

TRANSFORMADA WAVELET NA ANÁLISE DO EFEITO DA FOTOTERAPIA DE BAIXA INTENSIDADE SOBRE A ATIVIDADE MUSCULAR MASTIGATÓRIA

D.R. Costa*, I.S.S. Muñoz*, R.A. Nicolau*, C.A. Kelencz**,
T.S. Maciel*, L. J. Masulo*, A.R. Paula Júnior*

* Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP, São José dos Campos, Brasil.

** Centro Universitário Ítalo Brasileiro – UNIÍTALO, São Paulo, Brasil.

e-mail: rani@univap.br

Resumo: Dentre as alternativas terapêuticas para a prevenção e tratamento da fadiga muscular encontra-se a terapia com laser ou LED de baixa intensidade (TLBI). A eletromiografia (EMG) pode ser usada para avaliar a fadiga muscular e o resultado da ação da TLBI, mas não pode ser usada como um indicador absoluto, pois se trata de um sinal não estacionário. A Transformada Wavelet (TW) tem sido apresentada como uma ferramenta matemática para análise dos sinais não estacionários. O presente estudo tem como objetivo analisar por meio de EMG e TW os efeitos da TLBI com LED (640 nm) sobre a fadiga os músculos masseter e temporal. Participaram deste estudo 12 voluntários, divididos em 3 grupos (6, 8 e 12 J/cm²). Realizou-se a eletromiografia dos músculos masseter e temporal antes e após aplicação de LED com as diferentes doses de irradiação. Foi observado o aumento do tempo de fadiga muscular nos grupos 6 J/cm² e 12 J/cm². Foi observado também um aumento da dispersão dos picos da atividade muscular em 75% dos voluntários no grupo 6 J/cm² e 50% nos grupos de 8 J/cm² e 12 J/cm². Concluiu-se que a irradiação com LED (640 nm) pode promover modificações na atividade do muscular e aumentar o tempo para o músculo fadigar. A TW pode ser utilizada como análise não estacionária de sinais eletromiográficos.

Palavras-chave: Transformada Wavelet, LED, Eletromiografia, Músculos mastigatórios.

Abstract: Among the therapeutic alternatives for the treatment and prevention of muscle fatigue are lasers or low-intensity LED (LILT) therapy. Electromyography (EMG) can be used to evaluate muscle fatigue and the result of the action of LILT, but cannot be used as an absolute indicator, since it is a non-stationary signal. The Wavelet Transform (WT) has been presented as a mathematical tool for analyzing non-stationary signals. The present study aims to analyze by EMG and WT on the effects of LILT with LED (640 nm) on the temporal and masseter muscles fatigue. The study included 12 volunteers divided into three groups (6, 8, 12 J/cm²). EMG was performed for temporal and masseter muscles, before and after application of the LEDs with different irradiation doses. The results showed an increased duration of muscle fatigue time in groups 6 J/cm² and 12 J/cm². It was observed an increase of peak dispersion of muscle activity in 75% of volunteers in the 6 J/cm²

group and 50% in the 8 J/cm² and 12 J/cm² groups. It was concluded that Irradiation with LED (640 nm) can promote changes in muscle activity and increased time for the muscle to enter in the fatigue. The WT is effective for non-stationary analysis of electromyographic signals.

Keywords: Wavelet Transform, LED, Electromyography, Masticatory Muscles.

Introdução

Durante o processo de mastigação, a elevação da mandíbula é realizada por músculos mastigadores, como o masseter que é o mais potente da mastigação, e o temporal que possui um papel essencial no posicionamento da mandíbula [1]. Quaisquer alterações ou anormalidades em algum dos elementos envolvidos no ato fisiológico da mastigação podem proporcionar uma atividade muscular muito intensa, podendo resultar na fadiga muscular, que é definida como a diminuição da capacidade de gerar ou manter a força muscular necessária [2]. A fototerapia (laser ou LED) na região visível pode promover efeitos positivos sobre a atividade muscular [3], promovendo a prevenção e/ou tratamento da fadiga muscular [4, 5].

