

Comparação dos efeitos de dois protocolos de estimulação elétrica neuromuscular sobre a força muscular isométrica do quadriceps

Comparison of the effects of two neuromuscular electrical stimulation protocols on the isometric muscular strength of the quadriceps

Rinaldo Guirro⁽¹⁾
Carolina V. Nunes⁽²⁾
Rafael Davini⁽²⁾

(1)Professor do Curso de Fisioterapia da Faculdade de Ciências da Saúde, FACIS/UNIMEP

(2)Fisioterapeutas graduados pela Universidade Metodista de Piracicaba, UNIMEP.
Endereço para correspondência: Curso de Fisioterapia da Faculdade de Ciências da Saúde, UNIMEP. Rodovia do Açúcar Km 156. Bairro Taquaral. Piracicaba, SP. 13.400-901. e-mail: rjguirro@unimep.br

RESUMO: A estimulação elétrica neuromuscular (NMES) é um importante recurso utilizado pela fisioterapia para acelerar processos de recuperação, evidenciando resultados positivos quanto ao restabelecimento da força. Diferentes protocolos de NMES também podem interferir nos resultados obtidos nesse processo. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa foi analisar o efeito de dois protocolos de NMES na força do músculo quadriceps da coxa do membro não dominante de 18 voluntários do sexo feminino (idade $19,5 \pm 1,7$). O protocolo da NMES constou de duas correntes com pulso quadrático bifásico simétrico, com $T_{ON}-T_{OFF}$ de 5 segundos, sendo uma de média frequência (2500 Hz modulada em 50 Hz) e a outra de baixa frequência (50 Hz). A estimulação foi de 30 minutos diários, perfazendo um total de 15 sessões. As voluntárias permaneceram sentadas com flexão de 90° da coxa e da perna, tanto para a aplicação da NMES quanto para a mensuração da força, a qual foi coletada através de uma célula de carga. O sinal foi obtido durante uma contração isométrica voluntária máxima de 4 segundos, sendo amplificado e calibrado para ser expresso em kilogramas-força (Kgf). Os resultados demonstram que houve um aumento significativo da força ($p < 0,05$) nos grupos eletroestimulados, tanto em baixa (40,5%) quanto em média frequência (44,6%). Com base nos resultados conclui-se que, independente dos parâmetros da corrente, a NMES promoveu aumento da força do músculo quadriceps da coxa.

DESCRITORES: Estimulação elétrica, métodos. Contração muscular. Protocolos clínicos, classificação. Mulheres. Resistência à tração.

ABSTRACT: Neuromuscular electrical stimulation (NMES) is an important resource used in physiotherapy to accelerate recovery processes, showing positive results with regard to re-establishing strength. Different NMES protocols may also interfere with the results obtained in that process. This being so, the aim of this research was to analyze the effect of two NMES protocols on the strength of the quadriceps muscle of the thigh of the non dominant member of 18 volunteers of the female Sex (aged $19,5 \pm 1,7$). The NMES protocol comprised two currents with a symmetric, quadratic, diphasic pulse, with $T_{ON}-T_{OFF}$ of 5 seconds, one being of an average frequency (2500 Hz modulated at 50 Hz) and the other of low frequency (50 Hz). Stimulation was for 30 minutes daily, comprising 15 a total of sessions. The volunteers stayed sat down with flexão of 90° of the thigh and of the leg, so much for both application of the NMES and the for the strength measurement, which was collected by means of a charging cell. The signal was obtained during a maximum voluntary isometric contraction of 4 seconds, being amplified and calibrated to be expressed in kilograms-strength (Kgf). The results demonstrated that there was a significant increase in strength ($p < 0,05$) in the electrically stimulated groups both at low (40,5%) and at high frequency (44,6%). Based on the results, we may conclude that irrespective of the parameters of the current, NMES promoted increase in the strength of the quadriceps muscle of the thigh.

KEYWORDS: Electric stimulation, methods. Clinical protocols, classification. Women. Tensile strength.

INTRODUÇÃO

A estimulação elétrica neuromuscular (NMES) é um importante complemento para inúmeros programas de tratamento utilizados pela fisioterapia. Este instrumento pode ser empregado para acelerar processos de recuperação em várias áreas, não devendo, entretanto, ser considerado um substituto para os tratamentos tradicionais.

