

ESTUDO DA VARIAÇÃO DA PRESSÃO ARTERIAL UTILIZANDO A TRANSFORMADA DE WAVELETS E ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MULTIFRACTAL

Lídia Takako Cachonis¹, Ovídiu Constantin Baltatu², Renata Amadei Nicolau³, Alderico Rodrigues de Paula Júnior⁴

¹⁻³⁻⁴Instituto 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
Fone:+55 123947 1128, Fax:+55 123947 1149
lidia.tc@hotmail.com.br

Resumo - A patologia cardíaca é muito freqüente atualmente. Estudos que visem o diagnóstico rápido e preciso se fazem necessários. Neste sentido este trabalho tem como objetivo analisar as variações cardiovasculares após utilização de beta-bloqueador-adrenérgico (metropolol), em rato Sprague Dawley. Através de telemetria captou-se os sinais emitidos pela pressão arterial média, da Sístole, antes e após o uso de metropolol. Os sinais biológicos da pressão arterial média foram analisados pela Transformada de *Wavelets*, pelo método de *Modulus Maxima*. Neste estudo exploratório, os resultados obtidos demonstraram que a utilização da Transformada de *Wavelets* pelo método de *Modulus Maxima* e análise do comportamento Multifractal, pode identificar características espectrais de um estado de hipertensão; antes e após a análise de sinais biológicos assim como para o diagnóstico da Pressão Arterial anormal.

Palavras-chave: Pressão Arterial, Beta-bloqueador-adrenérgico, Transformada de *Wavelets Modulus Maxima*, Comportamento Multifractal, Diagnóstico.

Área do Conhecimento: Engenharias

Introdução

A idéia de analisar sinais biológicos através da Transformada de *Wavelets* pelo método de *Modulus Maxima* e comportamento Multifractal, motivou o estudo da variação da pressão arterial em conjunto com o efeito dos beta-bloqueadores.

Segundo autores(BROWN,2004,MALLAT,1999, JAFARD, 2004, SUKI,2003, PAVLOV et al., 2005), obtido o sinal de entrada, este é decomposto em níveis através de um Banco de Filtros de *Wavelets*, ou seja, uma combinação de filtros de decomposição Passa-baixa e Passa-alta, a fim de diferenciar o ruído do sinal biológico.

O método da Transformada de *Wavelets* pelo método de *Modulus Maxima* e análise do comportamento Multifractal é definido como valores numéricos, que permite diferenciar os coeficientes Máximos a fim serem analisados pelo comportamento Multifractal (DAUBECHIES,1992, MALLAT,1999, SUKI,2003).

O presente artigo tem como objetivo utilizar através do software Matlab[®] 7.1(Matlab[®] 7.1) a Transformada de *Wavelets* pelo método de *Modulus Maxima* e análise do comportamento Multifractal(DAUBECHIES, 1992, MALLAT, 1999, SUKI, 2003), e através dos resultados obtidos no Matlab[®] 7.1, ser possível sua utilização como diagnóstico de uma anormalidade nos sinais biológicos de ratos(BROWN,2004, MANO,2002, SUKI,2003).

Materiais e Métodos

Inicialmente foram coletados sinais biológicos da pressão arterial de rato macho Sprague Dawley (SD) com aproximadamente 12 semanas, obtido do Instituto *Max Delbrück Center for Molecular Medicine*, Berlin, Germany. O protocolo experimental realizado em Berlim, envolvendo este animal, foi aprovado pela Comissão de Ética, segundo normas estabelecidas para o uso de animais em laboratório do Instituto *Max Delbrück Center for Molecular Medicine*.

O sinal capturado para a simulação foi feito através de telemetria, o qual consiste de um transmissor de radiofrequência (TA11PA-C40) e de um sistema de aquisição de dados (IBM *compatible*).

Para implantação do transmissor, o rato foi anestesiado com Ketamina (*Ketavet; Parke-Davis*) 10 mg/100g de peso corpóreo associado com Xilazina (*Rompun; Bayer*) 0,02 mg/100 g de peso corpóreo.

O Cateter do transdutor foi implantado na aorta abdominal, abaixo da bifurcação das artérias renais, sendo o sensor fixado ao músculo abdominal.

Depois deste procedimento, o rato foi submetido à recuperação por 2 semanas, quando o traçado telemétrico indicava restabelecimento da oscilação da pressão arterial nas 24 horas.

O experimento foi realizado com animal acordado e com livre movimentação na gaiola. Para estudo da variabilidade nas 24 horas, o sistema foi programado para monitorar continuamente a pressão arterial e atividade locomotora registrando os valores a cada intervalo de 5 minutos.

