

Revisão

Limites da estimulação elétrica neuromuscular no fortalecimento de músculos esqueléticos saudáveis e com déficit de força

Neuromuscular electrical stimulation limits in strengthening of healthy and deficient muscles

Jamilson Simões Brasileiro, M.Sc.*, Tania de Fátima Salvini, D.Sc.**

.....

*Fisioterapeuta, Docente dos Cursos de Graduação e Pós-graduação em Fisioterapia (*latu sensu*) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, **Fisioterapeuta, Pós-doutorado no NeuroMuscular Research Center, Universidade de Boston EUA, Docente dos Cursos de Graduação e Pós-graduação em Fisioterapia (*strictu sensu*) da Universidade Federal de São Carlos, SP

Resumo

A Estimulação Elétrica Neuromuscular (EENM) tem sido usada há vários anos como um coadjuvante no treinamento físico. Especificamente nas últimas décadas, esta técnica tem sido usada no fortalecimento de músculos inervados, com base nos trabalhos do cientista russo Yakov Kots, que usou estimulação elétrica de alta frequência para ganhos de força muscular. De acordo com Kots, as bases para o uso de EENM no fortalecimento muscular seriam de que mais unidades motoras poderiam ser recrutadas pela EENM do que durante contrações voluntárias máximas realizadas pelo indivíduo. Entretanto muitos desses resultados são atualmente questionados e há ainda muita controvérsia na literatura sobre o papel da EENM no fortalecimento dos músculos esqueléticos. O objetivo dessa revisão é avaliar as conclusões de estudos científicos realizados nos últimos vinte anos sobre o tema, bem como apresentar resultados que obtivemos avaliando o uso da EENM em músculos saudáveis e com déficit de força muscular. Nossos resultados demonstram que a EENM, associada ao treinamento com contrações voluntárias máximas, não proporcionou ganho de força adicional tanto em músculos saudáveis, como naqueles que mantiveram déficit de força após a reabilitação. Assim a EENM deveria ser usada preferencialmente nas fases iniciais do processo de reabilitação, quando algum déficit de recrutamento motor ainda estiver presente e associado a sinais de desconforto do indivíduo, durante a realização da contração muscular.

Palavras-chave:
estimulação elétrica
neuromuscular, contração
muscular.

Recebido 10 de maio de 2004; aceito 1 de junho de 2004.

Endereço para correspondência: Tania F. Salvini, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, CxP: 676, 13565-905 São Carlos SP, Tel: (16) 260-8345, Fax: (16) 261-2081, E-mail: tania@power.ufscar.br

Abstract

Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) has been used for years as aid to physical training. Specifically in the last decades, this technique has been used on the innervated muscle, based on the publications of Yakov Kots, who used high frequency of electrical stimulation for gains in muscular strength and endurance. According to Kots, the basis for the use of NMES treatment for muscle strengthening is that more motor units could be activated with this modality than during maximal voluntary contractions. However, there are several controversies among the results of the studies and thus, the limitations of NMES need to be established. The purpose of this review was to evaluate the results of studies realized in the last years and also present our results about the use of NMES on healthy and deficient muscles. Our results demonstrated that NMES, associated to the maximal voluntary contractions, did not improve the strength gain in the healthy muscles, as well as in the muscles that maintain some strength deficit after the rehabilitation process. Then, the NMES would be preferentially used in the initial periods of the rehabilitation when some deficit of neuromuscular recruitment is present and associated with signs of discomfort during the muscle contraction.

Key-words:

neuromuscular electrical Stimulation, muscular contraction.

.....

Apresentação

Inicialmente, gostaríamos de tecer algumas considerações sobre o que nos levou a escrever um artigo de revisão sobre os limites da estimulação elétrica neuromuscular (EENM) no fortalecimento dos músculos esqueléticos. Embora nossa experiência nesse tema seja recente, só há quatro anos iniciamos estudos que permitiram avaliar com mais detalhes o efeito da EENM no fortalecimento muscular, tanto em músculos saudáveis como naqueles com déficit de força, alguns resultados nos surpreenderam muito. Em músculos saudáveis ou com déficit motor avaliou-se o efeito do treinamento contra-resistido, realizado com contração muscular voluntária máxima, associado ou não à EENM. A hipótese era de que a EENM, utilizada durante a contração voluntária máxima realizada pelo indivíduo, pudesse induzir alterações no ganho de força, na massa muscular ou no recrutamento das unidades motoras dos músculos estimulados.

