

NÃO LINEARIDADE DO ARTEFATO AO ESTÍMULO SOMATO-SENSITIVO SENOIDAL DE 5 Hz

Aline Cristina P. do Nascimento^{1,2}, **Carlos J. Tierra -Criollo**², **Karlo F. Nunes**³, **Nadia I.O. Braga**³, **Lydia M.P.**³, **Giuliano, Gilberto M. Manzano**³

¹Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)/Engenharia Biomédica - Faculdade de Ciências da Saúde (FCS), São José dos Campos, Brasil, 12244-000, Fone: +55 12 3947-1140, acpn@univap.br.

²Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)/Grupo de Instrumentação e Processamento de Sinais (GPSI), Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IP&D), São José dos Campos, Brasil, 12244-000, Fone: +55 12 3947-1140, carjulio@univap.br.

³Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)/ Setor de Neurofisiologia Clínica, Disciplina de Neurologia, São Paulo, Brasil, gmmanzano@uol.com.br.

Palavras-chave: Artefato ao estímulo, estímulo senoidal, reposta evocada.

Área do Conhecimento: Engenharias

Resumo: A estimulação elétrica de nervos periféricos evoca uma resposta que pode estar contaminada com o artefato ao estímulo (AS). O AS para pulsos de corrente tem um comportamento não linear em relação a intensidades de estímulos. O objetivo deste projeto é estudar a linearidade do AS durante estimulação com onda senoidal de 5 Hz. Para isto foi estimulado o dedo indicador de 9 voluntários e a resposta registrada na mão (SRM). O limiar sensorial (LS) para a estimulação por onda senoidal foi encontrado. Então, a estimulação foi aplicada durante 10 períodos de 20s com intensidades 1, 1.5, 2, 2.5 e 0.5 LS. A densidade espectral de potência do SRM mostrou uma não linearidade do artefato ao estímulo em 5 Hz, apontando para uma investigação de uma possível relação entre a não linearidade do artefato ao estímulo senoidal e o limiar de sensibilidade.

Introdução

A estimulação sensorial, principalmente visual, auditiva e somatossensitiva tem sido utilizada no estudo e no diagnóstico de disfunções do sistema nervoso [1]. No estudo de nervos periféricos a estimulação elétrica frequentemente utilizada é um pulso de corrente com duração entre 0,05 e 0,5 ms. Esse tipo de estímulo tem como característica o recrutamento de fibras mais grossas[2]. Este fato, faz com que a análise do sistema de fibras finas, do ponto de vista eletrofisiológico, apresente consideráveis dificuldades [2]. Para estimular as fibras finas uma estimulação senoidal de frequência de 5 Hz pode ser utilizada [3].

A estimulação dos nervos periféricos com o estímulo aplicado na pele, pode evocar uma resposta do sistema sensorial e cognitivo [4]. Esta resposta evocada pode estar contaminada com um ruído devido à estimulação elétrica, denominado de artefato de estímulo (AS) [1]. O AS para estímulo de pulso de corrente é de grande amplitude, transitório e de curta duração, e em vários casos sobrepõe-se no tempo e na frequência à resposta evocada [5].

O AS para pulso de corrente apresenta um comportamento não linear em relação a intensidade da corrente de estimulação [5,6]. Segundo [7] a origem desta não linearidade é

devido, em partes, a não linearidade da tensão-corrente característica da pele. O objetivo deste trabalho é estudar a linearidade do AS na pele durante estimulação senoidal de 5 Hz.

Materiais e Métodos

O protocolo experimental foi realizado no Serviço de Neurofisiologia Clínica da UNIFESP e aprovado pelo Comitê de Ética Local. Eletrodos de estimulação, de ouro com 1 cm de diâmetro, foram aderidos às faces lateral e medial da falange distal do dedo indicador da mão esquerda de 9 voluntários. Os eletrodos de registro, de prata/cloreto de prata, foram colocados na face posterior da mão esquerda. Primeiro, determinou-se o limiar de sensibilidade (LS) à corrente senoidal de 5 Hz, utilizando-se o procedimento de avaliação psicofísica do sistema *Neurometer Current Perception Threshold (USA)* [8]. Então, o estímulo foi aplicado durante 10 períodos de 20 s, sendo que entre cada um desses períodos foram inseridos 10 s sem estimulação. As intensidades do estímulo foram 1, 1.5, 2, 2.5 e 0.5 vezes LS, nessa ordem.

