

ISSN 1413-3555

Rev. bras. fisioter. Vol. 10, No. 2 (2006), 163-169

©Revista Brasileira de Fisioterapia

COMPARAÇÃO DAS RESPOSTAS CARDIORRESPIRATÓRIAS ENTRE EXERCÍCIO DE CARGA CONSTANTE E INCREMENTAL ABAIXO, ACIMA E NO LIMIAR DE ANAEROBIOSE VENTILATÓRIO

PITHON KR¹, MARTINS LEB², GALLO JR L³, CATAI AM¹, SILVA E^{1,4}¹ Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, SP² Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP³ Departamento de Clínica Médica, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP⁴ Laboratório de Pesquisa em Fisioterapia Cardiovascular e de Provas Funcionais, Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, SPCorrespondência para: Ester da Silva, Mestrado em Fisioterapia, FACIS - UNIMEP, Campus Taquaral, Rodovia do Açúcar, Km 156, CEP 13400-911, Piracicaba, SP, e-mail: esilvas@unimep.br e kpithon@ibest.com.br

Recebido: 31/01/2005 – Aceito: 22/09/2005

RESUMO

Objetivo: Aplicar diferentes metodologias de análise aos dados dos testes contínuo em rampa (TCR) e descontínuo em degrau (TDD) e comparar as respostas das variáveis cardiorrespiratórias. Métodos: 8 homens realizaram teste ergoespirométrico em bicicleta: TCR com incremento de 20 a 25W.min⁻¹ e TDD em degraus de 15min cada baseado no limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) do TCR, sendo degrau 1 (70%LAV), degrau 2 (100%LAV) e degrau 3 (130%LAV). O LAV foi determinado pela perda do paralelismo entre consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) e produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$). A frequência cardíaca (FC bpm), $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}O_2$ (ml.min⁻¹), $\dot{V}O_2$ (ml.kg⁻¹.min⁻¹), ventilação ($\dot{V}E$ L.min⁻¹) do TCR foram analisadas em médias móveis de 8 ciclos respiratórios, respiração-a-respiração e pela regressão linear. No TDD, a média foi aplicada do 3º ao 15ºmin dos degraus. Na análise estatística foram utilizados o teste de Kolmogorov-Smirnov, ANOVA, *post hoc* de Tukey-Kramer e regressão linear, $p < 0,05$. Resultados: No pico do exercício houve diferença estatisticamente significante entre respiração-a-respiração e demais metodologias. Na comparação de protocolos: $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$ foram similares entre LAV e degrau 1 ($p > 0,05$), porém $\dot{V}O_2$ relativo foi diferente ($p < 0,05$) entre LAV e todos os degraus; a FC mostrou diferença ($p < 0,05$) entre LAV e degrau 3, e na análise entre os três degraus houve diferença ($p < 0,05$). Conclusão: Os resultados indicam que a regressão linear foi eficaz para estimar as variáveis cardiorrespiratórias. Em relação aos protocolos, verificou-se que para a obtenção no TDD de valores cardiorrespiratórios similares ao LAV do TCR foi necessário diminuir a potência em 30%.

Palavras-chave: limiar de anaerobiose ventilatório, exercício físico, teste em degrau, teste em rampa, frequência cardíaca.

ABSTRACT

Comparison of Cardiorespiratory Responses Between Constant and Incremental Load Exercises Below, Above and at the Ventilatory Anaerobic Threshold

Objective: To apply different analytical methodologies to data from continuous ramp tests (CRT) and discontinuous step tests (DST), and compare responses from cardiorespiratory parameters. Method: Eight men performed spirometric tests on an electrically braked cycle ergometer: CRT increasing from 20 to 25 W.min⁻¹ and DST in 15-min steps, each based on the ventilatory anaerobic threshold (VAT) for CRT. Step 1 was 70% VAT; step 2, 100% VAT; and step 3, 130% VAT. VAT was determined as loss of parallelism between O₂ uptake ($\dot{V}O_2$) and CO₂ output ($\dot{V}CO_2$). Heart rate (HR, bpm), $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}O_2$ (ml.min⁻¹), $\dot{V}O_2$ (ml.kg.min⁻¹) and ventilation ($\dot{V}E$ L.min⁻¹) values for CRT were obtained as moving averages of eight breath-to-breath respiratory cycles, using linear regression. For DST, means were applied from the third to fifteenth minute of the steps. Statistical comparisons utilized the Kolmogorov-Smirnov test, ANOVA, post-hoc Tukey-Kramer test and linear regression, with significance limit of $p < 0.05$. Results: At peak exercise, there was a statistically significant difference between breath-to-breath and other methodologies. Comparing protocols: $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ and $\dot{V}E$ gave similar results for VAT and step 1 ($p > 0.05$), but $\dot{V}O_2$ was different between VAT and all steps ($p < 0.05$). HR was different between VAT and step 3 ($p < 0.05$). There were significant differences between the three

