

ANÁLISE ESPECTRAL DA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA NO EXERCÍCIO LEVE E INTENSO EM ATLETAS DE FUTSAL

Rui Leite do Prado¹, **Osmar Vogler**², **Maximilian Kleinübing**³, **Clênio R. Sobreira**⁴
João Luiz Azevedo Carvalho⁵, **Fabiano de Barros Souza**⁶, **Rodrigo A. Lazaro Ozório**⁷
Rodrigo Álvaro B. Lopes Martins⁸

¹⁻²⁻³⁻⁴ Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA - Dept^o Esportes - Pç Mar. do Ar Educado Gomes, 50 Vila das Acácias, 12228-980 – São José dos Campos –SP – Brasil.

e-mail¹ octprado@ita.br, e-mail² vogler@ita.br; e-mail³ maximilian@aev.br e-mail⁴ clenio@aev.br
⁵ Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade de Tecnologia Universidade de Brasília –DF -Brasil
e-mail⁵ carvalho@terra.com.br

⁶⁻⁷⁻⁸ Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento – IP&D – Universidade do Vale do Paraíba. – UNIVAP.
Av Shishima Hifumi 2911 – Urbanova, 12244-000 – São José dos Campos - SP - Brasil.
e-mail⁶ fabiano@univap.br; e-mail⁷ ralo@univap.br e-mail⁸ rlopes@univap.br

Palavras-chave: Análise espectral, frequência cardíaca, atletas, exercício, VFC.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas

Resumo – A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) é método não invasivo que vem sendo utilizado extensivamente para estudar a modulação autonômica cardíaca em repouso e durante exercícios leves e moderados, e pouco estudado em exercícios intensos. O objetivo desse trabalho foi a comparação da modulação autonômica cardíaca em dois períodos: aquecimento (P1) e no exercício intenso (P2) utilizando a análise de distribuição tempo-frequência auto-regressivo que não requer que os sinais sejam estacionários. Intervalo RR e consumo máximo de oxigênio de dez atletas masculinos jovens e bem treinados foram coletados durante dois momentos do teste progressivo de esforço máximo: P1 e P2. O estudo mostrou a prevalência da alta frequência normalizada em contraste com baixa frequência durante exercício intenso, considerando que a distribuição oposta foi observada durante o exercício leve. No entanto, análise da VFC permite distinguir a atividade autonômica entre o exercício leve do exercício intenso. Porém há grandes possibilidades que os determinantes da VFC residual observado no exercício intenso sejam de origem não neural. Entre os determinantes plausíveis, um efeito mecânico de frequência respiratória para o nodo sinoatrial é concebível.

Introdução

A análise espectral da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) é um método não invasivo utilizado para avaliar a modulação autonômica cardíaca [1]. Foi extensivamente estudado em repouso [2, 3, 4] e durante exercício moderado [5], e menos estudado em exercício intenso (i.e, acima do limiar ventilatório).

O exercício tem sido utilizado nas análises do domínio da frequência para delinear a VFC, entretanto tais análises, utilizando-se transformada de Fourier, são executados confiantemente em dados estacionários que não estão presentes em geral durante o exercício.

O objetivo desse trabalho é a comparação da modulação autonômica cardíaca em dois períodos: aquecimento (P1) e no exercício intenso (P2) utilizando a análise de distribuição tempo-frequência auto-regressivo (ATFAR) que não requer que os sinais sejam estacionários.

Breve conceito fisiológico da VFC

Em voluntários saudáveis a análise espectral de períodos curtos, gravações da VFC (3-20min) provê dois picos principais de frequência: um pico de alta frequência (high frequency - HF) corresponde à frequência respiratória, i.e, normalmente entre 0.2 Hz no repouso chegando até aproximadamente 1Hz durante exercício intenso. Esse fenômeno é conhecido como “arritmia sinus respiratória” (ASR). O aumento da potência HF é o resultado principalmente de mudanças na proteção baroreflexa induzida pelo efeito mecânico da respiração [6] é mediado pela atividade cardíaca do sistema nervoso parassimpático [7, 8].

Outro pico pode ser encontrado no componente de baixa frequência (low frequency - LF) (próximo de 1 Hz). Na atualidade admite-se que esta variabilidade LF é induzida pelos dois controles cardiovasculares: sistema nervoso simpático e parassimpático [1, 7, 8].