Para nossa surpresa, a EENM não produziu ganho adicional em nenhuma das variáveis avaliadas, quando seus resultados foram comparados ao grupo que utilizou somente o treinamento com contração voluntária máxima. Também foi surpresa constatar que isso ocorreu tanto em músculos normais como naqueles que apresentaram déficit de força. Essa constatação é paradoxal, pois a EENM tem sido amplamente recomendada e utilizada por diversos

profissionais para auxiliar no ganho de força muscular. Portanto nos parece oportuno trazer esse tema ao debate.

Assim o objetivo dessa revisão é apresentar resultados atualizados da literatura científica sobre o tema, bem como os resultados obtidos em nosso laboratório, para que se possa discutir o papel da EENM no fortalecimento muscular, baseando-se em resultados científicos. Esperamos despertar o interesse do leitor pelo assunto e ampliar a discussão sobre o tema, proporcionando subsídios que permitam uma utilização clínica mais criteriosa da EENM.

Introdução

Os estudos que envolvem o uso da EENM no fortalecimento dos músculos esqueléticos são bastante controversos. Além dos diferentes procedimentos metodológicos, os parâmetros manipuláveis clinicamente nos geradores de corrente não obedecem a um padrão uniforme, o que torna difícil a comparação dos resultados obtidos em diferentes estudos. Talvez isso explique as grandes divergências nas conclusões obtidas em diferentes experimentos.

Particularmente nas últimas décadas, dois fatores estimularam o interesse sobre os efeitos da EENM em músculos inervados. O primeiro foi o desenvolvimento de novos tipos de estimuladores, mais versáteis e mais acessíveis

para o uso clínico. O segundo fator se refere aos resultados da década de 70, sobre a eficácia dos programas de EENM para desenvolver força muscular em atletas de elite, assim como em indivíduos não-atletas saudáveis e por extensão, sua utilidade no tratamento de músculos esqueléticos com déficit de força [1].

As dúvidas que envolvem o uso da EENM na prática clínica, porém, concentram-se, sobretudo, na sua capacidade de produzir níveis de contrações que induzam o fortalecimento muscular. Ganhos de força muscular com EENM têm sido observados apenas em protocolos que atinjam níveis percentuais de torques maiores que 50% da contração voluntária máxima (CVM) [2,3]. Desta forma, intervenções que produzam baixos níveis de torque seriam ineficazes no processo de fortalecimento muscular.

A capacidade de geração de torque constitui-se assim, um dos pré-requisitos para a eficiência dos equipamentos de EENM no fortalecimento muscular. Esta capacidade seria dependente tanto da ativação direta de grandes unidades motoras, como pelo efeito facilitatório por retroalimentação sensorial sobre os neurônios motores, conforme proposto por Trimble & Enoka [4]: a aferência cutânea que ocorre com o uso da EENM pode alterar a população de unidades motoras que são ativadas pelo exercício.

Alheias às discussões de caráter científico que envolve esses estudos, diversos modelos de geradores de corrente elétrica continuam sendo lançados no mercado, sem a devida comprovação científica de seus resultados em humanos, conforme usualmente indicado nas instruções dos manuais dos equipamentos. Além disso, em muitos casos, não há clareza nas instruções referentes aos riscos e limitações dos equipamentos. A popularização da utilização desses equipamentos em hospitais, clínicas, academias de ginástica e até mesmo seu uso domiciliar tem contribuído para seu uso indiscriminado. Infelizmente, a EENM tem sido também utilizada como propaganda enganosa ao consumidor, em que se propaga que se pode obter “o corpo ideal” com sua utilização, gerando inclusive intervenções por parte das agências de vigilância sanitária.

Desenvolvimento

A produção de força muscular em sujeitos saudáveis

Como aumentar a força e a massa do músculo esquelético? Há vasta literatura sobre o tema e se sabe que somente exercícios que utilizem pelo menos 75% da força máxima são capazes de um recrutamento máximo de unidades motoras. É importante enfatizar que só assim as fibras musculares de contração rápida (também denominadas do tipo II) são ativadas (para revisão ver Costill e Wilmore, 2001 [5]).