Foi demonstrado ocorrer hipertrofia das fibras musculares com o treinamento de força²¹, o que suspeita-se resultar de um aumento no número de miofibrilas numa dada fibra muscular⁷, uma vez que ocorre um aumento da síntese protéica e uma diminuição de sua degradação⁹. Também são relatadas, como acompanhando o aumento de força, as alterações metabólicas, tais como: aumento do glicogênio^{10,23}, fosfato de creatina, trifosfato de adenosina, difosfato de adenosina, creatina e enzimas do ciclo de Krebs nos músculos^{4,14}.

Estudos sustentam a tese de que parte do efeito do treinamento está no aprendizado motor ou na facilitação neural em função de um número maior de unidades motoras ativadas, aumento na taxa de impulsos ou um padrão mais eficiente de recrutamento^{13,20}. VAZ et al.²⁵ discutem que as vibrações musculares produzidas durante contrações de músculos esqueléticos humanos, eletricamente estimulados, refletem as estratégias de controle utilizadas pelo sistema nervoso para a produção de força durante contrações voluntárias isométricas.

De acordo com Pichon et al.¹⁸, a NMES é uma técnica de fortalecimento muscular baseada na estimulação elétrica dos ramos intramusculares dos motoneurônios, a qual induz à contração muscular.

Os experimentos que relacionam a estimulação elétrica (EE) com o torque isométrico voluntário máximo demonstram que a EE sozinha não consegue exceder o mesmo. Os valores apresentados variam entre 53% e 93% segundo Kramer et al.¹¹, e 46% e 87% segundo Wasmsley e Vossys²⁷, quando da utilização de diferentes parâmetros de EE ou de diferentes estimuladores, respectivamente. Laughman et al.¹², ao contrário dos outros autores, demonstraram que a EE isolada é mais efetiva no fortalecimento muscular que o exercício isométrico voluntário.

Através das considerações e controvérsias expostas na literatura, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a força do músculo quadríceps da coxa, frente a dois protocolos de NMES.

MATERIAL E MÉTODOS

Sujeitos

Foram analisados os músculos quadríceps da coxa dos membros não dominante de 18 voluntários do sexo feminino, com idade variando entre 18 a 24 anos ($19,5 \pm 1,7$), sem história pregressa de disfunção ósteo-mio-articular do membro a ser analisado. As voluntárias foram recrutadas por convite verbal, esclarecidas sobre os procedimentos experimentais e, após autorização através de um termo de consentimento, foram distribuídas aleatoriamente em três grupos iguais (2 NMES e 1 controle).

Dinamometria

A análise da força externa foi realizada através de uma célula de carga MM-100 (KRATOS - Dinamômetros) com capacidade de 100 Kg fixada perpendicularmente à perna. A célula de carga foi acoplada a uma placa analógica-digital CAD 16/32 (LYNX - Tecnologia Eletrônica Ltda), sendo a coleta e a análise do sinal realizadas através do programa AqDados 4.0. O sinal amplificado e calibrado foi expresso em kilogramas-força (Kgf).

O sinal da célula de carga foi obtido durante uma contração isométrica voluntária máxima (CIVM) de 4 segundos, com a voluntária sentada com a coxa e a perna fletidas a 90° e o pé permanecendo em posição neutra, sendo a célula de carga acoplada ao tornozelo através de um cinto de couro almofadado. Após 1 segundo do início da contração, o operador do sistema de captação do sinal iniciava a coleta, sendo o sinal visualizado pelas voluntárias no monitor do microcomputador o qual serviu de *feedback*. Foram realizadas três coletas com intervalos de 1 minuto, sempre no período vespertino, numa sala com ar condicionado ($25^{\circ}\text{C} \pm 1$), 24 horas antes do início da NMES e 24 horas após a última estimulação.

Os valores obtidos pela dinamometria foram submetidos ao teste T de Student em nível de 5% de significância.