O padrão da respiração tem um forte efeito sobre a VFC-HF em indivíduos em repouso com a energia espectral na banda HF decrescendo quando a frequência respiratória (FR) aumenta e aumentando quando o volume corrente (VC) aumenta. O efeito da intensidade do exercício em padrão respiratório também é bem conhecido. Em baixos níveis de exercício, aumentar a intensidade de trabalho acarreta um aumento somente na FR com VC permanecendo constante [9]. Além disso, durante exercício incremental, um aumento no tônus simpático e interrupção da atividade parassimpática foram associadas com uma redução tanto nos componentes LF quanto HF quando frequência cardíaca (FC), FR e VC aumentaram [5]. Contudo, o controle cardiovascular autonômico não é o único mecanismo que induz VFC. Por exemplo, estudos prévios de pacientes com transplante de coração mostraram um desaparecimento da VFC em repouso, devido à completa desnervação cirúrgica [10]. Porém, durante exercício, a VFC apareceu inesperadamente e foi relacionado ao efeito respiratório [10]. Embora, a retirada vagal seja conflitante com um incremento em HF, a hiperventilação induzida por exercício intenso poderia ser o resultado de efeito mecânico no nodo sinoatrial, induzindo a um aumento em HF [10.]

Material e método

Foram avaliados dez indivíduos atletas de futsal categoria juvenil da região de São José dos Campos - SP, com $9 \pm 2,89$ anos de prática da modalidade. Eles apresentavam uma frequência cardíaca de repouso de 65 ± 8 batimentos por minuto e, um consumo máximo de oxigênio estimado ($VO_2 \text{ max}$) maior que $56 \pm 10 \text{ ml. (kg. min)}^{-1}$

Estavam livres de doenças cardíacas e pulmonares. Todos os indivíduos foram informados das características deste estudo e aceitaram participar voluntariamente, conforme determina a resolução 196/96 do CNS e aprovado pelo comitê de ética da instituição.

Antropometria. Peso e altura foram mensurados antes de teste. Cinco medidas (tricipital, subescapular, supra-ilíaca, abdominal e panturrilha média) foram utilizadas para quantificar o percentual de gordura subcutânea como determina a padronização e a fórmula de Guedes [11]. As características antropométricas dos voluntários estão sumarizadas na Tabela 1

Tabela 1- Características físicas dos atletas de futsal (AFS).

AFS	Idade	Altura	Peso	cinco dobradas
N=10	(anos)	(cm)	(kg)	(%) GR
média	16.70	175.40	65.50	13.09
SD	0.82	5.54	6.05	1.34

SD = desvio padrão; cm = centímetros; kg = quilograma; Σ = somatória; % = percentual; GR = gordura relativa.

A execução do Eletrocardiograma foi monitorizada através do Eletrocardiógrafo Digital (ECGD) e Software ERGO PC ELITE 13 de fabricação MICROMED® - (Brasil - DF). Empregou-se convencionalmente a derivação bipolar CM5 com preparo para 3 derivações colocados na posição convencional do ECG clássico. Simultaneamente à coletas dos sinais elétricos cardíacos (ECG), foram coletados os dados metabólicos através do analisador das variáveis metabólicas Cardiorespiratory Diagnostic Systems (CDS) de marca MEDGRAPHIS® - (USA)

Foi utilizada uma esteira elétrica automática marca INBRASPORT®, modelo Super ATL, para o teste de esforço físico dinâmico contínuo do tipo degraus (TEFDC-D) que iniciou com uma inclinação de 1,5% ficando constante até a exaustão do indivíduo, com incremento de velocidade de 1 km por hora a cada minuto durante o período de aquecimento (P1) e após esse período os acréscimos foram a cada 2 minutos até o final do pico do esforço (P2). Os testes foram realizados em ambiente fechado, com temperatura local mantida entre 19°C e 24°C .

Variabilidade da Frequência Cardíaca. Os registros do ECG foram analisados por um programa denominado de Análise Tempo-Frequência Auto Regressivo (ATFAR) desenvolvido em MatLab 6.5 [12] Algoritmo especialmente para sinais não estacionários. Este programa permite distinguir batimentos normais de artefatos ou batimentos ectópicos, formando uma série temporal dos intervalos R-R normais. Os batimentos não sinusais foram eliminados e para a análise espectral, foi realizada interpolação com "spline" cúbica, com taxa de amostragem a 2Hz e utilizando-se a janela de Hamming.

Foram utilizadas as bandas HF faixa mostrada por ser influenciada principalmente através da atividade do sistema parassimpático e a atividade simpática contribui à banda LF.

