

LIMIAR DE VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA E RESPOSTA DO LACTATO SANGUÍNEO EM EXERCÍCIOS DE CARGA CONSTANTE

HEART RATE VARIABILITY THRESHOLD AND BLOOD LACTATE RESPONSE DURING CONSTANT LOAD EXERCISES

Carolina Zanatta*
Karin Ayumi Matsushigue**
Fábio Yuzo Nakamura***
Fernando Roberto De-Oliveira****

RESUMO

Este estudo objetivou determinar a resposta da concentração sanguínea de lactato e da variabilidade da frequência cardíaca durante exercícios realizados abaixo, acima e na carga de limiar da variabilidade da frequência cardíaca (LVFC). Quinze sujeitos realizaram um teste progressivo para a determinação do LVFC e três testes de carga constante (CC) nas cargas 0,5 kp acima (Ac-LVFC), 0,5 kp abaixo (Ab-LVFC) e no LVFC. O LVFC correspondeu à primeira carga de trabalho que apresentou o SD1 inferior a 3 ms. As concentrações sanguíneas de lactato no 15º minuto de exercício nos testes Ac-LVFC, LVFC e Ab-LVFC foram de $7,5 \pm 3,5$, $4,4 \pm 3,0$ e $2,4 \pm 1,0$ mmol.l⁻¹, respectivamente. Na carga Ac-LVFC, 25% dos sujeitos apresentaram estabilização, 64% no LVFC e 93% no Ab-LVFC. Os resultados apontam que o LVFC pode estar em intensidade acima do primeiro limiar de lactato.

Palavras-chave: Variabilidade da frequência cardíaca. Limiar anaeróbio. Lactato.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o interesse pelo estudo da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) em situações de esforço físico tem aumentado, especialmente na análise da influência da intensidade de exercício sobre a VFC, na expectativa da compreensão da relação entre o esforço físico e a atividade autonômica.

A análise espectral dos intervalos R-R (domínio da frequência) em exercícios de carga constante acima e abaixo do primeiro limiar ventilatório (LV₁) apontou que o indicador da atividade simpática aumenta significativamente na intensidade de 110% do LV₁ (YAMAMOTO; HUGHSON; PETERSON, 1991). Tulppo et al. (1996) verificaram em exercícios progressivos uma redução do desvio-padrão instantâneo

(domínio do tempo), denominado de SD1, que representa a variabilidade dos intervalos R-R sucessivos, determinada pela retirada vagal e por uma maior estimulação simpática. Os autores apontam ainda que na carga de LV₁ a modulação vagal sobre a atividade cronotrópica praticamente inexistente. Alonso et al. (1998) observaram em testes progressivos uma redução da VFC na fase inicial do exercício e uma tendência à manutenção dos valores a partir do LV₁. Assim, estes estudos indicam que a partir do LV₁ a influência vagal sobre o cronotropismo cardíaco é mínima, com o concomitante aumento da atividade simpática.

Em seguida, outros estudos verificaram a relação entre limiares da VFC determinados por diferentes métodos e o LV₁, identificando similaridades entre os valores e/ou correlação

* Integrante do Grupo de Pesquisa em Rendimento Esportivo, Pontifícia Universidade Católica do Paraná-PUCPR.

** Professora Dra. do Grupo de Pesquisa em Rendimento Esportivo, Educação Física, Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR/UUEL.

*** Professor Dr. do Centro de Educação Física e Esporte - Grupo de Estudo das Adaptações Fisiológicas ao Treinamento, Universidade Estadual de Londrina-UUEL.

**** Professor Dr. do Núcleo de Estudos do Movimento Humano, Universidade Federal de Lavras – UFLA.

significativa entre estas variáveis (ANOSOV et al., 2000; COTTIN et al., 2006). Cottin et al. (2006) demonstraram que também o segundo limiar ventilatório (LV_2) poderia ser determinado a partir da análise da VFC no domínio da frequência.

Lima e Kiss (1999) identificaram a relação entre o limiar de VFC e o primeiro limiar, determinado a partir da concentração sanguínea de lactato. Neste estudo, os autores utilizaram o índice SD1 em protocolos de esforço progressivo e verificaram que, ao atingir valores de aproximadamente 3ms, havia uma alteração no padrão de resposta do SD1. Dessa forma, sugeriram que a primeira carga que apresentasse valores inferiores a 3ms corresponderia a um limiar de VFC (LVFC), que apresentou correlação com o limiar determinado pela razão entre a concentração de lactato e carga de trabalho.

Os limiares ventilatórios e de lactato refletem processos metabólicos que, em geral, estão no mesmo domínio fisiológico e procuram discriminar intervalos de intensidade de esforço de acordo com a contribuição glicolítica. A atividade glicolítica é diretamente influenciada pelo aumento de catecolaminas (SCHNEIDER; McLELLAN; GASS, 2000) como reflexo do aumento da atividade autonômica simpática.

Assim, se de fato o LVFC é uma referência do primeiro limiar de transição, é esperado que a manutenção do exercício com carga constante correspondente ao LVFC não produza uma elevação da concentração sanguínea de lactato, mantendo-se em valores próximos ao repouso (RIBEIRO, 1995), e que o SD1 permaneça próximo aos 3ms. Em contrapartida, em cargas superiores ao LVFC espera-se a estabilização tardia da concentração sanguínea de lactato acima dos valores de repouso, ou um aumento contínuo até a interrupção do esforço, caso se ultrapasse o segundo limiar de lactato (HECK et al., 1985). Neste caso, espera-se também que o SD1 apresente valores inferiores a 3ms, indicando uma maior modulação simpática e, conseqüentemente, um aumento da atividade glicolítica, devido a uma maior concentração de catecolaminas (SCHNEIDER; McLELLAN; GASS, 2000).

