

ANÁLISE DE PADRÕES-GRADIENTES DA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA

Juliana de Mattos Guerra Simões¹, Alderico Rodrigues de Paula Junior², Reinaldo Roberto Rosa³.

^{1,2} Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento /Laboratório de Processamento de Sinais, Av. Shishima Hifumi, 2911 – Urbanova – Cep: 12244-000 – São José dos Campos – SP, jumats_guerra@yahoo.com.br

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais /Laboratório de Computação e Matemática Aplicada, Av: dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja – CEP: 12227-010 - São José dos Campos – SP, reinaldo@lac.inpe.br

Resumo - O Operador de Fragmentação Assimétrica (F_A) é uma técnica eficiente para caracterizar padrões de variabilidade espaço-temporais e faz parte do método de Análise de Padrões Gradientes (GPA). O objetivo deste trabalho é analisar os valores de F_A de séries temporais do intervalo RR do ECG submetidos à liberação miofascial e, fazer posteriormente uma análise complementar com a técnica de *Global Wavelets Spectra* (GWS). Os resultados obtidos até o momento indicam a possibilidade de distinção dos padrões de variabilidade presentes nos sinais das diferentes condições (liberação miofascial e repouso), o que não tem sido possível através de técnicas convencionais, além da possibilidade de investigar a influência dos sistemas simpático e parassimpático nas diferentes condições. Tais resultados se tornam importantes uma vez que a Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC), representada através dos intervalos RR, é considerado um indicador precoce e sensível do comprometimento da saúde, indicando boa ou má adaptabilidade do controle autonômico cardíaco, sendo muito importante no estudo e no diagnóstico clínico de patologias cardiovasculares.

Palavras-chave: Variabilidade da frequência cardíaca, Análise de padrões gradientes, liberação miofascial.

Área do Conhecimento: III - Engenharias

Introdução

A análise de sinais de variabilidade da frequência cardíaca (VFC) é importante quando se estuda o sistema nervoso autônomo, pois ajuda avaliar o equilíbrio entre as influências simpáticas e parassimpáticas no ritmo cardíaco. O ramo simpático do sistema nervoso aumenta a frequência cardíaca, implicando em intervalos mais curtos entre os batimentos. Por sua vez, o ramo parassimpático a desacelera, resultando em intervalos maiores entre batimentos. Assim, a variabilidade da frequência cardíaca pode ser medida com base nos intervalos dos batimentos, os quais são freqüentemente obtidos dos intervalos RR, que são os intervalos de tempo entre duas ondas R consecutivas [1].

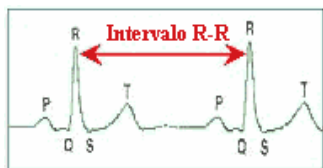


Figura1: Intervalo RR do eletrocardiograma

As variações hemodinâmicas que ocorrem

batimento-a-batimento expressam a resposta fisiológica de uma série de comandos neurohumorais na tentativa de sustentar a função cardiovascular. O coração não tem seus batimentos regulares com intervalos fixos, assim, variações da frequência cardíaca, moduladas principalmente pelo Sistema Nervoso Autônomo (SNA), são normais e esperadas em indivíduos saudáveis [2]. Alterações nos padrões de VFC provem um indicador precoce e sensível do comprometimento da saúde. Uma alta variabilidade na frequência cardíaca é sinal de boa adaptabilidade, implicando em um indivíduo saudável com os mecanismos de controle autonômicos funcionando bem. Por outro lado, uma baixa variabilidade é freqüentemente indicadora de adaptabilidade anormal ou insuficiente do sistema nervoso autônomo, implicando na presença de mau funcionamento fisiológico, pelo qual se faz necessário maior investigação para se ter um diagnóstico preciso [3]. A literatura refere que o treinamento físico regular pode ser capaz de modificar o balanço autonômico cardíaco, tanto em indivíduos normais como em portadores de doenças cardiovasculares. Dessa forma, esse trabalho estuda sinais de pacientes em repouso e durante uma técnica de fisioterapia conhecida como liberação miofascial, para tentar identificar diferentes padrões nesses sinais. Liberação Miofascial (LM) está relacionada com a

