
Revisão

Variabilidade da frequência cardíaca: método não-invasivo de avaliação do limiar ventilatório

Heart rate variability: non invasive method of ventilatory threshold evaluation

André Lopes*, Vinicius Dias*, Giovani dos Santos Cunha*, Álvaro R. de Oliveira*, Cintia Stocchero**

**Laboratório de Pesquisa do Exercício (Lapex) da Escola de Educação Física (ESEF) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, **Laboratório de Pesquisa do Exercício (Lapex) da Escola de Educação Física (ESEF) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Escola de Educação Física do Centro Universitário Metodista IPA da ESEF, Porto Alegre*

Resumo

A intensidade de trabalho é uma das principais variáveis do planejamento e aplicação do treinamento físico. Diversos métodos são usados para quantificar este esforço, a frequência cardíaca é um método comumente utilizado para determinação da intensidade de exercício, utilizando-se para isso a estimativa da frequência cardíaca máxima a partir da equação $220 - \text{idade}$, esta equação gera a frequência cardíaca máxima e o percentual desta é usado para prescrição do treinamento. A ergoespirometria e os limiares de lactato são amplamente utilizados com a pretensão de mesurar a intensidade do exercício. Contudo, o uso destas técnicas é questionado tendo em vista as possíveis variações individuais, custo alto devido aos equipamentos e necessidade de capacitação técnica bem desenvolvida. A possibilidade de utilização da frequência cardíaca para a determinação dos níveis de intensidade de exercício de uma forma não invasiva e criteriosa é importante para diminuir custos financeiros. Oscilações que ocorrem entre intervalos R-R ou entre dois batimentos cardíacos instantâneos são chamadas de Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC), sendo que este método é utilizado no meio clínico para detecção de distúrbios cardíacos. Recentes investigações demonstram que a VFC pode ser utilizada para avaliar o controle neural sobre o coração de maneira muito precisa. Desta forma, o uso da variabilidade da frequência cardíaca durante exercício físico pode ser uma alternativa para determinação dos limiares de intensidade do exercício. O objetivo desta revisão é identificar a possibilidade da utilização da variabilidade da frequência cardíaca como um marcador de intensidade de exercício físico.

Palavras-chave: frequência cardíaca, treinamento físico, eletrocardiograma.

Abstract

Exercise intensity is one of the main variables in planning and implementing physical training. Many methods are used to quantify this exercise intensity. Heart rate is a commonly used method to determine it, which is generally done by estimating maximum heart rate from the equation $220 - \text{age}$. Maximal oxygen consumption and lactate threshold are widely used in order to measure exercise intensity. However, these techniques present limitations as they are exclusive to laboratory and demand expensive equipments. Using heart rate for determining precisely exercise intensity would be easier and less expensive than the above techniques. Variations that occur between RR intervals or between two consecutive heart beats are called heart rate variability (HRV) and have been used in the clinical set for detection of cardiac disorders. Recent investigations have showed that HRV can be used to evaluate heart's neural control in a very accurate way. Moreover, heart rate variability utilization during exercise can be an alternative method for determining exercise intensity. This review intends to clarify if heart rate variability may be used as an exercise intensity marker.

Key-words: heart rate, physical training, electrocardiogram.

Introdução

O limiar anaeróbio é um dos métodos mais utilizados, tanto como indicador de desempenho físico quanto na prescrição do treinamento. Existem diversas evidências de que o limiar anaeróbio (LAN) [1] correlaciona-se melhor com o desempenho de esportes de característica contínua e prolongada do que o consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) [2]. O LAN é considerado o ponto no qual ocorre um desequilíbrio entre a produção e a remoção do lactato [3]. Existem muitos métodos, tanto invasivos como não-invasivos para a determinação do LAN, porém não existe um consenso internacional sobre qual o melhor método de determinação [4]. Os métodos invasivos requerem várias coletas de sangue e tanto o ponto no qual ocorre um aumento abrupto das concentrações de lactato como o aumento não linear deste mesmo metabólito têm sido utilizados para a determinação do LAN, necessitando ainda inspeção visual das curvas plotadas [5,6]. Outros definem um valor específico de lactato sanguíneo, como 2,0; 3,0 [5,7] ou 4 mmol [7,8]. Uma crítica que geralmente é feita aos métodos de concentrações fixas é que os mesmos não levam em conta o princípio da individualidade do atleta, superestimando a intensidade de limiar de lactato. Além disso, trata-se de um método invasivo e com custo elevado.