Nos três primeiros dias subseqüentes ao período de recuperação foram coletados os parâmetros basais da Pressão Arterial(PA) e atividade locomotora, sendo após realizado os protocolos de inversão do ciclo claro/escuro, com registro contínuos dos parâmetros de pressão arterial e de atividade locomotora.

A hipertensão arterial é reduzida por bloqueio do beta-bloqueador metoprolol, agindo na redução do tônus simpático por menor liberação de noradrenalina na fenda sináptica em decorrência de bloqueio beta pré-sináptico. O medicamento tem a função de proteger o sistema cardiovascular, principalmente os músculos cardíacos e outros órgãos e está entre os beta-bloqueadores que mais ajudam a prevenir o novo infarto ao diminuir o ritmo da atividade do coração (MANO,2002).

Outros mecanismos incluem redução na liberação de renina, diminuição do débito cardíaco, modulação da regulação da PA em nível de Sistema Nervoso Central, readaptação dos pré-receptores e diminuição da aferência simpática. Como anti-iscêmicos reduzem o consumo de O_2 miocárdio basicamente pela diminuição da Frequência Cardíaca (MANO,2002).

O software Dataquest LabPRO foi usado para armazenar e processar os dados. A simulação foi gerada no Matlab[®] 7.1.

Os dados processados foram analisados pelo Matlab[®] 7.1, através da Transformada de *Wavelets* e analisado seu comportamento Multifractal segundo a teoria de Lipschitz(MALLAT,1999).

A regularidade de um dado ponto do sinal (teoria de Lipschitz) é encontrado medindo-se o decaimento da Transformada de *Wavelets* deste sinal na vizinhança do ponto considerado. Medir este decaimento, diretamente dos coeficientes obtidos da transformada, não é necessário. Logo, utiliza-se os máximos locais dos módulos destes coeficientes (MALLAT,1999).

A proposta da análise Multifractal é estudar sinais, cujos expoentes de regularidade (h) mudam largamente de um ponto a outro do sinal. Dessa forma, analisa-se o conjunto de pontos que possuem o mesmo expoente de regularidade através da medida da dimensão $D(h)$ destes conjuntos(SUKI,2003).

Estas dimensões constituem um espectro, o qual caracteriza o sinal em grau de complexidade do comportamento Multifractal (BROWN, 2004,MALLAT,1999, JAFARD, 2004, SUKI,2003, PAVLOV et al., 2005).

Sinais biológicos, onde a base do espectro h , isto é, no eixo X, é mais larga demonstram que o sinal é mais complexo, ou seja, tem um maior comportamento Multifractal, conforme figura abaixo.

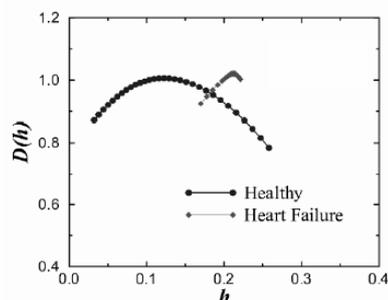


Figura 1: comportamento Multifractal do gráfico de um coração saudável tem um maior comportamento Multifractal (h), conforme descrito pelo autor Suki(2003) onde h representa o comportamento Multifractal no eixo X e $D(h)$ é a amplitude, no eixo Y, do sinal biológico do rato.

O espectro h , no eixo X, com base estreita indica uma perda de comportamento Multifractal, conforme figura acima. Este espectro de singularidade é usado para analisar as propriedades multifractais (SUKI,2003).

Para caracterizar estruturas singulares, é necessário quantificar precisamente o local da regularidade de um sinal, por exemplo $f(t)$ (DAUBECHIES,1992, MALLAT,1999).

Estes expoentes de Lipschitz fornecem medidas uniformes da regularidade sobre intervalos de tempo (t), mas também em algum ponto (v) (DAUBECHIES,1992, MALLAT,1999).

Se f tiver uma singularidade em v , que significa que não é diferenciável em v , então o expoente de Lipschitz em v caracteriza este comportamento singular (DAUBECHIES,1992, MALLAT,1999).

A regularidade de Lipschitz refina este limite superior com expoentes não inteiros (DAUBECHIES,1992, MALLAT,1999).

Obtido o sinal biológico de entrada, este é decomposto em níveis, através de um Banco de Filtros de *Wavelets*, ou seja, uma combinação de filtros de decomposição Passa-baixa e Passa-alta, a fim de se obter os coeficientes, os quais serão utilizados no Matlab[®] (DAUBECHIES,1992, MALLAT,1999).

