

ELETROESTIMULAÇÃO E TECIDO ÓSSEO: RESPOSTAS BIOMECÂNICAS AOS ESTÍMULOS ELÉTRICOS – UMA REVISÃO DE LITERATURA

ELECTRICAL STIMULATION AND BONE TISSUE: BIOMECHANICS ANSWERS TO ELECTRICAL STIMULI- A LITERATURE REVIEW

Gustavo F. Sutter Latorre¹ e Letícia Miranda Resende da Costa²

¹ Fisioterapeuta; mestrando do Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia do Centro de Ciências da Saúde e do Esporte – Cefid/Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc - Florianópolis - Santa Catarina.

² Fisioterapeuta; mestranda do Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia do Centro de Ciências da Saúde e do Esporte – Cefid/Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc - Florianópolis - Santa Catarina.

Data de entrada do artigo: 16/11/2011

Data de avaliação do artigo: 25/11/2011

Data de aceite do artigo: 25/11/2011

RESUMO

Introdução: as respostas biomecânicas do tecido ósseo diante da eletroestimulação são controversas e escassas. Sabe-se que um osso se adapta aos estímulos a ele empregados; no entanto, não se pode afirmar como essas interações são capazes de estimular a formação óssea. **Objetivo:** o objetivo deste estudo é verificar, por meio de uma revisão da literatura, quais os efeitos da eletroestimulação sobre a biomecânica dos tecidos ósseos. **Materiais e métodos:** este artigo revisa informações acerca das diferentes respostas do tecido ósseo aos estímulos elétricos, através de consulta ao banco de dados PubMed¹, utilizando os unitermos “*biomechanics*”, “*bone*”, “*electrical stimulation*”, “*electromagnetic fields*” e “*non-union*”. **Resultados:** os estudos analisados demonstram que várias pesquisas sugerem a melhora da densidade e da consolidação óssea, porém a maioria destes estudos mostrou falhas metodológicas ou fragilidade no seu embasamento teórico. **Conclusão:** conhecer e aplicar informações acerca das respostas biológicas diante dos estímulos elétricos assegura que as rotinas de tratamento fisioterapêutico proporcionem um estímulo suficiente para manter a densidade mineral óssea em um nível apropriado, além de intervir com eficiência sobre o tecido ósseo lesado.

Palavras-chave: Terapia por estimulação elétrica. Biomecânica. Osso e ossos.

ABSTRACT

Introduction: The relationship between biomechanical responses of bone tissue and electrostimulation, are controversial. There is some evidence upon bone adapts under electrostimulation, however how these interactions are able to stimulate bone formation remains unclear. **Objective:** To verify, through a electronic review, what are the effects of electrical stimulation on the biomechanics of bone tissue. **Materials and Methods:** Information about the different responses of bone tissue to electrical stimulation were accessed through PubMed database under the keywords “*biomechanics*”, “*bone*”, “*electrical stimulation*”, “*electromagnetic fields*” and “*non-union*”. **Results:** The reviewed articles show that several studies suggest an improvement in bone density, but most of these studies showed methodological weaknesses in theoretical basis. **Conclusion:** More study is necessary to provide better understanding upon biomechanics responses under electrostimulation. Then, physiotherapeutic routines will be able to reach positive effects over mineral density of injured bone.

Keywords: Electric stimulation therapy. Biomechanics. Bone and bones.

¹ Desenvolvido pelo *National Center for Biotechnology Information* – NCBI.

1. INTRODUÇÃO

A eletroestimulação é um recurso terapêutico utilizado desde a Antiguidade, porém aperfeiçoado somente nas últimas décadas. Alguns estudos sobre eletroestimulação têm demonstrado a efetividade no tratamento da atrofia dos tecidos por desuso, bem como na manutenção da amplitude de movimento e reeducação muscular ^(1, 2).

Existem diferentes métodos de estimulação elétrica. Na corrente contínua, no acoplamento capacitivo e no acoplamento endutivo, acredita-se que há uma resposta do tecido ósseo gerando proliferação celular de osteoblastos e, como consequência, aumento da formação do calo e maturação, levando à cicatrização óssea ⁽³⁾.

É sabido que os tecidos ósseos sustentam o corpo, sendo, desta forma, constantemente submetidos a diferentes esforços, assim como as estruturas utilizadas nas engenharias ⁽⁴⁾. O estresse contínuo que é provocado por diferentes contrações musculares resulta em adaptações morfológicas do tecido ósseo, como maior massa óssea na inserção musculotendínea e aumento da espessura cortical ⁽⁵⁾.

