

## Revisão

# O uso do ultrassom terapêutico na regeneração de nervos periféricos após lesão por esmagamento

## *The use of therapeutic ultrasound on the regeneration of peripheral nerves after crush injury*

Adriane Barbosa Gomide, Ft\*, Rinaldo R. J. Guirro, Ft., D.Sc.\*\*

\*Aprimoramento, Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – USP, \*\*Professor do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – USP

### Resumo

O ultrassom terapêutico (UST) é um recurso não invasivo que pode auxiliar na regeneração nervosa periférica. *Objetivo:* Revisar os efeitos da aplicação do UST na regeneração de nervos periféricos. *Material e métodos:* A revisão de literatura não sistemática teve como base de dados Lilacs, Medline, Cochrane e Pubmed, além das consultas em referências de livros e periódicos do acervo da biblioteca da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto. Foram analisadas 66 publicações entre artigos e teses, sendo selecionados 28 trabalhos publicados entre 1994 a 2009. Incluíram-se estudos constando as seguintes dimensões: características da regeneração nervosa, lesões nervosas periféricas por esmagamento, características e aplicação do UST no tratamento de lesões nervosas periféricas. Primeiramente, serão descritas as lesões nervosas periféricas e suas etapas de regeneração, seguido por um breve comentário sobre lesões por esmagamento. A seguir será abordada a aplicação do UST como forma de tratamento em lesões nervosas periféricas. *Resultados:* A literatura disponível demonstra que o uso do UST no modo pulsado com baixa intensidade foi eficaz no tratamento, acelerando o processo de regeneração. *Conclusão:* O uso do UST apresentou respostas satisfatórias no processo de regeneração do nervo periférico, sendo necessários maiores estudos para padronizar os parâmetros físicos do UST, da pressão exercida durante a lesão por esmagamento, do período de tratamento e acompanhamento, bem como das análises realizadas.

**Palavras-chave:** regeneração nervosa periférica, lesão por esmagamento, compressão neuropática, ultrassom terapêutico.

### Abstract

The ultrasound (US) is a non-invasive therapeutic resource which can assist in peripheral nervous regeneration. *Objective:* To review the effect of the application of the US in the regeneration of peripheral nerves. *Material and methods:* Review of non-systematic literature database on Lilacs, Medline, Cochrane and Pubmed. Journals and references of books from the collection of the library of the University of São Paulo, in Ribeirão Preto, were consulted. A number of 66 relevant publications, articles and theses, were analyzed and 28 of them were selected to be studied in this work. Those were published between 1994 and 2009. Studies with the following dimensions were included: characteristics of nervous regeneration, peripheral nervous crushing injuries, characteristics and application of US in peripheral nervous injuries treatment. Firstly, peripheral nervous injuries and their stages of regeneration were described followed by a brief comment about crushing injuries and, after that, the application of US as a form of treatment in peripheral nervous injuries. *Results:* The available literature showed that the US used in pulsing model with a low intensity treatment was efficient, accelerating the regeneration. *Conclusion:* The use of US proved to be efficient in the process of regeneration of the peripheral nervous. Further studies are necessary to standardize physical parameters of the US, the pressure during the crushing injury, the period of treatment and accompaniment, as well as the analysis performed.

**Key-words:** peripheral nervous regeneration, injury for crushing, neuropathic compression, therapeutic ultrasound.

Recebido em 1 de abril de 2010; aceito em 22 de julho de 2010.

**Endereço para correspondência:** Rinaldo R.J. Guirro, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – USP, Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor, Curso de Fisioterapia, Av. Bandeirantes, 3900 Monte Alegre 14049-900 Ribeirão Preto SP, E-mail: rguirro@fmrp.usp.br

## Introdução

Os nervos periféricos são frequentemente lesionados, resultado de esmagamentos, compressões, estiramentos, avulsão ou secções, o que acarreta em uma diminuição ou perda da transmissão de impulsos, levando a alterações da sensibilidade e da motricidade no território por ele inervado [1,2].

A lesão nervosa periférica é estudada e difundida, sendo que muitos autores realizam suas pesquisas em ratos por terem uma semelhança sensitiva e motora, comparada ao do ser humano, e devido ao fato de apresentar uma rapidez e eficiência de regeneração, fazendo com que haja uma constância na sua recuperação. Além de ser possível a intervenção medicamentosa, cirúrgica e ou conservadora [3].