steps ($p < 0.05$). Conclusions: The results indicate that linear regression was effective for estimating cardiorespiratory parameters. Regarding the protocols, it was found that, to obtain cardiorespiratory responses in DST that were similar to VAT from CRT, the power had to be decreased by 30%.

Key words: ventilatory anaerobic threshold, physical exercise, discontinuous step test, continuous ramp test, heart rate.

INTRODUÇÃO

O limiar de anaerobiose tem sido principalmente determinado através do uso de procedimentos invasivos e não-invasivos durante teste incremental. Esse parâmetro de capacidade aeróbia tem sido identificado por meio da concentração sanguínea de lactato^{1,2} pela determinação de alterações nas trocas gasosas, chamado de limiar de anaerobiose ventilatório (LAV)^{3,4}, pela resposta da frequência cardíaca^{3,5} e/ou pela eletromiografia de superfície⁶.

Atualmente, os mecanismos fisiológicos que envolvem o limiar de anaerobiose ainda não são totalmente compreendidos e estão em discussão^{4,7}. No entanto, para uso prático é útil descobrir como esse parâmetro pode ser utilizado na prescrição de exercício para a população. O limiar de anaerobiose é considerado marcador da transição do metabolismo aeróbio/anaeróbio e tem sido empregado na avaliação da capacidade funcional em níveis submáximos de exercício.

Na literatura é encontrada uma variedade de estudos com diversos tipos de protocolos de avaliação da capacidade funcional, tais como, exercício físico dinâmico do tipo rampa^{6,8}, em degrau^{9,10} e senoidal¹¹. Cada um destes protocolos produz repercussões fisiológicas específicas, sendo desta forma essencial à caracterização minuciosa de suas respostas para a compreensão dos mecanismos envolvidos.

Poucos estudos^{12,13} têm atualmente comparado as mensurações das variáveis cardiorrespiratórias obtidas durante o teste contínuo em rampa com aquelas obtidas durante o teste descontínuo em degrau em intensidades próximas ao LAV.

Além disso, deve-se ressaltar que a mensuração das variáveis cardiorrespiratórias, respiração-a-respiração apresenta um erro sistemático que é inerente às metodologias de análise dos sistemas automáticos. Tal fato pode ser atribuído às flutuações da respiração. Uma explicação para esse fenômeno é que em um pequeno intervalo de tempo uma grande respiração tende a ser seguida por uma pequena, então um grande valor de $\dot{V}CO_2$ tende a ser seguido por um pequeno valor. Essas flutuações não ocorrem de forma equivalente no $\dot{V}O_2$ e por isso não pode ser explicado por uma regressão do $\dot{V}CO_2$ ao $\dot{V}O_2$ ¹⁴. As flutuações são mais facilmente observadas em crianças¹⁵ e tem sido considerado como um “ruído” de origem fisiológica e não o resultado de fatores externos como erros de medidas. No entanto, as flutuações

podem resultar em erros na estimativa de valores das variáveis ventilatórias, inclusive em adultos¹⁴.

Diante do exposto, é importante verificar a intensidade de exercício que corresponde às adequações das respostas cardiorrespiratórias em homeostase ou não, aplicando uma metodologia que respeite as características fisiológicas das variáveis. Isso se torna relevante para prescrever a real intensidade de treinamento físico com carga constante na qual o indivíduo pode atingir a mesma resposta das variáveis cardiorrespiratórias do teste incremental. Assim, os objetivos deste estudo foram: a) aplicar diferentes metodologias de análise das respostas cardiorrespiratórias aos testes contínuo em rampa e descontínuo em degrau. b) comparar as respostas das variáveis cardiorrespiratórias durante o teste incremental tipo rampa com o teste em degraus descontínuos.