manipulação de articulações e restrições fasciais e baseia-se no princípio que um trauma físico, estresse crônico, ações repetitivas, inflamação, infecção, ou desequilíbrios estruturais, podendo gerar uma tensão fascial inapropriada. Estudos [4] relatam que disfunções nas articulações vertebrais têm mostrado afetar a função cardíaca e a modulação do SNA. Declaram também que a manipulação dessas articulações diminui a FC e a pressão sanguínea. Uma disfunção miofascial pode ocorrer devido à presença de pontos gatilhos (PG). PGs miofasciais são pequenos pontos de hipersensibilidade dentro de uma banda tensa do tecido muscular ou fáscia. A técnica de inativação do PG (*trigger point*) é comumente usada em terapia esportiva para alívio da dor e para induzir relaxamento muscular após lesão. Clinicamente é comum combinar outras técnicas de LM com a digito-pressão para a inativação dos PGs. Pompage é uma manobra capaz de tensionar lenta, regular e progressivamente um segmento corporal, colocando sob tensão o tecido elástico aí contido. Este procedimento age sobre o tecido conjuntivo de revestimento, restabelecendo seu comprimento ideal, estimulando a circulação de líquidos nela contidos, facilitando a nutrição da cartilagem articular. [4].

A técnica utilizada para a análise dos intervalos RR é conhecida por Análise de Padrões Gradientes (GPA). Esta técnica permite caracterizar regimes complexos, como intermitência e turbulência, durante a formação e evolução de padrões espaço-temporais em sistemas não-lineares [5]. A técnica baseia-se na aplicação de operadores computacionais que quantificam quebras de simetria e desordem de fase em escalas locais e globais de um dado padrão espaço-temporal. As propriedades do padrão de falta de simetria e grau de fragmentação podem ser resumidas no Operador de Fragmentação Assimétrica (F_A). Por não se basear em propriedades estatísticas da série, mas somente nas propriedades locais das simetrias do padrão gradiente, o método apresenta a importante propriedade de ser menos dependente do comprimento da série, quando comparado às técnicas estatísticas convencionais.

A análise baseada em F_A consiste em gerar campos vetoriais, a partir de matrizes numéricas (Fig. 2). Por conveniência metodológica aplicada às estruturas complexas, os vetores simétricos são removidos e, portanto apenas os vetores assimétricos são mantidos. Embora a segunda matriz (Figura 2c) corresponda a um processo mais complexo quando comparada à primeira (Figura 2b). A simples comparação entre o número de

vetores oriundos do campo gradiente (V) e o número de vetores assimétricos (L) não permitiria uma separabilidade dos diferentes processos representados por estas matrizes. Devido a isto, há necessidade de uma segunda operação que permita distinguir entre estes campos gradientes.

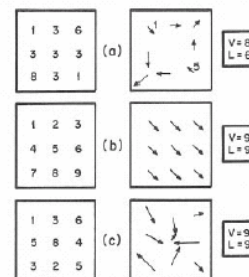


Figura 2: Matrizes representativas de campos vetoriais assimétricos. (a) 6 vetores assimétricos, (b) e (c) todos os vetores são assimétricos.

A triangulação de Delaunay consiste em unir os vetores através de linhas, sem que estas linhas se cruzem (Fig. 3). É possível distinguir as matrizes, mesmo estas tendo iguais valores de V e L. O número de linhas (I) utilizado para unir os centros de cada vetor, é diferente. Portanto, com a quantidade I é possível distinguir diferentes matrizes quanto à sua correspondência em termos de complexidade, já que I é diretamente proporcional ao nível de desordem espacial (complexidade) do campo gradiente (fórmula 1).

$$F_A = \frac{I - L}{L} \quad (I \geq L > 0) \quad (1)$$

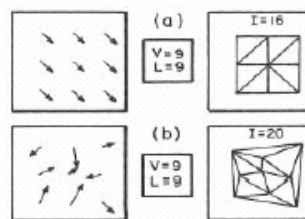


Figura 3: Campo de triangulação para (b) e (c) da figura 2.

Com o intuito de estender as aplicações do método para séries unidimensionais, cada nove pontos da série são convertidos em uma matriz 3x3 e o método é, desta forma, aplicado ao longo da série [6].