A densidade da potência espectral (PSD) foi quantificada pela área correspondente a duas bandas de frequência: LF - 0,04 a 0,15 Hertz (Hz); e HF - 0,15 a 0,4 Hz, como recomendado pela Task Force [1]. Também os componentes LF e HF foram normalizados [5] e expressado em

percentual do total do período da energia espectral (LF+HF) como a seguir:

$$LFn \text{ e } HFn = 100 * LF / (LF + HF)$$

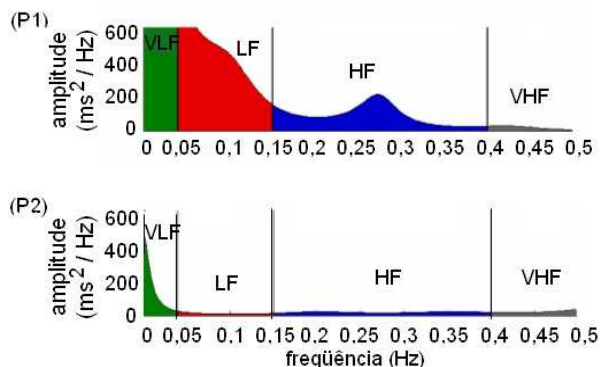


Figura 1. Distribuição do PSD das bandas VLF, LF HF e VHF durante os períodos P1 e P2

Análise estatística. Dados descritivos são apresentados como média e desvio padrão. Os índices no domínio da frequência foram analisados após normalização [5]. A potência espectral foi quantificada pela área correspondente aos intervalos RR gravados. Diferenças entre intervenções foram calculados por análise de variância (ANOVA) e comparação múltipla realizadas após a correção de Bonferroni. Todos os testes realizados e apresentado em um $P < 0,01$ foi considerado significativo.

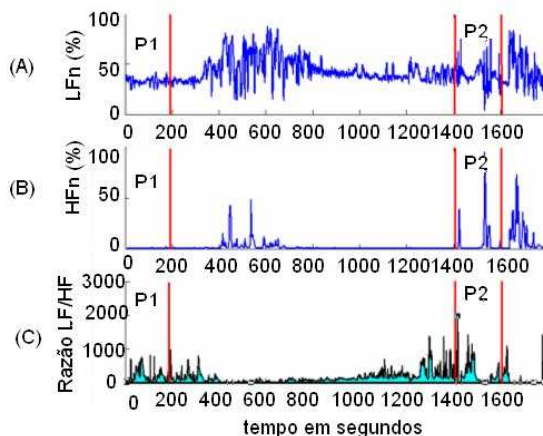


Figura 2. Variação da potência relativa em função do tempo nas bandas LFn (%) em (A), HFn (%) em (B) e da razão LF/HF em (C). Em destaque P1 refere-se a atividade leve (período de aquecimento), P2 refere-se ao período de atividade intensa (acima do limiar ventilatório até o pico do exercício).

Resultados

Apresentamos a seguir os resultados da análise espectral. Com base no período do aquecimento (P1), observou-se uma marcada redução da variabilidade da frequência cardíaca no pico do exercício (P2), com diminuição da potência total, assim como dos componentes de baixa e alta frequência (LF e HF) que podem ser observados na Figura 1, citada acima. A Tabela 2 refere-se aos valores médios e desvios padrões das unidades de potência com os respectivos valores de p, enquanto que o histograma (Figura 3) apresenta a distribuição dos dados normalizados do comportamento da modulação autonômica nos dois diferentes níveis de intensidades analisados (P1 e P2).

Tabela 2 Valores médios dos dados LFn, HFn (normalizados) e da razão LF/HF em valores absolutos

unidade	P1	P2	(P1xP2) P-valor
LFn (%)	77 ± 9	39 ± 12	< 0,001
HFn (%)	23 ± 9	61 ± 12	< 0,001
r LF/HF	4 ± 2	0,7 ± 0,4	< 0,001

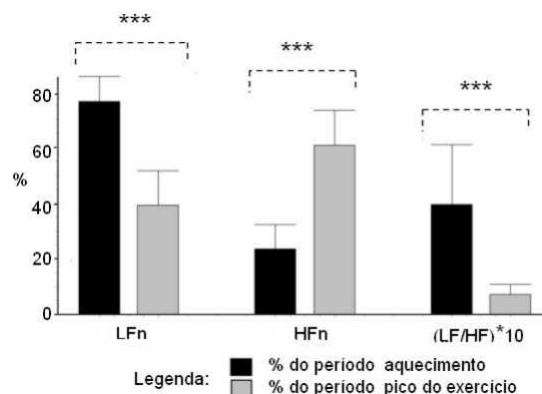


Figura 3. Histograma dos valores LF e HF normalizados e relação de LF/HF (múltiplo de 10) da VFC durante intensidade de exercício leve (P1) versus intensidade de exercício intenso (P2). (***) significa que as diferenças entre dois componentes espectrais são significantes com uma probabilidade de erro de $P < 0.001$.

