



Acta Ortopédica Brasileira

ISSN: 1413-7852

actaortopedicabrasileira@uol.com.br

Sociedade Brasileira de Ortopedia e
Traumatologia
Brasil

Borges Oliveira, Fabrício; Shimano, Antônio Carlos; Ferraz Picado, Celso Hermínio
Ultra-som terapêutico e imobilização na reparação do trauma muscular
Acta Ortopédica Brasileira, vol. 17, núm. 3, 2009, pp. 167-170
Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia
São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65713430009>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto



ARTIGO ORIGINAL

ULTRA-SOM TERAPÊUTICO E IMOBILIZAÇÃO NA REPARAÇÃO DO TRAUMA MUSCULAR

THERAPUTIC ULTRASOUND AND IMMOBILIZATION IN MUSCULAR TRAUMA REPAIR

FABRÍCIO BORGES OLIVEIRA¹, ANTÔNIO CARLOS SHIMANO², CELSO HERMÍNIO FERRAZ PICADO²

RESUMO

Introdução: Avaliamos os efeitos do ultra-som terapêutico (UST), adicionado ou não à imobilização gessada (IG), como forma de tratamento à lesão muscular por impacto analisando as propriedades mecânicas de alongamento e carga nos limites de proporcionalidade e máximo, rigidez (R) e resiliência do músculo gastrocnêmio. **Metodologia:** Utilizamos 70 ratas divididas em 7 grupos: Grupo 1—Controle; Grupo 2—Sem tratamento; Grupo 3—IG por 24 horas; Grupo 4—IG por 72 horas; Grupo 5—UST sem presença de IG; Grupo 6—IG por 24 horas associada ao UST; Grupo 7—IG por 72 horas associada ao UST. **Resultados:** As propriedades de carga no limite de proporcionalidade e carga máxima mostraram que o grupo estimulado com o UST comportou-se de modo semelhante ao grupo controle. A propriedade de alongamento no limite de proporcionalidade não diferenciou os grupos; o alongamento máximo do grupo estimulado com (UST) e dos grupos imobilizados por 72 horas foram comparáveis ao grupo controle. **Conclusão:** O grupo estimulado (UST) apresentou rigidez similar ao grupo controle e resiliência superior a todos os grupos. A utilização isolada do UST forneceu resultados similares àqueles considerados como normais, o mesmo não sendo observado quando o UST foi associado à IG.

Descritores: Lesão muscular. Imobilização. Ultra-som terapêutico. Biomecânica.

SUMMARY

Introduction: We assessed the effects of therapeutic ultrasound (TUS), either added to cast immobilization (CI) or as an alternative to muscular injuries caused by impact by analyzing the mechanical properties of stretching and load at proportionality limit, maximum limit, stiffness (S) and gastrocnemius muscle resiliency. **Methods:** 70 female rats were employed in the study, divided into 7 groups: Group 1- Control; Group 2- Untreated; Group 3- CI for 24 hours; Group 4- CI for 72 hours; Group 5- TUS without CI; Group 6- CI for 24 hours with TUS; Group 7- CI for 72 hours combined with TUS. **Results:** The load properties at proportionality limit and maximum limit showed that the group receiving TUS behaved similarly to control group. Stretching at proportionality limit was not different from one group to another; the maximum stretching of the group immobilized for 72 hours was similar to the control group. **Conclusion:** The group receiving TUS showed similar stiffness levels compared to control group and superior to all remaining groups. The standard deviation provided similar results to those regarded as normal, the same were not noticed when TUS was combined to CI.

Keywords: Muscle injury. Immobilization. Therapeutic ultrasound. Biomechanics.

