
A ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA NEUROMUSCULAR DO TIBIAL ANTERIOR NÃO ALTERA A MORFOLOGIA DOS MÚSCULOS SÓLEO (ANTAGONISTA) E EXTENSOR DIGITAL LONGO (SINERGISTA) DO RATO¹

Lilian Calili Camargo*, Viviane Balisardo Minamoto**, Marcos Amaral de Noronha*,
Carlos Eduardo dos Santos Castro***, Tania de Fátima Salvini****

Camargo, L.C., Minamoto, V.B., Noronha, M.A., Castro, C.E.S., Salvini, T.F. A estimulação elétrica neuromuscular do tibial anterior não altera a morfologia dos músculos sóleo (antagonista) e extensor digital longo (sinergista) do rato. *Rev. Fisioter. Univ. São Paulo*, v.5, n.2, p. 120-6, jul. / dez., 1998.

RESUMO: A estimulação elétrica neuromuscular (EENM) é um recurso fisioterápico muito utilizado para produzir fortalecimento e hipertrofia muscular. O objetivo deste trabalho foi analisar os efeitos morfológicos da EENM na musculatura sinergista e antagonista ao músculo diretamente estimulado. O músculo tibial anterior (TA) direito de seis ratos (Wistar) foi submetido à eletroestimulação e os músculos extensor digital longo (EDL) e sóleo, sinergista e antagonista ao TA, respectivamente, foram analisados. A EENM foi realizada em uma frequência de 52 Hz., com ciclo ON-OFF na proporção de 1/1, rampa de subida de trens de pulso de 2,2 seg. e intensidade de aproximadamente 0,5 mA. Foram produzidas 20 contrações em cada sessão, 3 vezes por semana, durante 8 semanas. Posteriormente os animais foram anestesiados, e os músculos EDL e sóleo direito e esquerdo foram removidos, pesados, congelados, seccionados e corados com Azul de Toluidina, para avaliação morfológica das fibras musculares. Estudo prévio, realizado no TA diretamente estimulado, não revelou alterações morfológicas significativas no músculo¹⁹. Aqui também não foram observadas diferenças significativas no peso, área média das fibras e incidência de sinais de lesão no EDL e no sóleo, quando comparados com os músculos da pata controle não estimulada. Esses resultados indicam que o protocolo utilizado para EENM, não produziu alterações morfológicas significantes nos músculos EDL (sinergista) e sóleo (antagonista) após estimulação do TA.

DESCRITORES: Ratos Wistar. Terapia por estimulação elétrica, métodos. Tibia. Músculo esquelético. Fisioterapia, métodos.

¹ Trabalho de Graduação em Fisioterapia, desenvolvido no Laboratório de Neurociências, Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP.

* Alunos do Curso de Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP.

** Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Fisiológicas da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP.

*** Prof. Auxiliar do Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP.

**** Professora Adjunto IV do Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP.

Endereço para correspondência: Viviane Balisardo Minamoto. Laboratório de Neurociências, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos. Rodovia Washington Luiz, Km 235. Cx. P. 676. 13.565-905, São Carlos, SP. e-mail: pvim@iris.ufscar.br.

INTRODUÇÃO

A hipertrofia muscular representa uma adaptação do tecido muscular a um determinado estímulo, sendo caracterizada pelo aumento da área das fibras musculares isoladas, decorrente de um aumento na síntese de proteínas contráteis¹².

Os estímulos responsáveis pela hipertrofia muscular podem ser induzidos, por exemplo, através de programas de fortalecimento muscular com exercícios físicos^{3,10,11} e também utilizando-se a estimulação elétrica neuromuscular (EENM)^{5,8,15,16}.

Sabe-se que as alterações induzidas pela estimulação elétrica na propriedade contrátil do músculo estão associadas às alterações na composição das proteínas miofibrilares, determinadas por alterações na expressão gênica dessas proteínas e enzimas musculares, como forma de adaptação do músculo às mudanças no seu padrão de atividade²¹.

O interesse de se verificar os efeitos da eletroestimulação muscular tem levado a realização de vários estudos, utilizando-se diferentes técnicas e parâmetros de aplicação da eletroestimulação^{1,13,14,18,24}.

