dinâmico incremental. Valores apresentados em média e desvio padrão.....	47
Tabela V.	Valores das variáveis cardiorrespiratórias no limiar de anaerobiose determinadas pelo método visual (MV) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de FC (Hinkley – FC) e de $\dot{V}CO_2$ (Hinkley – $\dot{V}CO_2$) para o grupo das jovens.....	48
Tabela VI.	Valores das variáveis cardiorrespiratórias no limiar de anaerobiose determinadas pelo método visual (MV) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley aplicado aos dados de FC (Hinkley – FC) e de $\dot{V}CO_2$ (Hinkley – $\dot{V}CO_2$) para o grupo pós-menopausa.....	49
Tabela VII.	Valores do coeficiente de correlação (r_s) e valores de p obtidos das análises de correlação entre os valores de potência em W, frequência cardíaca em bpm, consumo de oxigênio em mL/kg/min e em mL/min, produção de dióxido de carbono em mL/min e ventilação em L/min, no limiar de anaerobiose determinado pelo método visual (MV) e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado aplicado aos dados de FC (H-FC) e aos dados da produção de dióxido de carbono (H- $\dot{V}CO_2$).....	63

RESUMO

Higa, M.N. *Determinação do limiar de anaerobiose pela análise visual gráfica e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado de Hinkley em mulheres saudáveis*. 2006. 126p. Dissertação (Mestrado em Ginecologia e Obstetrícia – Biologia da Reprodução) – Programa de Pós-Graduação em Clínica Médica do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

O limiar de anaerobiose (LA) é definido como a intensidade de exercício físico em que a produção de energia pelo metabolismo aeróbio é suplementada pelo metabolismo anaeróbio. Este índice constitui-se de um delimitador fisiológico de grande importância para o fornecimento de informações concernentes aos principais sistemas biológicos do organismo, os quais estão envolvidos na realização de um exercício físico. O LA é um importante parâmetro de determinação da capacidade aeróbia funcional de um indivíduo. Diversos métodos são usados para estimar o LA durante exercício. Existem métodos invasivos, como a medida repetida da concentração de lactato sanguíneo; e métodos não-invasivos, por meio de análise de variáveis biológicas como medidas contínuas dos gases respiratórios, através da análise de mudança do padrão de resposta das variáveis ventilatórias e metabólicas, e também pela análise da mudança do padrão de resposta da frequência cardíaca (FC) frente a um exercício físico incremental. O objetivo deste estudo foi comparar e correlacionar o LA determinado por métodos não-invasivos de análise visual gráfica das variáveis ventilatórias e metabólicas, considerado como padrão-ouro neste estudo, e pelo modelo matemático de regressão linear bi-segmentado utilizando o algoritmo de Hinkley, aplicado a série de dados de FC (Hinkley – FC) e da produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) (Hinkley – $\dot{V}CO_2$). Metodologia: Treze mulheres jovens ($24 \pm 2,63$ anos) e dezesseis mulheres na pós-menopausa ($57 \pm 4,79$ anos), saudáveis e sedentárias realizaram teste ergoespirométrico contínuo do tipo rampa em cicloergômetro (Quinton Corival 400), com incrementos de 10 a 20 Watts/min até a exaustão física. As variáveis ventilatórias e metabólicas foram captadas respiração a respiração (CPX-D, Medical Graphics), e a FC

batimento a batimento (ECAFIX, ACTIVE-E). Os dados foram analisados por testes não paramétricos de Friedman, Mann-Whitney e correlação de Spearman. Nível de significância de $\alpha = 5\%$. Resultados: Os valores das variáveis potência (W), FC (bpm), consumo de oxigênio relativo ($\dot{V}O_2$) (mL/kg/min), $\dot{V}O_2$ absoluto (mL/min), $\dot{V}CO_2$ (mL/min) e ventilação pulmonar ($\dot{V}E$) (L/min) no LA não apresentaram diferenças significativas entre as metodologias ($p > 0,05$) nos dois grupos de mulheres estudadas. A análise de correlação dos valores de potência em W, FC em bpm, $\dot{V}O_2$ em mL/kg/min, $\dot{V}O_2$ em mL/min, $\dot{V}CO_2$ em mL/min e $\dot{V}E$ em L/min, entre o método padrão-ouro com o Hinkley – $\dot{V}CO_2$ foram respectivamente: $r_s=0,75$; $r_s=0,57$; $r_s=0,48$; $r_s=0,66$; $r_s=0,47$ e $r_s=0,46$ no grupo jovem, e $r_s=-0,013$; $r_s=0,77$; $r_s=0,88$; $r_s=0,60$; $r_s=0,76$ e $r_s=0,80$ no grupo pós-menopausa. Os valores de correlação do método padrão-ouro com Hinkley – FC para as variáveis potência em W, FC em bpm, $\dot{V}O_2$ em mL/kg/min, $\dot{V}O_2$ em mL/min, $\dot{V}CO_2$ em mL/min e $\dot{V}E$ em L/min, obtidas no LA foram respectivamente: $r_s=0,58$; $r_s=0,42$; $r_s=0,61$; $r_s=0,57$; $r_s=0,33$ e $r_s=0,39$ no grupo de jovens, e $r_s=0,14$; $r_s=0,87$; $r_s=0,76$; $r_s=0,52$; $r_s=0,33$ e $r_s=0,65$ no grupo pós-menopausa. O grupo pós-menopausa apresentou melhores valores de correlação em relação ao grupo de jovens, exceto para as variáveis potência e consumo de oxigênio absoluto (mL/min). Este fato pode estar relacionado a uma maior taxa de variação e magnitude das variáveis analisadas em indivíduos jovens em relação aos de meia-idade, sendo, desta forma, obtida melhor adequação do modelo matemático estudado em mulheres de meia idade. Conclusão: O algoritmo matemático de Hinkley proposto para detectar a mudança no padrão de resposta da $\dot{V}CO_2$ e da FC foi eficiente nos indivíduos de meia-idade, portanto, a metodologia matemática utilizada no presente estudo constitui-se de uma ferramenta promissora para detectar o LA em mulheres saudáveis, por ser um método semi-automatizado, não invasivo e objetivo na determinação do LA.