Citação: Oliveira FB, Shimano AC, Picado CHF. Ultra-som terapêutico e imobilização na reparação do trauma muscular. Acta Ortop Bras. [periódico na Internet]. 2009; 17(3):167-170. Disponível em URL: <http://www.scielo.br/aob>

Citation: Oliveira FB, Shimano AC, Picado CHF. Therapeutic ultrasound and immobilization in muscular trauma repair. Acta Ortop Bras. [online]. 2009; 17(3):167-170. Available from URL: <http://www.scielo.br/aob>

INTRODUÇÃO

Atualmente diferentes alternativas terapêuticas vêm sendo propostas visando à recuperação total do paciente portador de lesões musculares no menor tempo possível, devolvendo-lhe assim a condição física funcional normal e possibilitando um melhor rendimento físico.¹

O UST é utilizado no tratamento de tecidos moles há mais de seis décadas, sendo atualmente um recurso muito utilizado na prática fisioterápica², e o mais utilizado para o tratamento das lesões dos tecidos moles.³

Os efeitos do UST sobre o processo de reparação muscular em lesões experimentais vêm sendo estudado em diferentes aspectos. Stratton, Heckmann e Francis⁴ utilizaram diferentes intensidades do ultra-som terapêutico para avaliação histoquímica dos seus efeitos frente o processo de reparação de lesões musculares por contusão e consideraram ser benéfico à aplicação do ultra-som.

Rantanen et al.⁵ concluíram que o ultra-som terapêutico acelera a

reparação muscular após contusão promovendo significativa de células satélites para o sítio da lesão. Menezes et al.⁶ aplicaram o ultra-som terapêutico em um modelo experimental por esmagamento, obtiveram resultados através de ensaios mecânicos e concluíram que houve melhora da qualidade da reparação da lesão. Os músculos não foram tratados com imobilização prévia.

Karnes e Burton⁷ encontraram melhora significativa da reparação muscular, em lesão provocada por contração excêntrica quando estimulou a lesão com ultra-som terapêutico. Järvinen⁸ e Järvinen et al.⁹ demonstraram os efeitos da imobilização inicial como parte do tratamento do músculo. Järvinen et al.¹⁰ preconizaram o repouso como forma imediata à lesão muscular, acompanhado de frio local e elevação do membro lesado, sendo este método empregado na prática diária.

Todos os autores declaram não haver nenhum potencial conflito de interesses referente a este artigo.



Não encontramos na literatura trabalhos que correlacionem os efeitos do ultra-som terapêutico com a imobilização gessada sobre a reparação muscular e as respectivas propriedades mecânicas. Nosso objetivo foi avaliar a influência do UST, adicionado ou não à imobilização gessada, pós-trauma imediato, no processo de reparação muscular, através da análise das propriedades mecânicas das fibras musculares do gastrocnêmio.

MATERIAIS E METODOS

Animais de experimentação

Foram utilizadas 70 ratas, albinas, da linhagem Wistar, com peso corporal de 204 ± 15 g, com idade aproximada entre 10 e 12 semanas. Esses animais foram separados e mantidos em gaiola de contenção de plástico, com livre acesso à água e ração, ficando expostos a ciclos de 12h claro e 12h escuro, até a produção da lesão experimental.

Todos os procedimentos experimentais do estudo encontraram-se em conformidade com normas e princípios éticos na experimentação animal, aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade de São Paulo - Campus Ribeirão Preto. Os animais foram divididos em 7 grupos experimentais, de acordo com o protocolo de tratamento a ser adotado.

Grupo 1 - Controle (N=10)

Os animais deste grupo não sofreram qualquer lesão, ficando mantidos em gaiolas de contenção por um período de 7 dias.

Grupo 2 - Sem tratamento (N=10)

Estes animais tiveram o músculo gastrocnêmio submetido à produção da lesão experimental aguda por mecanismo de impacto, no entanto, após a realização do trauma não fizeram uso de nenhum recurso terapêutico, permanecendo 7 dias em suas gaiolas de contenção com movimentação ativa livre.