É importante ressaltar que os estudos realizados para avaliar o efeito da eletroestimulação nos músculos esqueléticos não se restringiram em analisar somente o músculo diretamente estimulado, mas também seu efeito em músculos agonistas, sinergistas, antagonistas e também contralateral. Trabalho anterior¹⁷ descreveu a eficácia da eletroestimulação em atenuar não só a atrofia do músculo diretamente estimulado, tibial anterior cranial (TA), mas também do seu antagonista (sóleo), uma vez que este último sofre um alongamento passivo durante a estimulação.

Este é um aspecto interessante a ser estudado, pois recentemente foi observada uma relação direta entre o alongamento passivo e aumento do diâmetro da fibra muscular². Foi também observado que o alongamento muscular estático foi mais eficiente para a síntese muscular protéica do que a contração muscular induzida eletricamente⁹.

Estudo recente desenvolvido em nosso laboratório não revelou alterações morfológicas significantes no músculo TA do rato, submetido a um protocolo de estimulação similar ao freqüentemente utilizado na clínica¹⁹. O músculo TA estimulado não apresentou diferença quando comparado ao TA da pata contralateral não-estimulada. O objetivo do presente estudo foi in-

vestigar, nesses mesmos animais, um possível efeito da EENM em músculos sinergistas e antagonistas ao TA.

MATERIAL E MÉTODO

GRUPO EXPERIMENTAL

Foram utilizados ratos Wistar machos (n = 06), adultos, com peso médio de 300 g, adquiridos no Biotério Central da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar. Estes animais foram mantidos agrupados em gaiolas de polietileno no biotério do Laboratório de Neurociências da UFSCar, com livre acesso à água e ração peletizada.

PROTOCOLO DE ELETROESTIMULAÇÃO

Após prévia anestesia e tricotomia da região lombosacra e da superfície ântero-lateral da pata posterior direita, o animal foi imobilizado em decúbito lateral esquerdo, com fita adesiva, de modo a permitir a livre movimentação da articulação tibio-társica direita no momento da eletroestimulação.

Dois eletrodos foram acoplados à pele do animal. Um eletrodo dispersivo de 16,5 cm² foi acoplado, com fita adesiva, a 2 cm do bordo lateral superior direito da articulação lombo-sacra. Um eletrodo ativo, em forma de caneta, com 0,5 cm de diâmetro, foi posicionado manualmente sobre a porção proximal do músculo TA, com uma ligeira lateralização para localizar o ponto motor do músculo.

Para permitir um melhor contato entre a pele e o eletrodo, além de proteger a pele do animal de uma possível queimadura na região de contato e facilitar a condução da corrente elétrica, foi aplicada uma camada de gel entre os eletrodos e a região estimulada.

A eletroestimulação foi realizada através de um aparelho Eletro Kinesis¹ com pulso bifásico assimétrico.

As estimulações foram realizadas numa freqüência de onda de 52 Hz, freqüência ideal para produzir contração tetanizante da musculatura. Foi utilizado ciclo ON-OFF na proporção de 1/1 (10 segundos de contração muscular seguidos de 10 de repouso) e rampa de subida de trens de pulso de 2,2 segundos. A intensidade aplicada foi suficiente para produzir uma contração máxima sustentada do músculo (aproximadamente 0.5 mA, medidos com carga de 100 Ω , conforme teste piloto).

Foram produzidas 20 contrações musculares eletricamente induzidas em cada sessão de intervenção, durante 8 semanas, 3 vezes por semana, em dias não

¹ KW Indústria Nacional de Tecnologia Eletrônica Ltda

consecutivos, exceto nos finais de semana.

PESO CORPORAL E PESO MUSCULAR

Os animais foram pesados no primeiro dia de eletroestimulação e dez dias após a última sessão da eletroestimulação. Após o sacrifício dos animais, através de overdose de inalação com éter etílico, os músculos EDL e sóleo direito e esquerdo foram removidos e pesados.

HISTOLOGIA

Imediatamente após a pesagem, cada músculo foi individualmente congelado em isopentano (pré-congelado em nitrogênio líquido) e mantido em freezer -56 °C até ser analisado.

Posteriormente, os músculos foram seccionados em micrótomo criostato (Microm HM 505 E) no sentido distal-proximal. A região média dos músculos, identificada pela presença da inervação muscular, foi estudada através da análise de cortes histológicos transversais e seriados (10 µm), corados com Azul de Toluidina. As características morfológicas das fibras musculares foram avaliadas em microscópio óptico.