A eletromiografia (EMG) pode ser usada para avaliar a fadiga muscular, por meio do espectro de potência do sinal obtido dos músculos superficiais, onde o sinal representa as propriedades fisiológicas dos músculos ou pela amplitude do sinal eletromiográfico por meio de verificação do aumento desta em função do tempo [6]. O valor da média quadrática (RMS - Root Mean Square) do sinal da atividade muscular (Equação 1) contempla as alterações fisiológicas do sinal eletromiográfico e reflete o número médio de unidades motoras ativas em um dado intervalo de tempo [7].

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (1)$$

A TW tem sido apresentada como uma ferramenta matemática para uma melhor análise dos sinais não estacionários provenientes da EMG, contudo a escassez de estudos dificulta o desenvolvimento, a melhor compreensão e a aplicabilidade desta ferramenta matemática. A TW (TW) contínua é utilizada para visualizar a relação existente entre as componentes de diferentes frequências em função da escala temporal do sinal estudado [8,9]. O objetivo do presente estudo é

avaliar, o comportamento do sinal elétrico da atividade dos músculos mastigatórios por meio de processamento de sinais, utilizando a TW, os efeitos da irradiação com LED (640 nm).

Materiais e métodos

O presente estudo foi realizado no Centro de Laserterapia e Fotobiologia do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade do Vale do Paraíba. Participaram do estudo 12 voluntários, do gênero feminino, com idade de 24 ± 6 anos, sem desordem temporomandibular. Para a indução da fadiga muscular (FM) utilizou-se uma plataforma oclusal (dinamômetro). Os voluntários foram divididos em 3 grupos (n=4/grupo) conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Divisão de grupos experimentais.

Grupos	Dose (J/cm ²)	Tempo de irradiação/ponto (segundos)
I	6	27
II	8	36
III	12	54

A irradiação foi realizada com o aparelho de LED (Microdont®), no espectro de luz vermelha com comprimento de onda de 640nm (0,1W, 1,77cm²). Foram utilizados 4 eletrodos de superfície bipolares ativos com contato de prata e amplificação do sinal em 20 vezes para a captação. Os eletrodos foram fixados sobre a pele na região de feixe anterior do músculo temporal, bilateralmente e na região do músculo masseter, bilateralmente. Utilizou-se um eletrodo de referência, fixado ao nível do processo estilóide do rádio e da ulna e um eletromiógrafo de 16 canais com filtro analógico que passa banda de 20 a 500 Hz e rejeição de modo comum > 120 dB, com ganho de +100 vezes, da marca EMG System do Brasil Ltda. Após a passagem pelo filtro analógico, os sinais foram amostrados com uma frequência de 1000 Hz e convertidos para sinais digitais por uma placa de conversão A/D, analógico-digital, com 16 bits de resolução, faixa de entrada de ± 5 V, fixando limites superiores de $\pm 5.000.000 \mu\text{V}$ para a aquisição. Por meio de comando verbal cada voluntário manteve uma contração isométrica dos músculos elevadores da mandíbula durante 60 segundos. Após este procedimento de coleta da atividade muscular (controle), aguardou-se 5 min de repouso [10] para a irradiação da musculatura e nova coleta após a fototerapia foi realizada. A irradiação foi aplicada em forma de contato, em 11 pontos no músculo temporal e em 8 pontos no músculo masseter. Após 5 minutos da irradiação, a análise EMG foi repetida. Para a análise dos sinais foi utilizado o programa EMGworks Analysis® 4.1, com o qual os dados foram tratados com o filtro passa band do

tipo Butterworth de ordem 40 a 400 Hz e em seguida os sinais foram normalizados em relação a fase de controle. Para a análise dos sinais pela TW contínua, foi utilizado o programa Matlab 7.01® 4.1 na função Morlet.

Resultados

Com dados obtidos foi feita a análise da atividade muscular por meio da RMS e do MDF (análise da frequência mediana) e não foram observadas diferenças estatísticas entre os diferentes grupos (6, 8 e 12 J/cm²) (Figura 1).

