

EFEITOS DA ELETROESTIMULAÇÃO NEUROMUSCULAR SOBREPOTA À CONTRAÇÃO VOLUNTÁRIA DOS MÚSCULOS QUADRÍCEPS E ISQUIOTIBIAIS

D. C. Costa*, J. M. Y. Catunda*, M. N. Souza* e A. V. Pino*

*Programa de Engenharia Biomédica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil
denisecest@peb.ufrj.br

Resumo: A Estimulação Elétrica Neuromuscular (NMES) combinada a exercícios voluntários pode trazer ganhos em potência muscular para a população de atletas ou de não-atletas, contribuindo inclusive para evolução na altura dos saltos verticais. Este trabalho descreve os efeitos de um treinamento de 4 semanas, envolvendo NMES sobreposta à contração voluntária, em 21 voluntários do sexo masculino, não-atletas. Os voluntários foram divididos igualmente em três grupos: NMES sobreposta à contração do músculo quadríceps femoral, NMES sobreposta à contração dos músculos isquiotibiais e um grupo controle. Todos os voluntários realizaram 5 séries de 10 agachamentos por sessão, três vezes por semana. A altura dos saltos foi avaliada antes e após a intervenção, a partir de uma série de 10 *Counter-Movement Jumps (CMJ)* e 10 *Squat-Jumps (SJ)*. Os resultados indicaram que o protocolo de treinamento sobreposto aumenta a altura do salto vertical para o CMJ, embora o SJ tenha aumentado somente no grupo que recebeu NMES sobre os músculos isquiotibiais.

Palavras-chave: Salto vertical, eletroestimulação, contração voluntária.

Abstract: *Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) associated to voluntary contractions are valuable tools to improve muscle power, both for athletes and non-athletes, also increasing vertical jump height. This paper describes the effects of a 4-week training protocol superimposing NMES to muscle contractions, into the vertical jump height of healthy, non-athlete men. Twenty-one men were equally divided into groups that would receive NMES over quadriceps femoris, NMES over hamstrings and the control group. All the volunteers performed 5 series of 10 squats, three times a week; a series of 10 Counter-Movement Jump (CMJ) and other of 10 Squat Jump (SJ) were performed before and after the training protocol, in order to evaluate jump improvement. The results indicate that the superimposed training protocol improved men's jump height for the CMJ, although only the group who received NMES over hamstring muscles has shown any improvement in jump height.*

Keywords: *Vertical jump height, electrical stimulation, voluntary contraction.*

Introdução

A altura do salto vertical é um importante indicador de desempenho, auxiliando na avaliação de potência muscular tanto em atletas de vôlei, ginástica olímpica, basquete, entre outros esportes [1–3], como em voluntários não-atletas [4]. A altura do salto vertical está intimamente relacionada à potência muscular durante a decolagem [5], o que envolve força muscular e velocidade de contração.

A eletroestimulação, quando associada a contrações voluntárias, pode melhorar o controle neural, além de induzir a alterações fisiológicas no músculo, já que a estimulação eliciada pela NMES causa diferenças no recrutamento muscular, contribuindo para otimização motora [6], [7]. Tais alterações fisiológicas englobam ganhos em massa muscular, força, velocidade, potência, resistência e ativação muscular [6–9]. Sendo assim, a associação de técnicas pode favorecer o controle postural e uma evolução na realização de movimentos dinâmicos complexos, incluindo o salto vertical [10].

Dois técnicas de associação entre NMES e contração voluntária amplamente descritas na literatura são as técnicas de Sobreposição da Estimulação Elétrica, onde os estímulos elétricos ocorrem simultaneamente às contrações voluntárias [11], e a Técnica Combinada, a qual trabalha NMES e contração voluntária separadamente em uma mesma sessão [1], [3]. Quando direcionados aos membros inferiores, tais estudos abordam principalmente a musculatura de quadríceps femoral [2], [3], havendo poucos estudos referindo-se aos efeitos de quaisquer destas técnicas sobre músculos isquiotibiais.

O presente trabalho visa avaliar os efeitos da NMES sobre a altura do salto vertical, mediante aplicação da técnica sobreposta sobre a musculatura de quadríceps e de isquiotibiais de voluntários saudáveis, não-atletas, do sexo masculino.