O sinal biológico a ser analisado, é melhor representado por estes coeficientes, ou seja, valores dos coeficientes máximos locais destes sinais, e através da Transformada de *Wavelets* pelo método de *Modulus Máxima*, posteriormente ser analisado pelo comportamento Multifractal (DAUBECHIES,1992, MALLAT,1999, SUKI,2003).

Resultados

As seguintes figuras geradas no Matlab[®] 7.1, utilizando-se a Transformada de *Wavelets* pelo método de *Modulus Maxima* e análise do comportamento Multifractal, através dos sinais biológicos do rato, capturados por telemetria, mostram-nos o seguinte:

A figura 2 abaixo, mostra o espectro do sinal biológico, capturado por telemetria do rato controle, o qual sugere um sinal relativamente com muitos máximos, isto é, incontáveis “cones”, ou seja, uma singularidade mais complexa, se comparado ao espectro da figura 3 abaixo (BROWN,2004, MANO,2002, SUKI,2003).

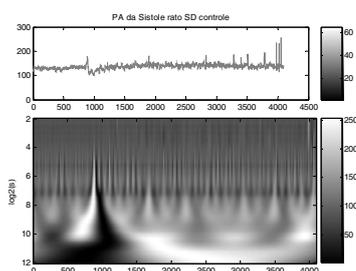


Figura 2: Figura da Transformada de *Wavelets* gerada no Matlab[®] 7.1, referente a PA da Sístole do animal controle.

A figura 3 abaixo, mostra o espectro do sinal biológico, capturado por telemetria do rato induzido por beta-bloqueador-adrenérgico, o qual mostra um sinal biológico, com poucos máximos, isto é, menor quantidade de “cones”, (DAUBECHIES,1992, MALLAT,1999) ou seja, com uma singularidade menos complexa, mostrando-nos assim, que as singularidades vistas pelo método de *Modulus Maxima*, dá-nos uma visão da variabilidade da pressão arterial do rato (BROWN,2004, MANO,2002, SUKI,2003).

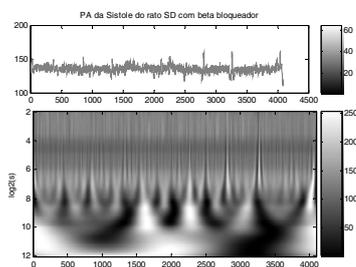


Figura 3: Figura da Transformada de *Wavelets* gerada no Matlab[®] 7.1, referente a PA da Sístole do animal com beta-bloqueador-adrenérgico (Metropolol).

A figura 4(2D) e 5(3D) seguintes, confirmam a figura 2, onde o espectro do sinal biológico, capturado por telemetria do rato controle, o qual sugere um sinal com muitos máximos, isto é,

incontáveis “ramificações” e muito longas, ou seja, em maior complexidade se comparado às figuras 6(2D) e 7(3D) abaixo (BROWN,2004, MANO,2002, SUKI,2003).

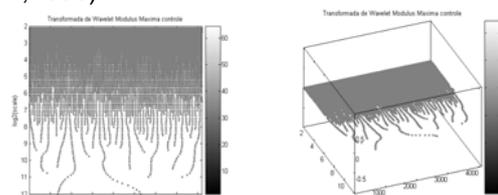


Figura 4 e 5: Figura da Transformada de *Wavelets* gerada no Matlab[®] 7.1, referente ao *modulus maxima* da PA da Sístole do animal controle, com vista 2D e 3D, respectivamente.

A figura em 3D foi gerada, a fim de se visualizar melhor a quantidade de *Modulus Maximos*, evitando-se assim uma idéia visual errônea na vista 2D. Note que a amplitude, no eixo Y, diminuiu no rato que recebeu a indução do beta-bloqueador-adrenérgico, isto é, além de diminuir no eixo X, isto é, a sua multifractalidade ficou menos complexa.

A figura 6(2D) e 7(3D) abaixo, confirma a figura 3, onde o espectro do sinal biológico, capturado por telemetria do rato induzido, o qual sugere um sinal biológico, relativamente com menos máximos, isto é, menores quantidades de *Modulus Maxima*, mostrando-se mais curtas e em menor quantidade se comparado às das figuras 4(2D) e 5(3D), conforme autores (BROWN,2004, MANO,2002, SUKI,2003).

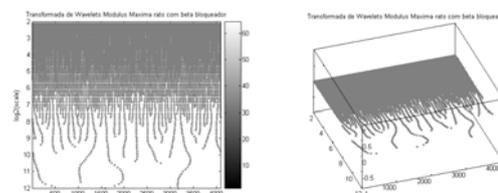


Figura 6(2D) e 7(3D): Figura da Transformada de *Wavelets* gerada no Matlab[®] 7.1, referente ao *modulus maxima* da PA da Sístole do animal com beta-bloqueador-adrenérgico com vista 2D e 3D, respectivamente.