Os exercícios voluntários para aumentar a força muscular seriam assim baseados no princípio da sobrecarga: três séries

de 8 a 12 contrações musculares de alta intensidade, utilizando aproximadamente 75% da força máxima, realizadas duas ou três vezes por semana [6]. Num esforço para se estabelecer correlações entre esses indicadores e a eficácia da EENM, diversos estudos foram desenvolvidos nos últimos anos.

A principal justificativa para o uso da EENM no fortalecimento muscular é que mais unidades motoras poderiam ser ativadas por esse procedimento. De acordo com Kots, o primeiro a utilizar a EENM no fortalecimento muscular em indivíduos saudáveis, a capacidade para um maior recrutamento de unidades motoras seria o principal fator responsável pelos significativos ganhos de força, observado na associação da EENM ao treinamento com contrações voluntárias máximas. Kots utilizou a chamada “corrente russa” no treinamento de atletas olímpicos, e segundo ele, foram registrados ganhos de força da ordem de 30 a 40%. Teoricamente, com um estímulo elétrico suficientemente forte, o recrutamento de unidades motoras poderia ser máximo. Segundo Kots, tal aumento no recrutamento motor permitiria ao sujeito exercer maior força contrátil durante a contração eletricamente induzida quando associada à contração voluntária, do que o recrutamento produzido somente pela contração voluntária isolada. Cabe ressaltar que os trabalhos do Kots nunca foram reproduzidos no Ocidente, e seus resultados são bastante questionados atualmente na literatura científica [1].

Alguns autores acreditam que forças em torno de 50 à 60% da CVM são requeridas para o fortalecimento ou hipertrofia de músculos saudáveis [2]. Assim quanto maior a capacidade de produção de força, maior seria a vantagem obtida com o uso da estimulação elétrica. Lieber [3] afirma que os estudos que demonstraram ganhos significativos de força com a utilização da EENM foram aqueles nos quais os músculos foram ativados em uma proporção relativamente alta (mais de 50%) dos valores obtidos nas contrações voluntárias máximas. Entretanto diversos experimentos demonstraram que a EENM isolada não atingiria esses níveis de contração.

Kramer [7] em um importante estudo sobre a associação da EENM a CVM, utilizando diferentes frequências de estimulação (20, 50 e 100 Hz), observou que a estimulação elétrica isolada produz níveis de torques bem inferiores aos gerados pela contração voluntária e a sobreposição destas, em indivíduos saudáveis, não resultou em maior torque do que aqueles produzidos pela CVM isolada, em nenhuma das frequências aplicadas.

Brasileiro & Villar [8] também não observaram nenhum aumento significativo no torque gerado pelo quadríceps femoral de vinte indivíduos saudáveis quando associaram a EENM à contração voluntária máxima, enquanto que a EENM isolada produziu valores de torque de cerca de 45% da CVM.

Walmsley *et al.* apud Delitto [6] utilizaram quatro geradores com diferentes características de pulso e

constatarem que a associação EENM e CVM em nenhuma ocasião excede o valor do pico de torque da CVM isolada. Mais recentemente, um estudo em indivíduos saudáveis comparou a capacidade de geração de torque entre duas formas de estimulação elétrica: a corrente de baixa frequência e a corrente russa [9]. Nenhuma das duas formas de estimulação produziu aumento significativo no pico de torque dos sujeitos avaliados, quando a contração voluntária foi associada à EENM.

Em recentes estudos realizados em nosso laboratório, temos observado que a EENM, aplicada de forma isolada, produz níveis de torques bem inferiores aos gerados pela contração voluntária máxima, e desta forma, não seriam eficazes quando se deseja o aumento da força ou da massa muscular. Avaliando o torque produzido pelo quadríceps de sujeitos saudáveis, nossos resultados apontam para valores que variaram de 39 a 54 % da CVM [8,9,10].