Materiais e métodos

Este estudo consistiu em aplicar a NMES simultaneamente à contração do músculo quadríceps femoral ou dos músculos isquiotibiais, durante contrações concêntricas e excêntricas de um exercício de agachamento. As sessões ocorreram três vezes por semana, em dias alternados, durante quatro semanas.

Voluntários – Foi utilizada uma amostra de conveniência de vinte e um voluntários do sexo masculino, não-atletas, idade entre 18 e 35 anos, altura de $1,72 \pm 0,12$ m e peso de $79,8 \pm 24,1$ kg. Os critérios de exclusão do estudo foram lesões recentes, algum tipo de doença no sistema neuromusculoesquelético e pouca tolerância à corrente elétrica. Os voluntários foram divididos em três grupos de sete pessoas: o primeiro grupo recebeu eletroestimulação sobre o músculo quadríceps femoral (grupo Quadríceps); o segundo, sobre os músculos isquiotibiais (bíceps femoral, semitendíneo e semimembranoso – grupo Isquiotibiais); o terceiro grupo não recebeu aplicação de NMES (grupo controle). Os voluntários estiveram presentes em ao menos 75% das sessões, sendo que duas faltas consecutivas levariam à exclusão do mesmo. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho (CAAE: 00908912.1.0000.5257).

Protocolo de treinamento – Todos os grupos realizaram 5 séries de 10 agachamentos com flexão de joelho a 90° (Figura 1), velocidade angular de cerca de $90^\circ/s$, sendo 20 segundos por série e 40 segundos de intervalo entre séries; os membros superiores foram mantidos paralelos ao solo, de forma a auxiliar na estabilização corporal. Antes de cada sessão, todos os voluntários realizaram alongamento muscular de membros inferiores. Os alongamentos, o protocolo de treinamento e a avaliação foram realizados com orientação de uma mesma fisioterapeuta capacitada.

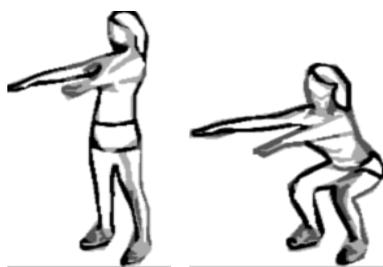


Figura 1: Agachamentos com membros superiores paralelos ao solo.

Para os dois grupos que receberam NMES, a eletroestimulação foi aplicada bilateralmente, a partir de pulsos quadrados bifásicos simétricos, gerados pelo aparelho Neurodyn II (Ibramed, Brasil). Os pulsos foram aplicados através de oito eletrodos de superfície auto-adesivos, de dimensões 5×5 cm (modelo CF5050, Valutrode®, Axelgaard, EUA). O grupo Quadríceps recebeu a NMES sobre os pontos motores da porção vasto lateral e vasto medial do quadríceps femoral; o grupo Isquiotibiais recebeu a NMES sobre os pontos motores do bíceps femoral e dos músculos semitendíneo e semimembranoso. Em ambos os grupos, os eletrodos negativos foram posicionados sobre seus respectivos pontos motores (supracitados) e os eletrodos positivos foram posicionados próximos ao joelho (Figura 2). Os pontos motores foram localizados a cada sessão, com o auxílio de um eletrodo “caneta”, cujos pulsos

apresentavam frequência de 1 Hz, duração de pulso de $300 \mu s$ e corrente inicial de 20 mA; o eletrodo dispersivo de carga negativa, com dimensões 5×5 cm (modelo CF5050, Valutrode®, Axelgaard, EUA), foi posicionado próximo ao joelho. A área foi então explorada, com intuito de se identificar a maior resposta contrátil para uma menor corrente elétrica aplicada.

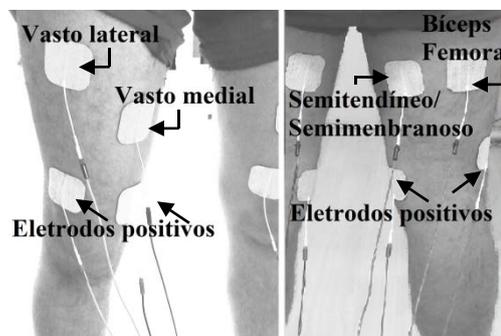


Figura 2: Posicionamento dos eletrodos. Eletrodos negativos posicionados sobre os pontos motores e os positivos, próximos ao joelho.