Esta crítica encontra suporte no estudo de Baptista *et al.* [9] no qual foi verificado que o método fixo de 4 mmol.L⁻¹ superestima as variáveis fisiológicas de remadores, como a frequência cardíaca [10], lactato e potência quando comparado com o método D_{máx} (sigla do termo em inglês maximal distance), que respeita a individualidade biológica.

Uma opção para a resolução deste problema foi apresentada por Wasserman *et al.* [11] os quais desenvolveram um método de determinação de LAN a partir de variáveis ventilatórias, uma técnica não-invasiva e de baixo custo financeiro. Este estudo demonstrou que as concentrações de lactato apresentam uma forte correlação com a ventilação, em função do tamponamento dos íons hidrogênio pelo íon bicarbonato e subsequente eliminação na forma de dióxido de carbono pela respiração [12]. Este excesso de dióxido de carbono e uma diminuição do pH estimulam a ventilação, que aumenta de uma forma não-linear. Este mecanismo pode ser avaliado através da inspeção visual gráfica das variáveis como a ventilação (VE), equivalentes ventilatórios (VE/VO_2 e VE/VCO_2), produção de dióxido de carbono (VCO_2) e pela razão de trocas respiratórias VCO_2/VO_2 (R) em função do consumo de oxigênio ao longo do teste [4,11,12]. Assim através deste método é possível identificar o LV_1 e LV_2 que são cargas de trabalho associadas ao primeiro e ao segundo aumento não linear da ventilação. Onde as intensidades de exercício entre o LV_1 e LV_2 compreendem a zona aeróbia e as intensidades acima de LV_2 corresponde à zona anaeróbia. Outros estudos têm proposto a determinação do LAN através da R, no entanto, ainda não existe um consenso sobre qual o valor que a R pode assumir, seja ele fixo ou variável. Adicio-

nalmente, vários estudos em nosso laboratório demonstram a necessidade de utilização de uma técnica de determinação de limiar mais simples e de menor custo financeiro [9,13], visto que os equipamentos de ergoespirometria custam entre R\$40.000 e R\$100.000, além da necessidade de pessoal especializado.

Na expectativa de reduzir os custos e buscando facilitar sua aplicabilidade, utiliza-se a frequência cardíaca [10] para a determinação da intensidade de exercício físico. O uso da FC é baseado em equações, as quais são baseadas em estimativas da frequência cardíaca máxima, com a utilização das fórmulas (220-idade) ou (210-idade x 0,65), estas, por sua vez, estão sujeitas a um desvio padrão de aproximadamente ± 12 bpm, comprometendo muitas vezes o treinamento para pacientes que necessitam de controle mais preciso pela presença de arritmia, hipertensão arterial, isquemia, etc. Um método que utiliza a frequência cardíaca para determinação do primeiro limiar com boa precisão é o déficit de pulso, esta técnica que consiste na realização de períodos de 8 minutos de exercício em carga constante e no cálculo do somatório do número de batimentos dos quatro minutos finais, menos o somatório dos quatro minutos iniciais [14]. Apesar de este método estar correlacionado com o primeiro limiar ventilatório (LV_1), a necessidade de vários períodos de 8 minutos de exercício torna o método pouco prático, além de não demonstrar correlação com o segundo limiar ventilatório (LV_2), sendo uma técnica muito pouco difundida no ambiente de prescrição de treinamento [14].

Entretanto, a variedade de métodos trouxe sua contribuição ao meio esportivo e clínico, por outro aspecto causou certa confusão na literatura. Diferentes autores denominaram os mesmos fenômenos fisiológicos de diferentes maneiras ou denominaram diferentes fenômenos com a mesma nomenclatura. Além deste problema conceitual, existe a necessidade de equipamentos, utilização de equações matemáticas, dispêndio financeiro, subjetividade e/ou mão-de-obra especializada, por tudo isso o acesso à identificação dos limiares se tornou muitas vezes impossibilitado, principalmente do ponto de vista prático.