Grupo 3 - Imobilizado por 24 horas (N=10)

Após a produção da lesão experimental aguda este grupo de animais foi imobilizado por 24 horas, por meio de aparelho gessado incluindo as articulações do quadril, joelho e tornozelo direito. Concluído este período, foi removida a imobilização gessada e os animais permaneceram em suas gaiolas de contenção por mais 6 dias.

Grupo 4 - Imobilizado por 72 horas (N=10)

Neste grupo experimental os animais também tiveram o músculo gastrocnêmio submetido ao processo de produção de lesão e imobilizados seguindo o mesmo protocolo do grupo 3, no entanto, por um período de 72 horas. Concluído este período, foi removida a imobilização gessada e os animais permaneceram em suas gaiolas de contenção por mais 4 dias.

Grupo 5 - Estimulação com UST (N=10)

Após a produção da lesão muscular, os animais permaneceram em suas gaiolas de contenção por 24 horas, concluído este período estes foram estimulados com ultra-som terapêutico pulsado (UST) por 5 minutos durante 6 dias consecutivos.

Grupo 6 - Imobilizado por 24 horas e estimulação com UST (N=10)

Os animais deste grupo foram submetidos ao processo de produção da lesão muscular, sendo imediatamente submetidos à imobilização por meio de aparelho gessado. Após este período, estes animais foram retirados da imobilização gessada e estimulados com ultra-som terapêutico pulsado (UST) por 5 minutos durante 6 dias consecutivos.

iniciou-se a estimulação da área lesada, acessada através de uma janela no gesso, com ultra-som terapêutico pulsado por 5 minutos durante 6 dias consecutivos.

Contusão experimental

Foi confeccionado um instrumento capaz de produzir contusão muscular por mecanismo de impacto através de uma carga de 200g, a uma altura de 30 cm, sobre o músculo gastrocnêmio, estando o animal posicionado adequadamente sobre uma superfície metálica na base do aparelho. Este instrumento foi desenvolvido no laboratório de Bioengenharia da Universidade de São Paulo, sendo o mesmo utilizado por Oliveira et al.¹² em uma adaptação de modelos descritos por S. Minamoto et al.¹²

Todos os animais foram previamente anestesiados com Ketalar® - Thiopental Sódico - na dose de 4 mg/100g via intraperitoneal. Os animais foram imobilizados sobre uma superfície metálica, sendo posicionados em decúbito ventral, com a articulação femoral em extensão e em contato direto com a superfície metálica, tomando-se o cuidado de manter a extensão máxima da articulação a dorsiflexão a 90° do tornozelo. (Figura 1 - A e B) Os animais foram submetidos a um único trauma e separados de acordo com o seu grupo experimental.

Imobilização Gessada

Após a realização da lesão experimental, os animais foram submetidos aos grupos experimentais 3, 4, 6 e 7 ainda anestesiados foram posicionados sobre o aparelho gessado confeccionado com atadura de gesso, sendo aplicada de maneira convencional, visando a secagem rápida, aplicada de maneira convencional. O modelo de imobilização gessada adotada neste estudo foi baseado em um método proposto por Booth e Kelso.¹³ Este método incluiu desde a região torácica, abrangendo quase toda a extensão até a articulação do tornozelo que ficou em flexão plantar.

Nos animais do grupo 7 foi criada uma janela circular de 2 cm de diâmetro no aparelho gessado, sobre a área muscular lesionada, de modo a permitir o emprego do UST.

A terapia ultra-sônica foi iniciada 24 horas após a realização da lesão, sendo a remoção da imobilização gessada ocorreu conforme o protocolo nos diferentes grupos experimentais. Os animais foram submetidos a sessões diárias de estimulação com ultra-som terapêutico na modalidade pulsada modulada de 100Hz, com ciclo de trabalho de 8ms ON - 20ms OFF - 20%, frequência de 1MHz e intensidade de 0,5 W/cm² (Spatial Average Temporal Average), durante 6 dias consecutivos, sendo realizada no mesmo período. O ultra-som foi aplicado diretamente na região muscular lesionada por meio do cabeçote de ERA de 1,5 cm², com utilização de gel hidrossolúvel para excluir o ar entre as interfaces.