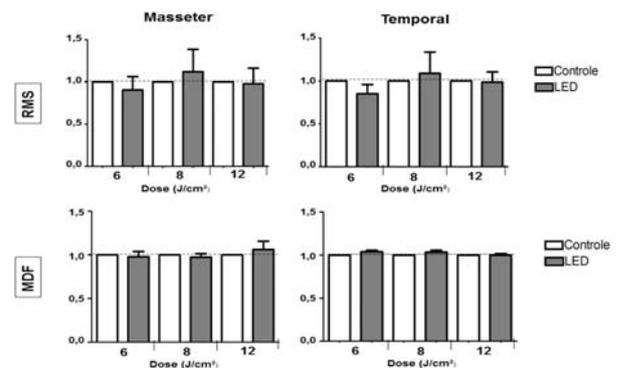


Figura 1: RMS e MDF dos músculos masseter e temporal. Os dados do grupo LED estão normalizados em relação aos valores do grupo controle.

Na Tabela 2 observa-se o aumento do tempo de fadiga dos músculos estudados em 75% dos voluntários do grupo I e do grupo III após irradiação, obtidos a partir da análise do comportamento da força de oclusão sobre a plataforma oclusal. Observou-se um decréscimo do nível do sinal em relação ao grupos controle.

Tabela 2: Análise do tempo de fadiga (em segundos) dos músculos masseter e temporal.

Vol.	Dose (J/cm ²)	Controle (s)	Músculos Mas /Temp
1	6	9,9±6	19,6±9
2	6	13,9±6	30,8±9
3	6	4,1±6	5,0±9
4	6	20,0±6	14,4±9
5	8	24,4±9	32,2±9
6	8	19,9±9	20,0±9
7	8	40,5±9	13,3±9
8	8	19,8±9	13,9±9
9	12	17,1±5	14,7±8
10	12	4,3±5	6,0±8
11	12	10,1±5	12,0±8
12	12	10,1±5	26,0±8

Vol.: Voluntários; **Músculos Mas/Temp**: tempo de fadiga dos músculos masseter e temporal pós-irradiação.

Com o periodograma do músculo masseter foi possível observar a presença de zonas de alta potência (ZAP) (Figura 2), com exceção dos voluntários 1, 4, 6 e 10 (controles) e dos voluntários 6, 8, 9, 10 e 12 (irradiados), os quais apresentaram ausência de ZAE. Os voluntários 1, 3, 4, 7 e 11 apresentaram o aumento e/ou surgimento de ZAP após a irradiação. Nos

voluntários 2, 9 e 12 houve uma diminuição e/ou ausência de ZAP após irradiação.

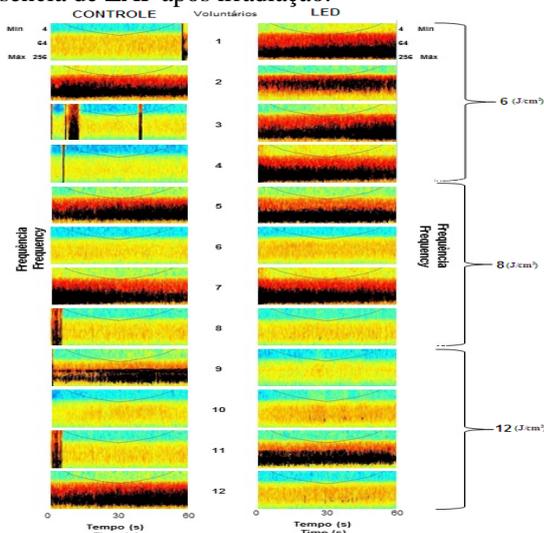


Figura 2: Periodograma do músculo masseter. Coloração negra - zonas de alta potência (μV).

No músculo temporal (Figura 3) pode-se notar a ZAP em todos voluntários com exceção dos voluntários 2, 4, 6 e 10 (controles) e 6, 9, 10 e 12 (irradiados). Nos voluntários 1, 9, 10 (controle) e 9 (irradiado) foi possível observar a ausência ZAP nos 10 segundos iniciais. Após esse tempo houve aumento das ZAP, evidenciando o aumento do recrutamento das fibras musculares nestes momentos.