A busca por um método que possa contemplar a avaliação do exercício físico se faz justificada por todos os motivos acima citados, desta forma propomos a variabilidade da frequência cardíaca (VFC), como método de avaliação dos limiares ventilatórios. Portanto, este artigo de revisão busca subsídios teóricos na literatura para viabilizar a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) como método de identificação do esforço durante a prática de exercício físico.

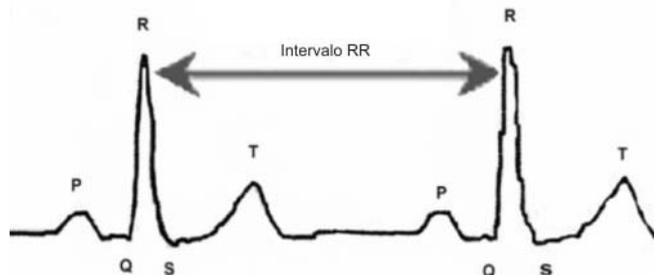
Variabilidade da frequência cardíaca

O controle neuroendócrino, que orquestra a máquina cardíaca, apesar de bastante preciso, não garante que o intervalo entre dois ciclos cardíacos seja idêntico [10]. As oscilações que ocorrem entre intervalos R-R (intervalo entre um ponto R

e outro no eletrocardiograma) ou entre dois ciclos cardíacos instantâneos, são chamadas de Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) [10,15,16]. Tais oscilações têm aplicação clínica por apresentarem correlação inversa com o risco de morte por doenças cardiovasculares, ou seja, quanto maior a VFC em repouso menor o risco de morte [17].

O cálculo da VFC é feito a partir dos intervalos R-R do sinal eletrocardiográfico, os quais são registrados batimento a batimento utilizando o recurso eletrocardiográfico ou frequencímetros portáteis. A Figura 1 mostra o momento exato do intervalo R-R, o qual é usado para calcular a VFC.

Figura 1 - Representação do intervalo RR no eletrocardiograma.



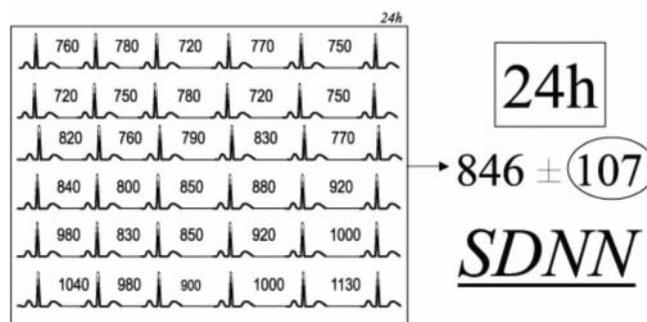
A Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) trouxe enorme avanço à pesquisa científica nessa área de investigação, sendo que hoje a VFC é empregada, diversificadamente, em investigações sobre a função autonômica cardíaca em áreas como, a doença de Chagas [18], o diabetes mellitus [19], a insuficiência cardíaca, o pós-infarto do miocárdio [20], a doença pulmonar obstrutiva crônica [21] entre outras; além de ser aplicada na avaliação de atletas e não-atletas durante programas de treinamento físico [22] durante atividades físicas corriqueiras do dia-a-dia [23].

A VFC representa as interações ocorridas principalmente entre o sistema nervoso simpático e parassimpático no controle da frequência cardíaca, sendo um indicador não-invasivo do controle neural sobre o coração [10].

Os cálculos para determinação da VFC são realizados através de métodos no domínio da frequência, do tempo e métodos não lineares. Os métodos do domínio da frequência analisam a VFC com base no fato de a plotagem dos intervalos R-R frente ao tempo ter um caráter ondulatório, gerando assim uma onda que se assemelha a uma função senoidal [24]. A onda gerada pode ser decomposta através de modelos matemáticos em diferentes períodos de frequência. Estes períodos de frequência são divididos em alta frequência (HF) que varia de 0,4 a 0,15 Hz, baixa frequência (LF) de 0,15 a 0,04 Hz e de muito baixa frequência (VLF) que é considerada < 0,04 Hz. O período HF representa a modulação parassimpática, acredita-se que a LF represente a modulação simpática e que a VLF esteja associada à resposta termorregulatória e ao sistema renina-angiotensina [25].