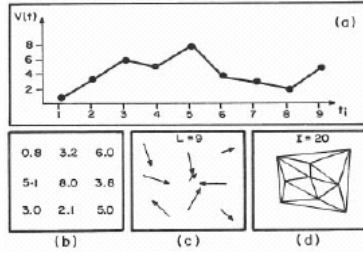


Figura 4: (a) Típico Padrão de Variabilidade, (b) Matriz Correspondente, (c) Campo Gradiente Correspondente, (d) Campo de Triangulação.

A técnica Wavelets será utilizada como ferramenta auxiliar ao GPA no estudo da VFC. São funções que satisfazem a certos requisitos matemáticos e são usadas na representação de dados ou de outras funções. O uso desta ferramenta se faz necessário devido ao fato das séries temporais tomadas de qualquer sistema físico possuírem características não-estacionárias [7]. O espectro de ondeleta global, mais conhecido por GWS é um procedimento que consiste em somar toda a energia associada a cada período ou escala a (fórmula 2). É uma forma similar do espectro de energia obtido via Transformada Rápida de Fourier [8].

$$M(a) = \int |W(a,t)|^2 dt \quad (2)$$

O objetivo deste trabalho é fazer a análise de padrões gradientes dos intervalos RR em sinais de ECG durante o repouso e liberação miofascial e usar a transformada de Wavelets como técnica complementar.

Metodologia

MATERIAIS:

- Dados de 18 pacientes
- Software Matlab
- Software IDL

MÉTODOS:

Primeiramente obteve-se o sinal proveniente do eletrocardiograma, utilizando-se a derivação II. O sinal foi tratado em um software que usa um algoritmo de comparação de nível para a detecção do complexo QRS, de forma que se obteve os intervalos RR. A metodologia empregada refere-se ao trabalho de Ana Teresa, cujos sinais são utilizados neste trabalho [1].

Para que fosse possível aplicar Wavelets nestes sinais foi necessário interpolá-los, para isso foi utilizado o método com Splines Cúbicas. Os sinais interpolados foram rodados em um programa em Matlab para gerar os periodogramas e extrair os valores de βw .

Na análise com GPA, primeiramente os sinais foram rodados em um programa em IDL que extraiu os valores de F_A . Depois, o resultado foi rodado em um programa em Matlab que gerava um espaço de fase e plotava os valores de F_A sobre a série temporal.

Resultados

Os gráficos abaixo se referem aos resultados encontrados com aplicação da técnica GPA (Figuras 5 e 6) e da técnica de Wavelets (Figuras 7, 8 e 9).

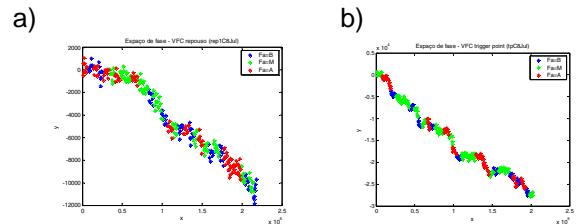


Figura 5: Gráficos da técnica de GPA espectral da paciente C8Jul referentes ao repouso inicial (a) e a técnica de trigger point (b).

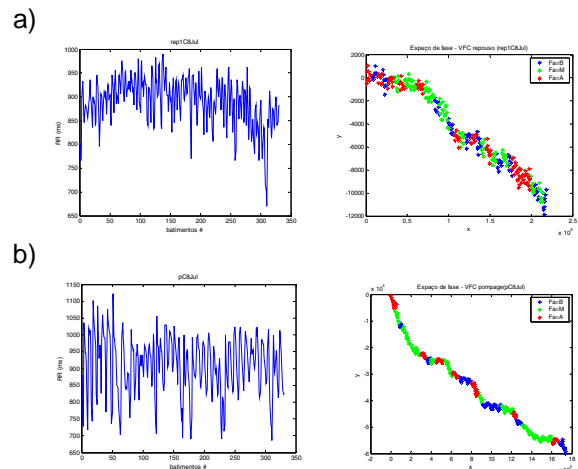


Figura 6: Figuras das séries temporais com seus respectivos gráficos de GPA espectral da paciente C8Jul referentes ao repouso inicial (a) e técnica de pompage (b).

