

AValiação da Fadiga Eletromiográfica dos Músculos Bíceps Braquial e Extensor dos Dedos**Bianca Callegari¹, Marília Maniglia de Resende², Luiz Armando Vidal Ramos³,
Diogo Rodrigues Martins³, Railana Gomes dos Santos³****RESUMO**

Objetivo: Comparar valores de frequência mediana (FM) e *Root Mean Square* (RMS) por meio do tempo, visando quantificar a alteração desses parâmetros em função da instalação de fadiga muscular. **Materiais e Métodos:** Os voluntários foram avaliados pela eletromiografia de superfície (SEMG) e submetidos aos testes de contrações isométricas, dos músculos bíceps braquial e extensor dos dedos, com cargas percentuais de 25% e 75% de sua capacidade máxima, durante dois dias diferentes, com intervalo mínimo de 48 horas. **Resultados:** Houve aumento do (RMS) para ambos os músculos, nos dois testes. Esse aumento foi mais evidente durante o exercício a 75% da carga máxima para o bíceps braquial e extensor dos dedos, sendo que houve maior variação para o bíceps, quando comparado com o extensor. A variação da (FM) foi negativa para ambos os músculos, sendo também mais evidente durante o exercício a 75% da carga máxima. Ao se comparar os dois músculos a variação ocorrida em detrimento do incremento da carga foi maior para o músculo bíceps braquial. O tempo de instalação da fadiga para ambos os músculos foi maior no protocolo a 25% da carga máxima. **Conclusão:** O aparecimento da fadiga foi diretamente proporcional ao incremento de carga e ao tempo de exercício. O bíceps braquial apresentou maior fadiga que o extensor dos dedos, tanto a 25% e a 75% da máxima. Além disso, o mesmo também obteve menor tolerância ao tempo, tendo fadigado mais rapidamente.

Palavras-chave: Eletromiografia, Fadiga, Bíceps Braquial, Extensor dos dedos.

1- Fisioterapeuta; Docente do curso de Fisioterapia da UFPA - Universidade Federal do Pará

2- Fisioterapeuta; Docente da Faculdade SEAMA, Amapá

3- Graduados (a) do curso de Fisioterapia da Faculdade SEAMA, Amapá

ABSTRACT

Electromyographic fatigue evaluation of biceps brachial and extensor of the finger muscles.

Objective: To analyze and compare values of median frequency (MF) and root mean square (RMS) in time, to quantify the change in these parameters depending on the installation of muscle fatigue. **Methodology:** The volunteers were evaluated by Surface Electromyography (SEMG) and subjected to tests of isometric contractions of biceps brachii and extensor muscles of the fingers, with load percentage of 25% and 75% of its maximum capacity, in two different days, with at least 48 hours. **Results:** There was an increase of RMS for both muscles in two tests. This increase was more evident during exercise at 75% of maximum load for both biceps and extensor, and there was greater variation in the biceps muscle when compared with the extender. The variation of the FM was negative for both biceps and extensor, and more evident during exercise at 75% of maximum load. When comparing the two muscles the change occurred by increasing the load was a little higher at the biceps muscle. The installation time of fatigue for both muscles was higher in the protocol to 25% of maximum load. **Conclusion:** The fatigue installation was directly proportional to the increase of load and the exercise duration. The biceps brachial showed higher fatigue than the extensor fingers, even at 25% and 75% of maximum capacity. It also had less tolerance to time, and have fatigued more quickly.

Key-words: Electromyography, Fatigue, biceps brachii, extensor of the fingers.

Endereço para correspondência:

callegaribi@uol.com.br

luiz.armando@usp.br,

marrone_d@hotmail.com,

railanasantos@hotmail.com,

INTRODUÇÃO

A fadiga muscular é expressa como a diminuição na capacidade de um músculo gerar trabalho (Taylor e Gandevia, 2008), sendo considerada uma falha na manutenção de um nível de rendimento durante determinado exercício repetitivo ou isométrico (Gonçalves, 2006).