Casuística

Após terem assinado o consentimento pós-informado, 8 homens com idade entre 20 e 27 anos participaram desse estudo. Este trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos sob nº 047/03.

A idade e as características antropométricas do grupo estão expressas em média e desvio-padrão, sendo idade = $22,75 \pm 2,25$ anos, massa corporal = $79,33 \pm 10,22$ kg, estatura = $1,82 \pm 0,05$ m e o índice de massa corporal (IMC) = $23,77 \pm 2,0$ kg/m². Todos os voluntários realizavam atividade física, pelo menos, 3 vezes por semana e não apresentavam qualquer evidência de alterações cardiovasculares, como foi observado por exames clínicos e laboratoriais.

MÉTODOS

Procedimentos experimentais

Durante o teste, o consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$), a produção de gás carbônico ($\dot{V}CO_2$) e a ventilação ($\dot{V}E$) foram coletadas continuamente usando um sistema automático respiração-a-respiração (CPX; Medical Graphics, St Paul, Mn, EUA). O sistema foi calibrado antes de cada teste de acordo com as instruções do fabricante. Inicialmente, o oxigênio foi calibrado com o gás de referência na concentração de 12% e dióxido de carbono com o gás de referência em 5% com balanço de nitrogênio, seguido da calibração de volume, utilizando uma seringa de 3,0 L. Os experimentos foram realizados em laboratório climatizado com temperatura

média de 22° C, umidade relativa do ar em torno de 50% e pressão atmosférica de 689 mmHg, as quais foram registradas no *software* do sistema CPX/D.

Os voluntários foram monitorizados na derivação MC5 para a captação do sinal de eletrocardiograma utilizando um monitor cardíaco de um canal, modelo ECAFIX TC-500, e processado por meio de um conversor analógico-digital, modelo Lab-PC+ (National Instruments, Co, Austin, Tx, EUA), o qual apresenta uma interface entre o monitor cardíaco e o microcomputador *Pentium II*. A frequência cardíaca foi obtida a partir dos sinais do eletrocardiograma, pelo cálculo dos intervalos R-R, e mostrada em tempo real, batimento a batimento, sob a utilização de um *software* de processamento digital de sinais¹⁶.

Os testes foram realizados em cicloergômetro de frenagem eletromagnética (Quinton Corival Ergometer 400, Groningen, Holanda) com cadência de 60 rotações por min (rpm). Todos os experimentos foram feitos no período vespertino para eliminar as possíveis influências do ciclo circadiano sobre as respostas cardiorrespiratórias.

Protocolo experimental

As etapas experimentais realizadas pelos voluntários foram:

Teste contínuo em rampa

O protocolo consistia de 1 min em repouso com o voluntário devidamente posicionado na bicicleta, seguido de aquecimento com potência de 4W por 4 min e posterior incremento de potência, que variou de 20 a 25W.min⁻¹, segundo a formula proposta por Wasserman⁴, com objetivo de completar o teste entre 8 e 12 min. O teste seria interrompido quando os voluntários apresentassem fadiga muscular identificada pela perda da manutenção da cadência em 60 rpm, ou atingisse a frequência cardíaca máxima prevista para idade (220 - idade)¹⁷.

Teste descontínuo em degraus

A intensidade do teste descontínuo em degraus foi baseada no limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) identificado no teste contínuo em rampa, sendo o degrau 1 em 70% do LAV, degrau 2 em 100% do LAV e degrau 3 em 130% do LAV. O teste iniciou com 2 min de aquecimento na potência de 4W, em seguida houve o acréscimo da potência pré-estabelecida durante 15 min e 2 min de recuperação ativa na potência de 20W, entre cada teste foi interposto um período variável de repouso até que a frequência cardíaca retornasse aos valores próximos da condição inicial pré-esforço. A ordem de realização do teste contínuo em degrau foi sempre do menor valor de potência para o maior. Na tabela 1 estão apresentados os

Tabela 1. Percentuais dos níveis de potências em Watts (W) em relação ao limiar anaerobiose ventilatório (LAV) dos três testes descontínuos em degraus realizados pelos voluntários (n=8).