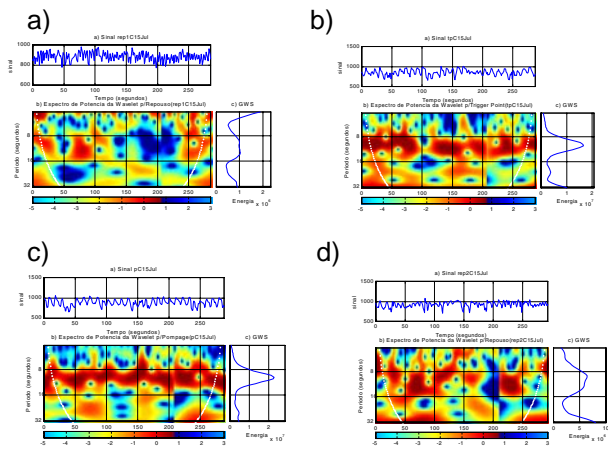


Figura 7: Periodograma do Paciente C15Jul referente ao repouso inicial (a), à técnica de trigger point (b), à técnica pompage (c) e ao repouso final (d).

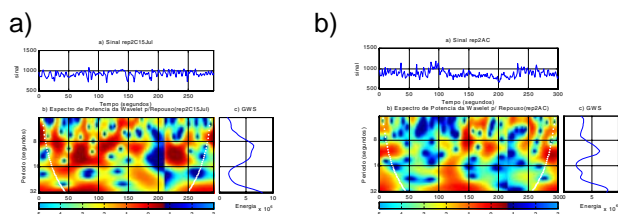


Figura 8: Periodograma do repouso final das pacientes C15Jul (a) e AC (b).

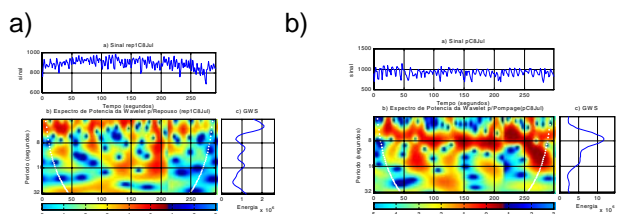


Figura 9: Periodogramas da paciente C8Jul no repouso inicial (a) e durante a técnica pompage (b).

Discussão

Os resultados obtidos indicam que a média dos intervalos RR varia em torno de 910 (837–994) ms, de forma que somente com índices estatísticos não é possível distinguir os sinais obtidos a partir das diferentes técnicas, não sendo possível assim, caracterizar esses sinais. Com o valor médio de F_A podemos classificar os sinais quanto a sua complexidade (turbulência, caos, intermitência), porém, apenas os valores das assimetrias não

permitem distinguir os diferentes processos de repouso e liberação miofascial, uma vez que a variabilidade do tipo caótica foi a mais freqüente em todos os sinais. Devido a isso, a técnica foi refinada (GPA1D espectral) e complementada pelo cálculo das leis de potência obtidas a partir dos espectros globais de ondeletas (GWS). Foi realizada uma análise com GPA espectral, que consiste na sobreposição dos valores de F_A sobre a série temporal representada em um espaço de fase, de forma que se torna possível investigar a trajetória do sinal e a possível presença de um atrator no sistema, além de melhorar a visualização do sinal. Esta análise preliminar nos indicou a possibilidade de distinção dos sinais, uma vez que no repouso os sinais se mostraram com regimes mais regulares e durante as técnicas de fisioterapia houve uma maior variabilidade; como visto na Paciente C8Jul (Figura 5), em que as escalas do eixo y para as técnicas estão em potência de 10^4 e para o repouso em potência de 10^3 . Verificou-se também, que quanto maior o desvio padrão dos sinais menor é a *clusterização*, em outras palavras, quanto menor os níveis de intermitência mais espalhados estão os pontos no espaço de fases, ou quanto maior o nível de picos (*spikes*) mais concisos estão os pontos; o que também pode ser visto na paciente C8Jul (Figura 6) na qual os pontos dos gráficos referentes ao repouso estão mais espalhados e para as técnicas estão mais concisos.