Preparação do músculo gastrocnêmio

Após 7 dias os animais de cada grupo experimental foram submetidos à parada cardio-respiratória após a administração de uma dose excessiva do anestésico. O membro inferior direito foi desarticulado do quadril. Foi retirada a tibia e a



moles da perna direita com o cuidado necessário para manter-se apenas o músculo gastrocnêmio e suas inserções ósseas no fêmur distal e calcâneo, sem provocar lesões adicionais à ele. Deste modo criaram-se os espécimes que foram submetidos aos ensaios mecânicos.

Ensaio mecânicos

As propriedades mecânicas dos espécimes foram obtidas por ensaios de tração longitudinal na Máquina Universal de Ensaio do Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – USP.

Foi utilizada célula de carga com capacidade de 50kgf, a qual apresenta uma interface direta a um computador que possui *software* de automação de ensaios mecânicos, sendo possível comparar precisamente as cargas e alongamentos obtidos através de cada ensaio mecânico.

Foi aplicada uma pré-carga de 200g, com um tempo de acomodação de 30 segundos e velocidade de aplicação de carga estabelecida em 10mm/minuto. (Figura 2 - A e B)

Foram construídos gráficos de carga *versus* alongamento a partir dos resultados de cada ensaio, sendo possível determinar as propriedades mecânicas de carga e alongamento no limite de proporcionalidade, carga e alongamento no limite máximo, rigidez e resiliência para cada espécime. (Figura 3)

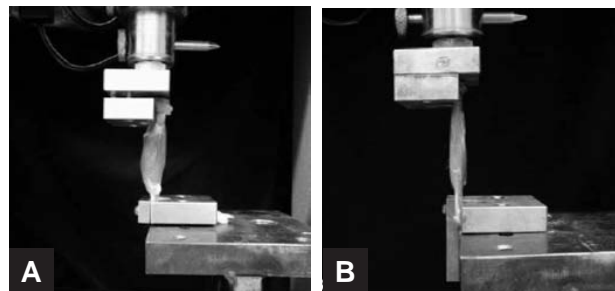


Figura 2 - (A) Posicionamento do espécime coletado, juntamente com os acessórios utilizados para a fixação na máquina universal de ensaios. **(B)** Simulação do ensaio mecânico de tração longitudinal do músculo gastrocnêmio coletado.

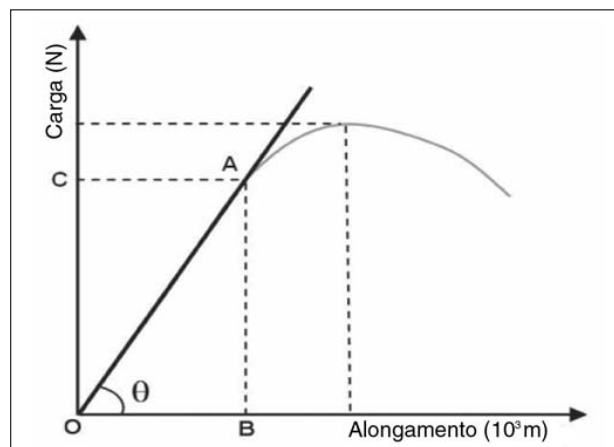


Figura 3 - Curva carga *versus* alongamento obtido no ensaio mecânico, onde são retiradas as propriedades mecânicas avaliadas.

RESULTADOS

Os resultados encontrados de cada espécime foram calculadas as médias aritméticas e seus desvios-padrão, utilizando-se do *software* da marca Microsoft® Excel® 2000 para a análise experimental.

Os dados foram processados utilizando-se do *software* Graph-Pad®, v.3.00 para a realização da análise estatística dos resultados encontrados entre os diferentes grupos experimentais.