Em vista disso, o objetivo do presente estudo foi testar essas hipóteses, analisando a

resposta da VFC e da concentração sanguínea de lactato em exercícios de carga constante abaixo, acima e no LVFC.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sujeitos

Participaram deste estudo 15 indivíduos adultos de ambos os sexos, sendo oito mulheres e sete homens saudáveis, com a idade média de 21 ± 2 anos. Não houve restrição quanto ao nível de condicionamento físico; portanto, participaram indivíduos sedentários e fisicamente ativos em diferentes especialidades, sendo que nenhum dos avaliados fazia uso de medicamentos que pudessem interferir na atividade cronotrópica cardíaca.

Todos os sujeitos foram informados dos procedimentos do estudo e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido antes do início dos testes. O projeto foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética da PUC-PR (nº do processo 625).

Procedimentos

Os participantes compareceram ao laboratório em 4 dias diferentes com um intervalo mínimo de 48 horas entre os testes. Na primeira ocasião, foram submetidos a um teste progressivo, com carga inicial de 0,5 kp (29 W) e incrementos de 0,25 kp (15 W) a cada minuto até a exaustão, para a determinação do LVFC. Na segunda etapa de avaliação foram realizados três testes de cargas constantes (CC), em dias diferentes e em seqüência aleatória, com um intervalo máximo de dez dias entre o primeiro teste CC e o último. Os testes CC consistiram em pedalar por 15 minutos na carga correspondente ao LVFC, identificada no teste anterior; na carga de 0,5 kp acima do LVFC (Ac-LVFC) e na carga de 0,5 kp abaixo do LVFC (Ab-LVFC). Em todos os testes os sujeitos mantiveram a frequência no pedal de 60 rpm. A duração máxima de 15 minutos foi escolhida para minimizar o desconforto dos participantes, os quais se queixaram de testes de 30 minutos de duração em estudo-piloto.

Todos os testes foram realizados em um cicloergômetro para membros inferiores da

marca Cefise (Nova Odessa, Brasil) e no mesmo período do dia. Em todos os testes os sujeitos portaram um cardiofrequencímetro Polar, modelo S810i (Kempele, Finlândia), para o registro dos intervalos R-R. Os registros R-R foram analisados pelo programa *Polar Precision Performance*, sendo todos os dados de VFC determinados pela análise dos intervalos R-R no domínio do tempo, pela plotagem de Poincaré, como valores de desvio-padrão instantâneo das diferenças entre uma série de batimentos sucessivos (SD1), para cada minuto. O LVFC foi identificado como a primeira carga de trabalho na qual se observou valor de VFC menor que 3ms (LVFC) de acordo com o método proposto por Lima e Kiss (1999). O índice SD1/SD2 foi determinado pela razão entre o desvio-padrão instantâneo (SD1) e o desvio-padrão de longo prazo (SD2), ambos obtidos pela plotagem de Poincaré.

Durante os testes de CC, amostras de sangue (aproximadamente 20 µl) foram obtidas do lóbulo da orelha no 7°, 9°, 11°, 13° e 15° minutos de exercício para a verificação da resposta da concentração sanguínea de lactato ao longo do tempo. As amostras de sangue foram imediatamente decantadas em fita de análise (Roche – Alemanha) para a determinação da concentração sanguínea de lactato em lactímetro portátil da marca Accusport (Boehringer-Mannheim, Alemanha).

Sobre os valores de lactato sanguíneo de cada sujeito foi ajustada uma função linear e através dos coeficientes obtidos foram determinados os valores preditos para a 10° e 15° coletas sanguíneas e, a partir disso, o delta de lactato (ΔLac) foi obtido, correspondendo à diferença entre esses valores preditos. De acordo com Heck et al. (1985), uma diferença inferior a 1 mmol.l⁻¹ entre a coleta do 10° e do 30° minutos do teste é o critério para verificação do estado estável da concentração sanguínea de lactato. No presente estudo, considerando-se a menor duração total do exercício, foi assumida a ocorrência de estabilidade do lactato quando os valores de ΔLac foram inferiores a 0,40 mmol.l⁻¹, correspondente à média de variação do lactato entre o 10° e o 30° min observada por Beneke (2003) em condição de estabilização do lactato. Sobre os valores de FC batimento a batimento

para cada carga foi realizado um ajuste monoexponencial ($FC = A \cdot (1 - e^{-(\text{tempo}/\text{tau})}) + C$), onde A corresponde ao coeficiente de amplitude, tau à constante de tempo e C à linha de base. Foi assumido que houve estabilização da FC ao final do exercício quando a diferença (delta) entre o valor predito da FC para o 15° e para o 10° min foi menor que 0,5 bpm (PERRY et al., 2001).

Análise estatística

Para a análise de todas as variáveis obtidas foi utilizada a estatística descritiva com a determinação de média e do desvio-padrão, como medidas de tendência central e dispersão dos dados. Para a comparação das variáveis entre as cargas Ab-LVFC, Ac-LVFC e no LVFC foi realizado o teste estatístico ANOVA para medidas repetidas, considerando a análise de esfericidade. Quando detectada diferença estatística, foi realizado o teste *post hoc* de Tukey. Para todas as análises foi assumido o nível de significância de 5%.