Quando se estuda a fadiga é necessário considerar a composição histológica do músculo em questão, pois a resistência muscular difere quanto ao tipo de fibra predominante. A fibra do tipo I apresenta pouca produção de força e contração lenta, sendo mais resistente à fadiga e encontra-se em maior número nos músculos posturais ou tônicos. A fibra do tipo II de contração rápida está presente em grande número na musculatura fásica, e possui alta capacidade de geração de força e potência, sendo mais vulnerável à fadiga muscular (Guyton e Hall, 2002).

Os músculos bíceps braquial e extensor dos dedos têm composição predominante de fibras do tipo II, sendo fundamentais na ação de inúmeras atividades de vida diária (AVD's), técnicas esportivas e movimentos ocupacionais em diversas profissões (Guyton e Hall, 2002; Blackwell, Kornatz e Heath, 1999).

A eletromiografia de superfície (SEMG) é uma ferramenta amplamente utilizada e eficaz na análise da atividade elétrica, realizada pelas unidades motoras da musculatura estriada esquelética (Silva, Fraga, Gonçalves 2007; Lawrence e DeLuca, 1983), permitindo estudar e quantificar o processo de fadiga muscular e seu desencadeamento, inclusive com comprovação científica (Silva e Gonçalves, 2003).

Quantificar a fadiga em função do nível de carga e do tempo de exercício nos possibilita verificar o limite que um indivíduo sedentário ou até mesmo um atleta pode suportar, durante a prática de exercícios físicos e AVD's, sem se expor aos danos da fadiga. Isso propõe um protocolo de treinamento com intensidade e duração ideal (Beck e colaboradores, 2005; Diefenthal e Vaz, 2008).

Portanto o objetivo desse estudo foi comparar valores registrados pelos parâmetros eletromiográficos de frequência mediana (FM) e *Root Mean Square* (RMS) em

função do tempo, visando quantificar em porcentagem a alteração desses parâmetros no momento em que os músculos extensor dos dedos e bíceps braquial entram em fadiga, ao serem realizados exercícios de contrações isométricas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionados 19 voluntários adultos, sedentários, destros e de ambos os gêneros, com idade entre 18 e 30 anos. Critérios de exclusão: indivíduos com dominância esquerda de membros superiores, históricos de disfunção músculo-esquelética nas articulações do membro superior direito (MSD).

Os voluntários assinaram um termo de consentimento formal referente à participação na pesquisa, a qual foi conduzida de acordo com o Conselho Nacional de Saúde (Resolução 196/96).

Instrumentação e equipamentos

A atividade SEMG foi adquirida utilizando Conversor Analógico-Digital de quatro canais com programa de aquisição de dados (Eletromiógrafo de Superfície e Biofeedback - Miotool 400® + Miograph 1.5.3®), com resolução de 14 bits. Os sinais foram coletados com frequência de amostragem de 2.000 amostras por segundo em cada canal e captados por sensores diferenciais de superfície (SDS500), e eletrodos circulares (Meditrace Ag/AgCl), com 10 mm de diâmetro, colocados em pares com distância entre os eletrodos de dois cm.

Para realização dos exercícios foi utilizado um dinamômetro digital, da marca (Primax) com capacidade total de 200 Kgf, que é sensível a uma força de tração resultante da contração isométrica da função flexora do músculo bíceps braquial e extensora do músculo extensor comum dos dedos.

Procedimentos

Antes da colocação dos eletrodos, foi realizada tricotomia com lâmina e limpeza da pele com sabão neutro. Os eletrodos foram colocados sobre a região ventral do músculo bíceps braquial direito e no ventre do extensor dos dedos seguindo orientações SENIAM (*Surface EMG for a non-invasive assessment*

of muscles) (Hermens e Colaboradores, 2000). O teste de CVM foi realizado para flexão de cotovelo avaliando o bíceps braquial, e para a extensão dos dedos avaliando o extensor dos dedos. O eletrodo de referência foi colocado no epicôndilo medial do membro contra-lateral.

