

Artigo original**Correlação entre a fadiga subjetiva e objetiva na eletroestimulação neuromuscular*****Correlation between the subject fatigue and objective in the electrical neuromuscular stimulation***

Kênia Fonseca Pires*, Débora Bevilacqua Grosso**

.....

* Mestre em Fisioterapia - Centro Universitário do Triângulo – UNIT – Uberlândia-MG; Professora e Supervisora de estágio de Fisioterapia traumato-ortopédica – Fundação Educacional de Caratinga - FUNEC – FAFISC, ** Doutora em Anatomia - Patologia Buco Dental – Centro Universitário do Triângulo – UNIT – Uberlândia-MG

Palavras-chave:

eletromiografia,
eletroestimulação
neuromuscular, escala
visual analógica.

Resumo

Objetivos: Correlacionar o efeito imediato de dois parâmetros de modulação da eletroestimulação neuromuscular (EENM) na frequência mediana (Fmed), através da análise da atividade eletromiográfica dos músculos flexores do punho e da escala visual analógica (EVA).

Métodos: Foram analisados 12 voluntários, na faixa etária de 18 a 29 anos, divididos em dois grupos iguais. O programa da EENM consistiu de uma única aplicação de 30 minutos, sendo o 1º grupo (1G-MF) estimulado com corrente de média frequência (2000 Hz modulada a 50 Hz) e o 2º grupo (2G-BF) estimulado com corrente de baixa frequência (50Hz). A frequência mediana foi analisada durante três contrações isométricas voluntárias máximas (CIVM) de 4 segundos, realizadas sempre antes do preenchimento da EVA, que aconteceu antes do início da EENM, 10, 20 e 30 minutos durante a mesma e 15 minutos e 24 horas após seu término. Análise estatística utilizada foi a Correlação de Pearson.

Artigo recebido em 7 de maio de 2002; aprovado em 20 de junho de 2002.

Endereço para correspondência: Kênia Fonseca Pires, Avenida Moacyr de Matos, 90/ 302
Centro – Caratinga MG, Tel: (33)3321-9135 – E-mail: kfp@funec.br

Resultados: Houve correlação de Pearson, entre a diminuição da Fmed e o aumento da IF e DF, demonstrando correlação inversa perfeita para o grupo de baixa frequência (2 G-BF) em todos os tempos analisados, $r = -0,7093553$ para IF e $r = -0,6795900$ para DF. Também houve correlação inversa para o grupo de média frequência (1G-MF) a partir de 20 EENM, $r = -0,4138271$ para IF e $r = -0,2289225$ para DF.

Conclusão: Os resultados permitem concluir que o grupo eletroestimulado com baixa frequência (2G-BF), produz maior fadiga muscular que o grupo eletroestimulado com média frequência (1G-MF).

Abstract

Objectives: To analyze the immediate effect of two parameters of modulation of the neuromuscular stimulation electrical (EENM) in the medium frequency (Fmed), through the analysis of the electromyographic activity of the flexors of the wrist and through analogic visual scale (VAS).

Methods: Twelve volunteers were analyzed, in the age group from 18 to 29 years, divided equally in two groups. The program of EENM consisted of na only application of 30 minutes, being a group stimulated with current of average frequency (2000Hz modulated to 50Hz) and second group stimulated with current of low frequency (50Hz). Fmed was analyzed during 3 voluntary isometric contractions maximum (CIVM) of 4 seconds, always accomplished before VAS completion, that happened before the beginning of EENM, 10, 20 and 30 minutes during the same and 15 minutes and 24 hours after your end. The statistic analys was Correlation of Pearson.

Results: There was correlation of Pearson, between the decrease of Fmed and the increase of IF and DF, demonstrating perfect inverse correlation for the group of low frequency (2G-BF) in every analysed time, $r = -0,7093553$ for IF and $r = -0,6795900$ for DF. There was also inverse correlation for the group of average frequency (1G-MF) starting from 20 of EENM, $r = -0,4138271$ for IF and $r = -0,2289225$ for DF.