RESULTADOS

Teste progressivo

Na Tabela 1 estão apresentados os valores da média e do desvio-padrão de variáveis obtidas através do teste progressivo, ou seja, a potência máxima atingida na exaustão (P_{máx}), a carga absoluta de LVFC, a carga relativa de LVFC em relação à potência máxima (%P_{máx}) e a frequência cardíaca observada na carga de LVFC (FC-LVFC).

Tabela 1: Resultados no teste progressivo.

P _{máx} (Watts)	LVFC (Watts)	% P _{máx}	FC-LVFC (bpm)
53±197	32±95	15±48	10±135

P_{máx}= Carga máxima atingida; LVFC= carga correspondente ao limiar de variabilidade da frequência cardíaca; %P_{máx}= carga do LVFC relativa a P_{máx}; FC-LVFC= frequência cardíaca observada na carga do LVFC.

No exercício progressivo, a VFC, analisada através do SD1, apresentou um declínio rápido no início do exercício até atingir valores próximos a 3ms, mantendo-se, posteriormente, em valores menores que 2ms (Figura 1).

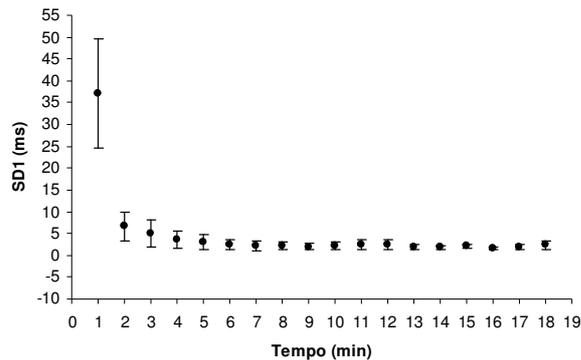


Figura 1. SD1 para cada minuto no teste progressivo.

Testes de carga constante

A carga média correspondente ao esforço Ab-LVFC foi de 66 ± 32 W e do esforço Ac-LVFC foi de 125 ± 31 W. Essas cargas corresponderam a $64 \pm 14\%$ da carga de LVFC para Ab-LVFC e a $136 \pm 14\%$ da carga do LVFC para Ac-LVFC.

Todos os sujeitos completaram os 15 minutos de teste na carga Ab-LVFC. Já no teste Ac-LVFC, três sujeitos do sexo feminino entraram em exaustão antes do término do exercício, e na carga do LVFC, dois sujeitos do sexo feminino também não completaram o teste,

devido à exaustão física. No entanto, para esses sujeitos a carga de 0,5 kp incrementada nos testes de carga constante apresentou, em termos relativos à potência máxima, valores elevados (20% e 25%) em relação aos outros sujeitos e à média geral ($16,18\% \pm 4,93\%$).

Os valores da concentração de lactato sanguíneo no 10° e no 15° minutos e o delta lactato, que corresponde à diferença entre o valor predito do 15° e o valor predito do 10°, estão expressos na Tabela 2. O delta de lactato na carga Ac-LVFC foi significativamente maior do que o delta lactato na carga de LVFC ($p < 0,01$) e na carga Ab-LVFC; no entanto, não foi observada diferença entre o delta lactato entre LVFC e Ab-LVFC ($p=0,29$).

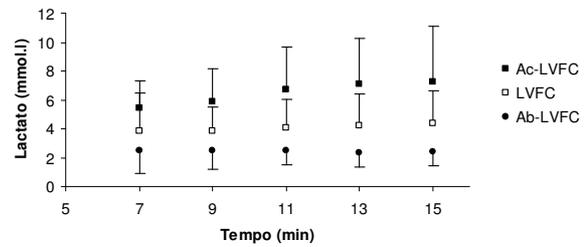


Gráfico 2: Concentração de lactato sanguíneo durante os testes de carga constante.

Tabela 2: Valores preditos de concentração sanguínea de lactato para cada exercício de carga constante.

	Ab - LVFC	LVFC	Ac - LVFC
Lac10°(mmol.l ⁻¹)	$2,7 \pm 1,3^*$	$4,0 \pm 1,7^*$	$6,1 \pm 2,5$
Lac15° (mmol.l ⁻¹)	$1,0 \pm 2,4$	$2,3 \pm 4,4$	$3,5 \pm 7,5$
Δ Lac (mmol.l ⁻¹)	$0,1 \pm 0,6^*$	$0,7 \pm 0,8^*$	$1,6 \pm 1,3$
Δ Lac Máximo	0,8	3,7	4,9
Estabilização (%)	93	64	25

Δ Lac = diferença entre o valor predito do 15° min e do 10° min. Δ Lac Máximo = maior Δ Lac observado em todos os sujeitos. * Diferença significativa com Ac-LVFC ($p < 0,01$)

A Figura 2 representa a concentração sanguínea de lactato para cada instante de coleta nos testes com CC. Observa-se que não ocorreu uma estabilização do lactato na carga Ac-LVFC, e que a média da concentração sanguínea da última coleta nesta carga apresentou valores elevados ($7,5 \pm 3,5$ mmol.l⁻¹). Nas cargas de LVFC e Ab-LVFC, a concentração de lactato aparentemente estabilizou-se. A porcentagem de sujeitos que apresentaram o delta lactato menor que $0,40$ mmol.l⁻¹ e, conseqüentemente, a estabilização do lactato sanguíneo de acordo com o critério adotado, foi elevada na carga Ab-

LVFC (Tabela 2). Considerando-se os valores de lactato separadamente por gênero, tem-se que, para as mulheres, 100% estabilizaram na carga abaixo do LVFC, 57% na carga de LVFC e 20% na carga acima; e para os homens, 86% estabilizaram na carga abaixo, 71% na carga de LVFC e 25% na carga acima do LVFC.