A principal limitação desta análise do domínio da frequência é a necessidade de um sinal estacionário, sem grandes

oscilações, pois esse método não consegue determinar como ocorrem as variações ao longo do tempo [26]. Os métodos do domínio do tempo avaliam a dispersão da duração dos intervalos R-R em relação à média de determinado período. Os mais utilizados são o desvio padrão da média dos intervalos R-R do período (SDNN), a raiz quadrada da média dos intervalos R-R sucessivos, e o número de intervalos R-R com diferença sucessiva maior que 50 milissegundos (NN50) [17]. Esses índices estão intimamente associados aos do domínio da frequência. Fronchetti [16] avaliou homens jovens e aparentemente saudáveis em diversos índices do domínio do tempo e da frequência e constataram que houve forte correlação entre os índices do domínio do tempo com a banda LF ($r = 0,8$) e principalmente com banda HF ($r = 0,9$) [16]. A correlação entre domínio do tempo e o componente LF do espectro de frequência ainda está indeterminado. Alguns autores sugerem que domínio do tempo estaria associado somente ao componente HF, o que seria uma limitação do método [17,26]. Outra possibilidade de avaliação da VFC é a utilização de uma combinação entre domínio do tempo e da frequência. Nesse método é realizada uma divisão (janelamento) do espectro em períodos curtos e a densidade do espectro é calculada para cada um dos períodos. Assim existe a possibilidade de detectar como ocorrem as oscilações ao longo do tempo nas diferentes bandas de frequência, evitando a necessidade de um sinal estacionário [26]. A Figura 2 descreve os intervalos R-R no período de 24 horas.



Variabilidade de frequência cardíaca e exercício físico

Estudos recentes têm demonstrado que a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) pode ser utilizada para avaliar o controle neural sobre o coração [17]. Outras investigações mostram que em exercício progressivo a VFC diminui conforme ocorre o aumento da carga de trabalho. O ponto onde a redução passa a ser significativamente menor que o repouso está relacionado ao 1º limiar Ventilatório. O exercício físico progressivo causa alterações bem características no controle neurovegetativo da FC, tornando-o uma ferramenta importante para avaliar as respostas deste sistema a diferentes níveis de estresse fisiológico, através da VFC [17]. No início do exercício, há uma retirada parassimpática que é responsável pelo aumento inicial da FC. Em cargas mais elevadas

este aumento se dá pela ativação do sistema simpático, que é desencadeado principalmente por quimiorreflexos musculares [27]. Apesar de a retirada progressiva do sistema parassimpático ser consenso na literatura, o aumento da estimulação simpática sobre o coração nas cargas mais elevadas ainda gera algumas controvérsias [17].

Alguns estudos indicam que o comportamento da VFC em exercício parece estar de acordo com essas alterações da modulação autonômica [1,10,16,23]. Em estudo realizado com mulheres diabéticas em um teste progressivo em cicloergômetro, a VFC diminuiu progressivamente até estabilizar-se em um valor menor que o de repouso. Foi demonstrado também que a intensidade onde houve essa estabilização foi um pouco menor que a intensidade onde foi identificado o primeiro limiar ventilatório. Os autores acima denominaram esse ponto de limiar de atividade vagal (threshold of vagal activity, TVA), pois consideraram que esse ponto representa a completa redução da atividade vagal no exercício com carga progressiva. Resultado semelhante foi obtido por Lewis [28] em indivíduos jovens e saudáveis, em que foi constatada uma redução significativa na VFC conforme o incremento da carga e encontraram uma correlação significativa entre a carga em que a VFC atingiu 50 % do valor inicial e a carga máxima dos indivíduos no teste, sugerindo a possibilidade de utilização deste índice como indicador da carga máxima de trabalho.

Cottin *et al.* [15] mostram que a VFC diminuiu significativamente frente ao aumento da intensidade de exercício. Identificou-se ainda que elevações na frequência respiratória promovem reduções da VFC [15]. Parece haver também uma somação dos efeitos, pois a diminuição da VFC é visivelmente mais acentuada quando há aumento simultâneo nas duas variáveis. Apesar de a redução ocorrida na VFC em exercício, percebe-se claramente a manutenção de um pico na banda HF do espectro de frequência.

A frequência onde esse pico ocorre coincide com a frequência respiratória demonstrando uma associação entre estas, que pode ser oriunda da arritmia sinusal respiratória. A frequência respiratória aumentada durante o exercício constitui-se então em um dos prováveis mecanismos responsáveis pela redução da VFC em exercício.