ANÁLISE DA ÁREA DAS FIBRAS MUSCULARES

A análise da área das fibras foi realizada com auxílio do software Vinspec², na região média do ventre de cada músculo, onde há a maior concentração de fibras musculares. Cerca de 110 fibras musculares, escolhidas de modo aleatório com auxílio do *charriot* do microscópio, foram quantificadas em cada músculo.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise dos resultados foi utilizado o teste *Student-t*, com nível de significância de 5%.

RESULTADOS

PESO CORPORAL E PESO MUSCULAR

Foi observado um ganho de peso corporal médio de 114 g ± 9 durante o período em que os animais foram submetidos à eletroestimulação. Não foi observada diferença significativa no peso relativo dos músculos EDL e sóleo, quando comparado os músculos da pata estimulada com o membro contra-lateral não estimulado (Tabela 1).

TABELA 1 - Peso corporal e peso dos músculos sóleo e EDL do rato

Animais	Peso corporal inicial	Peso corporal final	Ganho de peso	EDL direito (Sinergista)	EDL esquerdo (Controle)	Sóleo direito (Antagonista)	Sóleo esquerdo (Controle)
n = 6	291 ± 33	405 ± 29	114 ± 9	0.24 ± 0.02	0.23 ± 0.02	0.25 ± 0.02	0.23 ± 0.01

Todos os dados são média ± desvio padrão

ASPECTOS MORFOLÓGICOS

O padrão morfológico dos músculos foi normal. Não houve diferença entre os músculos EDL e sóleo

tanto quando comparados entre si, como quando comparados aos músculos da pata contralateral (Tabela 2).

TABELA 2 - Incidência dos sinais de lesão nos músculos sóleo e EDL do rato

Animais	Músculos	Sinais agudos				Sinais crônicos	
		FL	N	I	NC	FF	
n= 6	EDL direito (sinergista)	1.0 ± 2.0	-	-	3.83 ± 2.63	0	
n= 6	EDL esquerdo (controle)	1.33 ± 1.50	-	-	3.16 ± 50.3	1.0 ± 2.0	
n= 6	Sóleo direito (antagonista)	0.33 ± 0.81	-	-	13 ± 9.95	2.5 ± 3.88	
n= 6	Sóleo esquerdo (controle)	1.0 ± 2.0	-	-	8.33 ± 7.73	3.5 ± 3.5	

Foram avaliados o número de fibras lesadas (FL), presença de fibras necrosadas (N), presença de infiltração celular (I), número de fibras com núcleo centralizado (NC) e número de fibras fragmentadas (FF). - (rara)

² Desenvolvido pelo grupo de Visão Cibernética do Instituto de Física da USP- São Carlos, SP

Nas raras fibras musculares lesadas encontradas predominaram os sinais crônicos de lesão, como fibras

com núcleo centralizado (Figura 1) e fibras fragmentadas.

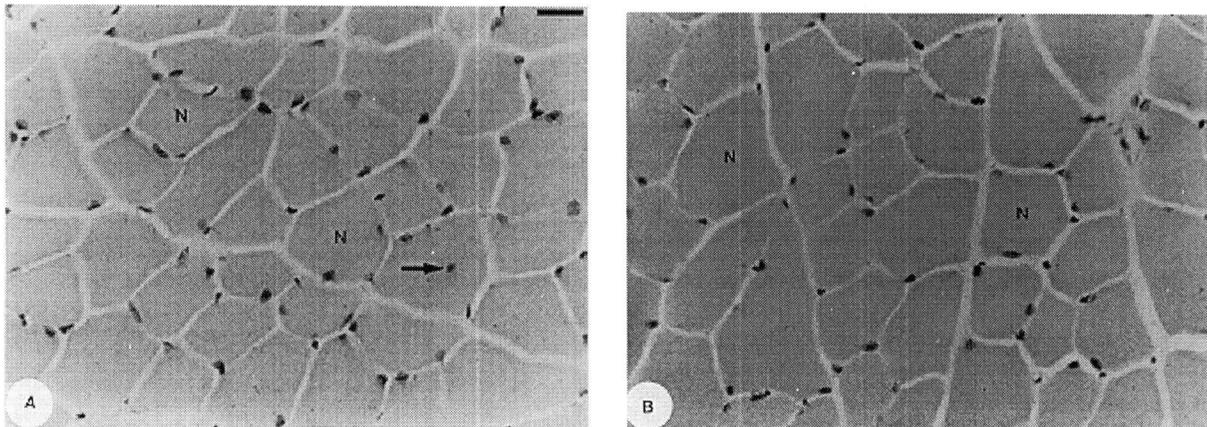


FIGURA 1 - **A** - Músculo EDL da pata submetida à eletroestimulação. Notar fibra com sinais crônicos de lesão como fibra com núcleo centralizado (seta) e também fibras com padrão morfológico normal (N). **B** - Músculo EDL da pata controle. Observar padrão morfológico normal, com fibras íntegras e presença de núcleos periféricos (N). Coloração Azul de Toluidina. Bar: 31 μ m.