Conclusion: The results allow to conclude the group electrical stimulated with low frequency (2G-BF) it produces larger muscle fatigue that the group electrical stimulated with average frequency (1G-MF).

Key-words:

eletromyographic,
stimulation electrical
neuromuscular,
analogic visual scale.

.....

Introdução

A fadiga muscular pode ser definida como falência da propagação do potencial de ação e no acoplamento do sistema de contração – relaxamento. Este efeito é o resultado encontrado nas estimulações de baixa e média frequências, realizadas na prática clínica fisioterápica, evidenciada através da utilização da eletroestimulação neuromuscular (EE), em pacientes que se encontram em condições patológicas que comprometem o seu movimento.

A seleção da frequência utilizada depende dos objetivos terapêuticos desejados; quando o objetivo é desenvolver força muscular e gerar menor fadiga, Savage [4] recomenda a utilização de 10Hz a 50Hz. Por outro lado, Selkowitz [5] recomenda a frequência de 2500Hz, modulada a 50 Hz, para justificar uma forte contração e agradabilidade.

A EE é o uso de corrente elétrica para produzir contração muscular, favorecendo o fortalecimento e hipertrofia muscular, proporcionando um complemento no processo de recuperação e facilitando a conduta fisioterápica. Porém, a maior limitação da EE é a queda precoce da força muscular, devido sua fadiga. De acordo com Binder-MacLeod & McDermond [1], a frequência e a intensidade são fatores determinantes da força muscular, sugerindo que quanto maior a frequência, maior a fadiga muscular. Por outro lado, Laufer et al [?] indicaram a corrente de média frequência para produzir maior força muscular e menor fadiga muscular.

A avaliação da fadiga muscular induzida pela (EE), pode ser realizada pela escala visual analógica (EVA) e também pela análise da atividade do sinal eletromiográfico.

A EVA (*Visual Analogue Scale – VAS*) é formada por uma linha reta não numerada de 5cm de comprimento, que nas extremidades são assinalados pontos de nenhum cansaço muscular e maior cansaço muscular possível, e em outra reta são assinalados nenhuma sensação desagradável relacionada ao cansaço muscular e sensação mais desagradável possível relacionada ao cansaço muscular [2].

A análise do sinal eletromiográfico (EMG) é um método que permite o registro da atividade elétrica do músculo, que se faz por meio de eletrodos, funcionando como dispositivos de interface entre um sistema de registro e os tecidos do paciente. Em 1977, Lindstrom et al [3] propuseram um modelo matemático de geração do sinal mioelétrico e, em 1985, Basmajian & De Luca descreveram as manifestações elétricas da fadiga muscular e a sua localização. Sendo assim, o sinal eletromiográfico pode ser analisado quantitativamente pela amplitude da frequência dos sinais EMG. E a redução da frequência do sinal eletromiográfico indica a diminuição da velocidade de condução das fibras musculares.

Na literatura, foi encontrado apenas um trabalho que relacionasse a EE de baixa e média frequência, Grimby & Wigerstad-Lossing [8] demonstraram que não houve diferenças significativas entre as EE de alta e baixa frequência, em relação ao desconforto percebido.

Diante disso, o presente trabalho objetivou estabelecer possíveis correlações entre a eletromiografia e a intensidade e desagradabilidade da fadiga muscular, nos diferentes protocolos de EE.

Material e método

Foram analisados o feito de dois protocolos de EE nos músculos flexores do punho, do membro superior não dominante, de 12 voluntários divididos em dois grupos, com faixa etária de 18 a 29 anos ($X = 23 \pm 2,6$), tendo como critérios de inclusão não ter história de dor, fratura, de trauma e disfunção osteomioarticular no segmento a ser analisado, sendo os mesmos recrutados por convite verbal e após esclarecimentos da pesquisa, assinaram o Termo de Consentimento Informado, recebendo a aprovação pelo Comitê de Ética.

O 1º grupo representa o estimulado com média frequência (2.000 Hz modulada a 50Hz) e o 2º representa o grupo estimulado com baixa frequência (50Hz).