Recentemente Cottin *et al.* [29] confirmaram seus achados anteriores, a redução da VFC, avaliando-a no domínio tempo-frequência, mas identificaram reduções mais significativas no exercício realizado com carga acima do 2º limiar ventilatório comparado ao exercício realizado com carga abaixo do 2º limiar ventilatório. Além disso, verificaram diferenças entre a densidade do período LF e da HF nas duas situações. Em exercício abaixo do 2º limiar mostraram maior prevalência da banda LF, enquanto que houve maior prevalência da densidade da banda HF quando os valores foram normalizados (expressos como um percentual do total da VFC). Os autores sugerem que essa diferença de prevalência possa ser utilizada para identificar cargas acima e abaixo do 2º limiar, sugerindo que a razão LF/HF seja um indicador dessa alteração [29].

Avaliando indivíduos idosos, Perini *et al.* [30] mostraram resultados semelhantes, demonstraram que a densidade do espectro da banda LF mantém-se constante até aproximadamente 40 % do VO_{2pico} nos homens e 80% do VO_{2pico} dentre as mulheres, diminuindo progressivamente conforme incremento da carga. A densidade do espectro da banda HF, por outro lado, apresentou um aumento linear desde o início do exercício. Os comportamentos diferentes apresentados pela banda HF e LF sugerem uma clara modificação do controle cardiovascular durante o exercício. Diferentemente da situação de repouso do período HF não corresponde à atividade vagal em exercício, estando nitidamente associada a alterações ocorridas na ventilação conforme incremento da carga, enquanto que o período LF apresenta comportamento mais compatível com a resposta parassimpática ao exercício, sendo um indicador deste mecanismo durante o exercício físico [30].

Baseando-se nesse comportamento, Cottin *et al.* [31] investigaram a possibilidade de determinação dos limiares ventilatórios através da VFC. Avaliando atletas profissionais de futebol, em um protocolo com carga progressiva em esteira rolante, foram comparadas as velocidades encontradas no 1º e 2º limiar ventilatório (LV_1 , LV_2) com as velocidades do LV_1 e LV_2 do componente de alta frequência (HFT), respectivamente, e não encontraram diferenças significativas. O HFT foi calculado multiplicando-se a densidade total do espectro da banda HF pelo pico do espectro deste período. Os autores propõem que a correlação encontrada se deve a forte correlação existente entre o FHF e a arritmia sinusal respiratória [15].

Realizou-se uma investigação em indivíduos não-treinados e com uma metodologia de cálculo da VFC diferente, mas encontraram também correlação significativa entre o LV_2 e o segundo limiar de VFC ($r = 0,94$). Constataram também forte correlação entre o componente HF do espectro de frequência e a ventilação, sugerindo também que a arritmia sinusal respiratória justifique essa correlação [32].

O comportamento da VFC foi bastante semelhante nas análises realizadas no domínio do tempo. Alonso *et al.* [33], utilizando um protocolo de exercício num cicloergômetro com carga progressiva, verificaram a resposta da VFC através do cálculo do desvio padrão da média dos intervalos R-R de cada minuto, e encontraram como resultado uma diminuição progressiva da VFC até um valor estável e significativamente menor do que o de repouso.

Outro método do domínio do tempo que tem sido estudado é a plotagem de Poincaré, que consiste na plotagem de um intervalo R-R frente ao anterior [17,34]. Os índices derivados desse método associam-se também aos limiares ventilatórios, mas há divergências sobre qual o ponto de corte adequado à determinação do limiar [35].

Analisando os resultados desses diferentes estudos é possível perceber, que apesar de a diversidade de protocolos de exercício e diferentes métodos de análise da VFC utilizados, todos observaram que a VFC diminuiu progressivamente,

conforme ocorre o aumento da carga. Esse comportamento da VFC assemelha-se ao comportamento da atividade parassimpática em exercício com carga progressiva, apresentando uma diminuição progressiva. No entanto, essa resposta da VFC em exercício físico progressivo não condiz com a elevação na atividade simpática que é desencadeada frente ao exercício.