O osso é um tecido altamente vascularizado, possui grande capacidade de regeneração e alteração das suas propriedades em resposta às mudanças na demanda mecânica. Assim, é considerado um dos tecidos mais metabólicos e dinamicamente ativos do corpo ⁽⁶⁾.

As respostas biomecânicas do tecido ósseo diante da eletroestimulação são controversas e escassas. Pesquisadores testaram campos elétricos senoidais sobre a prevenção de osteoporose e observaram que a resposta óssea é diferente, dependendo da frequência aplicada, podendo inibir a perda óssea normal associada com o desuso ou aumentar a massa óssea de 5% até 20% ⁽⁷⁾. Entretanto, outros estudos observaram que o estímulo elétrico exógeno sozinho, embora promova contração muscular, não é suficiente para prevenir a perda de massa óssea provocada pelo desuso ^(8, 9).

O sistema esquelético se adapta aos estímulos nele empregados. No entanto, como essas interações são capazes de estimular a formação óssea? O presente estudo tem por objetivo verificar, por meio de uma revisão da literatura, quais os efeitos da eletroestimulação sobre a biomecânica dos tecidos ósseos.

2. METODOLOGIA

Foi utilizado o banco de dados PubMed para a realização da consulta a artigos completos publicados em periódicos nacionais e internacionais

que apresentassem relevância. Os unitermos utilizados foram "biomechanics", "bone", "electrical stimulation", "electromagnetic fields" e "non-union". Foram incluídos nesta revisão artigos na íntegra, publicados em português e inglês, que apresentassem informações acerca da seguinte questão: "Qual a influência da eletroestimulação sobre as propriedades biomecânicas do tecido ósseo?" Foram consultados também livros clássicos para que os conceitos básicos fossem bem compreendidos.

3. DESENVOLVIMENTO

Nos moldes propostos, a busca eletrônica retornou 582 artigos a partir das palavras-chave supracitadas. Após seleção manual, através da leitura dos títulos, foram descartados aqueles que aparentemente não se referiam diretamente à utilização de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos no osso. O resultado final foi um total de 13 artigos incluídos, dos quais quatro foram revisões sistemáticas, três ensaios controlados, três ensaios randomizados controlados e quatro ensaios clínicos.

Aaron *et al.* ⁽¹⁰⁾, em experimento sobre a ossificação endocondral facilitada por eletroterapia no ano de 1989, mostraram que a síntese das moléculas de cartilagem foi implementada pela corrente elétrica utilizada, com subsequente implementação da calcificação endocondral.

Estudando, através de cintilografia óssea, a ação da eletroestimulação sobre fraturas mal consolidadas de 45 pacientes, Günalp *et al.* ⁽¹¹⁾ descreveram três padrões diferentes de resposta. O padrão mais frequente foi um aumento uniforme na absorção do marcador no local (P1). O segundo padrão (P2) foi o aumento da atividade no osso terminal com uma área de fótons deficitária entre os locais de fratura, ou uma diminuição generalizada na concentração de radionuclídeos na região de fragmentos ósseos. Padrões que não se enquadraram em qualquer um dos dois, ou quando a presença da área fria entre os fragmentos ósseos não pôde ser julgada com certeza, foram classificados como padrão indeterminado (P3). Todos os pacientes foram submetidos à estimulação pulsada de campo eletromagnético. A taxa de cura foi de 87,5% e 42,8% para os padrões 1 e 3, respectivamente. Nenhum dos pacientes do padrão 2 tinha qualquer evidência de cura e todos eles foram submetidos à exploração cirúrgica, revelando complicação de não consolidação.

Em um estudo clínico para verificar os efeitos da eletroterapia no tratamento de fraturas não consolidadas em 19 pacientes, Satter *et al.* ⁽¹²⁾

verificaram que, dos 14 pacientes que concluíram o protocolo de 41 semanas de tratamento, apenas dois não obtiveram cura, observando-se que se tratava de casos onde o intervalo entre as partes ósseas era superior a um centímetro.

Um estudo duplo-cego randomizado do tratamento eletroterapêutico da fratura tibial mal consolidada proferido por Simonis *et al.* ⁽¹³⁾ avaliou 34 pacientes durante cinco anos. De acordo com os autores mencionados, foi verificado que 24 pacientes progrediram com consolidação, sendo estes 89% do grupo que recebeu a eletroterapia contra 50% do grupo controle.