Os músculos bíceps braquial e extensor dos dedos, foram avaliados, inicialmente, por meio do teste de Contração Voluntária Máxima (CMV) e, posteriormente, foram induzidos a fadiga em dois protocolos, o primeiro pela contração isométrica sustentada a 25%CVM e o segundo a 75%CVM. O posicionamento para o teste de CVM e para os dois protocolos do bíceps braquial foi realizado com o antebraço dos sujeitos posicionados a 90° de flexão de cotovelo em relação ao eixo longitudinal da resistência gerada pelo dinamômetro.

Os voluntários permaneceram sentados, com os pés apoiados no chão e MSD livre de apoio, com articulação do ombro em posição de referência, junto ao tronco mantendo 90° de flexão de cotovelo. Para o teste de CVM e demais protocolos do extensor, o antebraço dos sujeitos foi posicionado com punho em posição de referência, a 90° em relação ao eixo longitudinal da resistência gerada pelo dinamômetro e o cotovelo em extensão de 180°, na postura sentada, os pés apoiados no chão, com antebraço do MSD apoiado sobre uma maca. O punho foi estabilizado para evitar compensações.

O teste de CVM nos permitiu, a partir da carga máxima alcançada, calcular as cargas percentuais de 25% e 75% da CVM, administradas durante os protocolos de indução a fadiga. Esses protocolos foram realizados randomicamente em dois dias, com um intervalo mínimo de 48 horas. Cada teste consistiu de contrações isométricas mantidas até a exaustão, mediante feedback visual. A interrupção do protocolo era realizada por

indicação do sujeito ou quando o mesmo apresentava decréscimo da capacidade de sustentação da carga estabelecida, maior ou igual a 30%.

O tempo de realização do teste até a instalação de fadiga, os valores de RMS e de FM foram os parâmetros de análise. Em relação ao RMS e FM, foram selecionados os valores referentes aos intervalos dos primeiros 15 segundos de contração e dos últimos 15 segundos, calculando-se a variação (positiva ou negativa) dos valores finais, subtraindo-se os valores iniciais.

Os valores de RMS e FM foram coletados tanto no teste de CVM, como nos dois protocolos realizados a 25%CVM e 75%CVM. Os valores de RMS obtidos nos dois protocolos de indução a fadiga foram normalizados pelo valor médio obtido na CVM. Este teste foi composto por três CVMs, realizadas durante 10 segundos com intervalo de três minutos entre as mesmas.

Todos os testes estatísticos foram aplicados com o auxílio do software BioStat 5.0, e utilizou-se o teste D'Agostino para verificar a normalidade dos dados. Considerando que todas as variáveis apresentaram algum grupo de dados com distribuição anormal, optou-se pelo tratamento não paramétrico nas múltiplas comparações realizadas. Todos os grupos foram comparados pelo teste Wilcoxon, com nível de significância de 0,05.

RESULTADOS

As três variáveis (RMS, FM e tempo) foram comparadas entre os exercícios realizados a 25% CVM e 75% CVM, em cada músculo. A tabela 1, abaixo, representa a variação percentual, em ambos os músculos, da atividade elétrica muscular, considerando-se a variável RMS, FM e o tempo até a instalação da fadiga.

Tabela 1 - Média e Desvio Padrão da variação dos valores de RMS, FM e Tempo até a instalação da fadiga, dos músculos extensor dos dedos e bíceps braquial.

	Extensor dos dedos		Bíceps braquial	
	25%	75%	25%	75%
RMS ($\Delta \% = T_f - T_0$)	16,16 (10,3)*	39,01 (29,6)*	10,17 (14)*	55,05 (35,8)*
FM ($\Delta \text{freq} = T_f - T_0$)	-18,56 (10,7)*	-30,54 (18,6)*	-9,75 (6,4)*	-21,97(10,9)*
TEMPO (seg)	878,05 (528,3)*	138,74 (180,3)*	492,42(151,9)*	61,68(23,4)*

*p<0,05

DISCUSSÃO

Verificou-se que o tempo para instalação de fadiga foi maior quanto menor a carga, assim como nos resultados de (Oliveira e colaboradores, 2006), que realizaram um estudo cujo objetivo foi avaliar a atividade elétrica do músculo latíssimo do tórax analisando a influência do tempo de execução e da intensidade da carga durante o exercício exaustivo de rosca bíceps. Gonçalves (2006), também destacou que a fadiga é um processo tempo-dependente desenvolvido no sistema neuromuscular. Isso indica que quanto mais intenso o exercício, menos tempo o indivíduo pode suportar.