Em relação à análise com *Wavelets* pode-se concluir que os sinais não são aleatórios, uma vez que $\beta_w \neq 0$. Esse resultado sugere a presença de uma componente determinístico ou estocástico que gere flutuações não-gaussianas e correlações de curto e longo alcance na dinâmica do sistema cardíaco. Através da observação dos periodogramas verifica-se uma possibilidade de distinguir os sinais de diferentes técnicas (repouso e liberação miofascial), uma vez que há uma maior formação de picos nos sinais referentes às técnicas de fisioterapia. Constata-se, considerando as Figuras 7b e 7c, a formação de picos na mesma escala de variação (entre 8 e 16 s). Em geral, o comportamento do GWS, no sentido qualitativo, se manteve o mesmo nos sinais referentes à mesma técnica, ou seja, teve a mesma característica nos 4 tipos diferentes de sinais. A Figura 8 mostra o periodograma de dois pacientes, nos quais o GWS tem o mesmo tipo de comportamento, ou seja, no intervalo de 0 a 8 s o sinal aumenta, entre 8 e 16 s o sinal tem um pico e já começa a decrescer, entre 16 e 32 s o sinal volta a aumentar. Com a análise de GWS também pode ser possível indicar a influência dos sistemas simpático e parassimpático no repouso e durante as técnicas de liberação

miofascial, uma vez que a influência do sistema simpático está relacionado com baixas frequências e do parassimpático com altas frequências (0,003-0,15 Hz = Baixa frequência, 0,15-0,4 Hz = Alta frequência) [9]. Isto está explícito na Figura 9 na qual ocorre um pico durante o repouso em uma determinada faixa de frequência (em torno de 0 s) e já durante as técnicas de fisioterapia este pico se encontra em outra faixa de frequência (em torno de 8 s).

Conclusão

Para que esta análise possa ser concluída será necessária uma interpretação mais detalhada dos resultados, ou seja, uma caracterização fina por meio da análise cromática (GPA espectral). Para uma maior compreensão da influência das técnicas na *clusterização* dos pontos será necessário um estudo sobre as componentes do sinal que foram usados para a construção do espaço de fase.

Para a análise com *Wavelets*, mais sinais deverão ser analisados para que se possa confirmar os resultados preliminares encontrados neste trabalho.

Propõe-se para continuação deste trabalho no mestrado a validação das técnicas em questão e a utilização da técnica de Kulback-Liebler para confirmação dos resultados e modelos do tipo de *Fitzhug-Nagumo*. Também é proposto o estudo de sinais de ECG referente a condições de microgravidade que seriam adquiridos junto ao Marshall Space Flight Center (NASA).

Referências

- [1] CARVALHO, J.L.A.; Rocha, A. F.; Nascimento, F. A., Desenvolvimento de um sistema para análise da variabilidade da frequência cardíaca, Anais CBEB, v.5, p. 345-348, 2002.
- [2] RASSI, Jr. A.; Compreendendo melhor as medidas de análise da variabilidade da frequência cardíaca, Jornal de Cardiologia, Disponível em <www.cardios.com.br>, Acesso em 03 de Fev 2005.
- [3] PUMPRLA, J.; Howorka, K, Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical, Elsevier Science, International Journal of Cardiology, v. 84, n. 1 , p. 1-14, 2002.
- [4] FERREIRA, A.T.R., Efeitos na liberação miofascial na modulação autonômica do coração em sujeitos saudáveis, Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica), Univap, 2004.
- [5] ROSA, R. R., Campos, M.R., Ramos, F. M. *et al*, Gradient pattern analysis of structural dynamics: application to molecular system relaxation, Int. Journal of Modern Physics C, v.33 (3), p. 605-610, 2003.
- [6] ASSIREU, A.T. *et al*, Aplicação do Operador de Fragmentação Assimétrica (FA) na caracterização de controles geomorfológicos em reservatórios hidroelétricos, Revista Brasileira de Geociências, v.34, n.4, p. 501-508, 2004.
- [7] BOLZAN, M. J. A., Análise da transformada em ondeletas aplicada em sinal geofísico, Rev. Bras. Ens. Fis., v.26, n.1, 2004.
- [8] TORRENCE, C.; Compo, G.P., Pratical Guide to Wavelet Analysis, Bulletin of American Metereological Society, v.79, n.1, p.61-78,1998.
- [9] TASK FORCE of the European Society of cardiology and the north America society of pacing and electrophysiology, Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use, Circulation,v.93, n.5, p.1043-1065, 1996.