Alguns agentes físicos, como o ultrassom terapêutico, eletricidade, campo magnético e o laser de baixa intensidade podem acelerar o processo de cicatrização e regeneração tanto dos nervos periféricos quanto de outros tecidos [2,4-12,14-15] o que possibilita a sua aplicação clínica.

Apesar da disponibilidade do uso generalizado em lesões traumáticas de vários tecidos e do grande potencial de aplicação clínica, os efeitos do ultrassom terapêutico sobre os nervos periféricos não estão ainda suficientemente esclarecidos. O objetivo deste trabalho é revisar os efeitos da aplicação do ultrassom na regeneração de nervos periféricos.

## Materiais e métodos

Foi realizada uma revisão de literatura não sistemática nas bases de dados Lilacs, Medline, Cochrane e Pubmed. Além de consulta manual em referências de livros e periódicos do acervo da biblioteca da Universidade de São Paulo de Ribeirão Preto – USPRP, que continham os seguintes descritores: *peripheral nerve regeneration, crush injury compression neuropathy, therapeutic ultrasound*, estes foram usados isoladamente e em combinação na pesquisa. A partir da análise de uma lista de referências de sessenta e seis publicações relevantes, artigos e teses, foram selecionados vinte e oito trabalhos publicados entre 1994 a 2009.

Foram incluídos estudos que avaliaram as seguintes dimensões: características da regeneração nervosa, lesões nervosas periféricas por esmagamento, características do ultrassom terapêutico e aplicação de ultrassom terapêutico no tratamento de lesões nervosas periféricas.

Esta revisão pretende relatar, primeiramente, sobre as lesões nervosas periféricas e suas etapas de regeneração. Em seguida, será descrito um breve comentário sobre lesões por esmagamento e por fim, serão apresentados os estudos que utilizaram a aplicação de ultrassom terapêutico como forma de tratamento em lesões nervosas periféricas.

## Resultados e discussão

### *Lesões dos nervos periféricos e regeneração nervosa*

Lesão e compressão nervosa podem resultar na diminuição ou, até mesmo, na perda motora ou sensitiva [6]. Essas lesões resultarão em uma série de alterações, não somente no local da lesão, mas também na parte distal e proximal do segmento do nervo em sofrimento, gerando perda tanto sensitiva quanto motora para o território inervado [16].

Existem diversos fatores que têm influência na regeneração nervosa, dentre eles, a natureza e nível de lesão, período de desnervação, tipo e diâmetro da fibra lesionada e a função que a fibra exerce. Esses fatores, dentre outros como a idade do paciente, influência da temperatura, variações entre indivíduos, podem interferir na velocidade da regeneração nervosa [2,13,16].

Nas lesões nervosas, ocorrem degenerações progressivas no coto distal do axônio lesado levando a degradação da substância axonal e dos envoltórios das fibras nervosas. Este fenômeno estende-se em direção ao coto proximal até o estrangulamento do nódulo de Ranvier mais próximo da lesão. No coto proximal essa degradação axonal é fagocitada por macrófagos e por células de Schwann [17]. As células de Schwann têm fundamental importância na regeneração, pois elas promovem o direcionamento dos novos axônios, orientando-os até o órgão de destino. Além de produzir substâncias da matriz extracelular [1].

Além da síntese de axoplasma, diversos fatores contribuem para a regeneração nervosa, dentre eles, proliferação das células de Schwann e fibroblastos, além da regeneração da bainha de mielina [7].

### *Lesões nervosas por esmagamento*

Nos estudos experimentais atuais, umas das técnicas mais utilizadas são as lesões de nervos periféricos por esmagamento. Sendo uma modalidade útil para o estudo da regeneração dos nervos periféricos.

Bridge *et al.* [3] estudaram seis técnicas de esmagamento em ratos que são frequentemente utilizadas experimentalmente, sendo que em 5 técnicas foram utilizadas pinças e em uma a hemostase no nervo tibial posterior em ratos. Concluíram que todos os animais estudados apresentaram axoniotmese sem diferenças significativas. As técnicas de esmagamento foram consideradas confiáveis e reproduzíveis como modelos de lesão, tendo a vantagem de não envolver variáveis como a secção seguida de sutura.