Para justificar esse acontecimento, devemos considerar, segundo (Guyton e Hall, 2002), que a determinação do tempo de exercício mantido e, principalmente a quantidade de glicogênio acumulada no músculo é decorrente da carga utilizada. Assim, quanto maior a carga, mais intenso é o exercício, aumentando consideravelmente o consumo de glicose e demais nutrientes, fazendo com que seus estoques esgotem-se mais rápido e a produção de energia decaia, reduzindo o tempo de instalação da fadiga.

Observando o comportamento do RMS, o maior aumento percentual da amplitude do sinal ocorreu nas coletas com carga de 75% da CVM, tanto para o bíceps braquial (com aumento de 55%), como para o extensor dos dedos (com 39% de aumento). Já o aumento no teste com carga de 25% da CVM foi de 16% para o extensor dos dedos e de apenas 10% para o bíceps. Estudos descrevem o aumento desse parâmetro como um indício de instalação da fadiga muscular (Silva e Gonçalves, 2003; Paula, Vale e Dantas, 2006; Silva e Gonçalves, 2003; Gonçalves, 2006).

O aumento da atividade elétrica muscular registrada pelo RMS é uma resposta fisiológica ao processo de instalação da fadiga. Silverthorn (2003), relata que as contrações sustentadas exigem a liberação contínua de potenciais de ação que aumentam gradativamente com o transcorrer dessas contrações e o aumento na taxa de estimulação de uma fibra muscular resulta em somação de suas contrações, o que pode levar à fadiga. Como mecanismo de compensação fisiológica para manter a mesma carga percentual, próxima ao valor

exigido, o sistema nervoso realiza o recrutamento assíncrono, que consiste em recrutar mais fibras musculares e alternar a ativação das unidades motoras. Portanto, como o teste a 75% foi o de maior carga, esse comportamento ocorreu de forma mais intensa, e o mecanismo perdurou por menos tempo, já que os potenciais de ação aumentaram rapidamente em um curto espaço de tempo para recrutar mais fibras e manter o exercício, até ser incapaz de evitar a fadiga.

Na análise da frequência mediana podemos verificar que em ambos os músculos houve diminuição de seu espectro do início ao final das coletas, pois a diminuição desse parâmetro comprova a instalação da fadiga (Gonçalves, 2006; Oliveira e colaboradores, 2006; Paula, Vale e Dantas, 2006).

Os indicadores espectrais de fadiga constituem uma proposta de representação mais direta da fadiga muscular do que os parâmetros de amplitude. O'Sullivan e Schmitz, (2004), comprovam que durante a realização de um exercício exaustivo, se o espectro de frequência não diminui é sinal de que outros grupos musculares estão sendo responsáveis pela execução do exercício, e que o mesmo ocorre se houver uma queda da frequência sem a diminuição da produção de força.

A instalação da fadiga muscular é um processo que altera as funções fisiológicas do sistema neuromuscular, sendo que a condução do estímulo elétrico despolarizante fica comprometido ao longo de uma unidade motora. Este processo é decorrente do aumento na concentração de potássio e resíduos metabólicos como fosfato inorgânico e lactato, alterando a funcionalidade das bombas de sódio e potássio, causando prejuízo na excitabilidade das fibras musculares (Lind e Petrofsky, 1979; Blackwell, Kornatz e Heath, 1999).

As alterações dos parâmetros que caracterizam a fadiga foram evidentes em ambos os músculos, porém de forma mais intensa no músculo bíceps braquial. (Oliveira e colaboradores, 2006), afirmam que o aumento da atividade elétrica pode estar associado à necessidade de recrutar mais fibras Tipo II, que apresentam maiores valores de amplitude no sinal eletromiográfico, sendo menos resistente à fadiga. Portanto, acredita-se que o músculo bíceps braquial fadigou mais rápido

que o extensor dos dedos, devido sua composição histológica.