VOLUNTÁRIO	TESTE DESCONTÍNUO EM DEGRAUS		
	Degrau 1	Degrau 2	Degrau 3
	70% LAV	100% LAV	130% LAV
1	56	80	104
2	80	114	148
3	78	112	146
4	62	89	116
5	70	100	130
6	85	122	159
7	74	105	137
8	72	103	134
MÉDIA	72,19	103,13	134,06
DP	9,54	13,63	17,72

DP= desvio-padrão

valores de potência em Watts do teste descontínuo em degraus.

METODOLOGIA DE ANÁLISE

Análise visual gráfica

O limiar de anaerobiose foi determinado pela análise visual gráfica realizada por 3 pesquisadores do laboratório. Anteriormente a análise, os pesquisadores foram familiarizados com o sistema ergoespirométrico e com o *software* que fornecia os gráficos dos dados das variáveis obtidas durante os protocolos experimentais. Os critérios para determinação visual gráfica do limiar de anaerobiose ventilatório, assim como o padrão de qualidade aceito nos experimentos foram discutidos e uniformizados para os 3 observadores.

Na análise qualitativa, foi levada em consideração a manutenção da cadência da bicicleta, bem como a presença ou não de artefatos que viessem a prejudicar a identificação do LAV. Para a determinação do LAV, foi selecionado o intervalo da rampa no qual se observou o início da resposta das variáveis ao incremento de potência até o ponto de compensação respiratório, (aumento desproporcional da ventilação em relação à produção de dióxido de carbono) ou até o final do exercício, caso não fosse identificado este ponto. Assim, o LAV foi determinado pela perda de paralelismo entre o $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ desse intervalo. Esse critério coincide com o ponto de inflexão no qual se observa o incremento desproporcional do $\dot{V}CO_2$ ao $\dot{V}O_2$, pelo método do *V-slope*⁴.

Os valores encontrados pelos 3 observadores foram então confrontados e caso houvesse concordância entre eles foram aceitos como o limiar de anaerobiose ventilatório. Caso não fossem concordantes, mas houvesse uma variação de até 1 min nos tempos encontrados seria feita a média desses valores. Se o intervalo de tempo fosse maior que 1 min, um quarto observador seria chamado para compor o grupo, o que não foi necessário em nenhum dos casos analisados. Esse critério foi utilizado para análise dos valores absolutos respiração-a-respiração e para os valores em médias móveis de 8 ciclos respiratórios.

Análise da regressão linear das variáveis cardiorrespiratórias

Para minimizar os efeitos das flutuações respiração-a-respiração aos dados cardiorrespiratórios do teste contínuo em rampa, foi aplicado um modelo de ajuste linear, rotina de análise desenvolvida no *software S-plus* (versão 2000 Professional Release 1)¹⁸, que possibilitou a obtenção de valores referentes a uma região de análise e não somente um único ponto.

Para a análise dos dados respiração-a-respiração no pico de exercício, foram utilizados os 21 últimos valores, ou seja, foi levado em consideração o valor pico mais os 20 valores que o antecederam. Já para os dados no LAV foram considerados os 10 valores anteriores e os 10 valores posteriores

em relação ao ponto em que foi identificado o LAV, totalizando 21 valores também.

A análise em regressão linear foi comparada a médias móveis de 8 ciclos respiratórios e aos dados respiração-a-respiração no maior valor encontrado no pico do exercício e no correspondente ao LAV.

Análise das variáveis cardiorrespiratórias no teste descontínuo em degrau

Para a realização desta análise foram desprezados os 5 min iniciais do teste, que correspondia ao aquecimento e o início do degrau. Então, foi analisado o trecho do 3º ao 15º min do degrau, desse intervalo de 12 min foi calculado a média.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

O teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov foi usado para determinar a distribuição de normalidade das variáveis. A hipótese de normalidade foi aceita para todos os valores. Como todas as variáveis mostraram uma distribuição normal, a análise de variância para medidas repetidas (ANOVA) foi usada para comparar os valores obtidos nos dois protocolos de exercício avaliados com *post-hoc* de Tukey-Kramer. Foi considerado nível de significância de 5%.