ÁREA DAS FIBRAS MUSCULARES

Não foi observada diferença significativa na área média das fibras musculares, quando comparados os

valores obtidos nas fibras dos músculos EDL e sóleo com os observados na pata contra-lateral não estimulada (Figura 2). Ou seja, não houve hipertrofia muscular em nenhum dos músculos avaliados.

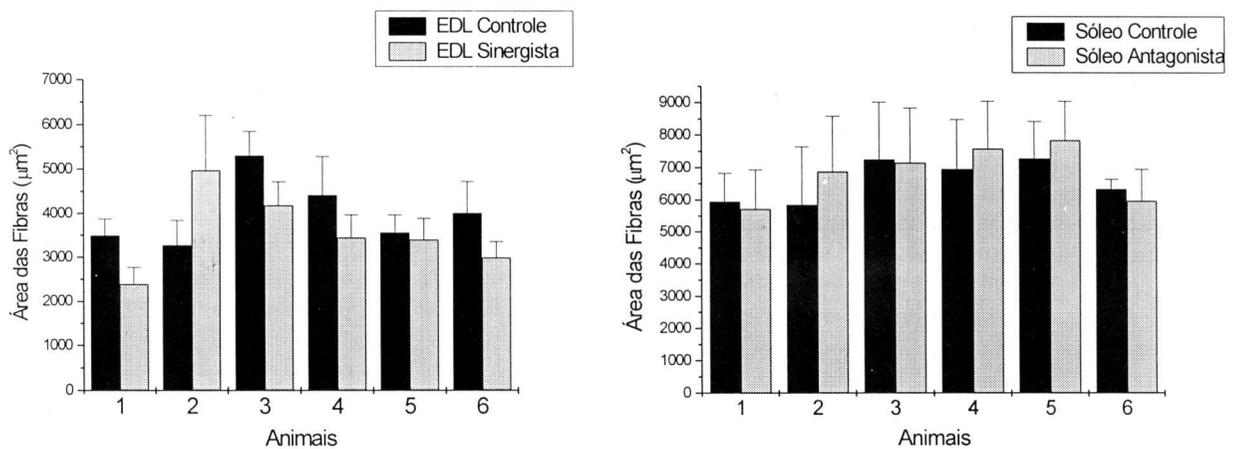


FIGURA 2 - Área média (μ m²) das fibras musculares dos músculos *soleus* e EDL do rato

DISCUSSÃO

Os resultados desse estudo realizado no músculo esquelético do rato, indicam que a EENM aplicada no músculo TA não produziu nenhum efeito morfológico significativo nos músculos sóleo (antagonista) e EDL (sinergista).

Estudo prévio onde se avaliou o efeito dessa estimulação no TA desses mesmos animais, também não constatou alterações morfológicas significativas no músculo diretamente estimulado¹⁹. No mesmo estudo foi demonstrado que a EENM também não produziu alteração na incidência dos diferentes tipos de fibras no TA. Ou seja, o protocolo clínico utilizado em humanos para produzir aumento de força e hipertrofia muscular, não causou nenhuma alteração morfológica significativa nos músculos esqueléticos de rato.

O protocolo e a técnica de aplicação da eletroestimulação utilizados em um experimento são fatores de extrema importância para a efetividade dos resultados da EENM. Isto explica o grande número de pesquisas realizadas com o objetivo de determinar o protocolo de estimulação mais adequado para proporcionar um aumento na atividade contrátil do músculo, ou um padrão específico de eletroestimulação capaz de produzir hipertrofia muscular.

Os diversos trabalhos realizados para verificar os efeitos musculares da estimulação elétrica mostram que, além do protocolo de estimulação utilizado, diversos fatores influenciam a resposta obtida como por exemplo, a espécie animal a ser estimulada²¹, o estado trófico do músculo, ou seja, se o músculo estimulado encontra-se normal ou atrofiado⁴ e a demanda funcional a qual o músculo estimulado está sujeito⁷.