Os sinais registrados na mão (SRM) foram coletados e armazenados digitalmente com o sistema *Neuroscan (USA)*. O filtro utilizado foi um passa-banda de 0.5 a 100 Hz e a frequência de amostragem foi de 500 Hz.

Os SRM foram filtrados *off-line* (direta e inversamente) com um passa banda de 2 a 6 Hz. A densidade espectral de potência (DEP) do SRM, para cada intensidade de estímulo em cada voluntário, foi estimado por:

$$\hat{P}(f) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L P_i(f) \quad (1)$$

onde, L é o número de períodos com estimulação e $P_i(f)$ é a DEP de cada um destes períodos, calculada com base na transformada discreta de Fourier (DFT), segundo[9] :

$$P_i(k) = \left| \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_i(n) \exp\left(-j2\pi kn/N\right) \right|^2 \quad (2)$$

onde: $0 \leq k \leq N - 1$, e a relação da componente k da DFT com a frequência f é dada por $f = k/N_T$, $x_i(n)$ é o SRM em cada período de estimulação, $N=10.000$ amostras, que garante uma componente justo em 5 Hz.

Resultados

Todos os períodos do SRM durante a estimulação (Figuras 1.a e 2.a) apresentaram a maior concentração da energia justo na frequência de estimulação, 5 Hz, como exemplificado para as intensidades de 0,5 LS e 2,5 LS nas Figuras 1.b e 2.b, respectivamente.

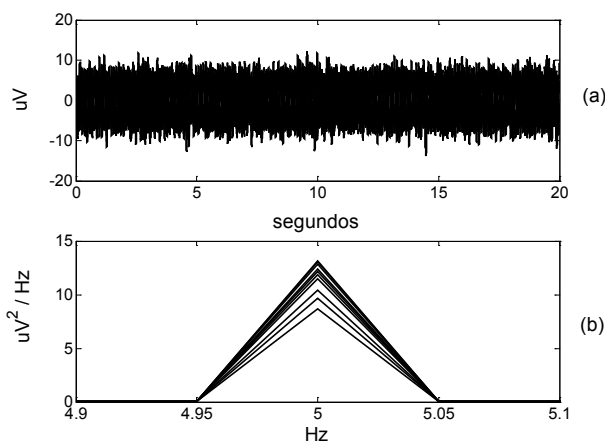


Figura 1: (a) Períodos do SRM durante estimulação para 0,5 LS, (b) Espectro de Potência de cada período (20 s).

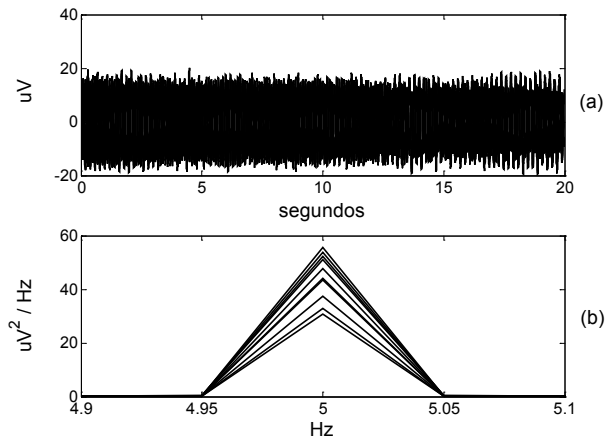


Figura 2: (a) Períodos do SRM durante estimulação para 2,5 LS, (b) Espectro de Potência de cada período (20 s).

A potência da componente de 5 Hz - normalizada em relação ao valor do LS - de um dos voluntários tem um comportamento não linear para as diferentes intensidades de estimulação utilizadas (Figura 3). Este comportamento não linear da potência dos 5 Hz foi consistente em todos os voluntários (Figura 4).

A Figura 4 indica que o comportamento não linear da potência dos 5 Hz pode ser modelado com duas retas. Uma reta até LS e a outra após LS. A primeira reta apresentou um coeficiente angular de 1,40 ($\pm 0,04$) e a segunda um coeficiente angular de 0,38 ($\pm 0,24$).