Tabela 1 – Parâmetros das correntes elétricas e dos procedimentos utilizados no programa de eletroestimulação neuromuscular

Parâmetros ee	1º grupo	2º grupo
Forma do pulso	Bifásico	Bifásico
Largura do pulso (μ s)	100	250
Tempo de subida (s)	0,5	0,5
Frequência (Hz)	2000	50
Modulação em amplitude (%)	100	100
Frequência da modulação (Hz)	50	-
Ton:Toff (s)	3:1	3:1
Tempo de estimulação (minutos)	30	30

O eletromiógrafo utilizado foi desenvolvido pelo Laboratório de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, sob a responsabilidade do Professor Dr. Alcimar Barbosa Soares, alocado no Laboratório de Eletromiografia do Centro Universitário de Uberlândia – UNIT, possuindo as seguintes características:

- Aquisição simultânea de até oito canais diferenciais;
- Terra comum a todos os canais;
- Filtros com faixa de passagem de 20Hz a 5KHz;
- Um estágio de amplificador ajustável, possibilitando ganhos entre 100 vezes e 41.000 vezes;
- Isolação óptica;
- - 1,5 Kv 9RMS) a 60Hz;
- RRMC (Relação de Rejeição em Modo Comum) de 93 dB a 60Hz;
- Faixa de entrada de - 10V a + 10V

Os eletrodos utilizados para captação da atividade elétrica dos músculos flexores do punho do membro superior não dominante foram eletrodos passivos bipolares de superfície do tipo Beckmam. Para garantir uma distância fixa entre os eletrodos, foi utilizada uma base de fixação, que manteve os eletrodos a uma distância de 20mm entre os centros [6].

Foi utilizado um software (aplicativo AlcEmg), que possibilitava o ajuste do número de canais, controle automático do processo de aquisição, cálculo do conteúdo espectral do sinal, cálculo da frequência mediana.

O equipamento utilizado para eletroestimulação neuromuscular (EENM), possuía

dois canais independentes, modelo Dualpex 961 (Quark), possibilitando variações de frequência na faixa de 1Hz a 4000Hz. Os eletrodos da EE de silicone-carbono consistiam área de 5cm².

Foi elaborada uma ficha para análise da fadiga muscular subjetiva, baseada na Escala Visual Analógica, utilizada para avaliar em suas dimensões intensidade e desagradabilidade.

Procedimentos

A sala foi preparada para o posicionamento de um dispositivo em acrílico que permitiu a fixação do punho a 45° flexão, confeccionado no Laboratório de Concepção Instrumental do Centro Universitário do Triângulo – UNIT (figura 1). Ele foi fixado na mesa de madeira para permanecer completamente estabilizado e permitir a realização das contrações isométricas. O eletroestimulador (figura 2), eletromiógrafo (figura 3) e computador foram posicionados de forma a facilitar a operação das atividades experimentais. Em seguida, os voluntários foram esclarecidos quanto a EE, preenchimento das escalas (figura 4), dos comandos verbais, que incentivariam na realização das contrações isométricas voluntárias máximas (CIVMs).

Posteriormente, o voluntário foi orientado que permanecesse na posição sentada com os membros inferiores apoiados no chão e o com o membro superior não dominante supinado e apoiado na mesa, então foi realizada a limpeza da pele sobre o ventre dos músculos flexores do punho, com álcool a 70%, para diminuir a impedância elétrica, em seguida foram posicionados os eletrodos da EE e EMG, untados com gel hidrossolúvel e fixados com fita adesiva na linha média do ventre muscular [9] e o eletrodo terra foi posicionado no epicôndilo lateral do úmero.

Os voluntários preencheram a EVA no início do procedimento e foram instruídos a se concentrar no comando verbal “atenção já” dado pelo operador do eletromiógrafo, para iniciar a contração de forma vigorosa com duração de 4s, para captação dos sinais EMG durante três CIVMs, obtidas na posição de 45° de flexão. Ao final do período de 10

minutos, 20 minutos e 30 minutos, foi realizada nova captação dos sinais EMG, através de três CIVMs e também o preenchimento das escalas subjetivas; totalizando 30 minutos de EE. Posteriormente, o voluntário permanecia 15 minutos em repouso e em seguida três novas aquisições do sinal EMG e preenchimento das escalas subjetivas e outra coleta foi realizada 24 horas após.