RESULTADOS

Os valores das variáveis ventilatórias obtidos a partir das análises respiração-a-respiração, médias móveis de 8 ciclos respiratórios e pelo ajuste de regressão linear no pico e no LAV do teste contínuo em rampa para o grupo estudado (n=8) estão sumarizados na tabela 2. Verifica-se que as variáveis cardiorrespiratórias, no LAV, não apresentaram diferenças estatisticamente significantes entre as 3 metodologias estudadas. No entanto, no pico do exercício, as respostas cardiorrespiratórias apresentaram diferenças estatisticamente significantes entre os valores encontrados respiração-a-respiração com os outros 2 métodos. No presente estudo, os valores encontrados a partir do ajuste de regressão linear ao conjunto de dados das variáveis cardiorrespiratórias do teste contínuo em rampa foram usados para comparação com os dados do teste em degrau.

Ainda em relação ao pico do exercício, os voluntários atingiram a potência de $267,5 \pm 33,56$ W, a frequência cardíaca foi submáxima de 179 ± 11 bpm, baseado na frequência cardíaca máxima preconizada por Karvonen et al.¹⁷ ($220 - \text{idade}$) que seria de 197 ± 2 bpm e $\dot{V}O_2$ relativo de $37,43 \pm 4,11$ ml.kg.min⁻¹ considerado como capacidade funcional razoável segundo *American Heart Association*¹⁹.

As respostas do $\dot{V}O_2$ relativo (ml.kg.⁻¹min⁻¹), $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ (ml.min⁻¹), $\dot{V}E$ (L.min⁻¹) e frequência cardíaca (bpm) mensuradas no LAV, analisados através da regressão linear, e no teste descontínuo em degrau em intensidades próximas ao LAV, estão apresentados na tabela 3. Observa-se que

Tabela 2. Valores de $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ (ml.min⁻¹), $\dot{V}O_2$ relativo (ml.kg.min⁻¹) e $\dot{V}E_{pico}$ (L.min⁻¹) obtidos no pico do teste contínuo em rampa e no limiar de anaerobiose ventilatório (LAV), analisados em respiração-a-respiração, médias móveis de 8 ciclos respiratórios e pelo ajuste da regressão linear.

	RESPIRAÇÃO-A-RESPIRAÇÃO	MÉDIAS MÓVEIS DE 8 CICLOS	REGRESSÃO LINEAR
	RESPIRATÓRIOS		
PICO DO EXERCÍCIO			
$\dot{V}O_2$ pico (ml.min ⁻¹)	3.401,75 ± 407,54	3.031,25 ± 400,06*	2.977 ± 424,84*
$\dot{V}O_2$ relativo pico (ml.kg.min ⁻¹)	42,75 ± 5,28	38,12 ± 3,87*	37,43 ± 4,11*
$\dot{V}CO_2$ pico (ml.min ⁻¹)	4.002,75 ± 405,2	3.667 ± 400,62*	3.619,64 ± 454,3*
$\dot{V}E$ pico (L.min ⁻¹)	119,07 ± 12,82	108,8 ± 9,97*	105,77 ± 11,32*
LAV			
$\dot{V}O_2$ LAV (ml.min ⁻¹)	1.266,62 ± 272,01	1.228,5 ± 153,51	1.225,15 ± 144,76
$\dot{V}O_2$ relativo LAV (ml.kg.min ⁻¹)	15,87 ± 4,517	15,37 ± 2,87	15,38 ± 2,88
$\dot{V}CO_2$ LAV (ml.,min ⁻¹)	1.190,25 ± 252,49	1.147,37 ± 134,3	1.149,98 ± 133,23
$\dot{V}E$ LAV (L.min ⁻¹)	34,23 ± 7,67	33,35 ± 3,94	33,54 ± 4,0

*p < 0,05, ANOVA, em relação a respiração-a-respiração.

o $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, e $\dot{V}E$ e frequência cardíaca não apresentaram diferenças estatisticamente significantes entre o LAV e o degrau 1, no entanto, a frequência cardíaca também não apresentou diferença estatisticamente significativa entre o LAV e o degrau 2. Verifica-se ainda que o $\dot{V}O_2$ relativo apresentou diferença estatisticamente significativa entre todas as situações estudadas. No que se refere às análises entre as variáveis obtidas nos 3 testes descontínuos em degrau observa-se diferenças estatisticamente significantes entre todas elas.