Visando aprofundar as análises, De Medinaceli *et al.* [18] concluíram que uma lesão provocada por esmagamento é uma modalidade útil para o estudo de regeneração dos nervos periféricos, pois ela mimetiza um tipo de axoniotmese, na qual os danos são suficientes para romper o axônio, levando

a degeneração Walleriana distal, mas o prognóstico de recuperação funcional é bom, devido à preservação das estruturas de sustentação, como a célula satélite, a membrana basal e o tecido conectivo de suporte.

Assim, vários fatores são importantes para determinar o grau da lesão gerada, como a magnitude, a duração e o mecanismo de trauma compressivo. Quando um nervo é submetido à pressão, a lesão pode ser provocada tanto pela pressão como pela isquemia. Essa isquemia ocorre quando a pressão aplicada excede a pressão de perfusão capilar [9].

As alterações microvasculares intraneurais agudas em nervo ciático de rato foram avaliadas, após aplicação de diferentes cargas, tendo sido observada a lesão direta dos vasos endoneurais, com a formação de hematoma endoneural de gravidade proporcional à carga do esmagamento [9].

Mazzer *et al.* [13] classificaram, por meio da análise morfométrica, as lesões provocadas por diferentes cargas de esmagamento no nervo isquiático do rato (500 g, 1000 g, 5000 g, 10.000 g e 15.000 g). Concluíram que a quantidade de fibras mielínicas lesadas nos nervos isquiáticos foi proporcional à magnitude da carga aplicada, com predomínio de fibras distróficas na maioria dos grupos, exceto no grupo de 15.000 g. As fibras de maior diâmetro foram mais afetadas do que as de menor diâmetro, exceto no grupo de 15.000 g, no qual todas as fibras foram igualmente afetadas. O tipo de lesão predominante foi à atrofia axonal, em comparação com a desmielinização, e as lesões mistas apresentaram predomínio da axoniotmese.

### *Ultrassom terapêutico no tecido nervoso periférico*

A aplicação e os efeitos do ultrassom terapêutico vêm sendo estudados há mais de 40 anos com intuito de acelerar o processo de reparo tecidual em diversas situações. Alguns autores relatam que o ultrassom terapêutico (UST) é capaz de promover a desgranulação de algumas células, aumento da permeabilidade da membrana celular, angiogenese, aumento dos níveis de cálcio intracelular e da produção de fibroblastos [19-21].

Mesmo com inúmeros estudos sobre os efeitos do ultrassom terapêutico na cicatrização tecidual, pouco se sabe sobre seus efeitos na regeneração nervosa periférica. Com o objetivo de iniciar a aplicação do UST, após 3 dias da axoniotmese por esmagamento do nervo ciático em ratos, Mourad *et al.* [22] aplicaram o regime contínuo em diferentes protocolos, variando a frequência, intensidade e tempo de tratamento, durante 30 dias, 3 dias por semana. Os melhores resultados foram obtidos na intensidade de 0,25 W/cm<sup>2</sup>, frequência de 2,25MHz e duração de 1 minuto. Os autores concluíram que o ultrassom acelera a recuperação nervosa após uma axoniotmese.

Seguindo o mesmo modelo experimental, axoniotmese por esmagamento do nervo ciático, Ciena *et al.* [23] avaliou a eficácia do UST sobre a dor com diferentes parâmetros (pulsado

1:4 com 0,4 W/cm<sup>2</sup> – SATA) e (contínuo 0,4 W/cm<sup>2</sup> SATA). O tratamento indireto teve início no 3º dia pós-operatório (PO) seguido por 4 dias consecutivos por 5 minutos. No 9º dia PO, o tratamento direto começou sobre a área do procedimento cirúrgico, durante 5 dias consecutivos por 5 minutos. O tempo de elevação da pata, durante a marcha, foi avaliado no 3º, 6º, 9º e 13º dia de PO. Os resultados demonstraram que a aplicação do ultrassom reduziu a dor, sendo ambos os tratamentos efetivos.