Em seguida, foi realizada a análise do sinal EMG e cálculo da frequência mediana e as escalas subjetivas foram mensuradas com régua profissional, a partir do ponto de nenhuma fadiga até o ponto assinalado pelo voluntário; o valor obtido foi multiplicado por 2, obtendo o resultado final em uma escala de 0 a 100 mm.

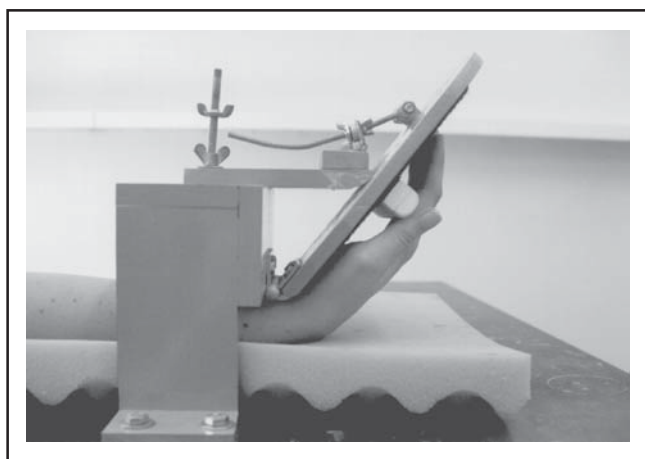


Figura 1 – Dispositivo em acrílico com fixação do punho a 45° flexão

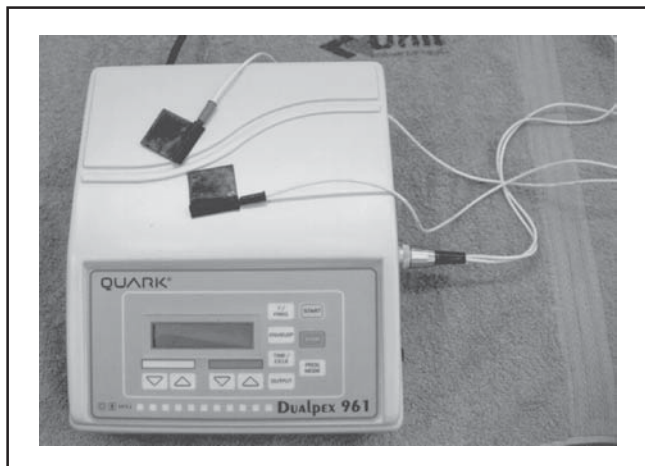


Figura 2 – Eletroestimulador neuromuscular



Figura 3 – Eletromiográfico

<div style="border: 1px solid black; width: 80%; margin: 0 auto; height: 20px;"></div> <p>Nenhum cansaço muscular</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 80%; margin: 0 auto; height: 20px;"></div> <p>Maior cansaço muscular possível</p>
<p>Outras informações: _____</p>	
<div style="border: 1px solid black; width: 80%; margin: 0 auto; height: 20px;"></div> <p>Nenhuma sensação desagradável relacionada ao cansaço muscular</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 80%; margin: 0 auto; height: 20px;"></div> <p>Sensação mais desagradável possível relacionada ao cansaço muscular</p>
<p>Outras informações: _____</p>	

Figura 4 – Escala visual analógica

Resultados

Para realizar a correlação da Fmed com a intensidade e desagradabilidade da fadiga, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson, para todos os tempos analisados, sendo $r = -1$, valor para correlação inversa perfeita.