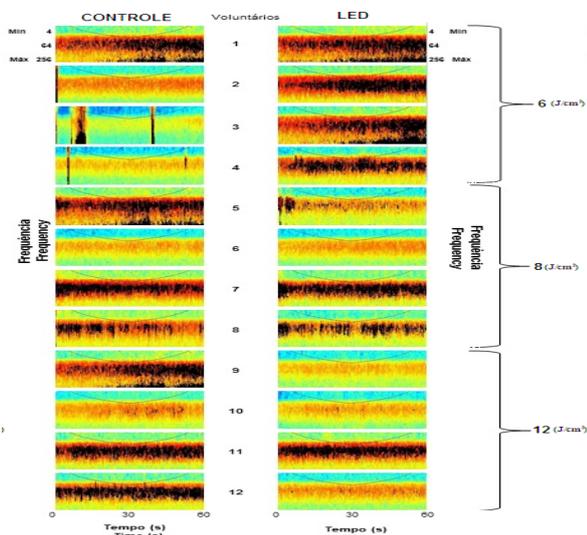


Figura 3: Periodograma do músculo temporal. Coloração negra - zonas de alta potência (μV).

No espectro *wavelet* global (GWS - *Global Wavelet Spectrum*) do músculo masseter (Figura 4) pode-se notar que no grupo I, após a irradiação houve uma maior dispersão dos picos de potência da atividade muscular.

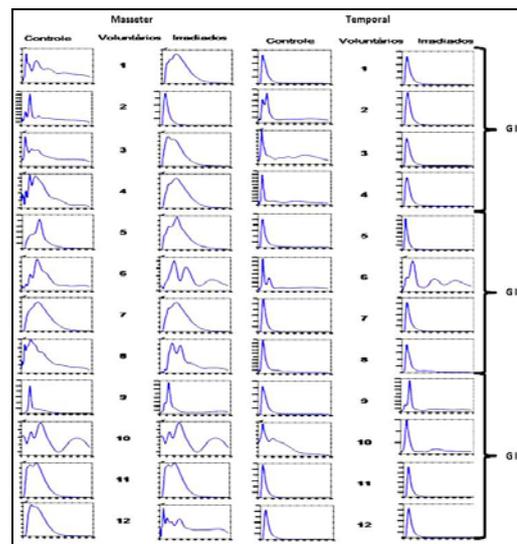


Figura 4: GWS dos músculos masseter e temporal de todos os grupos.

No GWS do músculo masseter do grupo II foi observada a diminuição da dispersão dos picos da atividade muscular em 75% dos voluntários. Somente no voluntário 5 houve um aumento da intensidade e uma variação no perfil do GWS, no qual pode-se notar um aumento da manutenção dos picos de atividades musculares. No grupo III não foi possível estabelecer uma diferença qualitativa. No GWS do músculo temporal do grupo I observou-se o aumento da dispersão dos picos da atividade muscular em 75% dos voluntários após a irradiação. Nos grupos II e III, a diminuição da intensidade dos picos aconteceu em 50% dos voluntários.

Discussão

Na análise do RMS e do MDF do presente estudo não foi possível obter dados estatisticamente significativos somente com o uso da EMG. Entretanto, pelo periodograma fornecido pela TW foi possível analisar qualitativamente diferentes momentos de atividade muscular, considerando as zonas de maior ou menor potência. Nos periodogramas a cor negra representou a maior potência na relação tempo/frequência, a qual foi caracterizada pelas ZAP. Tais zonas podem ser consideradas fisiologicamente como momentos de maior recrutamento eletroquímico de unidades motoras. Foi possível observar que as áreas azuladas representam frequências de menor potência, conforme previamente relatado por Muñoz et al. [12]. Observou-se aumento gradual de ZAP durante o tempo, o que pode representar aumento progressivo do recrutamento de fibras musculares. No grupo I houve aumento de ZAP após a irradiação da musculatura (masseter e temporal), corroborando com estudos prévios de Califano et al. [11] e Muñoz et al. [12], no qual foi observada a influência positiva do LED (640

nm) sobre a atividade muscular. Segundo autores a fototerapia na região do vermelho do espectro eletromagnético pode gerar o aumento dos níveis de energia intracelular [12], subsidiando o aumento da atividade e da resistência à fadiga muscular observado no presente estudo (Tabela 2). Por meio GWS foi possível visualizar a potência do sinal para cada faixa de frequência, considerando todos os instantes de aquisição [13, 9]. Nessa análise foi possível observar a dispersão dos picos de potências nos grupos em determinadas frequências. No grupo I foi observada uma maior dispersão de picos de potência, porém não houve um aumento da intensidade do sinal após a irradiação. No grupo II houve um aumento da intensidade com a diminuição da dispersão de picos de potência, enquanto que no grupo III houve poucas alterações entre o controle e o LED. Com os resultados obtidos no presente estudo é possível inferir que houve aumento do tempo de trabalho muscular efetivo, com maior tempo para a fadiga muscular e maior dispersão da potência, ainda que com relativa redução da intensidade de forma progressiva, principalmente na dose de 6 J/cm². Estes dados podem inferir sobre uma possível dose mais eficiente de fototerapia LED sobre o treinamento muscular. Os dados preliminares apresentados no presente estudos, quanto à empregabilidade da TW na análise da atividade muscular, podem subsidiar estudos futuros de diagnósticos e pesquisas clínicas na área de reabilitação muscular.