Os valores de SD1 para cada teste de CC estão apresentados na Figura 3. A comparação do SD1 entre as cargas dos testes constantes mostrou diferença significativa do exercício Ab-LVFC em relação às cargas no LVFC e Ac-LVFC ($p < 0,05$). Já entre as cargas Ac-LVFC e LVFC não foi

observada diferença estatística significativa ($p=0,34$). Os valores do comportamento da razão SD1/SD2 e os valores brutos e preditos da FC para cada minuto nos exercícios de carga constante estão representados nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

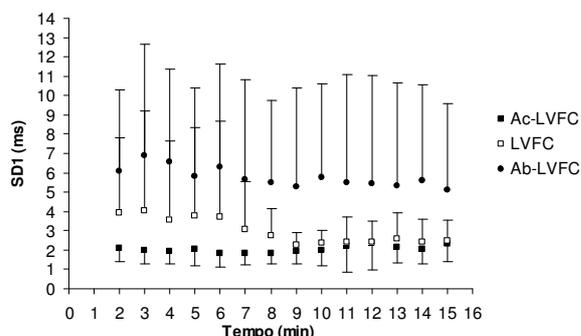


Gráfico 3: SD1 de cada minuto nos testes de carga constante.

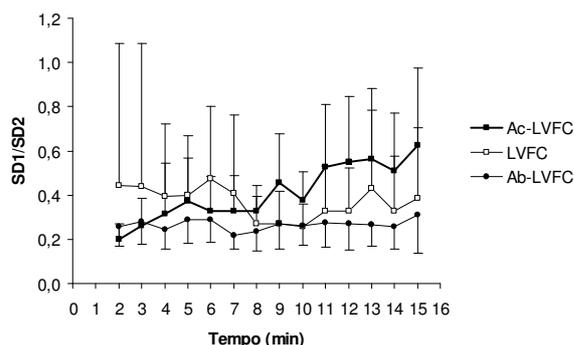


Gráfico 4: Razão sd1/sd2 de cada minuto nos testes de carga constante.

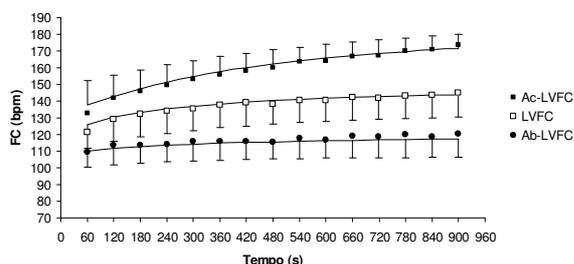


Gráfico 5: Média e desvio-padrão dos dados brutos da FC (símbolos) a cada minuto de exercício para todas as cargas e média dos valores preditos pela função exponencial (linha contínua).

A Tabela 3 apresenta os dados do ΔFC em todas as cargas, o percentual de sujeitos que apresentaram estabilização dos valores de FC

para cada carga de exercício e os parâmetros do ajuste exponencial, indicando a amplitude de aumento da FC, a velocidade de ajuste da FC e o valor de estabilização da FC (valor assintótico), sendo que para a carga Ac-LVFC este valor não corresponde ao valor de final de exercício, uma vez que não houve estabilização da FC. Considerada separadamente por gêneros, observou-se que a FC estabilizou em 60% das mulheres na carga abaixo do LVFC, 75% na carga de LVFC e 0% na carga acima, enquanto no gênero masculino, 50% estabilizaram na carga abaixo, 16% na carga de LVFC e 0% na carga acima do LVFC.

Tabela 3: Parâmetros do ajuste exponencial sobre os valores brutos de FC e porcentagem de sujeitos que estabilizaram em cada carga nos exercícios de carga constante.

	Ab-LVFC	LVFC	Ac-LVFC
ΔFC (bpm)	$1,8 \pm 1,2$	$2,3 \pm 2,1$	$2,6^* \pm 5,6$
Estabilização %	55	40	0
A (bpm)	10 ± 15	10 ± 28	19 ± 47
Tau (s)	309 ± 291	209 ± 296	127 ± 438
Valor assintótico (bpm)	$30^* \pm 112$	$12^* \pm 146$	$11^* \pm 178$
R^2	$0,26 \pm 0,31$	$0,26 \pm 0,76$	$0,08 \pm 0,90$

ΔFC = diferença da frequência cardíaca entre o valor predito para o 15º e 10º min; estabilização = porcentagem de sujeitos que apresentaram estabilização da FC; A = constante de amplitude; tau = constante de tempo; valor assintótico = soma das constantes A e C. R^2 = Coeficiente de determinação. *diferença significativa com as demais cargas ($p < 0,01$).