EENM no fortalecimento muscular de sujeitos saudáveis

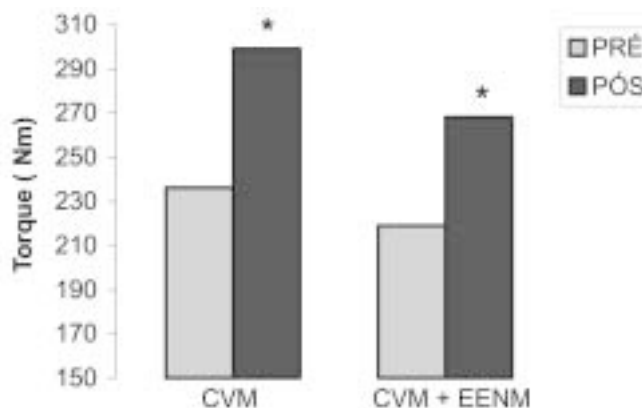
Um dos primeiros estudos a avaliar os ganhos de força obtidos com a EENM, quando comparados com o exercício voluntário, foi realizado no início dos anos 80. Laughman [11], em um treinamento aplicado em 58 sujeitos saudáveis, observou que o uso isolado da EENM, utilizando altas intensidades de contração muscular, produziu ganhos de força semelhantes aos do exercício voluntário. No entanto a grande maioria dos estudos realizada posteriormente não confirma esses resultados.

Por exemplo, Currier & Mann [12], comparando os resultados do treinamento isométrico utilizando a CVM em um grupo de indivíduos e CVM sobreposta à EENM em outro grupo, identificaram que os ganhos de torque entre os dois grupos foram semelhantes.

McMiken *et al* (apud Delitto *et al*, [6]) também compararam os efeitos dos exercícios voluntários e destes associados à EENM no músculo quadríceps de sujeitos saudáveis. Utilizando altas intensidades de estimulação, atingindo cerca de 60% da CVM, os indivíduos realizaram dez sessões, ao longo de três semanas. Nenhuma diferença significativa foi observada entre os dois grupos. Ou seja, a EENM não potencializou o ganho de força obtido pelo treinamento com CVM.

Recentemente avaliamos a influência da EENM, utilizando um gerador de corrente russa, no processo de fortalecimento muscular de universitários saudáveis [13]. Através de um programa de treinamento voluntário (3 séries de 10 contrações concêntricas voluntárias máximas, 2 vezes por semana) realizadas em um dinamômetro isocinético, durante quatro semanas consecutivas, observou-se que o grupo que associou a EENM ao treinamento voluntário obteve ganho de força semelhante ao grupo que utilizou apenas a contração voluntária (Fig. 1).

Fig. 1 - Pico de torque em sujeitos saudáveis antes (PRE) e após (PÓS) o período de treinamento. No mesmo indivíduo, um membro foi treinado somente com CVMs e no contra lateral a CVM foi associada a EENM. (* $p < 0,05$: quando comparados os resultados pré e pós – treinamento).



Delitto *et al*. [6] propõem que nenhum benefício adicional pode ser atribuído à associação da EENM à Contração Voluntária Máxima, nos regimes de treinamento de músculos saudáveis. Deve-se considerar, entretanto, que a EENM pode ter um papel muito importante na assistência de pacientes que, por alguma razão (hesitação, controle motor inadequado, dor, etc) não podem realizar voluntariamente um treinamento com exercícios que utilizem altas intensidades de contração [14].

A produção de força em músculos deficitários

A lesão do ligamento cruzado anterior (LCA) da articulação do joelho é muito comum nas atividades esportivas e, de modo geral, tem como consequência a diminuição da força extensora do joelho. A fisioterapia tem um importante papel na reabilitação desses indivíduos e o fortalecimento muscular do quadríceps é um dos principais objetivos a ser atingido. É importante esclarecer que os resultados que serão apresentados na seqüência, que avaliaram o efeito do treinamento utilizando CVMs e EENM em músculos com déficit de força foram, em sua grande maioria, realizados em indivíduos submetidos à reconstrução de LCA.