Considerando que vários estudos experimentais utilizaram o ultrassom de baixa intensidade para analisar as respostas histomorfológicas e/ou funcionais dos nervos periféricos, Crisci e Ferreira [5] investigaram a regeneração do nervo ciático de ratos após neurotomia mediante avaliações morfológicas e morfométricas. Os resultados mostraram que o ultrassom pulsado (1.5 MHz, 200 us, 16 mW/cm<sup>2</sup> - SATA) aplicado por 20 minutos, durante 20 dias estimulou a regeneração do nervo, demonstrado através da neovascularização, pouca deformidade da bainha de mielina e estimulação de células de Schwann com aumento da atividade metabólica local.

Já a pesquisa realizada por Sganzella e Rollo [24] avaliou os efeitos do ultrassom após lesão por esmagamento no nervo ciático em ratos. Foram utilizados 26 ratos, divididos em 3 grupos. O primeiro grupo controle, o segundo foi lesionado por esmagamento e o terceiro foi lesionado e tratado com ultrassom pulsado (1 MHz; 40 mW/cm<sup>2</sup>; 8 minutos por dia). O tratamento teve início no 1º dia pós-lesão durante 4 semanas, em dias alternados. Os resultados mostraram que não houve diferença significativa entre o grupo lesado e o grupo tratado com ultrassom. Sendo que a única diferença observada foi que o ultrassom manteve a área de secção transversa do nervo no músculo tibial anterior quando comparado com o grupo controle.

Por outro lado, Monte-Raso *et al.* [2] analisando a resposta motora, após esmagamento do nervo ciático de ratos, tratado com ultrassom pulsado (1:5, 1 MHz, 0.4 W/cm<sup>2</sup>, com duração de 2 minutos) por 10 dias consecutivos, observaram que o UST acelerou a regeneração do nervo, com significância no 21º dia pós-operatório. Apesar de a autora relatar que se trata do ultrassom de baixa intensidade, o equipamento utilizado é de uso clínico. Fica a dúvida se a intensidade citada é média ou instantânea, a qual poderia caracterizar a baixa intensidade.

Interessante observar que os diferentes estudos experimentais utilizaram tanto o modo pulsado quanto o modo contínuo, onde ambos apresentaram efeitos benéficos para a regeneração nervosa periférica em animais.

Outro foco de estudos é a aplicação do UST nas neuropatias compressivas, tendo como parâmetros de avaliação os sinais clínicos e a eletroneuromiografia. Nesse contexto, Paik *et al.* [25] induziram uma compressão do nervo mediano em coelhos por infusão de soro fisiológico para aumentar a pressão intracarpal. O estudo foi dividido em 3 grupos e com aplicação de ultrassom contínuo em diferentes dosagens em cada grupo: 1,5 W/cm<sup>2</sup> no grupo 1; 0,2 W/cm<sup>2</sup> no grupo 2;

e placebo no grupo 3. Totalizando 10 sessões de tratamento durante duas semanas. Os resultados relataram que houve melhora significativa da amplitude dos potenciais de ação do músculo abductor do polegar no grupo 1, indicando que o tratamento com ultrassom promoveu uma recuperação mais rápida. Todavia, os benefícios dessa técnica ainda necessitam ser estudados em modelos clínicos.

Ebenbichler *et al.* [26] avaliaram a eficácia do UST no tratamento da síndrome idiopática do túnel do carpo de grau leve a moderado. Foi realizado um estudo randomizado, duplo cego, *sham* como grupo controle. As avaliações foram feitas após 2 semanas e 7 semanas de tratamento e no seguimento

de 6 meses mais tarde. O tratamento constou de 20 sessões (1 MHz, 1,0 W/cm<sup>2</sup>, modo pulsado 1:4, 15 minutos por sessão) aplicada sobre o túnel do carpo de um punho, e *sham* ao outro. Os primeiros 10 tratamentos foram realizados diariamente (5 sessões por semana); os outros 10 foram realizados duas vezes por semana durante 5 semanas. Foram avaliados pela escala visual analógica (EVA) e eletroneuromiografia (ENM). Os autores concluíram que o ultrassom apresentou resultados significativos tanto pela EVA quanto no ENM no que diz respeito à velocidade de condução nervosa e ao período de latência sensitiva e motora do nervo, sendo mantidos após os 6 meses de seguimento.

**Tabela I** - Síntese dos estudos apresentados, considerando o tipo de lesão, os parâmetros do ultrassom terapêutico e os resultados encontrados.