Eletroestimulação

Foi utilizado um gerador de pulso universal DUALPEX (QUARK-Equipamentos Médicos). A intensidade da corrente, dada em mA (miliampères), foi determinada inicialmente pela tolerância máxima de

cada voluntária, a qual sofreu incrementos de 1 mA a cada 5 minutos, até a totalização de 30 minutos de estimulação. Os grupos experimentais com os respectivos parâmetros das correntes estão representados na Tabela 1. As estimulações foram realizadas no período vespertino, em intervalos de 24 horas, por 5 dias consecutivos, durante 3 semanas, exceto sábado e domingo. O posicionamento da voluntária para as eletroestimulações foi o mesmo utilizado nas dinamometrias.

Tabela 1 - Parâmetros das correntes utilizadas no programa de NMES

Grupo	Forma do pulso	Largura da Ffse (ms)	Rampa (S)	Frequência (Hz)	Modulação em amplitude (senoidal)	Frequência da modulação (Hz)	T _{ON} : T _{OFF}
Baixa Frequência	bifásico simétrico	300	0.5	50			5 : 5
Média Frequência	bifásico simétrico	100	0.5	2.500	100 %	50	5 : 5

Os eletrodos de silicone-carbono foram posicionados sobre os pontos motores dos músculos reto da coxa, vasto medial e vasto lateral, em função de apresentarem menor resistência à passagem da corrente elétrica, permitindo assim a maior excitabilidade dos mesmos, como foi observado por COX et al.⁵. O quarto eletrodo foi posicionado na região ingüinal, sobre o nervo femoral. Para a transmissão da corrente elétrica, os eletrodos foram untados com gel hidrossolúvel e fixados à pele por meio de fita adesiva.

RESULTADOS

A análise dos resultados demonstra que houve variação significativa da força ($p < 0,05$) no músculo quadríceps da coxa, independente do protocolo da NMES utilizado. Pode ser observado, na Figura 1, que a força variou em média de 22,13 Kgf para 31,09 Kgf e de 21,61 Kgf para 31,26 Kgf nos grupos estimulados com baixa e média frequência, respectivamente. Já, no grupo controle, a variação de 22,54 Kgf para 24,18 Kgf, entre as coletas pré e pós, não foi significativa.

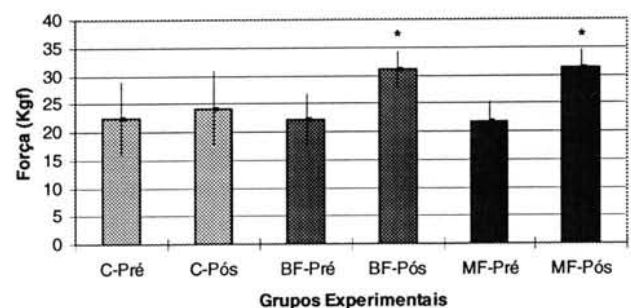


Figura 1 - Valores médios (\pm dp) da força (Kgf) do músculo quadríceps da coxa, na posição de 90° de flexão da perna, em CIVM, para os grupos Controle (C), Baixa Frequência (BF) e Média Frequência (MF) para as situações pré e pós EE. * $p < 0,05$

Houve relato de 85% das voluntárias sobre a ocorrência de dores musculares até o período de 24 horas após a estimulação elétrica. Os relatos mais frequentes foram de dores difusas do tipo cansaço.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo (Figura 1), demonstram haver um aumento da força do

músculo quadríceps da coxa após estimulação elétrica. A porcentagem de aumento é considerada alta (40,4% para a baixa e 44,6% para a média frequência), o que nos parece dependente do sexo das voluntárias e do protocolo da NMES empregado. Araujo² utilizou um protocolo de eletroestimulação de 10 minutos, em dias alternados para um total de 6 sessões. O autor observou que o grupo de mulheres, quando comparado ao dos homens, apresentou um maior ganho de força dos músculos interosseus dorsalis, bíceps braquial e quadríceps femoris, após treinamento com estimulação elétrica. Neste aspecto, deve-se considerar que a taxa de ganho de força depende do estado inicial em que o músculo encontra-se no início do programa de treinamento. A dependência do protocolo pode estar relacionada com o número de contrações isométricas realizadas (180) na intensidade máxima suportada pelo paciente, sempre na mesma posição (90° de flexão da coxa e perna), diariamente por 3 semanas. O protocolo buscou aplicar a sobrecarga máxima durante o período de 3 semanas, o qual difere de alguns estudos que se utilizaram de 10 a 30 contrações diárias^{2,8,15,28}.