Discussão

No aquecimento (P1), os dados apresentados mostraram retirada da atividade vagal cardíaca observado pela diminuição da frequência HFn em relação ao LFn. Portanto, grande parte da variabilidade dos intervalos RR (tanto componente de alta frequência quanto o de baixa frequência) em exercício leve de curto tempo (3 min), resultam de retirada da atividade vagal.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por outros investigadores [5].

Uma comparação de LFn e HFn entre P1 versus P2, os resultados invertidos mostraram uma prevalência grande da variabilidade LFn (77%) durante exercício leve comparado com HFn (23%) e prevalência grande da variabilidade de HFn (61%) comparado com LFn (39 %) durante exercício intenso. Em resumo, um principal aumento na frequência respiratória combinada com o desaparecimento do controle autônomo cardíaco poderia explicar a prevalência de HFn comparados com LFn durante condições de exercício intenso, o que nos faz também pensar que existem outros agentes não neurais atuando na modulação espectral da VFC. Esta hipótese esta embasada no estudo clássico de Arai e colaboradores [10].

Foi sugerido que a relação LF para HF reflita o balanço simpático vagal [7]. Este conceito foi discutido amplamente e ainda gera controvérsias [8]. Entretanto, a relação LF/HF foi utilizado neste estudo porque sempre era maior que 1 para P1 e sempre menor que 1 para P2 (Tabela 2). Essa interrupção gradual da relação LF/HF poderia ser correlacionado quando passa do limiar ventilatório² e poderia prover um índices fidedignos para descoberta do limiar da VFC. Porém, mais testes de exercício de resistência são necessários para verificar a utilidade da relação LF/HF como um índice fidedigno para a determinação do limiar ventilatório.

Conclusão

Este estudo mostrou a prevalência de HFn em contraste com LFn durante exercício intenso, considerando que a distribuição oposta foi observada durante o exercício leve (prevalência de LFn comparado com HFn). No entanto, análise da VFC permite distinguir entre o exercício leve do exercício intenso. Porém há grandes possibilidades que os determinantes da VFC residual observado no exercício intenso de origem não neural. Entre os determinantes plausíveis, um efeito mecânico de frequência respiratória para o nodo sinusal é muito concebível.

Referencias

[1] TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY. Heart rate variability: standards of measurement, physiological

interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, v 17, p 1043 -1065, 1996.

[2] HEDELIN, R., G. KENTTTÄ, A. U. WIKLUND, P. BJERLE, and K. HENRIKS-SON-LARSEN. Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. *Med.Sci. Sports Exerc.* v 32: p 1480 –1484, 2000.

[3] PICHOT, V., T. BUSSO, F. ROCHE, et al. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Med.Sci Sports Exerc.* v 34, p 1660 –1666, 2002.

[4] PORTIER, H; LOUISY, F; LAUDE, D; BERTHELOT, M; EZENNEC, C.Y.GU. Intense endurance training on heart rate and blood pressure in runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* v 33, p 1120 –1125, 2001.

[5] MACOR, F; FAGARD, R; AMERY, A. Power spectral analysis of RR interval and blood pressure short-term variability at rest and during dynamic exercise: comparison between cyclists and controls. *Int. J. Sports Med.* v 17, p 175–181, 1996.

[6] TAYLOR, J. A., and D. L. ECKBERG. Fundamental relations between short-term R-R interval and arterial pressure oscillations in humans. *Circulation*, v 8, p 1527–1532, 1996.

[7] ECKBERG, D. L. Sympatho-vagal balance: a critical appraisal. *Circulation*, v 96, p 3224–3232, 1997.

[8] PAGANI, M., F. LOMBARDI; GUZZETTI, S; et al. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ. Res.*, v.59, p 178 –193, 1986..

[9] CLARK, J. M., F. C. HAGERMAN, and R. GEFLAND. Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen. *J. Appl. Physiol.* 55:440 –446, 1983.

[10] ARAI, Y., J. P. SAUL, P. ALBRECHT, et al. Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *Am. J. Physiol.* 256:H132–H141, 1989.

[11] GUEDES, D. P. Crescimento, composição corporal e desempenho motor em criança e adolescentes do município de Londrina (PR), Brasil Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1994.

[12]. CARVALHO, L.A.; ROCHA, A.F; JUNQUEIRA Jr., L.F; et al. A Tool for Time-Frequency Analysis

of Heart Rate Variability, 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2574-2577, 2003.