Polanczyk *et al.* [1] realizaram um estudo utilizando bloqueio parcial e total da modulação autonômica em situação de repouso e de exercício e verificaram o comportamento da VFC nos domínios do tempo e da frequência. Encontraram diferenças significativas na resposta da VFC apenas após o bloqueio parassimpático e o bloqueio duplo em situação de repouso. Em exercício não foram constatadas diferenças significativas, apesar de uma pequena tendência a diminuição após bloqueio parassimpático e bloqueio duplo. Com base nesses resultados sugerimos que a atividade simpática não pode ser detectada pela VFC e que, no exercício físico, a resposta da VFC não representa a modulação autonômica do coração, sofrendo grande influência de fatores não neurais [1].

Resultados apresentados por De Vitto [36] reforçam essa afirmação, pois demonstram que a inibição central do sistema simpático, através de infusão de moxonidina, não afeta a VFC analisada no domínio do tempo e da frequência em situação de repouso e de exercício em estado estável a 65 % do $VO_{2\text{máx}}$ [36]. A exceção foi o índice SD2 da plotagem de Poincaré que teve uma redução significativa no exercício realizado sob ação da moxonidina comparada ao placebo, comportamento que pode ser parcialmente explicado por uma inibição indireta da moxonidina da atividade vagal. A resposta hormonal também foi avaliada, na tentativa de avaliar a eficácia da inibição simpática central. A concentração de noradrenalina teve menor aumento, durante o exercício, comparado ao grupo placebo, mas como não houve efeito sobre a VFC conclui-se que sua influência sobre a VFC não é significativa [36]. No entanto, o fato de a concentração de adrenalina não ter influência pode ter confundido essa conclusão, tendo necessidade de mais investigações sobre o tema. Durante a recuperação pós-exercício há a possibilidade de se estimar a modulação autonômica do coração, mas em exercício essa relação ainda gera controvérsias [37]. Verificou-se a existência de diferenças no comportamento da VFC no domínio da frequência, dependendo da forma como é expressa. Em valores absolutos percebe-se claramente uma diminuição da densidade total do espectro da VFC e uma diminuição da banda HF. No entanto, quando os valores são normalizados ou expressos em valores percentuais, há uma manutenção do HF e uma diminuição do LF. Há indícios de que a banda VLF aumente significativamente nas cargas mais elevadas. Tais constatações reforçam as dúvidas existentes sobre se a VFC representa as modulações autonômicas em exercício.

Sandercock *et al.* [38] ao realizarem uma revisão sobre o assunto constataram que durante exercício a VFC não representa a modulação autonômica da FC, pois há estímulos não neurais atuando, principalmente a arritmia sinusal respi-

ratória que tem grande influência na banda HF do espectro de frequência.

Dewey *et al.* [39] sugere que o significado fisiológico da VFC em repouso não pode ser aplicado à situação de exercício, pois há grande influência de fatores não neurais (metaboreflexos, distensão atrial e oscilações mecânicas na caixa torácica oriundas da ventilação). O significado fisiológico do comportamento da VFC em exercício pode ser inclusive oposto ao da situação de repouso. Em estudo avaliando 1335 indivíduos idosos, houve uma forte correlação inversa entre altos índices de VFC em exercício com carga progressiva e morte por causas cardiovasculares, contrariando a correlação existente em repouso [39].

No entanto, há necessidade de levar em consideração o fato de que o nível de aumento da FC em exercício pode influenciar na resposta da VFC, o que pode ser um fator de confusão na interpretação dos resultados de Dewey [39]. Sugere-se esse cuidado, pois a VFC é avaliada a partir dos intervalos R-R subsequentes e há uma relação inversa entre FC e os intervalos R-R. O aumento da FC durante o exercício diminui os intervalos R-R e conseqüentemente diminui a VFC. Por isso, indivíduos que apresentem menores alterações na resposta da FC em exercício tendem a apresentar maiores índices de VFC [39].

Estudo realizado recentemente avaliou atletas de futebol de categoria juvenil e mostrou ser possível a identificação do 2º limiar da frequência cardíaca em todos os sujeitos. Os resultados deste estudo demonstram que o L2VFC, identificado na carga em que a média de VFC (quando calculada pela Plotagem de Poincaré, imbutida no frequencímetro) é inferior a 2 ms está em intensidade similar ao L2VFC, sugerindo ser um método promissor para a identificação do L2VFC [40]. Assim sendo os autores deste estudo especulam que o comportamento da VFC, supostamente, corresponde aos limiares de transição fisiológicas, tradicionalmente identificados por mudanças no comportamento de variáveis ventilatórias, concentração de lactato sanguíneo, FC, dentre outras variáveis [40].