Para Villar et al.²⁶, os três parâmetros manipulados para a obtenção de um maior "output" de força são: a intensidade da estimulação, a frequência e a duração individual dos pulsos, além da posição dos eletrodos. No presente estudo a intensidade foi elevada a 1.0 miliampere (mA) em cada período de 5 minutos, respeitando-se a sensação do paciente. Este procedimento permitiu que a contração muscular fosse mantida dentro de um padrão de uniformidade, sempre no seu nível máximo. Este modelo experimental contempla uma das teorias de Delitto & Snyder-Mackler⁶ que sustentam e explicam o aumento da força muscular através da estimulação elétrica. Os autores discutem que o aumento da força muscular pela eletroestimulação envolve o mesmo mecanismo do exercício voluntário, ou seja, o aumento da força depende do aumento da carga funcional. Já para Selkowitz²² e Snyder-Mackler et al.²⁴, o aumento na força isométrica, em um grupo muscular treinado somente com estimulação elétrica, apresenta correlação positiva com a intensidade da contração treino.

Além dos acréscimos durante a estimulação, a intensidade foi crescente durante os diferentes dias, ALON et al.¹ relatam que poucos estudos documentam

a variação da intensidade da corrente elétrica aplicada. Os autores observaram que a resistência do tecido diminuiu após a estimulação dos músculos abdominais de indivíduos saudáveis, possivelmente por um aumento na condutividade.

Estudos relatam a capacidade de aumentar o torque muscular com a aplicação da estimulação elétrica neuromuscular (NMES)^{18,24,26}. Os resultados encontrados neste experimento ratificam esta afirmação, uma vez que ambos os grupos estimulados apresentaram aumento de força do músculo quadríceps de coxa, destacando que o maior aumento ocorreu no grupo da corrente de média frequência. Estes resultados podem estar relacionados à maior intensidade suportada pelas voluntárias (Figura 2), com consequente aumento do recrutamento das unidades motoras. A maior intensidade pode ser justificada em função da menor resistência em relação à epiderme e da menor largura de pulso da corrente de média frequência.

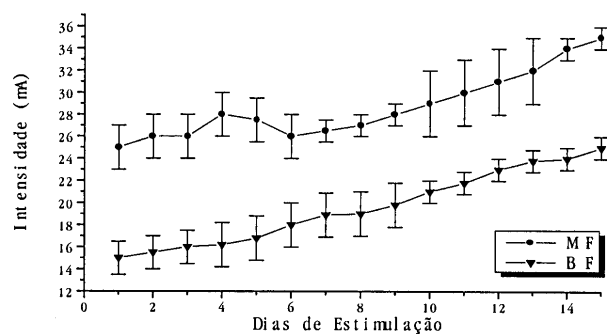


Figura 2 - Valores médios ($\pm dp$) das intensidades aplicadas durante o programa de estimulação elétrica, nos protocolos de Baixa Frequência (BF) e Média Frequência (MF)

Um dado observado e que mostrou-se importante durante a execução do protocolo de estimulação foi a dor muscular. Esta ocorrência pode estar relacionada à magnitude da contração muscular, pois a intensidade da corrente foi determinada inicialmente pela tolerância máxima de cada voluntária, sendo acrescido de 1 mA a cada 5 minutos, não permitindo assim acomodação do músculo ao estímulo. Além do incremento

da intensidade em cada aplicação, pode ser observado na Figura 2 que no decorrer dos dias a intensidade apresentou aumentos sucessivos. Este procedimento é reforçado por Binder-Macleod & McDermond³, uma vez que os autores enfatizam que os fatores determinantes da força produzida por EE é a intensidade e a frequência da corrente utilizada, favorecendo a força máxima e conseqüentemente a fadiga do músculo estimulado. Outro ponto que pode ter contribuído para o desencadeamento da dor foi o tempo e a periodicidade das estimulações, as quais ocorreram por 30 minutos, diariamente.