Alongamento no limite de proporcionalidade

Os valores médios encontrados para o alongamento no limite de proporcionalidade para o grupo controle foi de $(4,48 \pm 1,22) \times 10^{-3}$ m, grupo 2 de $(6,36 \pm 2,28) \times 10^{-3}$ m, para o grupo 3 de $(4,91 \pm 1,46) \times 10^{-3}$ m, grupo 4 de $(5,14 \pm 1,72) \times 10^{-3}$ m, grupo 5 de $(5,14 \pm 1,72) \times 10^{-3}$ m e grupo 7 de $(5,14 \pm 1,72) \times 10^{-3}$ m. Não foram observadas diferenças estatísticas na análise simultânea dos grupos experimentais (p > 0,05).

Carga no limite de proporcionalidade

Os valores médios encontrados para carga no limite de proporcionalidade para o grupo controle foram de $(17,77 \pm 2,04) \times 10^3$ N, grupo 2 de $(13,50 \pm 3,80) \times 10^3$ N, grupo 3 de $(13,86 \pm 2,66) \times 10^3$ N, grupo 4 de $(19,80 \pm 3,60) \times 10^3$ N e para o grupo 7 de $(14,08 \pm 3,05) \times 10^3$ N. Os resultados apresentaram diferença estatística significativa na análise simultânea dos grupos experimentais com $p < 0,0001$. Não foram observadas diferenças estatísticas na comparação entre os grupos 1 e 6. Nas comparações realizadas entre os grupos 2, 3, 4, 5 e 7, foram observadas diferenças estatísticas significativas.

Alongamento Máximo

Os valores médios encontrados para o alongamento no limite máximo para o grupo controle foi de $(11,66 \pm 2,23) \times 10^{-3}$ m, grupo 2 de $(2,04 \pm 1,45) \times 10^{-3}$ m, grupo 3 de $(8,83 \pm 1,04) \times 10^{-3}$ m, grupo 4 de $(9,82 \pm 3,21) \times 10^{-3}$ m e para o grupo 7 de $(16,66 \pm 2,04) \times 10^{-3}$ m. Os resultados apresentaram diferença estatística significativa na análise simultânea dos grupos experimentais com $p < 0,0001$. Não foram observadas diferenças estatísticas na comparação entre os grupos, com exceção para o grupo 7.

Carga Máxima

Os valores médios encontrados para a carga máxima para o grupo controle foi de $(31,6 \pm 2,7) \times 10^3$ N, grupo 2 de $(22,0 \pm 2,9) \times 10^3$ N, grupo 3 de $(22,5 \pm 2,3) \times 10^3$ N, grupo 4 de $(28,7 \pm 2,7) \times 10^3$ N e para o grupo 7 de $(18,2 \pm 5,0) \times 10^3$ N. Na análise estatística dos valores de carga máxima foi observado diferença estatística significativa na análise simultânea dos grupos experimentais com $p < 0,0001$. Não foi observado diferença estatística significativa na comparação entre os grupos 1 e 5 e nas demais comparações entre os grupos 2, 3, 4, 6 e 7.

Rigidez

O valor médio encontrado de rigidez para o grupo controle foi de $(4,047 \pm 0,707) \times 10^3$ N/m, para o grupo 2 de $(2,23 \pm 0,306) \times 10^3$ N/m, grupo 3 de $(2,990 \pm 0,547) \times 10^3$ N/m, grupo 4 de $(3,658 \pm 0,676) \times 10^3$ N/m e para o grupo 7 de $(3,20 \pm 0,503) \times 10^3$ N/m. A comparação da rigidez evidenciou a presença de diferença estatística significativa para a análise simultânea dos grupos experimentais com $p < 0,0001$. Não foram observadas diferenças estatísticas significativas na comparação entre os grupos 1 e 5 e nas demais comparações entre os grupos 2, 3, 4, 6 e 7.