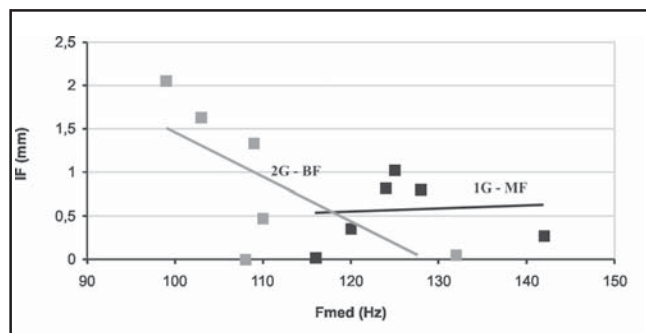


Figura 5 - Correlação da frequência mediana (F_{med}) e da intensidade da fadiga (IF) dos músculos flexores do punho no grupo 1 (IG-MF, $n=6$) e no grupo 2 (2G-BF, $n=6$). Para o IG-MF não houve relação inversa ($r=0,0758107$) e para o 2G-BF houve relação inversa entre F_{med} e IF ($r=-0,7093553$).

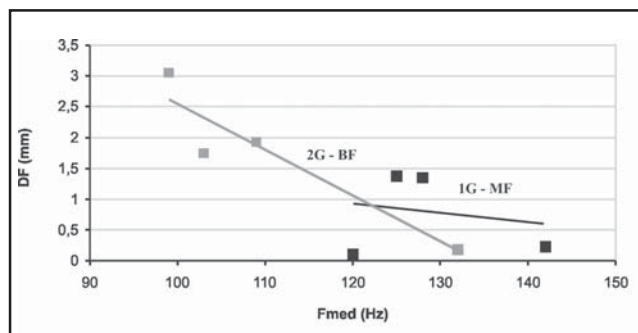


Figura 8 - Correlação da frequência mediana (F_{med}) e da desagradabilidade da fadiga (DF) dos músculos flexores do punho no grupo 1 (IG-MF, $n=6$) e no grupo 2 (2G-BF, $n=6$), a partir de 20 min de EE. Houve relação inversa entre F_{med} e DF tanto no IG-BF ($r=-0,2289225$) quanto no 2G-BF ($r=-0,9352397$).

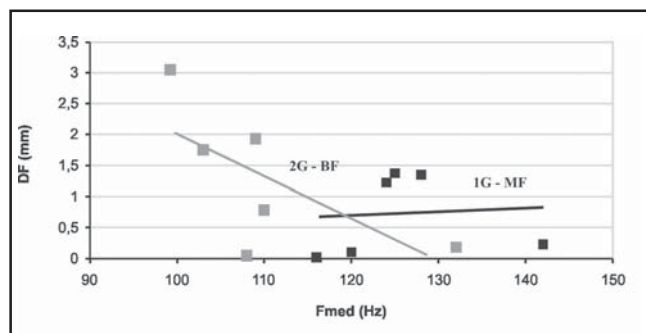


Figura 6 - Correlação da frequência mediana (F_{med}) e da desagradabilidade da fadiga (DF) dos músculos flexores do punho no grupo 1 (IG-MF, $n=6$) e no grupo 2 (2G-BF). No IG-MF não houve relação inversa ($r=0,0720535$) e no 2G-BF houve relação inversa entre F_{med} e DF ($r=-0,6795900$).

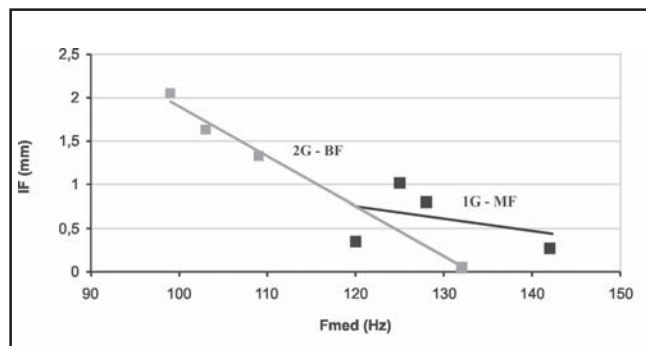


Figura 7 - Correlação da frequência mediana (F_{med}) e da intensidade da fadiga (IF) dos músculos flexores do punho no grupo 1 (IG-MF, $n=6$) e no grupo 2 (2G-BF, $n=6$), a partir de 20 min de EE. Houve relação inversa entre F_{med} e IF tanto para IG-MF ($r=-0,4138271$) quanto para 2G-BF ($r=-0,9958522$).