Pode ser observado na Figura 1 que houve um pequeno aumento da força (7,3%) no grupo controle, porém a análise estatística demonstrou não ser significativa ($p < 0,05$). Mesmo considerando este aumento como erro experimental, ou melhor treinamento das voluntárias para execução do pós teste, os aumentos após NMES foram muito superiores, demonstrando que as alterações promovidas nos outros grupos foram decorrentes da aplicação da corrente elétrica.

Vários autores observaram que o aumento de for-

ça após treinamento não apresenta uma hipertrofia proporcionalmente correlata, sugerindo que parte deste aumento é devido ao aprendizado motor, i.e., à facilitação neural que levaria a um padrão mais eficiente de recrutamento das unidades motoras, com um maior número de unidades motoras disparando impulsos a uma maior frequência^{11,12,15,16,18}. Povilonis & Mizuno¹⁹ referem ainda que mudanças metabólicas como aumento do fosfato de creatina, diminuição do consumo da adenosina trifosfato intramuscular e alterações no pH intracelular podem ocorrer e que o aumento da força muscular se dá em virtude destas adaptações orgânicas à NMES.

Pode-se concluir que os dois protocolos utilizados no experimento, um de baixa frequência e outro de média, foram capazes de promover o aumento da força do músculo quadríceps da coxa de mulheres sem história de disfunções ósteo-mio-articular no segmento analisado. Neste aspecto, mais estudos se fazem necessários com uma maior amostra, bem como com indivíduos que apresentem algum grau de perda motora.

Agradecimentos: Carolina V. Nunes foi bolsista de Iniciação Científica do Fundo de Apoio ao Programa de Iniciação Científica da Universidade Metodista de Piracicaba (FAPIC-UNIMEP). O equipamento de Estimulação Elétrica Neuromuscular foi doado pela QUARK – Equipamentos Médicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alon, G., McCombe, S.A., Koutsantonis, P.T., Stumphauzer, L.J., Burgwin, K.C., Parent, M.M., Bosworth, R.A. Comparison of the effects of electrical stimulation and exercise on abdominal musculature. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, v.8, n.12, 1987.
2. Araújo, R.C. *Contribuição para o estudo do efeito do treinamento com estimulação elétrica neuromuscular sobre a força e a atividade eletromiográfica.* São Paulo, 1993. Dissertação (mestrado) Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.
3. Binder-Macleod, S.A., McDermond, L.R. Changes in the force-frequency relationship of the human quadriceps femoris muscle following electrically and voluntarily induced fatigue. *Phys. Ther.*, v.72, n.2, p.95-104, 1992.
4. Brook, G.A., Fahey, T.D. *Exercise Physiology: human bionergetics and its application.* New York, John Wiley & Sons, 1984.
5. Cox, A.M., Mendryk, S.W., Kramer, J.F., Hunka, S.M. Effect of electrode placement and rest interval between contractions on isometric knee extension torques induced by electrical stimulation at 100 Hz. *Physiotherapy*, v.38, p.20-7, 1986.
6. Delitto, A., Snyder-Mackler, L. Two theories of muscle strength augmentation using percutaneous electrical stimulation. *Phys. Ther.*, v.70, p.158-64, 1990.
7. Edstron, L., Grimby, L. Effect of exercise on the motor unit. *Muscle Nerve*, v.9, p.104-26, 1986.
8. Eriksson, E., Haggmark, T., Kiessling, H. Effect of electrical stimulation on human skeletal muscle. *J. Sport Med.*, v.2, n.1, p.18-22, 1981.
9. Goldeberg, A.L., Etlinger, J.D., Jablecki, C. Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Med. Sci. Sports*, v.7, p.185-98, 1975.