DISCUSSÃO

A variabilidade da frequência cardíaca, analisada através do índice SD1, apresentou valores elevados durante o primeiro minuto do teste progressivo (Figura 1), devido a maior influência parassimpática nas cargas iniciais de exercício (ALMEIDA; RICARDO; ARAÚJO, 2005). O grande desvio-padrão apresentado no índice SD1 no primeiro minuto do exercício progressivo (Figura 1) pode estar relacionado à diferença de idade, sexo e nível de condicionamento físico entre os sujeitos avaliados (TULPPO et al., 1996). Nos minutos subsequentes de exercício ocorreu uma redução do SD1 seguida de um platô após atingir valores

de 3ms (Figura 1). Esse resultado concorda com os achados de Lima e Kiss (1999), embora não tenha sido observado um segundo platô com os valores de VFC tendendo a 0 ms, como relatado pelos autores. O argumento fisiológico de uma possível abolição da VFC fundamenta-se na premissa de que na fase máxima do exercício ocorre uma maior estimulação andrenérgica, associada a uma retirada vagal completa - portanto, valores de SD1 iguais a zero. Almeida, Ricardo e Araújo (2005) rejeitaram, em seus estudos, a hipótese de uma completa extinção da VFC no pico de um exercício verdadeiramente máximo.

No teste constante na carga acima do LVFC (Ac-LVFC), os valores de SD1 apresentaram níveis inferiores e estatisticamente diferentes ($p < 0,01$) das cargas no LVFC e Ab-LVFC (Figura 3). No entanto, observa-se que o comportamento do SD1 ao longo do exercício, realizado com uma mesma carga, não se altera entre as intensidades do esforço de maneira representativa; ou seja, os valores de SD1 oscilam em torno de valores mais elevados quanto menor a intensidade de esforço, mas se mantêm relativamente constantes ao longo da duração do exercício para todas as intensidades (Figura 3).

Yamamoto, Hughson e Nakamura (1992), estudando o sistema nervoso autônomo através da VFC no domínio da frequência em relação ao limiar ventilatório, observaram uma acentuada redução parassimpática em cargas abaixo do LV_1 e um aumento simpatoadrenal (noraepinefrina, epinefrina e VFC) em intensidades acima, justificando os maiores valores de VFC em baixas cargas de esforço. Esses dados sugerem que exercícios físicos realizados até o LVFC possuem uma maior proteção vagal sobre o sistema cardiovascular, portanto são úteis na área de reabilitação cardiovascular. Alonso et al. (1998) verificaram o comportamento da VFC em exercício progressivo máximo e concluíram que, em intensidade até o LV_1 , a prática de atividade física é mais segura em relação a riscos cardiovasculares, devido a uma maior atuação protetora parassimpática.

A resposta ao longo do tempo da variável SD1/SD2 nos exercícios de CC aponta comportamentos distintos (Figura 4). Na carga

Ab-LVFC observa-se uma oscilação em torno de um valor inferior a 0,3; na carga de LVFC observa-se que há alteração da resposta com diminuição inicial e posterior aumento. No entanto, ressalta-se que há uma grande variação deste comportamento entre os sujeitos (confirmada pelo maior desvio-padrão), o que não ocorreu nas demais cargas. Por outro lado, na carga Ac-LVFC a razão tende a continuar aumentando ao longo do exercício. Alterações na razão SD1/SD2 podem refletir a ativação simpática (SANDERCOCK; BRODIE, 2006); assim, a resposta diferenciada entre cargas pode ser reflexo da alteração da atividade simpática de acordo com a intensidade do exercício. De acordo com Tulppo et al. (1996), esta variável não muda até o LV_1 e, após, passa a aumentar progressivamente com o incremento de carga.

O estudo de Lima e Kiss (1999) aponta a determinação do LVFC como método não-invasivo para estimar o primeiro limiar de lactato, o que não foi corroborado pelo presente estudo. A possível discordância pode ser decorrente do método para estimar o limiar de lactato adotado pelos autores, uma vez que os incrementos de carga foram realizados a cada minuto, o que pode ter conduzido a uma superestimativa do limiar de lactato, aproximando-se, possivelmente, ao valor do segundo limiar de lactato.

A concentração sanguínea de lactato reflete o balanço entre a taxa de efluxo do lactato do músculo para o sangue e a taxa de remoção do lactato deste compartimento; assim, têm sido apontadas cargas superiores a três minutos para a determinação de limiar de lactato (HECK et al., 1985). De acordo com o estudo de Stockhausen et al. (1997), seriam necessários mais de 2 minutos de carga para um incremento acima de 10 W para a obtenção do estado quase estável do lactato sanguíneo, possibilitando a determinação adequada do limiar de lactato.

Os resultados brutos e preditos da FC apontam que a partir da carga do LVFC pode existir uma mudança na cinética da FC (Figura 5), embora não tenha sido detectada diferença significativa entre as constantes de tempo das três cargas ($p = 0,24$). Vobejda et al. (2006) analisaram a máxima FC constante (FCmc) obtida em protocolos de esforço prolongando em esteira e observaram uma correlação significante

($p < 0,01$) entre as velocidades na FCmc e a máxima fase estável de lactato. Além disso, a FCmc (178 ± 9 bpm) apresentou valores próximos da FC no limiar anaeróbio determinado pelo ponto fixo de 4 mmol.l^{-1} (177 ± 11 bpm). Nesse estudo o método da FCmc foi adequado para estimar o “limiar anaeróbio” em atletas.

Não obstante, no presente estudo, o valor médio da FC encontrado no LVFC (135 ± 10 bpm) foi próximo ao valor de 131 ± 9 bpm relatado por Nakamura et al. (2005) no LVFC, mas inferior ao valor observado na carga de trabalho correspondente ao segundo limiar de lactato (próximo a 170 bpm - CHICHARRO et al., 1999 com ciclistas; DUMKE et al., 2006 com ciclistas) e inferior ao valor observado na carga de máximo estado estável de lactato (163 bpm – FIGUEIRA et al., 2007).