DISCUSSÃO

Há estudos que tentam classificar a população quanto a sua capacidade aeróbia^{19,20} outros equiparar protocolos⁵, porém a utilização de parâmetros diferentes torna difícil a comparação entre eles. Então, surge a necessidade de desenvolver metodologias que possam facilitar esse tipo de análise.

Nesse estudo foi proposta a utilização de regressão linear como ferramenta matemática para a obtenção dos valores das variáveis cardiorrespiratórias, uma vez que a literatura tem considerado tanto o $\dot{V}O_2$ máximo ou pico, ou ainda o LAV apenas como um ponto^{4,21}.

Um fator que se tem observado é que a flutuação da respiração vem sendo reconhecida como um fenômeno fisiológico¹⁴. As variações respiratórias justificariam a aplicação do ajuste por regressão linear pela possibilidade de minimizar

o erro nas medidas das variáveis cardiorrespiratórias devido a esse “ruído”. Se fosse analisado apenas o valor de uma respiração, seria maior a possibilidade de erro, que influenciaria no resultado do estudo. Assim, os resultados deste estudo mostraram que o aumento da variação inspiração/expiração no pico do exercício pode ser minimizado.

Utilizar recursos como a análise de uma região de pontos no pico do exercício ou próximo ao ponto de inflexão dos gases, num teste contínuo em rampa favorece a obtenção de valores de $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$ e frequência cardíaca mais próximos da condição fisiológica. Como um dos objetivos foi a comparação das respostas cardiorrespiratórias do teste incremental com as do degrau, a seleção de 21 pontos para a análise do teste contínuo em rampa possibilitou maior acurácia dos resultados.

Pela análise do $\dot{V}O_2$ respiração-a-respiração, no pico do exercício, os resultados foram semelhantes a trabalhos da literatura 42,77; 43,70¹³ e 40,13²¹ ml.kg⁻¹.min⁻¹. Já pela análise das médias móveis de 8 ciclos respiratórios e pela regressão linear, os resultados foram inferiores (38,12 e 37,43 ml.kg⁻¹.min⁻¹, respectivamente). Caso a confrontação desses resultados fosse realizada sem a identificação dos procedimentos de análise poderia sugerir equiparações equivocadas. Isto é, a capacidade aeróbia dos voluntários poderia ser considerada como boa, caso fosse levado em consideração os resultados da análise respiração-a-respiração,

Tabela 3. Variáveis cardiorrespiratórias em média \pm DP do grupo estudado (n=8) durante o teste contínuo em rampa (TCR) no limiar de anaerobiose ventilatório (LAV) e no teste descontínuo em degrau (TDD) nas intensidades pré-estabelecidas.

	TCR		TDD	
	LAV	Degrau 1	Degrau 2	Degrau 3
$\dot{V}O_2$ relativo				
(ml.kg.min ⁻¹)	15,38 \pm 2,90	13,70 \pm 2,30*	18,23 \pm 3,40* [†]	23,24 \pm 5,0* ^{†‡}
$\dot{V}O_2$				
(ml.min ⁻¹)	1.225,1 \pm 144,70	1.150 \pm 84,10	1.437,10 \pm 173,8* [†]	1839 \pm 216,7* ^{†‡}
$\dot{V}CO_2$				
(ml.min ⁻¹)	1.150 \pm 645,7	1.099 \pm 58	1.383,53 \pm 195,2* [†]	1807 \pm 255* ^{†‡}
$\dot{V}E$				
(L.min ⁻¹)	33,54 \pm 4	33,42 \pm 3,00	43,15 \pm 7,0* [†]	56,40 \pm 11,40* ^{†‡}
FC				
(bpm)	110 \pm 8,3	101 \pm 6,40	118 \pm 10,4 [†]	136 \pm 17,20* ^{†‡}

ANOVA, *p<0,05 em relação a LAV, [†] p<0,05 em relação ao degrau 1, [‡] p<0,05 em relação ao degrau 2.

já pela análise do ajuste de regressão linear eles seriam classificados como razoáveis.