Discussão

Neste trabalho foi verificado os dados da frequência mediana, relacionados com os dados da EVA, através da correlação de Pearson. Isto é, se a diminuição da frequência mediana era acompanhada de aumento da IF e DF. Os resultados revelaram que houve relação inversa entre a frequência mediana e a intensidade (IF) e/ou desagradabilidade (DF) da fadiga, no grupo eletroestimulado com corrente de baixa frequência, para todos os tempos analisados. A mesma relação não foi observada no grupo de média frequência quando realizada a análise de todos os tempos. Não foi encontrado estudos que correlacionassem estes parâmetros, por isso os resultados não podem ser diretamente comparados.

Apesar dos resultados deste trabalho revelarem que a modulação, em amplitude da corrente de baixa frequência, causou maior fadiga muscular e também maior percepção subjetiva da mesma em relação a corrente de média frequência, estes resultados não concordam com os resultados de Guirro, que observou diminuição da frequência mediana da EE de média frequência [9]. No entanto, o autor não realizou análise imediata da frequência mediana, mas no final de um protocolo de 15 dias de EE, atribuiu os resultados encontrados ao recrutamento seletivo das

fibras musculares susceptíveis à fadiga (fibras do tipo II).

Portanto, os resultados encontrados da frequência mediana e intensidade e desagradabilidade da fadiga (IF e DF) do grupo de média frequência, indicam que esta modulação é a mais adequada para ser utilizada, porque além de não promover fadiga muscular, também é a mais agradável.

No entanto, ao comparar estas mesmas variáveis a partir de 20 minutos de EE, foi observado que quando há diminuição da frequência mediana, existe também aumento da intensidade e desagradabilidade da fadiga, a partir deste período de aplicação. Portanto, a presença desta relação inversa à de baixa frequência, nas aplicações que não ultrapassem o tempo de 20 minutos de EE, evidenciaram que aumentam as possibilidades de ocorrer fadiga, tanto objetiva quando subjetiva.

Conclusão

A EE com corrente de média frequência mostrou-se mais vantajosa que a EE de baixa frequência. No entanto, a partir de 20 minutos de EE, também apresentou correlação inversa entre a frequência e a intensidade e desagradabilidade da fadiga. Portanto, esse período é o tempo ideal para a EE e cuidados adicionais devem ser tomados para protocolos mais demorados.

Referências

1. Binnder-MacLeod SA, McDermond LR. Changes in the force-frequency relationship of the human quadriceps femoris muscle following electrically and voluntarily induced fatigue. *Phys Ther* 1992;72(2):95-104.
2. Harmitt M et al. Relação entre dor e fadiga antes e após a avaliação da força muscular e do pico de torque médio para o músculo quadríceps da coxa. In: Congresso de Iniciação Científica, 6 anais Unimep/CNPq, 1998; p.65-66.
3. Lindstrom L, Kadefors R, Petersen I. Na electromyographic index for localized muscle fatigue. *JApplPhysiol* 1977;43:750-754.
4. Savage B. Interferential therapy. London:Faber and Faber, 1984.
5. Selkowitz DM. High frequency electrical stimulation in muscle strengthening. *Am J. Sports Med.*
6. Andrade A. Técnicas para classificação de sinais EMG no controle de membros artificiais. 2000. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Faculdade de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Uberlândia 2000.
7. Basmajian IV, De Luca C. Muscle active their functions revealed by electromyography. 5 . ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1985;p. 516.
8. Grimby G, Wigerstad-Lossing. Comparison of high- and low frequency muscle stimulators. *Arch Phys Med Rehabil* 1989;70:835-838.
9. Guirro A. Análise da atividade elétrica e da força dos músculos flexores da mão após estimulação elétrica neuromuscular. 2000. 193 f. Tese (Doutorado em Anatomia) Pós-Graduação em Biologia e Patologia Bucal Dental, Universidade de Campinas, Piracicaba 1989;17(1):103-111.