No estudo de Perini et al. (1993) foi observado valor de constante de tempo (210 s) do ajuste da FC abaixo do observado no presente estudo; no entanto, foram avaliados indivíduos transplantados cardíacos que realizaram exercício em intensidade baixa de esforço (50 rpm a 50 W durante 10 min).

Em relação às possíveis diferenças entre gêneros na VFC ou na atividade autonômica não há informações conclusivas. Longo et al. (1995) referem que, apesar de as mulheres apresentarem frequência cardíaca mais elevada, os valores do componente de alta frequência da VFC são maiores, indicando um maior tônus vagal, e Grupi et al. (2001) apontam que a modulação do tônus vagal da frequência cardíaca está aumentada nos indivíduos do sexo feminino de meia-idade e sem evidência de doença, quando comparados com grupo semelhante do sexo masculino. Essa característica poderia justificar o maior número de mulheres que apresentaram estabilização da FC na carga de LVFC. Por outro lado, em relação à porcentagem de indivíduos que apresentaram estabilização do lactato sanguíneo nas cargas referentes ao LVFC, observou-se que não há grande variação entre os gêneros. Não obstante, ressalta-se a necessidade de estudos para confirmar a diferença na atividade autonômica e para verificar a relação desta com a intensidade de esforço em testes progressivos e em cargas constantes.

Que seja de nosso conhecimento, este é o primeiro estudo a analisar o LVFC em relação à resposta de estabilização do lactato sanguíneo em exercícios de CC, enquanto os demais estudos o avaliaram em exercício progressivo e, principalmente, a maioria foi realizada com a determinação do limiar por parâmetros ventilatórios, os quais refletem de maneira indireta os processos metabólicos.

No teste de carga constante correspondente à carga do LVFC, a curva média do lactato sanguíneo apresentou aparente estabilização (Gráfico 2), com pouca variação do lactato após o 10º min de exercício (Tabela 2). Este achado corrobora a relação entre o limiar determinado pela VFC e a resposta metabólica de condição estável da concentração sanguínea de lactato. No entanto, embora outros estudos tenham indicado a possível relação entre a resposta da VFC e o LV₁ (ALONSO et al., 1998; ANOSOV et al., 2000; COTTIN et al., 2006; TULPPO et al., 1996) e o primeiro limiar de lactato (LIMA; KISS, 1999), o presente estudo indica uma possibilidade de proximidade do LVFC, como determinado por Lima e Kiss (1999), com o segundo limiar, uma vez que a carga constante correspondente ao LVFC conduziu a valores de lactato próximos e acima de 4 mmol.l^{-1} para 50% dos sujeitos, e não próximos a 2 mmol.l^{-1} , como seria a expectativa para o primeiro limiar (RIBEIRO, 1995). Valores em torno de 4 a 6 mmol.l^{-1} têm sido observados na carga de máximo estado estável de lactato em exercícios realizados em ciclos ergométricos por sujeitos treinados e que praticam atividade física de maneira recreacional (BENEKE; HUTLER; LEITHAUSER, 2000; BENEKE et al., 2003; FIGUEIRA et al., 2007), reforçando a hipótese de que nossos achados indicam uma possível relação da carga deste limiar da VFC com a maior carga em condição de estabilidade do lactato.

Uma possível interferência do erro de medida na concentração sanguínea de lactato dada pelo lactímetro poderia ser apontada, porém tem sido comprovada a validade do Accusport (FELL et al., 1998; GAMBKE et al., 1997). De acordo com Franchini et al. (2004), o Accusport promove um erro-padrão de estimativa de apenas $0,14 \text{ mmol.l}^{-1}$ em relação ao lactímetro *Yellow Springs 1500 Sport* para

valores de lactato inferiores a 5 mmol.l⁻¹. Além disso, para concentrações entre 4 e 5 mmol.l⁻¹ os valores são muito próximos entre os dois equipamentos; destarte, ainda assim os valores estariam acima do esperado.

A estabilização da concentração sanguínea de lactato na carga correspondente ao LVFC não foi observada em apenas 36% dos sujeitos, sendo esta porcentagem inferior à observada no estudo de Figueira e Denadai (2004), realizado com ciclistas, em que 43% dos sujeitos não apresentaram estabilidade de lactato durante exercício de carga constante correspondente ao limiar anaeróbio, determinado pelo ponto fixo de 3,5 mmol.l⁻¹.

Já na carga constante Ab-LVFC, 93% dos sujeitos apresentaram estabilização do lactato sanguíneo, como esperado, com valores abaixo de 4 mmol.l⁻¹. Além disso, no teste constante Ac-LVFC a curva média do lactato não se estabilizou (Gráfico 2), sendo que o valor médio da última coleta apresentou-se elevado (7,5 mmol.l⁻¹) e o delta lactato teve uma variação maior que 1 mmol.l⁻¹. Esses dados revelam que os sujeitos estavam pedalando em uma intensidade acima do segundo limiar de lactato, embora 25% dos indivíduos tenham apresentando estabilização do lactato sanguíneo nessa carga, indicando que a carga de máximo estado estável de lactato estaria acima da carga ou na carga de Ac-LVFC para estes sujeitos.

Deve-se ressaltar que no presente estudo não foi possível identificar a precisão na estimativa da carga de LVFC em relação ao máximo estado estável de lactato, uma vez que a carga exata de última estabilização de lactato pode estar entre a carga de LVFC e a carga Ac-LVFC.