Um teste de força muscular voluntária não permite determinar se um eventual déficit é causado por atrofia muscular, fatores motivacionais, incapacidade para a ativação das unidades motoras ou uma associação de fatores múltiplos. As intervenções terapêuticas em cada uma dessas situações diferem substancialmente. Quando há atrofia muscular, um programa de exercício de fortalecimento utilizando contrações voluntárias está indicado, assim como, apenas estímulos motivacionais podem ser acrescentados ao treinamento quando esse aspecto for relevante e na ausência de alterações anatomo-fisiológicas. Por outro lado,

se o problema principal for a incapacidade para ativar o recrutamento neuromuscular devido a inibição reflexa, o exercício voluntário isolado pode não ser efetivo e outra estratégia terapêutica deve ser usada [6].

Assim, um diagnóstico preciso das causas da fraqueza muscular é imprescindível para a escolha adequada do recurso terapêutico a ser utilizado. Infelizmente, nem sempre o profissional dispõe de recursos que permitam uma detalhada avaliação morfo-funcional do músculo esquelético como, por exemplo, imagens de ressonância nuclear magnética para avaliar a massa muscular, dinamometria para mensuração do torque muscular e eletromiografia que possibilite avaliar o recrutamento das unidades motoras.

Alguns autores propõem que a capacidade para a ativação do quadríceps femoral nos estágios iniciais de reabilitação, após reconstrução do LCA é bastante limitada, por um reflexo inibitório que poderia resultar da dor e do edema no joelho [15].

Uma alteração na ativação das unidades motoras morfológicamente normais seria causada por uma ruptura do *feedback* sensorial nas lesões do LCA, e poderia ser o principal responsável pela diminuição na função do quadríceps femoral, nas debilidades deste ligamento (15). Esses estudos sugerem que a maior causa na queda nos níveis de força do quadríceps após lesões no joelho é a utilização inadequada das unidades motoras. Esse fator seria mais importante do que uma eventual atrofia [15]. Trimble & Enoka [4] observaram que, nestas condições, a ativação voluntária dos músculos não pode ser total, especialmente porque se observa uma queda na excitabilidade do neurônio motor.

Entretanto os mecanismos envolvidos nesta “inibição reflexa” ainda não foram totalmente elucidados. Draper [17] sugere que a dificuldade em contrair os músculos ativamente, nas fases iniciais dos exercícios de fortalecimento, pode ser devido ao edema, à dor, e, sobretudo à diminuição na atividade dos receptores articulares. Segundo o autor, o *feedback* desses receptores influencia a atividade das unidades motoras dos músculos envolvidos. Alguma alteração no *feedback* dos receptores pode intervir na capacidade de contração da musculatura circundante, e conseqüentemente, alterar ou mesmo impedir a contração ativa durante os exercícios de reabilitação.

Krebs *et al.* [18] sugerem que o trauma tecidual causado pela lesão, associado à incisão anterior na cápsula articular, usada nos procedimentos que envolvem a reconstrução do LCA, causaria uma distorção temporária na atividade dos receptores do joelho, a qual pode permanecer por três semanas ou mais. Como esses receptores facilitam a atividade do quadríceps femoral, a perda desse efeito resulta em uma diminuição no controle motor e o uso deste músculo durante o processo de reabilitação fica limitado, prejudicando a função normal. Desta forma, o papel do *feedback* no controle do movimento não seria limitado a mecanismos corporais reflexos ou a correções na trajetória dos movimentos; os

mecanismos proprioceptivos para o controle do movimento seriam o “gatilho” de uma série de componentes envolvidos na execução dos movimentos [19].

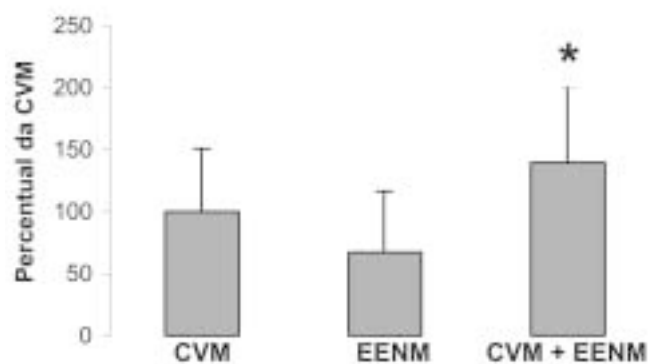
Se a contração voluntária do quadríceps femoral é impedida, a ativação do músculo com estimulação elétrica isolada ou sobreposta à contração voluntária seria maior do que a ativação voluntária isolada. Os indivíduos em processo de reabilitação teriam assim uma reserva funcional de unidades motoras que não seriam ativadas voluntariamente, mas que poderiam ser recrutadas através da estimulação elétrica [2].