No presente estudo a estimulação elétrica no músculo de rato não promoveu alterações morfológicas no músculo sinergista e antagonista ao músculo estimulado. Este resultado pode ser dependente da espécie animal utilizada, uma vez que estudos prévios mostraram que a eletroestimulação utilizada em coelho^{21,22,23}, gato²¹, cachorro²¹, provocou alterações musculares, enquanto que em ratos^{21,24} não foi observado tais alterações.

Do mesmo modo, a estimulação elétrica apresentou alteração no tecido muscular quando a mesma era aplicada no músculo atrofiado, sendo que tais alterações não foram observadas no músculo normal⁴. Infelizmente, no presente estudo não foi observado o estado trófico do músculo antes da eletroestimulação.

Trabalho prévio utilizando o músculo de rato,

mostrou alterações musculares somente quando a eletroestimulação foi associada com a sobrecarga muscular. Ou seja, o músculo teve influência da eletroestimulação somente quando seu agonista foi removido⁷.

Como todo estudo científico, o presente também apresenta suas limitações. Particularmente, três aspectos são críticos quando analisa-se os resultados apresentados, os quais poderiam complementar a interpretação da análise morfológica realizada.

O primeiro é de que não se realizou nenhuma avaliação de força muscular. Ou seja, podem ter ocorrido alterações funcionais sem que necessariamente houvesse mudança morfológica significativa. Por exemplo, o padrão de recrutamento das unidades motoras pode ter sido alterado²⁷. O segundo aspecto importante é que a EENM foi realizada com os animais anestesiados, diferentemente da estimulação realizada em humanos, normalmente mantidos em estado de alerta. Seria interessante avaliar o efeito da EENM aplicada em animais não anestesiados. Ou seja, o estado de alerta do animal pode ter algum efeito no ganho de força e/ou na hipertrofia dos músculos esqueléticos. Além disso, muitas vezes na clínica o indivíduo é orientado pelo terapeuta a realizar ativamente a contração muscular durante a eletroestimulação. Todos esses fatores provavelmente influenciam o ganho de força e a hipertrofia muscular observada em humanos submetidos à EENM.

Finalmente, como o experimento foi realizado após a EENM, não foi possível obter-se a área das fibras musculares antes de realizar-se a eletroestimulação. Como grupo controle utilizou-se os músculos da pata contra-lateral. Seria interessante ter uma avaliação mais detalhada do mesmo músculo, antes e após a EENM.

Estudos prévios mostraram que a hipertrofia muscular pode ser induzida pelo alongamento muscular passivo (30 min diários durante 6 semanas)⁶ devido a uma diminuição da degradação de proteínas musculares^{25,26}. O aumento da secreção do fator de crescimento insulínico 1 (IGF-1), também tem sido associado a indução de hipertrofia muscular^{9,20,26}. É importante ressaltar que o modelo de alongamento utilizado nos estudos citados acima é diferente do alongamento muscular obtido neste trabalho, onde o músculo sóleo foi passivamente alongado devido a contração do músculo tibial anterior pela estimulação elétrica.

No presente estudo, pode-se observar que o alongamento passivo, produzido no músculo sóleo pela

Camargo, L.C., Minamoto, V.B., Noronha, M.A., Castro, C.E.S., Salvini, T.F. A estimulação elétrica neuromuscular do tibial anterior não altera a morfologia dos músculos sóleo (antagonista) e extensor digital longo (sinergista) do rato. *Rev. Fisioter. Univ. São Paulo*, v.5, n.2, p. 120-6, jul. / dez., 1998.

contração máxima do TA, não acarretou em hipertrofia muscular. Sabe-se que os exercícios ativos e que produzem diferentes níveis de fadiga muscular são importantes na indução da hipertrofia dos músculos esqueléticos. Provavelmente não tenha ocorrido fadiga muscular no sóleo pelo fato do alongamento produzido ser passivo, além do animal estar submetido à anestesia.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste estudo indicam que a EENM realizada no TA de ratos anestesiados, não

produziu nenhum efeito morfológico significativo, particularmente no peso muscular e área das fibras, nos músculos sóleo (antagonista) e EDL (sinergista).