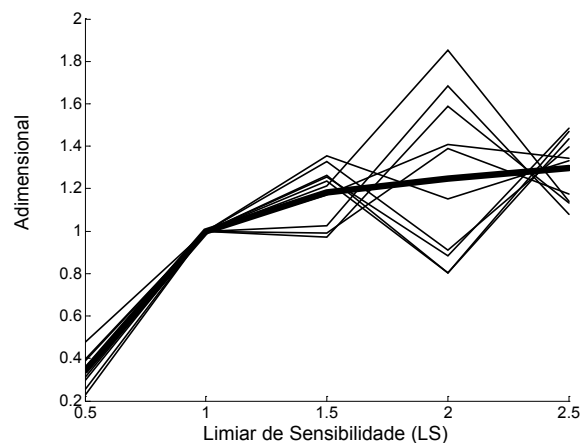


Figura 3: Potência da componente de 5 Hz - normalizada em relação ao valor do LS - para as diferentes intensidades de estimulação de um dos voluntários. As linhas finas representam a potência para cada período de estimulação (20 s). A linha grossa é a potência média dos 10 períodos de estimulação.

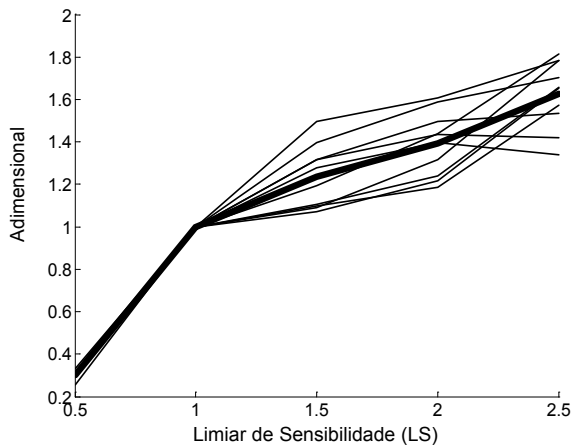


Figura 4: Linha fina representa a potência média da componente de 5 Hz - normalizada com o valor do LS - de cada voluntário. A linha grossa representa a potência média de todos os voluntários.

Discussão

O comportamento não linear do artefato devido a estimulação elétrica (AS), para diferentes intensidades de corrente, foi observado na potência correspondente à frequência do estímulo senoidal (5 Hz). Este comportamento não linear pode ser explicado por duas retas. Uma até o limiar de sensibilidade (LS) com coeficiente angular de $1,4 \pm 0,04$, e a outra com um coeficiente angular muito menor ($0,38 \pm 0,24$). A variabilidade muito pequena da primeira reta indica um comportamento muito mais consistente antes do LS, em todos os voluntários, do que após LS. Este fato, aponta para investigar uma possível relação entre a não linearidade do artefato ao estímulo senoidal e o limiar de sensibilidade.

Agradecimentos

À FAPESP e ao CNPq – PIBIC pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] CHIAPPA, K.H., *Evoked Potentials in Clinical Medicine*, New Yor: Raven Press, 2ed. 1997.
- [2] MANZANO. G., “Eletromiografia Técnicas e Aplicações Clínicas”, *Medicina em Monografias*. v.4-nº5, 1988.
- [3] KATIMS, J.J., NAVIASKY, E.H., REDELL, M.S., N.G., L.K.Y., BLEECKER, M.L., “Constant current sine wave transcutaneous nerve stimulation for evaluation of peripheral neuropathy”, *Arch Phys Med Rehabil*. 210-213, 1987.
- [4] PFURTSCHELLER G., SILVA F.H.L., “Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles”, *Clinical Neurophysiology* 110, 1999.
- [5] GRIEVE R., PARKER P.A., HUDGINS B., ENGLEHART K., “Nonlinear Adaptive Filtering of Stimulus Artifact”, *IEEE Trans Biomed Eng* 47(3):389-95, 2000.
- [6] O’KEEFFE D.T., LYONS G.M., DONNELLY A.E., BYRNE C.A., “Stimulus Artifact Removal Using a Software-Based Two-Stage Peak Detection Algorithm” *Journal of Neuroscience Methods* 109: 137–145, 2001.
- [7] STEVENS W.G., “The current-voltage relationship in human skin”, *Med. Electron. Biol. Eng.* 11:389-399, 1963.
- [8] PETRILLO, R., PIMENTEL, J., *Avaliação das sensações evocadas pela aplicação de corrente elétrica senoidal, na pele, com diferentes intensidades e frequências*, Trabalho de graduação, UNICID, São Paulo, 2003.
- [9] MARPLE, S.L.J., *Digital Spectral Analysis*, United States of America: Printice-Hall, 1987.