Um estudo sugere que a EENM poderia compensar essa deficiência por um aumento na excitabilidade do neurônio motor, tanto pela ativação direta de grandes unidades motoras como pelo efeito sensorial produzido pela corrente elétrica sobre a pele [4].

Entretanto poucos trabalhos têm relacionado à capacidade de geração de torque produzido pela EENM em portadores de disfunções neuromusculares. Gould *et al.* [6], avaliando o torque isométrico em 20 pacientes submetidos à menissectomia, observaram que o grupo que trabalhou com estimulação elétrica associada a CVM atingiu um maior percentual de torque que o grupo que realizou somente contrações voluntárias.

Snyder-Macler *et al.* [20], comparando o torque isométrico do quadríceps femoral de pacientes submetidos à reconstrução do LCA, observaram que, após quatro semanas de treinamento, a EENM foi capaz de manter a força muscular nas fases iniciais da reabilitação.

Fig. 2 - Torque extensor do joelho de sujeitos, sete semanas após reconstrução do LCA, obtidos durante a Contração Voluntária Máxima (CVM), Estimulação Elétrica Neuromuscular isolada (EENM) e pela associação de ambas (CVM+EENM) (* $p < 0,05$: quando CVM+EENM foi comparada à CVM e EENM).



Alguns dos nossos resultados também sugerem que indivíduos submetidos a cirurgias recentes podem se beneficiar do uso da EENM. Analisando 20 sujeitos, sete semanas após a reconstrução do LCA, observamos que a EENM isolada produziu níveis de torques próximos a 70% da CVM, e desta forma, poderia ser utilizada para o restabelecimento da função muscular [10]. Além disso, a

associação da EENM com a CVM elevou em 40% o torque gerado pelo quadríceps, indicando que a intensidade das contrações foi potencializada com essa associação (Fig. 2).

O fortalecimento em músculos com déficit de força

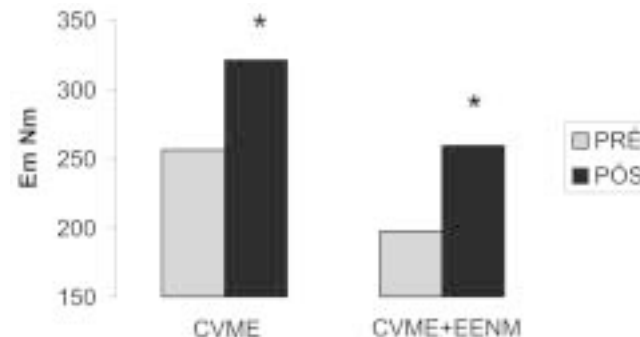
Quando há queda na performance muscular, o uso da EENM pode estar indicado para recuperar os níveis iniciais de força. Delitto *et al.* [21] observaram que os resultados de indivíduos submetidos a programas de reabilitação com o uso da EENM, contrastavam com os estudos prévios realizados em indivíduos saudáveis. Analisando dois grupos de sujeitos recentemente submetidos à reconstrução do LCA, um treinando com EENM e outro com exercícios voluntários, os indivíduos do primeiro grupo terminaram o treinamento com maior percentagem de força, tanto para o grupo extensor (de 51% para 78%) como para o flexor (de 70 para 94%).

Lieber *et al.* [3] têm sugerido que na fase inicial, logo após reconstrução do LCA, os programas que envolvem o uso da EENM são mais efetivos do que aqueles que utilizam apenas o exercício voluntário. Isso ocorre porque no período pós-cirúrgico, de modo geral, os pacientes não têm capacidade para ativar os músculos voluntariamente.

Recentemente avaliamos em detalhes os efeitos da EENM no fortalecimento muscular de sujeitos submetidos à reconstrução do LCA e já reabilitados, porém que ainda apresentavam déficit de força extensora no joelho (Brasileiro & Salvini, 2004; manuscrito em preparação). A avaliação dos indivíduos e o programa de treinamento foram realizados nove meses após reconstrução do LCA.