Referências	Tipo de lesão	Parâmetros do Ultrassom Terapêutico	Resultados
Ebenbichler <i>et al.</i> [26]	Neuropatia compressiva	Pulsado 1:4, 1 MHz, 1,0 W/cm <sup>2</sup> , 15 minutos por sessão. As 10 primeiras sessões 5 vezes por semana e as outras 10 em 2 vezes.	Ultrassom trouxe resultados significativos no tratamento da STC tanto pela EVA quanto no ENM no que diz respeito à velocidade de condução nervosa e ao período de latência sensitiva e motora do nervo. Os efeitos foram mantidos após 6 meses.
Moore <i>et al.</i> [27]	Neuropatia compressiva	Aplicado em diferentes frequências (1 e 3 MHz), diferentes ciclos (pulsado e contínuo) e com mesma intensidade de 1,0 W/cm <sup>2</sup> , com duração da aplicação em 8 minutos	Os resultados indicaram que as alterações de latência no nervo estavam mais relacionadas aos efeitos térmicos do que aos mecânicos.
Crisci e Ferreira [5]	Neurotomia	Pulsado com 1.5 MHz, 200 us, 16 mW/cm <sup>2</sup> , 20 minutos de aplicação durante 20 dias	O ultrassom estimulou a regeneração dos nervos periféricos demonstrado através da neovascularização, pouca deformidade da bainha de mielina e estimulação de células de Schwann com aumento da atividade metabólica local.
Mourad <i>et al.</i> [22]	Axoniotmese	Contínuo com 0,25 W/cm <sup>2</sup> , frequência de 2,25 MHz com duração de 1 minuto	O ultrassom acelera a recuperação nervosa após uma axoniotmese.
Paik <i>et al.</i> [25]	Neuropatia compressiva	Contínuo com 1,5 W/cm <sup>2</sup> (grupo 1); 0,2 W/cm <sup>2</sup> (grupo 2) e placebo (grupo 3). Totalizando 10 sessões de tratamento durante duas semanas	O ultrassom proporcionou uma melhora significativa da amplitude dos potenciais de ação muscular do abductor do polegar no grupo 1 comparado aos demais grupos, indicando que o tratamento com ultrassom promoveu uma recuperação mais rápida no tratamento da STC.
Monte-raso <i>et al.</i> [2]	Esmagamento	Pulsado 1:5, frequência de 1 MHz, intensidade de 0.4 W/cm <sup>2</sup> , com duração de 2 minutos, por 10 dias consecutivos.	O ultrassom terapêutico acelerou a regeneração do nervo, com significância no 21º dia pós-operatório.
Bakhtiyari <i>et al.</i> [28]	Neuropatia compressiva	Pulsado 1 MHz, 1,0 W/cm <sup>2</sup> , 1:4, 15 min/sessão; e o laser: 9 joules, 830 nm a laser infravermelho cinco pontos. 15 sessões (5 sessões/semana).	O tratamento com o ultrassom foi mais eficaz do que a terapia com laser para tratamento da síndrome do túnel do carpo. Os efeitos foram mantidos após 4 meses.
Sganzella e Rollo [24]	Esmagamento	Pulsado 1 MHz; 40 mW/cm <sup>2</sup> ; 8 minutos de duração.	Os resultados mostraram que não houve diferença significativa entre o grupo lesado e o grupo tratado com ultrassom. A única diferença observada foi que o ultrassom manteve a área de secção transversa do nervo no músculo tibial anterior quando comparado com o grupo controle.
Ciena <i>et al.</i> [23]	Neuropatia compressiva	Pulsado 1 MHz, 2 W/cm <sup>2</sup> (SATP; 0,4 – SATA), 5 min; ou contínuo 1 MHz, 0,4 W/cm <sup>2</sup> , 5 min.	A aplicação do ultrassom reduziu a dor com ambos os tratamentos efetivos, sendo um pouco mais evidente com o tratamento na forma pulsada.