Os dados obtidos foram analisados através do teste para uma



grupo 3 de $(34,2 \pm 14,4) \times 10^{-3}$ J, o grupo 4 de $(37,9 \pm 24,4) \times 10^{-3}$ J, grupo 5 de $(57,2 \pm 13,5) \times 10^{-3}$ J, grupo 6 de $(37,9 \pm 19,0) \times 10^{-3}$ J e para o grupo 7 de $(36,8 \pm 15,36) \times 10^{-3}$ J. Na comparação da resiliência mostrou que houve diferença estatística significativa na análise simultânea dos grupos experimentais com $p < 0,05$. Foram observadas diferenças estatísticas significativas nas comparações entre os grupo 5 com os demais grupos.

DISCUSSÃO

A mensuração das propriedades mecânicas consiste em uma ferramenta de grande utilidade, pois fornece conhecimentos relevantes sobre as conseqüentes adaptações e alterações nas diferentes demandas funcionais.¹⁴

O fato dos ensaios mecânicos realizados serem destrutivos e devido à dificuldade de se mensurar adequadamente a área de secção transversal no local da lesão muscular fez em que optássemos por avaliar os dados através da curva carga versus alongamento e não pela tensão versus deformação.

Devemos considerar que a reparação da lesão muscular faz-se por células que formam novas fibras musculares ou por células que formam tecido fibroso no local da lesão. Não encontramos na literatura qualquer citação a respeito do comportamento do músculo reparado, relacionando o valor obtido nos testes mecânicos e o tipo de tecido de reparação. Não sabemos se a recuperação da capacidade de suportar carga pelo músculo lesado está relacionado a um reparo cicatricial fibroso, ou se esta recuperação mecânica relaciona-se a uma melhor recuperação biológica do músculo. Experimentalmente foi demonstrado que após o 1º dias do trauma os músculos testados em tensão mostraram ruptura na parte intacta do músculo, sugerindo que o tecido regenerado adquiriu resistência maior que a do tecido muscular que rompeu.^{4,15,16}

Nosso ensaio mecânico foi realizado no 7º dia enquanto Menezes et al.⁶ realizaram seus ensaios no 13º dia pós-lesão. Também diferenciamos destes autores quanto ao músculo lesado e o tipo de lesão, uma vez que eles utilizaram o músculo reto anterior da coxa esmagado e nós produzimos trauma direto sobre a panturrilha que provocou uma lesão experimental do músculo gastrocnêmio.

A vantagem de usar o músculo gastrocnêmio vem do fato que podemos isolá-lo com suas inserções ósseas, o que permite que seja preso à máquina de teste de forma segura, evitando as freqüentes solturas quando o músculo é diretamente fixado às presilhas. Também diferenciamos de Menezes et al.⁶ em relação a velocidade de aplicação no ensaio de tração, sendo a nossa de 10mm/minuto e a dos referidos autores de 4,5 mm/minuto.

A propriedade carga no limite de proporcionalidade foi considerada favorável ao uso do ultra-som terapêutico no trabalho quanto naquele realizado por Menezes et al.⁶ Nós obtivemos resultados favoráveis ao uso do ultra-som para a propriedade de carga máxima o que não foi observado no trabalho realizado por eles.

Também em relação ao alongamento nossos resultados foram favoráveis, uma vez que nossos testes não diferenciaram os grupos quanto ao alongamento no limite de proporcionalidade, diferenciando o grupo de Menezes et al.⁶ O alongamento diferenciou os grupos destes autores, mas nosso trabalho não foi estimulado com ultra-som e também o imobilizado não recebeu tratamento. Os resultados encontrados em nosso trabalho são similares aos de Menezes et al.⁶ quanto os valores de resiliência (energia absorvida na fase elástica) e diferentes em relação ao alongamento. Para o processo de reabilitação e reparação muscular, a propriedade de rigidez, pois os músculos com lesão se alongam mais com presença de cargas menores. É difícil justificar a discrepância de resultados, quando se leva em conta o fato de termos utilizado diferentes métodos de fixação à máquina de ensaio e diferentes períodos de imobilização após a lesão. No entanto, em nosso trabalho a tendência dos resultados a favorecer os grupos que receberam tratamento com ultra-som e esta mesma tendência é notada em Menezes et al.⁶, embora não nas mesmas propriedades analisadas.