Utilizou-se como parâmetros para o protocolo de treinamento NMES, frequência de 75 Hz e duração de pulso de $400 \mu s$. A intensidade foi modulada previamente a cada sessão, de acordo com a intensidade máxima de corrente tolerada individualmente. Uma vez iniciado o protocolo de treinamento, a corrente foi aumentada ao longo da sessão, de acordo com o limiar de tolerância individual, permitindo a despolarização de fibras novas e mais profundas, seguindo princípios básicos de um programa de treinamento progressivo [18, 19].

Protocolo de Avaliação – O salto vertical foi registrado três dias antes do início do protocolo de treinamento (Semana 0) e três dias após seu fim (Semana 4), utilizando um sistema de cinemetria. A captura foi feita a uma taxa de amostragem de 200 quadros/s (BTS Smart-D, BTS Bioengineering, Itália), que utiliza marcadores reflexivos sobre pontos anatômicos específicos para captura dos movimentos, de acordo com a Figura 3. Os voluntários realizaram 10 saltos com contra-movimento ou *Counter-Movement Jumps* (CMJ) e 10 saltos a partir de agachamento ou *Squat Jumps* (SJ), com um intervalo de 10 segundos entre repetições e intervalo de 2 minutos entre o CMJ e o SJ.

Processamento dos dados – Os dados referentes à cinemetria foram processados previamente no *software SMART Analyser* (BTS Bioengineering, Itália) e posteriormente em MATLAB® R2006a (MathWorks, EUA). Para normalização dos dados, dividiu-se os valores de altura de salto pela média da altura obtida na semana 0.

Após esta normalização, foi realizado o teste *Kruskal-Wallis Rank Sum*, com comparação pareada via teste *Wilcoxon Rank Sum*. O nível de significância adotado foi de 1%. Todos os testes estatísticos foram realizados em R, 64 bits, versão 2.15.0 [12], possibilitando a comparação para cada grupo testado.

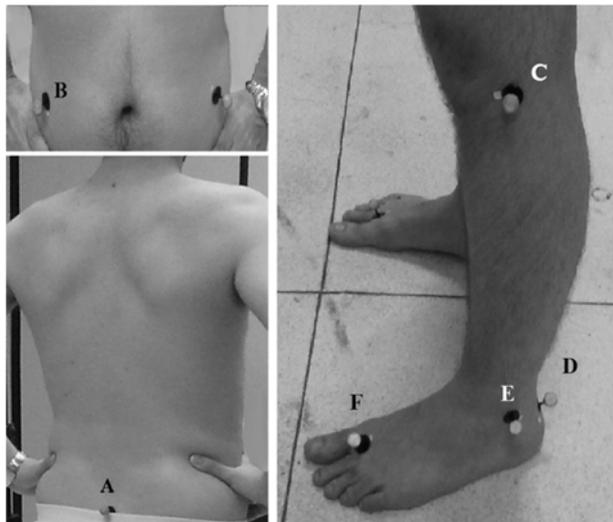


Figura 3: Marcadores reflexivos colocados sobre o sacro (A) e bilateralmente sobre espinhas ilíacas antero-superiores (B), côndilos laterais (C), calcâneos (D), maléolos laterais (E) e primeira metatarsofalangeana (F).

Resultados

As Figuras 4 e 5 ilustram, respectivamente, a evolução na altura do SJ e do CMJ entre as semanas zero e quatro, para os voluntários dos três grupos treinados. Um p -valor < 0,001 foi aceito como significativo e assinalado (*) nos gráficos.

Na Figura 4, observa-se uma evolução significativa no SJ para o grupo que recebeu eletroestimulação sobre os músculos isquiotibiais (p -valor < 0,001), em comparação com os demais grupos.

Na Figura 5, observam-se ganhos na altura de salto para os grupos que receberam NMES sobreposta à contração de quadríceps e de isquiotibiais, não havendo diferença significativa entre estes dois grupos, apenas entre estes grupos e o grupo controle.