O estudo realizado com a aplicação de UST para o tratamento de latência distal do nervo mediano em humanos recrutou 15 sujeitos saudáveis, sendo 8 homens e 7 mulheres com idade média de 23,5 anos e história de lesão neurológica ou musculoesquelética no braço não dominante. O UST foi aplicado nas frequências de 1 e 3 MHz, nos regimes pulsado e contínuo, com intensidade de 1,0 W/cm<sup>2</sup> durante 8 minutos. Durante o tratamento, houve aferição da temperatura do tecido subcutâneo e da latência sensitiva e motora do nervo de 2 em 2 minutos. Os resultados indicaram que as alterações de latência no nervo estavam mais relacionadas aos efeitos térmicos do que aos mecânicos [27].

Bakhtyari *et al.* [28] compararam a eficácia do tratamento com laser e UST na síndrome do túnel do carpo de grau leve a moderado. O estudo contou com a participação de 50 pacientes, 90 mãos, divididos em dois grupos de forma aleatória, com diagnóstico eletroneuromiográfico. Um grupo recebeu terapia com UST (1 MHz, 1,0W/cm<sup>2</sup>, pulsado 1:4, 15 min/sessão) e outro com laser de baixa intensidade (830 nm, 5 pontos de 9 joules cada). O ultrassom e o laser foram aplicados diariamente durante 15 sessões (5 sessões/semana). As avaliações (escala visual analógica; eletroneuromiografia e teste de pinça e preensão) foram realizadas antes e após o tratamento e após 4 semanas de seguimento. Os resultados demonstraram que o UST foi mais eficaz do que a terapia com laser para tratamento da síndrome do túnel do carpo, sendo os efeitos mantidos durante o período de acompanhamento.

Para uma melhor visualização da ação do UST sobre a inervação periférica, os estudos foram resumidos na Tabela I, considerando o tipo de lesão, os parâmetros do ultrassom e os resultados encontrados.

## Conclusão

A proposta de compreender quais são os efeitos do ultrassom terapêutico quanto a sua ação sobre lesões nervosas periféricas vem sendo estudada e discutida.

Há evidências que o uso do ultrassom terapêutico foi eficaz no tratamento das lesões nervosas periféricas. Maiores estudos devem ser incentivados para a padronização dos parâmetros físicos do ultrassom, da pressão exercida durante a lesão por esmagamento, do período de tratamento e acompanhamento, bem como das análises realizadas.

Os estudos em humanos devem ser incentivados, com aprofundamento das respostas clínicas sobre o processo de reparação dos nervos periféricos, tornando assim uma terapia fundamentada, que possa ser utilizada pelo fisioterapeuta na prática clínica, em benefício dos pacientes que apresentam lesão nervosa periférica.