O critério para determinação de estabilidade da concentração de lactato foi adotado considerando a indicação de que a variação do lactato sanguíneo na condição de máximo estado estável entre o 10º e o 30º min foi de 0,4 mmol.l⁻¹ (BENEKE, 2003). No entanto, os autores concluem que o critério de 1,0 mmol.l⁻¹ após o 10º min é adequado. Se considerados este critério e o valor assintótico observado pelos autores, pode-se obter que a constante de tempo da resposta exponencial da concentração sanguínea de lactato seria próxima a 8 min (bem superior ao observado pelos autores), o que conduziria à diferença aproximada de 0,53

mmol.l⁻¹ entre o 10º e o 15º minutos de exercício. Quando considerado este critério passou-se a observar que 100% dos sujeitos atingiam a estabilização na carga Ab-LVFC, os mesmos 64% no LVFC e 33% na carga Ac-LVFC. Assim, o critério adotado no presente estudo pode ter subestimado a porcentagem de sujeitos em condição de estabilidade do lactato.

No estudo de Stockhausen et al. (1997) a estabilização do lactato foi assumida quando o aumento da concentração sanguínea de lactato foi inferior a 0,1 mmol.l⁻¹.min⁻¹ no intervalo entre o 3º e 9º minutos, enquanto no estudo de Heck et al. (1985) o critério adotado foi de 1,0 mmol.l⁻¹ entre o 5º e o 25º minutos. Dessa forma, pode-se observar que o critério recomendado de Beneke (2003) é mais rigoroso que o de Stockhausen et al. (1997) e menos rigoroso que o de Heck et al. (1985).

A duração de somente 15 minutos foi adotada considerando-se que, independentemente da resposta do lactato sanguíneo, indivíduos sedentários poderiam apresentar desconforto, ou mesmo incapacidade, em manter uma atividade de baixa intensidade por período mais prolongado.

De fato, a duração do exercício, limitada em 15 minutos para a realização do teste no presente estudo, pode ser considerada uma limitação do estudo em identificar a estabilização do lactato, em especial para a carga de maior intensidade. Isso pode significar que respostas definidas como não estáveis seriam identificadas como tais no prolongamento do exercício além dos 15 minutos. Por outro lado, Beneke (2003) identificou constante de tempo média de 4,76 min. da resposta de lactato, mas assumiu que este valor é superior ao esperado, o qual seria em torno de 3 minutos; dessa forma, o lactato atingiria valor similar ao valor assintótico em torno de 12 minutos.

Por fim, no presente estudo foi observado que há estabilização do lactato sanguíneo para a maioria dos sujeitos na carga correspondente ao LVFC, com valores superiores a 3 mmol.l⁻¹ de lactato sanguíneo para a maioria dos sujeitos e de SD1 próximos a 3ms, e que, em cargas correspondentes a 136% do LVFC, não houve estabilização do lactato sanguíneo para a maioria dos sujeitos; portanto, há indicativos de que o LVFC não corresponda ao primeiro limiar

de lactato. No entanto, outros estudos são necessários para identificar a relação entre o LVFC e máximo estado estável de lactato e o segundo limiar de lactato. Também é necessário

verificar a medida através da análise em intervalos menores de carga e em cargas relativas de esforço, envolvendo ainda indivíduos altamente treinados.

HEART RATE VARIABILITY THRESHOLD AND BLOOD LACTATE RESPONSE DURING CONSTANT LOAD EXERCISES

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the blood lactate response and Heart Rate Variability response (VFC) during exercises with constant loads below, above and at the load of heart rate variability threshold (LVFC). Fifteen subjects performed a progressive exercise for LVFC determination and three constant load exercises (CC) in the following loads: 0.5 kp above (Ac-LVFC), 0.5 kp below (Ab-LVFC) and in the LVFC. LVFC was accepted as the first work load associated with VFC lower than 3 ms. Blood lactate values at 15th min in the Ac-LVFC, LVFC and Ab-LVFC loads were, 7.5 (\pm 3.5), 4.4 (\pm 2.3) and 2.4 (\pm 1.0) mmol.l⁻¹, respectively. Twenty five percent of the subjects showed a blood lactate steady-state in Ac-LVFC, 64% at LVFC and 93% in Ab-LVFC. The results showed that the LVFC may be above the first lactate threshold.