10. Guirro R., Silva C.A., Polacow M.L.O., Campos, M.R., Tanno, A.P., Silva, H.C., Paro, D., Borges, J.P., Souza, L.A. Efeito da metformina e da eletroestimulação sobre as reservas de glicogênio dos músculos sóleo e gastrocnêmio desnervados. Estudo experimental em ratos. *Rev. Bras. Fisioter.*, v.3, p.73-4, 1998. (Suplemento).
11. Kramer, J., Lindsay, D., Magee, D., Mendrik, S., Wall, T. Comparison of voluntary and electrical stimulation contraction torques. *J. Orthop. Phys. Ther.*, v.6, p.324-31, 1984.
12. Laughman, R.K., Youdas, J.W., Garrett, T.R., Chao, E.Y.S. Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation. *Phys. Ther.*, v.62, n.4, p.494-9, 1983.
13. MacDonagh, M.J.N., Davies, C.T.M. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur. J. Appl. Physiol.*, v.52, p.139-55, 1984.
14. MacDougall, J.D., Elder, G.C.B., Sale, D.G., Maroz, J.R., Sutton, J.R. Effects of strength training and immobilization of human muscle fibers. *Eur. J. Appl. Physiol.*, v.43, p.25-34, 1980.
15. Montes Molina, R., Taberner Galan, A., Martin Garcia, M.S. Spectral electromyographic changes during a muscular strengthening training based on electrical stimulation. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.*, v.37, p.287-95, 1997.
16. Noronha, M.A., Camargo, L.C., Minamoto, V.B., Castro, C.E.S., Salvini, T.F. O efeito da estimulação elétrica neuromuscular (NMES) no músculo tibial anterior do rato. *Rev. Bras. Fisioter.*, v.2, n.2, p.71-6, 1997.
17. Penman, K.A. Human striated muscle ultra structural changes accompanying increased strength without hypertrophy. *Res Q.*, v.41, p.418-24, 1970.
18. Pichon, F., Chatard, J.C., Martin, A., Cometti, G. Electrical stimulation and swimming performance. *Med. Sc. Sports Exerc.*, v.27, n.12, p.1671-6, 1995.
19. Povilonis, E, Mizuno, M. Energy metabolism of the gastrocnemius and soleus muscles during isometric voluntary and electrically induced contractions in man. *J. Physiology.*, v.2, p.593-602, 1998.
20. Rutherford, O., Jones, D. The role of learning and coordination in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.*, v.55, p.100-5, 1986.
21. Saltin, B., Gollnick, P.D. Skeletal muscle adaptability: Significance for metabolism and performance. In: Peachey, L.D., Adrian, R.H., Geiger, S.R., ed. *Handbook of physiology. Section 10: Skeletal muscle*, p.555-631. Bethesda, MD American Physiological Society, 1983.
22. Selkowitz, D.M. High frequency electrical stimulation in muscle strengthening. *Am. J. Sports Med.*, v.7, n.1, p.103-11, 1989.
23. Silva, C.A. da, Guirro, R., Polacow, M.L.O., Silva, H.C., Tanno, A.P., Rodrigues, D. Efeito da metformina ou eletroestimulação sobre as reservas de glicogênio do músculo sóleo normal ou desnervado. *Rev. Bras. Fisioter.*, v.3, n.2, p.55-60, 1999.
24. Snyder-Mackler, L., Delitto, A., Stralka, S.W., Bailey, S.L. Use of electrical stimulation to enhance recovery of quadriceps femoris muscle force production in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys. Ther.*, v.74, n.10, p.901-6, 1994.
25. Vaz, M.A., Herzog, W., Macintosh, B., Epstein, T., Svedahl, K., Zhang, Y.T. Mecanismo de vibrações musculares durante contrações isométricas voluntárias e eletricamente estimuladas de músculo esquelético humano. In: *Congresso Brasileiro de Biomecânica*, 7, 1997. Anais, p.465-72.
26. Villar, F.A.S., Mendonça, G.L.F., Santos, H.H., Brasileiro, J.S., Alencar, J.F., Ferreira, J.J.A., Leite J.T.F. Avaliação da capacidade de aferir torque voluntários da cadeira de bonnet adaptada e comparação de torques gerados por dois tipos de estimulação elétrica neuromuscular. In: *Congresso Brasileiro de Biomecânica*, 7, 1997. Anais, p.465-72.
27. Walmsley, R.P., Vossys, J. A comparison of torque generated by knee extension with a maximal voluntary muscle contraction vis-a-vis electrical stimulation. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, v.1, p.10-7, 1984.
28. Williams, R., Morrissey, M.C., Brewster, C.E. The effect of electrical on quadriceps strength and thigh circumference in meniscectomy patients. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, v.3, p.143-7, 1986.

Recebido para publicação: 10/03/2000

Aceito para publicação: 13/11/2000