Estes resultados confirmam o previamente observado no músculo TA diretamente estimulado pela EENM, ou seja, nenhuma alteração morfológica foi induzida nos músculos sóleo (sinergista) e EDL (antagonista). Embora os resultados tenham sido observados em ratos, eles indicam que outros estudos são necessários para melhor avaliar o efeito da EENM no músculo esquelético, tanto em seres humanos quanto em outros mamíferos, bem como para subsidiar seu uso clínico.

AGRADECIMENTOS

M. A. Noronha foi bolsista de Iniciação Científica do CNPq e V. B. Minamoto é bolsista de doutorado da FAPESP. Todos os equipamentos e materiais utilizados no projeto foram adquiridos com auxílio financeiro do CNPq e da FAPESP. O Estimulador Neuromuscular Transcutâneo utilizado foi gentilmente doado pela KW- Indústria Nacional de Tecnologia Eletrônica Ltda, SP, Brasil.

Camargo, L.C., Minamoto, V.B., Noronha, M.A., Castro, C.E.S., Salvini, T.F. The neuromuscular electrical stimulation of *tibialis anterior* do not change the morphology of soleus (antagonistic) and *extensor digitorum longus* (synergistic) muscles of rat. *Rev. Fisioter. Univ. São Paulo*, v.5, n.2, p. 120-6, jul. / dez., 1998.

ABSTRACT: The neuromuscular electrical stimulation (NMES) is a physical therapy method commonly used to generate muscle strength and muscle hypertrophy. The aim of this work was to analyze the morphological effects of the NMES, in the synergistic and antagonistic muscles of the directly stimulated muscle. Right tibialis anterior (TA) muscles of six Wistar rats were submitted at stimulation and both extensor digitorum longus (EDL) and soleus muscles, synergistic and antagonistic of TA muscle, respectively, were analyzed. The EENM used a frequency of 52 Hz, 1s on and 1s off, 2.2s ramp on time and 0.5mA. It were produced 20 switches per session, 3 days per week, for 8 weeks. Afterwards, the animals were anesthetized and the right and left EDL and soleus muscles were removed, weighted, frozen, cross-sectioned and stained with Toluidine Blue for morphological analysis of the muscle fibers. Previous studies, realized in the directly stimulated TA muscle, did not observe significant morphologic changes in the muscle¹⁹. Here there was also not significant differences in the muscle weight, average area and in the incidence of injured signs in the EDL and soleus muscles, when they were compared with the muscles of control no-stimulated hindlimb. These results indicate that the protocol of EENM used here did not produce significant morphological changes in the EDL (synergistic) and soleus (antagonistic) muscles, after stimulation of the TA.

KEYWORDS: Rats Wistar. Electric stimulation therapy, methods. Tibia. Muscle, skeletal. Physical therapy, methods.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Al-Amood, W.S., Lewis, D.M., Schmalbruch, H. Effects of chronic electrical stimulation on contractile properties of long-term denervated rat skeletal muscle. *J. Physiol.*, v.441, p.243-56, 1991.
2. Ashmore, C.R., Summers, P.J. Stretch-induced growth in chicken wing muscles: myofibrillar proliferation. *Am. J. Physiol.*, v.5, p. C93-C97, 1981.
3. Assenço, F. Estudo do grau de hipertrofia, prevenção e incidência de lesões musculares esqueléticas frente a diferentes tipos de treinamento. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, 1995. 75p.