Conclusão

Apesar de o significado fisiológico da VFC estar relacionado principalmente na identificação de anormalidades dos processos cardíacos, as alterações da VFC em resposta exercício progressivo nos sugerem que haja relação entre os limiares ventilatórios e a VFC. A possibilidade de se avaliar os LVs utilizando a VFC tornaria a identificação das zonas de treinamento muito mais práticas e menos dispendiosas, o que popularizaria o método e faria com que a precisão da prescrição da intensidade se tornasse muito mais eficiente. Assim, sugerimos a VFC como método de avaliação da condição cardiorrespiratória e, desta forma, proporcionando uma ferramenta não-invasiva, de baixo custo e de fácil aplicação para quantificação do esforço e prescrição precisa da intensidade do exercício físico.

Referências

- Polanczyk CA, Rohde L, Moraes R, Ferlin EL, Leite C, Ribeiro JP. Sympathetic nervous system representation in time and frequency domain indices of heart rate variability. *Eur J Appl Physiol* 1998;79:69-73.
- Bosquet L, Leger LLP. Methods to determine aerobic endurance. *Sports Med* 2002;32:11:675-700.
- Brooks G. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17;1:22-34.
- Solberg G, Robstad B, Skjonsberg OFB. Respiratory gas exchange indices for estimating the anaerobic threshold. *J Sports Sci Med* 2005;4:29-36.
- Yeh MP, Gardner RM, Adams TD, Yanowitz FG, Crapo R. Anaerobic threshold: problems of determination and validation. *J Appl Physiol* 1983;55;4:1178-86.
- Beaver WL, Wasserman K, BJ. W. Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J Appl Physiol* 1985;59;6:1936-40.
- Heck H, Mader A, Hess G, Mucke S, Muller RWH. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 1985;6;3:117-30.
- Urhausen A, Weiler B, W. K. Heart rate, blood lactate, and catecholamines during ergometer and on water rowing. *Int J Sports Med* 1993;Suppl 1:20-3.
- Baptista RR, Oliveira L, Figueiredo G, Contieri J, Loss JF, Oliveira AR. Limiar de lactato em remadores: comparação entre dois métodos de determinação. *Rev Bras Med Esporte* 2005;11:247-250.
- Pascoal MA, Volanti VM, Pires CS, FC. F. Variabilidade da frequência cardíaca em diferentes faixas etárias. *Rev Bras Fisioter* 2006;10(4):413-9.
- Wasserman K, McIlroy BM. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol* 1964;14:844-52.
- Wasserman K, Whipp BJ, Koysl SN. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 1973;35;2:236-43.
- Baptista RR, Cunha GS, Oliveira AR. Aspectos fisiológicos e biomecânicos da produção de força podem ser usados no controle do treinamento de remadores de elite. *Rev Bras Med Esporte* 2008;14:427-30.
- Roseguini BT, Narro F, Oliveira AR, Ribeiro. Estimation of lactate threshold from heart rate response to submaximal exercise: the pulse deficit. *Int J Sports Med* 2006;27:1-7.
- Cottin F, Médigue C, Lopes P, Leprêtre PM, Heubert R, Billat V. Ventilatory thresholds assessment from heart rate variability during an incremental exhaustive running test. *Int J Sports Med* 2007;28:287-94.
- Fronchetti L, Nakamura F, Aguiar C. Indicadores de regulação autonômica cardíaca em repouso e durante exercício progressivo: Aplicação do limiar de variabilidade da frequência cardíaca. *Rev Port Cien Desp* 2006;6-1:21-8.
- Moraes Filho R, Ribeiro JP. Variabilidade da frequência cardíaca como instrumento de investigação do sistema nervoso autônomo em condições fisiológicas e patológicas. *JP Rev HCPA* 2005;25(3):99-106.
- Junqueira LF. Ambulatory assessment of cardiac autonomic function in Chaga's heart disease patients based on indexes of R-R interval variation in the Valsalva maneuver. *Braz J Med Biol Res* 1990;23:1091-102.
- Pagani M, Malfatto G, Pierini S, Casati REA. Spectral analysis of heart rate variability in the assessment of autonomic diabetic neuropathy. *J Aut Nerv Syst* 1998;23:143-53.