## Referências

- Martins RS, Siqueira MG, Silva CF, Plese JPP. Mecanismos básicos da regeneração de nervos: Artigo de revisão. *Arq Bras Neurocir* 2005;24:20-5.
- Monte-Raso VV, Barbieri CH, Mazzer N, Fazan VPS. Os efeitos do ultrassom terapêutico nas lesões por esmagamento do nervo ciático de ratos: análise funcional da marcha. *Rev Bras Fisioter* 2006;10:113-9.
- Bridge PM, Ball DJ, Mackinnon SE, Nakao Y, Brandt K, Hunter DA, Hertl C. Nerve crush injuries – a model for axonotmesis. *Exp Neurol* 1994;127:284-90.
- Romano CVG, Barbieri CH. Efeitos do ultrassom terapêutico aplicado na fase precoce de cicatrização do tendão flexor. Estudo biomecânico em tendões de coelhos [dissertação]. São Carlos (SP):EESC/FMRP/IQSC, Bioengenharia/USP; 2001.
- Crisci AR, Ferreira AL. Low-intensity pulsed ultrasound accelerates the regeneration of the sciatic nerve after neurotomy in rats. *Ultrasound Med Biol* 2002;28:1335-41.
- Endo C, Barbieri CH. Estudo dos efeitos do tratamento com laser num modelo experimental de lesão nervosa por esmagamento do nervo ciático em ratos [dissertação]. Ribeirão Preto: Universidade de São Carlos e Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto; 2002.
- Mendonça AC, Barbieri CH, Mazzer N. Directly applied low intensity direct electric current enhances peripheral nerve regeneration in rats. *J Neurosci Methods* 2003;129:183-90.
- Chen YS, Shen-Feng HSU, Chiu MD, Geng LIN, Chao-Tsung Chen, Chun-Hsu YAO. Effect of low-power pulsed laser on peripheral nerve regeneration in rats. *Microsurgery* 2005;25:83-9.
- Pachioni CAS, Mazzer N, Barbieri CH, Fazan VPS, Padovani CR, Moro CA, Silva CAA. Rats' ischiatic nerve injury caused by smashing: a vascularization study. *Acta Ortop Bras* 2006;14(4):203-7.
- Carvalho PTC, Silva IS, Reis FA, Belchior ACG, Aydos RD, Facco GG et al. Histological study of tendon healing in malnourished Wistar rats treated with ultrasound therapy. *Acta Cir Bras* 2006;21(4):13-7.
- Romão AM, Viterbo F, Stipp E, Garbino JA, Rodrigues JA. Electrostimulação do músculo tibial cranial após esmagamento do nervo fibular comum: estudo neurofisiológico e morfométrico no rato. *Rev Bras Ortop* 2007;42(3):41-6.
- Olsson DC, Martins VMV, Pippi NL, Mazzanti A, Tognoli GK. Ultrassom terapêutico na cicatrização tecidual. *Ciência Rural* 2008;38:1199-207.
- Mazzer PYCN, Barbieri CH, Mazzer N, Fazan VPS. Morphologic and morphometric evaluation of experimental acute crush injuries of the sciatic nerve of rats. *J Neurosci Methods* 2008;173:249-58.
- Lobato R, Mazzer N. Efeitos do ultrassom terapêutico na prevenção de aderências tendinosas [dissertação]. São Carlos: EESC/FMRP/IQSC, Bioengenharia/USP; 2002.
- Menezes DF. Aplicação de ultrassom terapêutico em lesão muscular experimental aguda [dissertação]. São Carlos: EESC/FMRP/IQSC, Bioengenharia/USP; 1997.
- Mackinnon SE, Novak CB. Evaluation of nerve injury and nerve compression in the upper quadrant. *J Hand Ther* 2005;18:230-40.
- Machado A. Neuroanatomia funcional. 2a ed. São Paulo: Atheneu; 2003. p.101-16.
- De Medinaceli L, Derenzo E, Wyatt RJ. Rat sciatic functional index data management system with digitized input. *Comput Biomed Res* 1986;17:185-92.
- Ter Harr G. Review Therapeutic ultrasound. *Eur J Ultrasound* 1999;9:3-9.

20. Baker KB, Robertson VJ, Duck FA. A review of therapeutic ultrasound: Biophysical effects. *Phys Ther* 2001;81(7):1351-8.
  21. Lennart DJ. Nonthermal effects of therapeutic ultrasound: The frequency resonance hypothesis. *J Athl Train* 2002;37:293-9.
  22. Mourad PD, Lazar D, Curra FP, Mohr BC, Andrus KC, Avellino AM et al. Ultrasound accelerates functional recovery after peripheral nerve damage: experimental studies. *Neurosurgery* 2001;48:1136-41.
  23. Ciena AP, Cunha NB, Moesch J, Mallmann JS, Carvalho AR, Moura PJ, Bertolini GRF. Efeitos do ultrassom terapêutico em modelo experimental de cialgia. *Rev Bras Med Esporte* 2009;15(6):424-7.
  24. Sganzella D, Rollo JMDA. Ultrassom pulsado de baixa intensidade na regeneração nervosa periférica em ratos [dissertação]. Ribeirão Preto: Universidade de São Carlos e Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto; 2007.
  25. Paik NJ, Cho SH, Han TR. Ultrasound therapy facilitates the recovery of acute pressure-induced conduction block of the median nerve in rabbits. *Muscle Nerve* 2002;26:356-61.
  26. Ebenbichler GR, Resch KL, Nicolakis P, Wiesinger GF, Uhl F, Ghanem AH, Fialka V. Ultrasound treatment for treating the carpal tunnel syndrome: randomised "sham" controlled trial. *BMJ* 1998;316:731-5.
  27. Moore JH, Gieck JH, Saliba EN, Ball DW, McCue FC. The biophysical effects of ultrasound on median nerve distal latencies. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2000;40:169-80.
  28. Bakhtiary AH, Rashidy-Pour A. Ultrasound and laser therapy in the treatment of carpal tunnel syndrome. *Aust J Physiother* 2004;50:147-51.
-