No que se refere à estimativa do LAV a partir das 3 metodologias de análises, os resultados do presente estudo foram similares, mostrando que as flutuações da respiração na região do LAV não interferiram nos resultados.

Usualmente, a estimativa do LAV tem sido feita a partir da análise das variáveis cardiorrespiratórias em teste contínuo em rampa devido ao menor tempo de teste e conseqüentemente de estresse físico. O problema essencial é definir qual parâmetro medido durante um teste contínuo em rampa pode fornecer valores que correspondam a um teste descontínuo em degrau e otimize a prescrição de atividade física.

No presente trabalho o achado mais importante foi o resultado da comparação das variáveis cardiorrespiratórias entre o teste contínuo em rampa e o teste descontínuo em degrau com a utilização de ferramentas matemáticas. Esses resultados são concordantes com Zebalos et al.¹³, que avaliaram indivíduos saudáveis e doentes, e verificaram que as respostas cardiorrespiratórias similares ao LAV do teste em rampa ocorrem em torno de 30% abaixo da potência no teste em degrau. Também utilizando protocolo similar, Matthews et al.¹² reportam que ao pesquisar pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica e indivíduos saudáveis, quando comparada à mesma potência de trabalho, o $\dot{V}O_2$

foi 25% maior no teste contínuo em rampa em relação ao teste descontínuo em degrau. Em trabalhos realizados anteriormente por Kaizer et al.²² foram encontrados valores de potência 20 a 25% inferiores aos testes descontínuos em degrau em relação ao teste em rampa para um $\dot{V}O_2$ similar em homens jovens saudáveis. Já Sirol et al.²³ verificaram que homens de meia-idade saudáveis atingiram valores de potência de 15% a 20% inferiores no teste descontínuo em degrau em relação ao teste em rampa, para frequência cardíaca similar.

Um outro fator que deve ser levado em consideração ao avaliar a resposta da frequência cardíaca no teste descontínuo em degrau foi a similaridade de sua resposta durante os testes do degrau 1 e 2 em relação ao teste em rampa no nível do LAV. Esse resultado deve ser considerado ao prescrever a atividade física tendo em vista que as variações do $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ e $\dot{V}E$ foram similares somente em relação ao degrau 1, que corresponde a 30% abaixo da potência do LAV do teste em rampa. Assim, se o treinamento físico aeróbio for baseado apenas na resposta da frequência cardíaca o mesmo estaria sendo realizado em nível acima do LAV para as demais variáveis.

Diante do exposto, verifica-se que é necessário fazer os ajustes, na intensidade do exercício em relação as variáveis ventilatórias e metabólicas para uma prescrição adequada, pois caso contrário pode ocorrer uma superestimação nos

valores dessas variáveis e uma exigência de trabalho maior dado às características específicas do protocolo de avaliação e de treinamento, ou uma subestimação da capacidade aeróbia do indivíduo.

CONCLUSÃO

Os resultados do presente trabalho indicaram que a regressão linear apresentou uma melhor acurácia na definição das variáveis cardiorrespiratórias, uma vez que essa metodologia reduz o erro de medidas referentes às flutuações fisiológicas da respiração.