- Singh N, Mironov D, Armstrong PW, Ross AM, A. L. Heart rate variability assessment early after acute myocardial infarction. *Circulation* 1996;93(7):1388-95.
- Pagani M, Lucini D, Pizzinelli PMS. Effects of aging and chronic obstructive pulmonary disease on RR interval variability. *J Aut Nerv Syst* 1996;59:125-32.
- Shin K, Minamitani H, Onishi S, Yamazaki H, M. L. Autonomic differences between athletes and nonathletes: spectral analysis approach. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29(11):1482-90.
- Paschoal MA, Petrelluzzi KFS, Gonçalves NVO, RV. M. Controle autonômico cardíaco durante a execução de atividade física dinâmica de baixa intensidade. *Rev Soc Cardiol* 2003;5:1-11.
- Oliveira DJ, Gomes MED, Guimarães HN, Aguirre LA. Síntese de sinais de variabilidade da frequência cardíaca baseada em modelagem não-linear. *Rev Bras Eng Biomed.* 2006;22(1):51-62.
- Montano N, Ruscone TG, Porta A, Lombardi F, Pagani M, Malliani A. Power spectrum analysis of heart rate variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt. *Circulation* 1994;90(4):1826-31.
- Mansier P, Clairambault J, Charlotte N, Medigue C, Vermeiren C, Lepape G, et al. Linear and non-linear analyses of heart rate variability: A minireview. *Cardiovascular Research* 1996;31:371-9.
- Victor RG, Seals DR, Mark AL. Differential control of heart rate and sympathetic nerve activity during dynamic exercise. *J Clin Invest* 1987;79:508-516.
- Lewis MJ, Kingsley M, Short AL, Simpson K. Rate of reduction of heart rate variability during exercise as an index of physical work capacity. *Scand J Med Sci Sports* 2007;17:696-702.
- Cottin F, Papelier Y, Escourrou P. Effects of exercise load and breathing frequency on heart rate and blood pressure variability during dynamic exercise. *Int J Sports Med* 1999;20(4):232-8.
- Perini R, Milesi S, Fisher NM, Pendergast DR, Veicsteinas A. Heart rate variability during dynamic exercise in elderly males and females. *Eur J Appl Physiol* 2000;82:8-15.
- Cottin F, Médigue C, Papelier Y, Koralsztein JP, Billat V. Heart rate variability during exercise performed below and above ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36:594-600.
- Anosov O, Patzak, Kononovich Y, Persson P. High-frequency oscillations of the heart rate during ramp load reflect the human anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol* 2000;83:388-94.
- Alonso DE, Forjaz CORL, Braga AM, Barretto AC, Negrão CE, et al. Comportamento da frequência cardíaca e da sua variabilidade durante as diferentes fases do exercício físico progressivo máximo. *Arq Bras Cardiol* 1998;71:787-92.
- Rassi AJ. Compreendendo melhor as medidas de análise da variabilidade da frequência cardíaca. *Jornal Diagnósticos & Cardiologia* 2000;20.
- Tulppo MP, Mäkikallio TH, Seppänen T, Laukkanen T, Huikuri HV. Vagal modulation of heart rate during exercise: effects of age and physical fitness. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 1998;274:424-429.
- De Vito G, Galloway SDR, Nimmo MA, Maas P, McMurray JJV. Effects of central sympathetic inhibition on heart rate

- variability during steady-state exercise in healthy humans. *Clin Physiol Funct Imaging* 2002;22:32-8.
37. Perini R, Veicsteinas A. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *Eur J Appl Physiol* 2003;90:317-25.
 38. Sandercock GRHE, Brodie DA. The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. *Scand J Med Sci Sports* 2006;16:302-13.
 39. Dewey FE, Freeman JV, Engel G, Oviedo R, Abrol N, Ahmed N, et al. Novel predictor of prognosis from exercise stress testing: Heart rate variability response to the exercise treadmill test. *Am Heart J* 2007;153:281-8.
 40. Abad CCC, Barros RV, Oliveira FR, Lima JRP, Pereira B, Kiss MAPD. O segundo platô da variabilidade da frequência cardíaca indica o segundo limiar de transição fisiológica. *Revista Digital Buenos Aires* 2007;12(114).
-