Este estudo contribui também para a área esportiva, pois os treinamentos de modo geral têm como característica a manutenção de alta intensidade por tempo prolongado, já que para um atleta ter êxito em sua modalidade esportiva, é necessário manter repetidas ações musculares por períodos prolongados, o que favorece a instauração do processo de fadiga, acarretando em diversas alterações (Lind e Petrofsky, 1979). Tais alterações têm sido descritas na literatura e podem ter repercussão na magnitude, direção e sentido das forças aplicadas durante o exercício, afetando assim a técnica da prática esportiva e, conseqüentemente o desempenho do atleta (Diefenthaler e Vaz, 2008), como por exemplo, na alteração da marcha em uma corrida realizada até a exaustão (Silva, Fraga e Gonçalves, 2007).

Diefenthaler e Vaz, (2008), ao abordar os aspectos relacionados à fadiga durante o ciclismo, concluíram que nessa modalidade a fadiga estaria relacionada com a perda da técnica de pedalada e conseqüentemente, um prejuízo considerável no desempenho do atleta. Mas o mesmo processo de fadiga pode ser desencadeado em atletas de qualquer modalidade esportiva, tais como no levantamento de peso, ou até mesmo nas academias de musculação para os não-atletas, na qual os músculos são recrutados em alta intensidade. De certa forma as atividades intensas e de longa duração proporcionam aos músculos uma série de eventos que influenciam na eficiência e capacidade de geração de força, desde que se tenha um controle nos treinos.

Outro fator importante citado por (Miura e colaboradores, 2004), é que a fadiga muscular apresenta diversos fatores que causam diminuição da propriocepção do corpo, esse assunto também é discutido por (Silva, Fraga e Gonçalves, 2007), os quais afirmam que o processo de fadiga acarreta tanto danos motores quanto sensoriais. A propriocepção é a capacidade do corpo de se localizar no espaço, ou seja, capacidade sensitiva que nos transmite a idéia de como o movimento está sendo executado. Isso pode afetar, por exemplo, o rendimento de um atleta, como os que competem na modalidade de lançamento de dardo nas olimpíadas, onde a integridade proprioceptiva influencia o

movimento no momento exato de lançamento, exigindo ação precisa de vários músculos, entre eles o extensor dos dedos.

A fadiga muscular não acomete exclusivamente atletas, pessoas sedentárias também podem ser afetadas (Oda e Kida, 2001; Clarke, 1971). Paula e colaboradores, (2006), realizaram estudos em que observaram a relação entre o nível de autonomia funcional de idosos com o grau de fadiga muscular através da eletromiografia, concluíram que a fadiga muscular exerce grande influencia nas AVD's e autonomia funcional dos idosos, como: sentar-se e levantar-se da posição sentada ou locomover-se pela casa. Vale ressaltar que a fadiga também tem grande relação com exercícios repetitivos, quando a musculatura não tem o período adequado de repouso, acarretando em acúmulo de estresse físico, podendo ser observado em atividades como: tocar piano, digitação de texto, musculação, entre outras.

Considerar a relação entre fadiga, carga e tempo, permitiu estabelecer limites em indivíduos sedentários, para que não atinjam à fadiga durante a execução de um exercício isométrico, que pode estar presente em movimentos ocupacionais nas diversas profissões, AVD's, atividades físicas e principalmente em técnicas esportivas. Isso serve de suporte para futuras pesquisas que visem propor um protocolo de treinamento mais elaborado, com intensidade e duração ideal, adaptados as características individuais de cada pessoa.

CONCLUSÃO

Ao comparar os valores registrados pelos parâmetros eletromiográficos de frequência mediana (FM) e raiz quadrada da média (RMS) nos permitiram quantificar em percentagem o grau de fadiga que os músculos extensor dos dedos e bíceps braquial foram submetidos. O aparecimento de fadiga foi diretamente proporcional ao incremento de carga e ao tempo de exercício. O bíceps braquial, quando comparado ao extensor, apresentou maior fadiga ao ser submetido às cargas de 25% e 75% da máxima. Além disso, o bíceps obteve menor tolerância ao tempo, tendo fadigado mais rapidamente.