Conclusão

Conclui-se que a irradiação com LED (640 nm) pode promover modificações na atividade do muscular e o aumento do tempo para o músculo entrar em processo de fadiga de forma dose dependente. Estes dados preliminares apontam para a eficácia da TW na análise não estacionária de sinais EMG, subsidiando estudos futuros.

Agradecimentos

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)/Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Superior Particulares (PROSUP) e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC-CNPq).

Referências

- [1] Marchini, L.; Dos Santos, J.F.F. Oclusão Dentária: Princípios e Prática Clínica. 1. ed. São Paulo: ELEVIER, 2012.
- [2] Celes, R.; Pereira, M.C.C.; Schwartz, F.P.; Rocha Junior, V.A.; Bpittaro, M. Fadiga muscular entre séries

de exercícios isocinéticos em mulheres jovens. Motriz, Rio Claro. 19(2):494-501, 2013.

- [3] Giuliani, A.; Lorenzini, L.; Gallamini, M.; Massell, A.; Giardino, L.; Calzà, L. Low infra red laser light irradiation on cultured neural cells: effects on mitochondria and cell viability after oxidative stress. Complementary and Alternative Medicine. 9(8):1-10, 2009.
- [4] Venezian, G.C.; Da Silva, M.A.M.R.; Mazzetto, R.G.; Mazzetto, M.O. Low level laser effects on pain to palpation and electromyographic activity in tmd patients: a double-blind, randomized, placebo-controlled study. Cranio. 28(2):84-91, 2010.
- [5] Muñoz I.S.S.; Hauck L.A.; Nicolau R.A.; Kelencz, C.A.; Maciel T.S.; Paula Júnior, A.R. Efeito do laser vs LED na região do infravermelho próximo sobre a atividade muscular esquelética: estudo clínico. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica. 29(3):262-8, 2013.
- [6] González, I. M. et al. New Wavelet Indices to Assess Muscle Fatigue during Dynamic Contractions. Engineering and Technology, 55:480-5, 2009.
- [7] De Luca, C.J. The use of surface electromyography in biomechanics. Journal of Applied Biomechanics. 13(2):135-63, 1997.
- [8] Bolzan, M.J.A. Análise da transformada em ondas aplicadas em sinal geofísico. Revista Brasileira de Ensino de Física. 26(1):37-41, 2004.
- [9] Muñoz, I.S.S.; Motta, A.J.C.M.; Nicolau, R.A.; Kelencz, C.A.; Paula Júnior, A.R. Analysis of the temporal muscle electromyographic signals using wavelets. Revista Univap. 18(32):5-14, 2012.
- [10] Kelencz, C.A.; Munoz I.S.S.; Amorim C.F.; Nicolau R.A. Effect of low-power gallium-aluminum-arsenium noncoherent light (640 nm) on muscle activity: a clinical study. Photomedicine and Laser Surgery. 28(5):647-52, 2010.
- [11] Califano, A.R.; Nicolau, R.A.; Lobo, P.D.C.; Kelencz, C.A.; Munoz, I.S.S. Electromyographic analysis of the masseter muscle and anterior bundle of the temporal muscle after muscular fatigue induction and LED irradiation (640 nm). Jornal Brasileiro de Laser. 2:30-8, 2009.
- [12] Karu, T.I. et al. Changes in absorbance of monolayer of living cells induced by laser radiation at 633, 670 and 820 nm. IEEE Journal of Quantum Electronics. 7(6):982-8, 2001.
- [13] Bolzan, M.J.A. Transformada em ondaleta: uma necessidade. Revista Brasileira de Ensino de Física. 28(4): 563-7, 2006.