Em 2004, em revisão desta vez acerca de eletroestimulação sobre fraturas mal consolidadas, Aaron *et al.* ⁽¹⁴⁾ verificaram um número substancial de estudos descrevendo aceleração na recuperação, especialmente para os casos de osteotomia e fusão vertebral. Em ensaios controlados encontrados, os autores citados relataram verificar diferença significativa nos grupos tratados quanto à maturação trabecular, densidade óssea e cura radiográfica. Para os casos de artrodese vertebral, os índices de sucesso no grupo tratado eletroterapeuticamente ficaram entre 80% a 90%, em comparação com o grupo placebo, onde o sucesso foi de 65% a 75%. Estudos longitudinais e não controlados de fraturas com dificuldade de consolidação descreveram sucesso de 75% a 85%. Os autores em destaque concluíram que há sugestão de que a eletroestimulação tem ação benéfica sobre fraturas comuns e também naquelas com dificuldade de consolidação.

Já em 2007, Li *et al.* ⁽¹⁵⁾ desenvolveram um estudo experimental referente à liberação de citocinas em osteoblastos como resposta a diferentes intensidades de pulsos eletromagnéticos. Os resultados demonstraram que o uso das correntes pode estimular o crescimento osteoblástico, liberar TGFbeta1 e propiciar incremento na atividade da fosfatase alcalina. A síntese e a liberação de prostaglandinas no meio de cultura foi inversamente proporcional ao número de células. Intensidades mais altas não representaram incremento no crescimento osteoblástico, sendo a mais eficiente situada por volta de 2mV/cm.

No mesmo ano, Selvamurugan *et al.* ⁽¹⁶⁾ estudaram experimentalmente a combinação das administrações de proteínas morfogênicas ósseas (BMP) e eletroestimulação óssea, em comparação com cada uma destas administrações quando realizada isolada. Os referidos autores verificaram que, ao que parece, cada administração interferia em funções celulares distintas. A combinação das duas terapias foi mais efetiva que cada uma das outras isoladas.

Griffin *et al.* ⁽¹⁷⁾, em revisão sistemática, encontraram apenas três ensaios randomizados controlados, e incluíram 46 outros estudos a respeito do tema, concluindo haver um consenso de que a estimulação eletromagnética é técnica complementar efetiva no tratamento tradicional de ossos longos com dificuldade na consolidação de fraturas.

Em 2011, o mesmo grupo concluiu uma revisão apenas de ensaios cegos, randomizados e controlados por placebo, num total de 125 pacientes estudados. A maioria dos casos se referia à não consolidação de fraturas tibiais. Apenas um estudo relatou diminuição no quadro álgico. Nenhuma ocorrência acadêmica reportou melhorias mensuráveis na funcionalidade. Os autores em tela concluíram que, apesar de a evidência apontar para um provável benefício da eletroterapia sobre fraturas com dificuldade de consolidação, esta ainda é inconclusiva e insuficiente para orientar a prática clínica atual ⁽¹⁸⁾.

Revisando o efeito da eletroterapia na fusão óssea, Griffin & Bayat (3) encontraram 11 estudos a respeito do tema. Após rigores de validação interna e externa dos mesmos, mais uma vez os autores observaram que, apesar do consenso em favor da eletroestimulação para o reparo ósseo, a qualidade dos estudos existentes é insuficiente para este tipo de conclusão. Para eles, a eletroestimulação utilizada com este fim é promissora, mas a prática clínica só poderá ser otimizada a partir de trabalhos mais rigorosos.

Gargiulo *et al.* ⁽¹⁹⁾ estudaram, através de imagens de tomografia espiral computadorizada, a evolução da regeneração de tecidos moles e ósseos em pacientes tratados eletroterapeuticamente. A regeneração óssea pôde ser bem acompanhada, e foi sugerido que o tratamento favorece aquela regeneração.

Atualmente, Hannemann *et al.* ⁽²⁰⁾ estão desenvolvendo um estudo multicêntrico duplo-cego randomizado controlado da ação da eletroestimulação sobre fraturas unilaterais agudas do escafoide. Os parâmetros de solidificação serão avaliados através de radiografia, tomografia, funcionalidade do punho, questionários de função e qualidade de vida. Fica a esperança de que o estudo possa esclarecer um pouco mais a nebulosa questão a respeito da eficácia clínica da eletroestimulação no implemento da consolidação óssea.

4. CONCLUSÕES

Verificou-se que os efeitos da eletroterapia sobre o tecido ósseo ainda são controversos. Vários estudos evidenciaram a melhora da densidade e consolidação óssea, porém a maioria

destes estudos mostra falhas metodológicas e fragilidade no seu embasamento teórico.