Esperávamos que a imobilização inicial pós-trauma por um período, viesse a favorecer os resultados de recuperação da propriedade mecânica destes músculos quando associado ao tratamento terapêutico e isto não ocorreu.

CONCLUSÃO

A utilização isolada do UST forneceu resultados similares aos considerados como normais nos ensaios de carga, quanto à proporcionalidade e carga máxima. A associação do UST com a imobilização gessada por 72 horas forneceu resultados similares ao grupo controle somente para a propriedade de carga máxima. Nossos resultados sugerem que a associação do UST com a imobilização e do ultra-som como tratamento coadjuvante é benéfico quanto a recuperação muscular mensurada por testes mecânicos. Estes resultados obtidos em animais de laboratório devem ser diretamente extrapolados para a prática clínica, servindo principalmente como base para novas pesquisas.

REFERÊNCIAS

1. Lopes AS Kattan R, Costa S, Moura CE, Lopes RS. Diagnóstico e tratamento das contusões musculares. *Rev Bras Ortop.* 1995;30:744-52.
2. Warden SJ, McMeeken JM. Ultrasound usage and dosage in sports physiotherapy. *Ultrasound Med Biol.* 2002;28:1075-80.
3. Young SR, Dyson M. The effect of therapeutic ultrasound on angiogenesis. *Ultrasound Med Biol.* 1990;16:261-9.
4. Stratton SA, Heckmann R, Francis RS. Therapeutic ultrasound, its effects on the integrity of a nonpenetrating wound. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1984;5:278-81.
5. Rantanen J, Thorsson O, Wollmer P, Hurme T, Kalimo H. Effects of therapeutic ultrasound on the regeneration of skeletal myofibers after experimental muscle injury. *Am J Sports Med.* 1999; 27:54-9.
6. Menezes D.F, Volpon JB, Shimano AC. Aplicação do ultra-som terapêutico em lesão muscular experimental aguda. *Rev Bras Fisioter.* 1999;4:27-31.
7. Karnes JL, Burton HW. Continuous therapeutic ultrasound accelerates repair of contraction induced skeletal muscle damage in rats. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002; 83:1-4.

10. Järvinen MJ, Einola SA, Virtanen EO. Effect of the position of the rat gastrocnemius muscle upon the tensile properties of the rat gastrocnemius muscle after repair. *Rehabil.* 1992;73:253-7.
11. Oliveira FB, Abrahao GS, Carvalho LC, Shimano AC, Volpon JB. Os efeitos do ultra-som terapêutico auxiliado a imobilização gessada na recuperação das propriedades mecânicas da reparação muscular. *Estudo experimental.* *Rev Hosp Clin Fac Med de Ribeirão Preto USP.* 2003;36:23-30.
12. Mimamoto VB, Grazziano CR, Salvini TF. Effect of single application of ultrasound on the rat soleus muscle at different stages of regeneration. *Rehabil.* 1999;254:281-7.
13. Booth FW, Kelso JR. Production of rat muscle atrophy by unloading. *Physiol.* 1973;34:404-6.
14. Caiozzo VJ. Plasticity of skeletal muscle phenotype: mechanical adaptation. *Muscle Nerve.* 2002;26:740-68.
15. Crisco JJ, Jokl P, Heinen GT, Connell MD, Panjabi MM. The effect of immobilization on the mechanical properties of the rat soleus muscle. *J Orthop Res.* 1999;17:1000-10.