Em um grupo desse mesmo estudo, o treinamento do músculo quadríceps no membro submetido à reconstrução de LCA consistiu de três séries de dez repetições com exercícios excêntricos máximos, realizados em um dinamômetro isocinético duas vezes por semana. Em outro grupo de indivíduos, também submetidos à reconstrução de LCA, o mesmo protocolo de treinamento foi utilizado, porém o músculo foi também estimulado com corrente russa, utilizada na máxima intensidade suportada pelo indivíduo, durante a realização das contrações excêntricas. Em ambos os grupos foram observados: a) o pico de torque, em dinamômetro isocinético; b) a massa muscular do quadríceps, utilizando-se imagens obtidas por Ressonância Nuclear Magnética (RNM); c) o recrutamento neuromuscular, através da eletromiografia de superfície dos músculos Vasto Medial, Vasto Lateral e Reto Femoral do quadríceps. Os resultados desse estudo mostram que o treinamento excêntrico induziu melhora significativa em todos os aspectos examinados (Brasileiro & Salvini, 2004; manuscrito em preparação). Por outro lado a EENM não causou nenhum benefício adicional ao treinamento excêntrico, conforme pode ser observado em relação ao pico de torque (Fig. 3).

Fig. 3 - Pico de torque extensor do joelho de indivíduos submetidos à reconstrução de LCA há nove meses, avaliados antes (PRE) e após (POS) 12 semanas de treinamento, realizado com contração voluntária máxima excêntrica (CVME) e CVME associada à EENM (CVME+EENM) (* $p < 0,05$ quando valores pré e pós de cada grupo foram comparados). Não houve diferença no ganho de força entre os grupos.



Esses resultados, comparados aos obtidos quando a EENM foi utilizada no tratamento do quadríceps no período logo após a reconstrução do LCA, indicam que o benefício da EENM como recurso para auxílio no ganho de força muscular pode ser “tempo dependente”. Isto é, em indivíduos com déficit de força muscular, o uso da EENM deveria limitar-se aos períodos iniciais de recuperação, quando possíveis mecanismos inibitórios ainda estão presentes. O uso da EENM em fases mais tardias parece não trazer nenhum benefício morfológico ou funcional adicional, além dos já adquiridos com o treinamento realizado com exercícios contra-resistidos (Brasileiro e Salvini, 2004; manuscrito em preparação).

Desta forma, os estudos sobre o uso da EENM indicam que a ênfase deste recurso deveria ser direcionada para a assistência de pacientes que, por alguma razão, não possam realizar contrações musculares intensas, o suficiente para produzir ganhos de força ou para minimizar os efeitos da inatividade. Entretanto em sujeitos saudáveis poucas evidências sugerem que a EENM, utilizada de forma isolada ou associada à CVM, proporcione mais benefícios que o treinamento realizado somente com CVM.

Conclusões

Não existem evidências que suportem o uso da EENM no fortalecimento de músculos saudáveis, uma vez que esse recurso não induziu qualquer alteração no ganho de força, quando comparado ao treinamento físico utilizando-se somente Contrações Voluntárias Máximas;

Para o fortalecimento do quadríceps, após reconstrução do LCA, a EENM deve ser usada preferencialmente nas fases iniciais do período pós-operatório e associada a CVMs, quando ainda há uma inibição no recrutamento neuromuscular, dor ao movimento, receio do indivíduo, etc. No entanto

ainda faltam estudos que detalhem a contribuição da EENM no ganho de força muscular durante esse período;

No período tardio após reconstrução de LCA (cerca de nove meses), não há necessidade de se associar a EENM ao treinamento físico, realizado com CVM, para o fortalecimento muscular. A EENM não induziu nenhum ganho adicional de torque, massa e recrutamento motor quando associada ao treinamento;

O uso da EENM no fortalecimento muscular, utilizado durante as diferentes fases da reabilitação, nas diversas doenças que afetam o sistema locomotor, ainda é muito polêmico. Há grande necessidade de estudos científicos criteriosos, realizados em humanos, que subsidiem de modo seguro e eficaz seu uso clínico.