Discussão

O presente trabalho observou um aumento na altura do CMJ e do SJ para NMES sobreposta aos músculos isquiotibiais e aumento no CMJ para NMES sobreposta ao músculo quadríceps femoral.

Houve ganho significativo na altura do SJ do grupo Isquiotibiais (Figura 4), possivelmente pelas mudanças neuromusculares supra-citadas. Embora estudo preliminar tenha identificado aumento na altura dos saltos SJ após eletroestimulação sobreposta à contração voluntária de quadríceps [10], não foram identificados ganhos na altura do SJ para treino em quadríceps no presente estudo. A relação entre dose e resposta foi

melhor para isquiotibiais, com aumento mais pronunciado da velocidade de ativação das fibras musculares, uma vez que a tolerância à corrente sobre músculos isquiotibiais foi em média 20 mA maior que aquela tolerada sobre os músculos quadríceps.

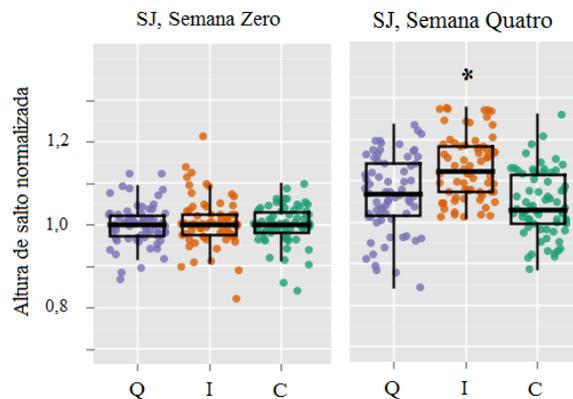


Figura 4: Valores normalizados da altura do Squat Jump (SJ) antes (Semana Zero) e após (Semana Quatro) o protocolo de treinamento para (Q) NMES sobre o quadríceps femoral, (I) NMES sobre os isquiotibiais e (C) grupo controle ;* p -valor < 0,001.

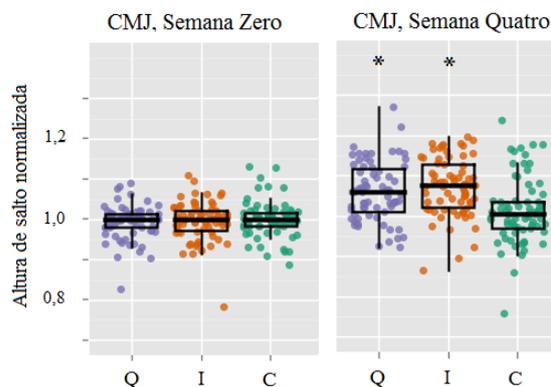


Figura 5: Valores normalizados da altura do Counter-Movement Jump (CMJ) antes (Semana Zero) e após (Semana Quatro) o protocolo de treinamento, para (Q) NMES sobre o quadríceps femoral, (I) NMES sobre os isquiotibiais e (C) grupo controle; * p -valor < 0,001.

O aumento na altura do CMJ para ambos os grupos eletroestimulados (Figura 5) pode estar relacionado a adaptações neuromusculares induzidas pela NMES [7]. Enquanto o exercício físico atua prioritariamente na hipertrofia muscular, as alterações decorrentes da eletroestimulação associada a contrações musculares envolvem não somente hipertrofia, mas também alteração na dinâmica energética do músculo, com aumento da velocidade de ativação do músculo, do ângulo de penação, da atividade eletromiográfica e da área de secção transversa anatômica do músculo [8]. A literatura descreve, como efeito da NMES, uma

alteração no metabolismo das células musculares e consequente alteração na força e velocidade de contração das fibras, com aumento da força muscular e da velocidade de contração ou aumento da resistência à fadiga [7–9], [13], [14]. A literatura tem reportado que a eletroestimulação aplicada por um longo período induz mudanças na cadeia pesada de miosina (*Myosin Heavy Chain* – MHC), com mudança no fenótipo da fibra muscular [7] e aumento da MHC-2A [7–9], [14], tipo característico pela maior resistência à fadiga e contração rápida das fibras musculares, dada sua capacidade glicolítica e oxidativa [15].