4. Barry, J. Chronic electrical stimulation halves the time for recovery from immobilization atrophy. *J. Neurol. Sci.*, p.16-22, 1990. [Apresentado à VII International Congress on Neuromuscular Disease].
5. Currier, D.P., Lehman, J., Lightfoot, P. Electrical stimulation in exercise of the quadriceps femoris muscle. *Phys. Ther.*, v.59, n.1, p.1508-12, 1979.
6. Frankeny, J.R., Holly, R.G., Ashmore, C.R. Effects of graded duration of stretch on normal and dystrophic skeletal muscle. *Muscle Nerve*, v.6, n.4, p.267-77, 1983.
7. Frischknecht, R., Vrbová, G. Effect of electrical stimulation on overloaded rat muscles. *J. Neurol. Sci.*, p.16-22, 1990. [Apresentado à VII International Congress on Neuromuscular Disease].
8. Godfrey, C.M., Jayawardena, H., Quance, T.A., Welch, P. Comparison of electro-stimulation and isometric exercise in strengthening the quadriceps muscle. *Physiother. Can.*, v.31, n.5, p.265-7, 1979.
9. Goldspink, D.F., Cox, V.M., Smith, S.K., Eaves, L.A., Osbaldeston, N.J., Lee, D.M., Mantle, D. Muscle growth in response to mechanical stimuli. *Am. J. Physiol.*, v.268, p.E-288-E97, 1995.
10. Gonyea, W.J., Ericson, G.C. An experimental model for the study of exercise-induced skeletal muscle hypertrophy. *J. Appl. Physiol.*, v.40, p.630-3, 1976.
11. Gonyea, W.J. Role of exercise in inducing increases in skeletal muscle fiber number. *J. Appl. Physiol.*, v.48, n.3, p.421-6, 1980.
12. Gyuton, A. Tratado de fisiologia médica. 8.ed. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, 1992.
13. Halbach, J.W., Strauss, D. Comparison of electro-myostimulation to isokinetic power of the knee extensor mechanism. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, v.2, n.1, p.194-7, 1982.
14. Hennig, R., Lomo, T. Effects of chronic stimulation on the size and speed of long-term denervated and innervated rat fast and slow skeletal muscles. *Acta Physiol. Scand.*, v.130, p.115-31, 1987.
15. Johnson, D.H., Thurston, P., Ashcroft, P.I. The Russian technique of faradism in the treatment of chondromalacia patellae. *Physiother. Can.*, v.29, p.266-88, 1977.
16. Laughtman, R.K.; Youdas, J.W., Garret, T.R. Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation. *Phys. Ther.*, v.63, n.4, p.494-9, 1983.
17. Lieber, R.L., Ferro, T.D., Hargens, A.R. Differential effects of 10 Hz and 50 Hz stimulation of the tibialis anterior on the ipsilateral, unstimulated sóleo muscle. *Exp. Neurol.*, v. 100, p.426-35, 1987.
18. Massey, B.H., Nelson, R.C., Sharkey, B.C., Comden, T. Effects of high frequency electrical stimulation on the size and strength of skeletal muscle. *J. Sports Med. Phys. Fit.*, v.5, p.136-44, 1965.
19. Noronha, M.A., Camargo, L.C., Minamoto, V.B., Castro, C.E.S., Salvini, T.F. O papel da estimulação elétrica neuromuscular (NMES) no músculo tibial anterior do rato. *Rev. Bras. Fisioter.*, v.2, n.2, p.71-6, 1997.
20. Perrone, C.E., Fenwick-Smith, D., Vanderburgh, H.H. Collagen and stretch modulate autocrine secretion of insulin-like growth factor-I and insulin-like growth factor binding proteins from differentiated skeletal muscle cells. *J. Biol. Chem.*, v.270, n.5, p.2099-106, 1995.
21. Pette, D., Vrbová, G. Adaptation of mammalian skeletal muscle fibers to chronic electrical stimulation. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.*, v.120, p.115-83, 1992.
22. Staron, R.F., Gohlsch, B., Pette, D. Myosin polymorphism in single fibers of chronically stimulated rabbit fast-twitch muscle. *Pflugers Arch.*, v. 408, p.444-50, 1987.
23. Staron, R.S., Pette, D. Nonuniform myosin expression along single fibers chronically stimulated and contralateral rabbit tibialis anterior muscle. *Pflugers Arch.*, v. 409, p.67-73, 1987.
24. Termin, A., Staron, R.S., Pette, D. Changes in myosin heavy chain isoforms during chronic low-frequency stimulation of rat fast hindlimb muscles. *Eur. J. Biochem.*, v.186, p.749-54, 1989.
25. Vandeburgh, H.H., Hatfaludy, S., Sohar, I., Shansky, J. Stretch-induced prostaglandins and protein turnover in cultured skeletal muscle. *Am. J. Physiol.*, v.259, p.C232-40, 1990.
26. Vandeburgh, H.H., Karlisch, P., Shansky, J., Feldstein, R. Insulin and IGF-I induce pronounced hypertrophy of skeletal myofibers in tissue culture. *Am. J. Physiol.*, v.260, p.C475-84, 1991.
27. Wernig, A., Salvini, T.F., Langenfeld-Oster, B., Irintchev, A., Dorlochter, M. Endplate and motor unit remodelling in vertebrate muscles. In: Wernig, A. *Restorative neurology-motoneuronal plasticity*. Amsterdam: Elsevier, 1991. 2.ed. v.5, p.85-100, 1991.

Recebido para publicação: 10/09/98

Aceito para publicação: 11/10/98