Agradecimentos

A CNPq (Projeto Universal), CAPES, FAPESP pelo apoio financeiro.

Referências

- Alon G. The principles of the electrical stimulation. In: Nelson RM, Hayes KW, Currier DP. *Clinical Electrotherapy*. 3 ed. Stanford: Appleton & Lange; 1999.
- Hortobágyi T, Lambert NJ, Tracy C, Shinebarger M. Voluntary and electromyostimulation forces in trained and untrained men. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24(6):702-7.
- Lieber RL, Kelly MJ. Factors influencing quadriceps femoris muscle torque using transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. *Phys Ther* 1996;71(10):715-23.
- Trimble MH, Enoka RM. Mechanisms underlying the training effects associated with neuromuscular electrical stimulation. *Phys Ther* 1991;71(4):273-82.
- Wilmore JH, Costill DL. *Fisiologia do esporte e do exercício*. São Paulo: Manole; 2001. p. 83-111.
- Delitto A, Snyder-Mackler L, Robinson AJ. Estimulação elétrica do músculo: técnicas e aplicações. In: Robinson AJ, Snyder-Mackler L. *Eletrofisiologia clínica*. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2001.
- Kramer J. Effect of electrical stimulation current frequencies on isometric knee extension torque. *Phys Ther* 1987;67(1):31-8.
- Brasileiro JS, Villar AFS. Comparação dos torques gerados por estimulação elétrica e contração muscular voluntária no músculo quadríceps femoral. *Rev Bras Fisioter* 2000;4(2):75-81.
- Brasileiro JS, Castro CES, Parizotto NA, Ortiz MCS. Estudio comparativo entre la capacidad de generación de torque y la incomodidad sensorial producidos por dos formas de estimulación eléctrica neuromuscular en sujetos sanos. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología* 2001;4(2):56-65.
- Brasileiro JS, Castro CES, Parizotto NA. Efeitos da estimulação elétrica neuromuscular no torque do músculo quadríceps após reconstrução do ligamento cruzado anterior. In: *Anais do X Congresso Brasileiro de Biomecânica*; 2003; Ouro Preto. p. 277.
- Laughman RK, Youdas JW, Garrett TR, Chao EYS. Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation. *Phys Ther* 1983;63(4): 494-9.
- Currier DP, Mann R. muscular strength development by electrical stimulation in healthy individuals. *Phys Ther* 1983;63(6):915-21.
- Brasileiro JS, Ávila MA, Pinto OMSF, Salvini TF. Efeitos da estimulação elétrica neuromuscular sobre o fortalecimento do músculo quadríceps femoral. In: *Anais do X Congresso Brasileiro de Biomecânica*. 2003; Ouro Preto. p.269.
- Swearingen JV. Electrical stimulation for improving muscle performance. In: Nelson RM, Hayes KW, Currier DP. *Clinical electrotherapy*. 3 ed. Stanford: Appleton & Lange; 1999.
- Ross M, Worrell TW. Electrical stimulation for anterior cruciate ligament-reconstruction rehabilitation. *Athletic Therapy Today* 2000;5(6):54-60.
- Snyder-Mackler L, Binder-Macleod SA, Williams PR. Fatigability of human quadriceps femoris muscle following anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* 1993;783-9.
- Draper V. Electromyographic Biofeedback and recovery of quadriceps femoris muscle function following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther* 1990;70(1):11-7.
- Krebs DE, Staple W, Cuttita D. Knee joint angle: its relationship to quadriceps femoris activity in normal and postarthrotomy limbs. *Arch Phys Med Rehabil* 1983; 64: 441-7.
- Cordo P, Carlton L, Bevan L, Carlton M, Kerr K. Proprioceptive coordination of movement sequences: role of velocity and position information. *J Neurophysiol* 1994;71(5):1848-61.
- Snyder-Mackler L, Delitto A, Stralka SW, Bailey SL. Use of electrical stimulation to enhance recovery of quadriceps femoris muscle force production in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther* 1994;74(10):901-6.
- Delitto A, Rose SJ, Mckowen JM, Lehman RC, Thomas JA, Shively RA. Electrical stimulation versus voluntary exercise in strengthening thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery. *Phys Ther* 1988;68:660-3. ■