Novos estudos deverão ser conduzidos também para investigar os efeitos do treinamento sobreposto ao longo de um período maior de treinamento – 6 a 8 semanas, aumentando o tempo de adaptação da tolerância dos voluntários a maiores intensidades de corrente aplicada durante a NMES, visando atingir um platô onde possivelmente os efeitos do protocolo seriam máximos. Além disso, a medição da composição das fibras musculares envolvidas poderia trazer uma melhor compreensão dos efeitos fisiológicos da NMES.

Conclusão

A NMES sobreposta à contração voluntária de músculos isquiotibiais mostra-se efetiva para aumento da altura dos saltos verticais CMJ e SJ ao final de um treinamento de quatro semanas, sendo este mais eficiente que o treino com NMES sobreposta à contração do músculo quadríceps femoral, em especial quanto ao SJ.

Estudos sobre os efeitos da dose de NMES na resposta muscular possibilitarão aumentar a eficiência do treinamento envolvendo NMES sobreposta à contração do músculo quadríceps femoral, para um protocolo de quatro semanas.

Agradecimentos

Às agências governamentais Capes e CNPQ pelo apoio financeiro à pesquisa.

Referências

- [1] Deley, G., Cometti, C., Fatnassi, A., et al. (2011) "Effects of combined electromyostimulation and gymnastics training in prepubertal girls" *Journal of Strength and Conditioning Research*, v.25, n.2, p.520–526.
- [2] Sheppard, J.M., Dingley, A.A., Janssen, I., et al. (2011) "The effect of assisted jumping on vertical jump height in high-performance volleyball players" *Journal of Science and Medicine in Sport*, v.14, n.1, p.85–89.
- [3] Maffiuletti, N.A., Gometti, C., Amiridis, I.G., et al. (2000) "The Effects of Electromyostimulation Training and Basketball Practice on Muscle Strength and Jumping Ability" *International Journal of Sports Medicine*, v.21, n.06, p.437,443.
- [4] Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., et al. (2004) "Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests" *Journal of Strength and Conditioning Research*, v.18, n.3, p.551–555.
- [5] Hamill, J., Knutzen, K.M. (2012), *Bases biomecânicas do movimento humano*, São Paulo (SP): Manole.
- [6] Dehail, P., Duclos, C., Barat, M. (2008) "Electrical stimulation and muscle strengthening" *Annales de Readaptation et de Medecine Physique*, v.51, n.6, p.441–451.
- [7] Maffiuletti, N.A., Zory, R., Miotti, D., et al. (2006) "Neuromuscular Adaptations to Electrostimulation Resistance Training" *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, v.85, p.167–175.
- [8] Gondin, J., Guette, M., Ballay, Y., et al. (2005) "Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture" *Medicine and science in sports and exercise*, v.37, n.8, p.1291–1299.
- [9] Pérez, M., Lucia, A., Rivero, J.-L., et al. (2002) "Effects of transcutaneous short-term electrical stimulation on M. vastus lateralis characteristics of healthy young men" *Pflügers Archiv*, v.443, n.5-6, p.866–874.
- [10] Costa, D.C., Souza, M.N., Pino, A.V. (2014) "Effects of Superimposed Electrical Stimulation Training on Vertical Jump Performance: A Comparison Study between Men and Women", In: *XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2013*, Ed.:L.M.R. Romero, Springer International Publishing, p.133–136.
- [11] Paillard, T., Noé, F., Passelergue, P., et al. (2005) "Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction" *Sports medicine*, v.35, n.11, p.951–966.
- [12] R Development Core Team (2012), *R: A language and environment for statistical computing*, Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- [13] Gondin, J., Brocca, L., Bellinzona, E., et al. (2011) "Neuromuscular electrical stimulation training induces atypical adaptations of the human skeletal muscle phenotype: A functional and proteomic analysis" *Journal of Applied Physiology*, v.110, n.2, p.433–450.
- [14] Minetto, M.A., Botter, A., Bottinelli, O., et al. (2013) "Variability in Muscle Adaptation to Electrical Stimulation"
- [15] M.d, M.N.L., M.D, B.M.K., Stanton, B.A. (2006), *BERNE & LEVY. Fisiología + Student consult, 4a ed. ©2006 Últ. Reimpr. 2006*, Elsevier España.