Key words: Heart rate variability. Anaerobic threshold. Lactate.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. B.; RICARDO, D. R.; ARAÚJO, C. G. S. Variabilidade da frequência cardíaca em um teste de exercício verdadeiramente máximo. **Revista da SOCERJ**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 6, p. 534-541, 2005.
- ALONSO, D. O. et al. Comportamento da frequência cardíaca e da sua variabilidade durante as diferentes fases do exercício físico progressivo máximo. **Arquivos Brasileiros Cardiologia**, São Paulo, v. 71, n. 6, p. 787-792, 1998.
- ANOSOV, O. et al. High-frequency oscillations of the heart rate during ramp load reflect the human anaerobic threshold. **European Journal of Applied Physiology**, Heidelberg, v. 83, no. 4-5, p. 388-394, 2000.
- BENEKE, R. et al. Effect of test interruptions on blood lactate during constant workload testing. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 35, no. 9, p. 1626-1630, 2003.
- BENEKE, R. Maximal lactate steady state concentration (MSSL): experimental and modelling approaches. **European Journal of Applied Physiology**, Heidelberg, v. 88, no. 4-5, p. 361-369, 2003.
- BENEKE, R.; HUTLER, M.; LEITHAUSER, R. M. Maximal lactate-steady-state independent of performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 32, no. 6, p. 1135-1139, 2000.
- CHICHARRO, J. L. et al. Physiological parameters determined at OBLA vs. a fixed heart rate of 175 beats x min⁻¹ in an incremental test performed by amateur and professional cyclists. **The Japanese Journal of Physiology**, Tokyo, v. 49, no. 1, p. 63-69, 1999.
- COTTIN, F. et al. Assessment of ventilatory threshold from heart rate variability in well-trained subjects during cycling. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 27, no. 12, p. 959-967, 2006.
- DUMKE, C. L. et al. Heart rate at lactate threshold and cycling time trials. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, Champaign, v. 20, no. 3, p. 601-607, 2006.
- FELL, J. W. et al. Evaluation of the Accusport Lactate Analyser. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 19, no. 3, p. 199-204, 1998.
- FIGUEIRA, T. R. et al. Influence of exercise mode and maximal lactate-steady-state concentration on the validity of OBLA to predict maximal lactate-steady-state in active individuals. **Journal of Sports Science and Medicine**, Belconnen, v. 11, no. 3, p. 280-286, June 2007.
- FIGUEIRA, T. R.; DENADAI, B. S. Relações entre o limiar anaeróbio, limiar anaeróbio individual e máxima fase estável de lactato em ciclistas. **Revista Brasileira de Ciência do Movimento**, Brasília, DF, v. 12, n. 2, p. 91-95, 2004.
- FRANCHINI, E.; MATSUSHIGUE, K.; COLANTONIO, E. et al. Comparação dos analisadores de lactato accusport e yellow springs. **Revista Brasileira Ciência Movimento**, Brasília, DF, v. 12, n. 1, p. 39-44, 2004.
- GAMBKE, B. et al. Multicenter evaluation of a portable system for determining blood lactate. **The Journal of Laboratory Medicine**, Berlin, v. 21, n. 5, p. 250-256, 1997.
- GRUPI, C. J.; MORAES, R. S. Variabilidade da frequência cardíaca. Conceito e utilidade clínica. In: RAMIRES, J. A. F.; OLIVEIRA, S. A.; MOFFA, P. J.; SANCHES, P. C. R. (Org.). **Eletrocardiograma Normal e Patológico**. 7ª ed. São Paulo: Ed. Roca Ltda, 2001, p. 839-868.
- HECK, H.; MADER, A.; HESS, G. et al. Justification of the 4 mmol/l lactate threshold. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 6, p. 117-130, 1985.
- LIMA, J. R. P.; KISS, M. A. P. D. M. Limiar de variabilidade da frequência cardíaca. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, Londrina, v. 4, n. 1, p. 29-38, 1999.
- LONGO, A.; DANIEL, F.; CORREIA, M. J. Variabilidade da frequência cardíaca. **Revista Portuguesa de Cardiologia**, Lisboa, v. 14, n. 3, p. 241-262, 1995.
- NAKAMURA, F. Y.; AGUIAR, C. A.; FRONCHETTI, L. et al. Alteração do limiar de variabilidade da frequência cardíaca após treinamento aeróbio de curto prazo. **Motriz**, Rio Claro, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2005.
- PERINI, R. et al. Kinetics of heart rate and catecholamines during exercise in humans. The effect of heart denervation. **European**

- Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v. 66, no. 6, p. 500-506, 1993.
- PERRY, S. R. et al. Heart rate and ratings of perceived exertion at the physical working capacity at the heart rate threshold. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Champaign, v. 15, no. 2, p. 225-229, 2001.
- RIBEIRO, J. P. Limiares metabólicos e ventilatórios durante o exercício. Aspectos fisiológicos e metodológicos. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, São Paulo, v. 64, p. 171-181, 1995.
- SANDERCOCK, G. R.; BRODIE, D. A. The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, Copenhagen, v. 16, no. 5, p. 302-313, 2006.
- SCHNEIDER, D. A.; McLELLAN, T. M.; GASS, G. C. Plasma catecholamine and blood lactate responses to incremental arm and leg exercise. **Medicine and science in sports and exercise**, Madison, v. 32, no. 3, p. 608-613, 2000.
- STOCKHAUSEN, W. et al. Stage duration and increase of work load in incremental testing on a cycle ergometer. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v. 76, no. 4, p. 295-301, 1997.
- TULPPO, M. P. et al. Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics exercise. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 271, no. 40, p.44-252, 1996.
- VOBEJDA, C. et al. Maximal constant heart rate: a heart rate based method to estimate maximal lactate steady state in running. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 27, p. 368-372, 2006.
- YAMAMOTO, Y.; HUGHSON, R. L.; NAKAMURA, Y. Autonomic nervous system response to exercise in relation to ventilatory threshold. **Chest**, Chicago, v. 101, p. 206-210, 1992. Supplement.
- YAMAMOTO, Y.; HUGHSON, R. L.; PETERSON, J. C. Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. **Journal of Applied Physiology**, Washington, D. C., v. 71, no. 3, p. 1136-1142, 1991.

Recebido em 06/11/2007

Revisado em 08/05/2008

Aceito em 03/06/2008

Endereço para correspondência: Karin Matsushigue. Educação Física, PUC-PR. Rua Imaculada Conceição, 1155, Prado Velho, CEP 80215-901, Curitiba-PR, Brasil. E-mail: amkarin@gmail.com