ABSTRACT

Higa, M.N. *Anaerobic threshold determined by graphic visual analysis and Hinkley bi-segmental linear regression mathematical model in healthy women*. 2006. 126p. Dissertação (Mestrado em Ginecologia e Obstetrícia – Biologia da Reprodução) – Programa de Pós-Graduação em Clínica Médica do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

The anaerobic threshold (AT) is defined as the intensity level of physical exercise at which energy production by aerobic metabolism is supplemented by anaerobic metabolism. This index provides a physiologic delimitation of great importance to supply the organism biological systems information involved in physical exercise performance. The AT constitutes a most important determining of an individuals functional aerobic capacity. Several methods are used for estimating the AT during exercise. There are invasive methods that require repeated blood lactate accumulation; and there exist non-invasive methods by biological variables analysis, like continuous respiratory gases determination by analysis of changes in pattern respiratory and metabolic responses, and heart rate (HR) responses too. The aim of the present study was to compare AT obtained by a graphic visual method of ventilatory and metabolic variables, considered by gold standard method in the present study, with the bi-segmental linear regression mathematic model of Hinkley's algorithm applied in a HR (Hinkley – HR) and carbon dioxide output ($\dot{V}CO_2$) (Hinkley – $\dot{V}CO_2$) data. Methodology: Thirteen young women, $24 \pm 2,63$ years old, and sixteen postmenopausal women, $57 \pm 4,79$ years old, leading healthy and sedentary life style were submitted to an incremental test in a cicloergometer electromagnetic braking (Quinton Corival 400), with 10 to 20 W/min increments up to physical exhaustion. The ventilatory variables were registered breath-to-breath (CPX-D, Medical Graphics) and HR was obtained beat-to-beat (ECAFIX, ACTIVE-E), over real time. The data were analyzed by Friedman's test and Spearman's correlation test, with a level of significance set at 5%. Results: The Power output (W),

HR (bpm), oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) (mL/kg/min), $\dot{V}O_2$ (mL/min), $\dot{V}CO_2$ (mL/min) and pulmonary ventilation ($\dot{V}E$) (L/min) data in AT have showed no significant differences ($p > 0,05$) between methods to determine AT in both women groups. The correlation analysis of power output in W, HR in bpm, $\dot{V}O_2$ in mL/kg/min, $\dot{V}O_2$ in mL/min, $\dot{V}CO_2$ in mL/min and $\dot{V}E$ in L/min values, determined by gold standard method and by Hinkley – $\dot{V}CO_2$ data were respectively: $r_s=0,75$; $r_s=0,57$; $r_s=0,48$; $r_s=0,66$; $r_s=0,47$ and $r_s=0,46$ in young group, and $r_s=-0,013$; $r_s=0,77$; $r_s=0,88$; $r_s=0,60$; $r_s=0,76$ and $r_s=0,80$ in postmenopausal group. The correlation analysis by gold standard method and Hinkley – FC in AT of power output in W, HR in bpm, $\dot{V}O_2$ in mL/kg/min, $\dot{V}O_2$ in mL/min, $\dot{V}CO_2$ in mL/min and $\dot{V}E$ in L/min data were respectively: $r_s=0,58$; $r_s=0,42$; $r_s=0,61$; $r_s=0,57$; $r_s=0,33$ and $r_s=0,39$ in young group, and $r_s=0,14$; $r_s=0,87$; $r_s=0,76$; $r_s=0,52$; $r_s=0,33$ and $r_s=0,65$ in postmenopausal group. The postmenopausal group presents better correlations values than young group, except in power output and $\dot{V}O_2$ (mL/min) data. This may be related to more variability rate and higher kinetics responses to variables studied in young group in relation to postmenopausal group. Nevertheless, there was obtained better mathematical model adequacy in middle-age women. Conclusion: the Hinkley's mathematical algorithm proposed to detect the response patterns changes of $\dot{V}CO_2$ and HR variables was efficient to detect AT in health postmenopausal women's group, therefore, the mathematical methodology used in the present study showed be a promissory tool because this method represent a semi-automatized, non invasive and objective measure of AT determination.