Em relação à comparação do teste contínuo em rampa e teste descontínuo em degrau observou-se que para alcançar valores similares de $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$ e frequência cardíaca foi necessário uma redução em 30% na potência de trabalho. Sugere-se, portanto, a adequação dos protocolos de treinamento do tipo degrau com redução da potência em 30% para se obter uma zona de trabalho em torno do LAV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Duvillard SP. Exercise lactate levels: simulation and reality of aerobic and anaerobic metabolism. *Eur J Appl Physiol* 2001; 86: 3-5.
- Myers J, Ashley E. Dangerous curves. A perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. *Chest* 1997; 111(3): 787-95.
- Sakabe DI. Quantificação do limiar de anaerobiose durante exercício dinâmico em homens de meia-idade: análise da resposta de variáveis cardiorrespiratórias e musculares [Fisioterapia]. São Carlos - SP: Universidade Federal de São Carlos - UFSCar; 2004.
- Wasserman K. Principles of exercise testing & interpretation: including pathophysiology and clinical applications. 3 ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 1999.
- Hofmann P, Bunc V, Leitner H, Pokan R, Gaisl G. Heart rate threshold related to lactate turn point and steady-state exercise on a cycle ergometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994; 69(2): 132-9.
- Hanon C, Thepaut-Mathieu C, Hausswirth C, Le Chevalier JM. Electromyogram as an indicator of neuromuscular fatigue during incremental exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998; 78(4): 315-23.
- Wasserman K. The Dickinson W. Richards lecture. New concepts in assessing cardiovascular function. *Circulation* 1988; 78(4): 1060-71.
- Scheuermann BW, Tripple McConnell JH, Barstow TJ. EMG and oxygen uptake responses during slow and fast ramp exercise in humans. *Exp Physiol* 2002; 87(1): 91-100.
- Arnaud S, Zattara-Hartmann MC, Tomei C, Jammes Y. Correlation between muscle metabolism and changes in M-wave and surface electromyogram: dynamic constant load leg exercise in untrained subjects. *Muscle Nerve* 1997; 20(9): 1197-9.
- Saunders MJ, Evans EM, Arngrimsson SA, Allison JD, Warren GL, Cureton KJ. Muscle activation and the slow component rise in oxygen uptake during cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(12):2040-5.
- Haouzi P, Fukuba Y, Casaburi R, Stringer W, Wasserman K. O₂ uptake kinetics above and below the lactic acidosis threshold during sinusoidal exercise. *J Appl Physiol* 1993; 75(4): 1683-90.
- Matthews JI, Bush BA, Ewald FW. Exercise responses during incremental and high intensity and low intensity steady-state exercise in patients with obstructive lung disease and normal control subjects. *Chest* 1989; 96(1): 11-17.
- Zeballos RJ, Weisman IM, Connery SM. Comparison of pulmonary gas exchange measurements between incremental and constant work exercise above the anaerobic threshold. *Chest* 1998; 113(3): 602-11.
- 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.
- Potter CR, Childs DJ, Houghton W, Armstrong N. Breath-to-breath "noise" in the ventilatory and gas exchange responses of children to exercise. *Eur J Appl Physiol* 1999; 80: 118-124.
- Silva E, Catai AM, Trevelin LC, Guimarães JO, Silva Júnior LP, Silva LMP, et al. Design of a computerized system to evaluate the cardiac function during dynamic exercise. In: *Annals of the World Congress on Medical Physics and biomedical engineering*; 1994; 1994. p. 409.
- Karvonen JJ, Kentala E, Mustala O. The effect of training on the heart rate, a longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn* 1957; 35: 307.
- S-Plus. User's Guide, Data Analysis Products Division, Math Soft. Seattle: WA; 2000.
- American Heart Association: Exercise testing and training of apparently health individuals. A handbook for physicians 1972: 15.
- Neder JA, Nery LE, Peres C, Whipp BJ. Reference values for dynamic responses to incremental cycle ergometry in males and females aged 20 to 80. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164: 1481-1486.
- Catai AM, Chacon-Mikahil MP, Martinelli FS, Forti VA, Silva E, Golfetti R, et al. Effects of aerobic exercise training on heart rate variability during wakefulness and sleep and cardiorespiratory responses of young and middle-aged healthy men. *Braz J Med Biol Res* 2002; 35(6):741-52.
- Kaizer AS, Marães VRFS, Merkle DS, Sakabe DI, Oliveira L, Catai AM, et al. Determination of the anaerobic threshold by different physical exercise protocols. In: XXXVIII Congresso da Sociedade Brasileira de Fisiologia - SBFIS & XXI Congresso da Associação Latino American de Ciências Fisiológicas - ALACF; 2003 01 a 04 de setembro de 2003; Ribeirão Preto - SP; 2003. p. 152.
- Sirol FN, Sakabe DI, Catai AM, Milan LA, Martins LEB, Silva E. Comparison of power output and heart rate at the anaerobic threshold as determined by two indirect methods. *Braz J Phys Ther* 2005; 9(2): 211-218.