Em relação à prática clínica, as informações apresentadas no decorrer do texto são ferramentas bastante úteis nas rotinas de trabalho de profissionais da área da saúde, principalmente os fisioterapeutas, cujas ações são geralmente baseadas no

conhecimento prático adquirido no dia a dia.

É importante ressaltar que, mesmo os estudos que apresentaram resultados positivos em relação à utilização da eletroterapia, estes dizem respeito a ossos específicos com características singulares, sendo necessário cautela na aplicação desses resultados em ossos distintos.

REFERÊNCIAS

- Mäenpää H, Jaakkola R, Sandström M, Airi T, von Wendt L. Electrostimulation at sensory level improves function of the upper extremities in children with cerebral palsy: a pilot study. *Dev Med Child Neurol* 2004 Feb; 46(2):84-90.
- Staub AL, Rotta NT, Mahmud MA, Svirski AS, Santos AC, Fonteles VR, *et al.* Efeitos da estimulação elétrica neuromuscular em pacientes com paralisia cerebral do tipo espástica. *Fisioter Bras* 2005 jan/fev; 6(1):6-9.
- Griffin M, Bayat A. Electrical stimulation in bone healing: critical analysis by evaluating levels of evidence. *Eplasty* 2011; 11:e34. Epub 2011 Jul 26.
- Browner BD, Jupiter JB, Levine AM, Trafton PG. Traumatismos do sistema musculoesquelético: fraturas, luxações, lesões ligamentares. Volume I. 2. ed. São Paulo: Manole; 2000.
- Krahl H, Michaelis U, Pieper HG, Quack G, Montag M. Stimulation of bone growth through sports. *Am Sports Med* 1994 Nov/Dec; 22(6):751-57.
- Nordin M, Frankel VH. Biomecânica básica do sistema musculoesquelético. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2003.
- McLeod KJ, Rubin CT. The effect of low-frequency electrical fields on osteogenesis. *J Bone Joint Surg Am* 1992 Jul; 74(6):920-29.
- Spadaro JA. Mechanical and electrical interactions in bone remodeling. *Bioelectromagnetics* 1997; 18(13):193-202.
- Zerath E, Canon F, Guezennec CY, Holy X, Renault S, André C. Electrical stimulation of leg muscles increases tibial trabecular bone formation in unloaded rats. *J Appl Physiol* 1995 Dec; 79(6):1.889-94.
- Aaron RK, Ciombor DM, Jolly G. Stimulation of experimental endochondral ossification by low-energy pulsing electromagnetic fields. *J Bone Miner Res* 1989 Apr; 4(2):227-33.
- Günalp B, Ozgüven M, Oztürk E, Ercenk B, Bayhan H. Role of bone scanning in the management of non-united fractures: a clinical study. *Eur J Nucl Med* 1992; 19(10):845-47.
- Satter Syed A, Islam MS, Rabbani KS, Talukder MS. Pulsed electromagnetic fields for the treatment of bone fractures. *Bangladesh Med Res Counc Bull* 1999 Apr; 25(1):6-10.
- Simonis RB, Parnell EJ, Ray PS, Peacock JL. Electrical treatment of tibial non-union: a prospective, randomised, double-blind trial. *Injury* 2003 May; 34(5):357-62.
- Aaron RK, Ciombor DM, Simon BJ. Treatment of nonunions with electric and electromagnetic fields. *Clin Orthop Relat Res* 2004 Feb; (419):21-9.
- Li JK, Lin JC, Liu HC, Chang WH. Cytokine release from osteoblasts in response to different intensities of pulsed electromagnetic field stimulation. *Electromagn Biol Med* 2007; 26(3):153-65.
- Selvamurugan N, Kwok S, Vasilov A, Jefcoat SC, Partridge NC. Effects of BMP-2 and pulsed electromagnetic field (PEMF) on rat primary osteoblastic cell proliferation and gene expression. *J Orthop Res* 2007 Sep; 25(9):1.213-20.
- Griffin XL, Warner F, Costa M. The role of electromagnetic stimulation in the management of established non-union of long bone fractures: what is the evidence? *Injury* 2008 Apr; 39(4):419-29. Epub 2008 Mar 5.

Endereço para correspondência:

Leticia Miranda Resende da Costa. R. Des. Pedro Silva, 2.100, 202C. Coqueiros - Florianópolis - Sta Catarina. CEP 88080-700. E-mail: leticiamrcosta@yahoo.com.br. Tel.: (48) 8431-5983.