A figura 8 à seguir, representa um espectro, com a confirmação final da Transformada de *Wavelets* pelo método de *Modulus Maxima*, e por meio da análise do comportamento Multifractal, faz-se um confronto do espectro do rato controle com o espectro do rato induzido com beta-bloqueador-adrenérgico, visualizando-se assim a singularidade dos dois espectros, podendo-se definir, qual foi mais ou menos complexo (DAUBECHIES,1992, VETTEL et al.,1995, MALLAT,1999, SUKI,2003, JAFARD, 2004)

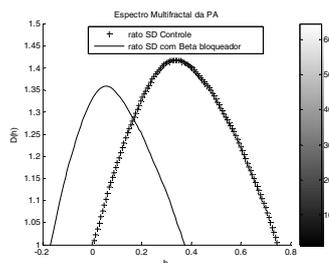


Figura 8: Figura da Transformada de Wavelets gerada no Matlab® 7.1, referente à análise do comportamento Multifractal da PA da Sístole, isto é, comportamento do rato controle (+) versus comportamento do rato induzido com beta-bloqueador-adrenérgico(-).

O espectro do comportamento do animal com beta-bloqueador apresenta um eixo X, menor, isto é, o rato induzido com um medicamento anti-hipertensivo caracteriza um comportamento Multifractal menos complexo que o espectro do comportamento do animal controle (antes da indução), ou seja, está indicando que o beta-bloqueador-adrenérgico, diminuiu o ritmo cardíaco e conseqüentemente, reduziu seu comportamento multifractal, comparado ao espectro do rato controle(SUKI,2003).

Discussão

Neste estudo exploratório, os resultados obtidos dos sinais biológicos do rato (BROWN,2004, MANO,2002, PAVLOV et al.,2005), através das figuras 6,7 e 8 demonstram que a utilização da Transformada de Wavelets pelo método de *Modulus Maxima* e análise do comportamento Multifractal, (DAUBECHIES,1992, VETTELI et al.,1995, MALLAT,1999, SUKI,2003, JAFARD, 2004), são confirmados através da literatura acima mencionada, como potencial ferramenta de diagnóstico, pois pode-se identificar características espectrais de um estado de hipertensão (MANO, 2002); antes da indução, isto é, no rato controle e após a utilização do beta-bloqueador (anti-hipertensivo metoprolol), seu comportamento multifractal diminuiu, o que era esperado.

Mesmo tendo como resultados, a confirmação dos dados bibliográficos, consideramos também necessária a execução de outras experimentações com a Freqüência Cardíaca, para obtenção de resultados dos sinais biológicos do rato, os quais serão comparados com este estudo, a fim de tornar este diagnóstico devidamente fidedigno.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a utilização da Transformada de Wavelets pelo método de *Modulus Maxima* e análise do comportamento Multifractal utilizados neste estudo:

a) Pode ser explorado como uma possível ferramenta de análise de sinais biológicos assim como para o diagnóstico de Pressão Arterial anormal.

b) Considera-se também necessária a execução e confronto de estudos com o mesmo método com a Freqüência Cardíaca, além da verificação da sensibilidade e especificidade deste método.

Referências

BROWN, G., MICHON, G., PÈYRIÈRE, J. **Journal .Statist Phys.** v. 66, p. 775-790,2004.

DAUBECHIES, I. **Ten lectures on wavelets.** 2ed. Vermont:Ed.City Press,357p,1992.

JAFARD, S. Wavelets techniques in multifractal analysis. **AJP**, v. 72 part 2, p. 91-152,2004.

MALLAT, S. **A wavelet tour of signal processing.** 2ed. San Diego:Ed.Academic Press,p.163-219,1999.

MANO, R. (2002) Manual de Hipertensão Arterial. Disponível no site <http://www.manuaisdecardiologia.med.br> Acesso em 12 abril 2006.

PAVLOV, A.N., ZIGANSHIN, A.R., KLINOVA, O.A. Multifractal characterization of blood pressure dynamics: stress-induced phenomena. **Chaos, Solitons & Fractals**, v.23, n.4, p.1429-1438,2005.

SUKI, B., ALENCAR, A.M. Fluctuations, noise and scaling in the cardio-pulmonary system. **Journal .Statist Phys.** v.3, n. 1, p. 1-25,2003.

VETTERLI, M., KOVACEVIC, J. *Wavelets and subband coding.* New Jersey: Ed. Prentice Hall, 1995.

[9] Simulação gerada no Matlab® 7.1