REFERÊNCIAS

- 1- Clarke, D.H. The influence on muscular fatigue patterns of the intercontraction rest interval. *Med Sci Sports*. Vol. 3. Num. 2. 1971. p. 83-88.
- 2- Beck, T.W.; Housh, T.J.; Johnson, G.O.; Weir, J.P.; Cramer, J.T.; Coburn, J.W.; Malek, M.H. The effects of interelectrode distance on electromyographic amplitude and mean power frequency during isokinetic and isometric muscle actions of the biceps brachii. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. Num. 15. 2005. p. 482-495.
- 3- Blackwell, J.R.; Kornatz, K.W.; Heath, E.M. Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis. *Applied Ergonomics*. Num. 30. 1999. p. 401-405.
- 4- , R.F.; Vaz, M.A. Aspectos relacionados à fadiga durante o ciclismo: uma abordagem biomecânica. *Rev Bras Med Esporte*. Vol. 14. 2008. p. 472-477.
- 5- Gonçalves, M. Eletromiografia e a identificação da fadiga muscular. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*. Vol. 20. Num. 5. 2006. p. 91-93.
- 6- Guyton, A.C.; Hall, J.E. *Tratado de Fisiologia Médica*. 10a ed., Rio de Janeiro, Guanabara koogan S.A, 2002.
- 7- Hermens, H.J.; Freriks, B.; Disselhorst-Klug, C.; Rau, G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol*. Vol. 10. 2000. p. 361-374.
- 8- Lawrence, J.H.; DeLuca, C.D. Myoelectric signal versus force relationship in different human muscles. *J Appl Physiol*. 1983; Num. 54. 1983. p. 1653-1659.
- 9- Lind, A.R.; Petrofsky, J.S. Amplitude of the surface electromyogram during fatiguing isometric contractions. *Muscle Nerve*. Num. 2. 1979. p. 257-264.
- 10- Miura, K.; Ishibashi, Y.; Tsuda, E.; Okamura, Y.; Otsuka, H.; Toh, S. The effect of local and general fatigue on knee proprioception. *Arthroscopy*. Vol. 20. Num. 4. 2004. p. 414-418.
- 11- Oda, S.; Kida, N. Neuromuscular fatigue during maximal concurrent hand grip and elbow flexion or extension. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. Num. 11. 2001. p. 281-289.
- 12- Oliveira, A.; Gonçalves, M.; Cardozo, A.; Barbosa, F. Exercício rosca bíceps: influência do tempo de execução e da intensidade da carga na atividade eletromiográfica de músculos lombares. *Rev. Port. Cien. Desp*. Vol. 6. Num. 2. 2006. p. 170-178.
- 13- O'sullivan, S.B.; Schmitz, T.J. *Fisioterapia: avaliação e tratamento*. 4a ed., Barueri – SP: Manole, 2004.
- 14- Paula, R.H.; Vale, R.G.S.; Dantas, E.H.M. Relação entre o nível de autonomia funcional de adultos idosos com o grau de fadiga muscular aguda periférica verificado pela eletromiografia. *Fitness & Performance Journal*. Num. 5. 2006. p. 95-100.
- 15- Silva, S.R.D.; Fraga, C.H.W.; Gonçalves, M. Efeito da fadiga muscular na biomecânica da corrida: uma revisão. *Matriz*. Vol. 13. Num. 3. 2007. p. 225-235.
- 16- Silva, S.R.D.; Gonçalves, M. Análise da fadiga pela amplitude do sinal eletromiográfico. *R. bras. Ci e Mov*. Vol. 11. 2003. p. 15-20.
- 17- Silva, S.R.D.; Gonçalves, M. Comparação de protocolo para verificação da fadiga muscular pela eletromiografia de superfície. *Matriz*. Vol. 9. 2003. p. 51-58.
- 18- Silverthorn, D.U. *Fisiologia Humana: uma abordagem integrada*. 2 a ed., São Paulo: Manole, 2003.
- 19- Taylor, J.L.; Gandevia, S.C. A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. *J Appl Physiol*. Num. 104. 2008. p. 542-550.

Recebido para publicação em 26/10/2010
Aceito em 10/02/2011