

# O ULTRA-SOM TERAPÊUTICO NÃO AUMENTOU AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TENDÕES FLEXORES APÓS REPARO

*THERAPEUTIC ULTRASOUND DID NOT INCREASE THE MECHANICAL PROPERTIES OF FLEXOR TENDONS AFTER THEIR REPAIR*

CRISTIANE VITALIANO GRAMINHA ROMANO, CLÁUDIO HENRIQUE BARBIERI, NILTON MAZZER, JOSÉ BATISTA VOLPON, ANTÔNIO CARLOS SHIMANO, FREDERICO BALBÃO RONCAGLIA

## RESUMO

**Objetivo:** Estudo experimental idealizado para investigar as propriedades mecânicas de tendões flexores profundos de coelhos submetidos à tenotomia seguida de tenorrafia e aplicação precoce de ultra-som terapêutico com diferentes intensidades, em comparação com tendões submetidos somente à tenorrafia. **Material e Métodos:** Quarenta e quatro coelhos foram divididos em quatro grupos experimentais de acordo com a aplicação do ultra-som. Todos foram submetidos a uma secção do tendão flexor profundo na zona 2 e imobilizados com uma órtese mantida durante todo o experimento. O grupo A recebeu tratamento ultra-sônico com uma intensidade de 1,4 W/cm<sup>2</sup>, o grupo B com 0,6 W/cm<sup>2</sup>, ambos no modo contínuo, o grupo C com 0,6 W/cm<sup>2</sup> SATA, no modo pulsado à 50% e o grupo D não recebeu tratamento ultra-sônico algum. A frequência ultra-sônica empregada foi de 1 MHz. Após a eutanásia os tendões foram dissecados e submetidos ao ensaio mecânico de tração e análise histológica qualitativa. As propriedades mecânicas avaliadas foram: força máxima, deformação na força máxima e rigidez. **Resultado:** Não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos experimentais. **Conclusão:** O ultra-som terapêutico não melhorou as propriedades mecânicas dos tendões flexores após reparo.

**Descritores:** Terapia por ultra-som. Traumatismos dos tendões. Biomecânica.

## ABSTRACT

**Objective:** Experimental study idealized to investigate the mechanical properties of deep flexor tendons of rabbits that underwent the tenotomy followed by tenorrhaphy and early application of therapeutic ultrasound with different intensities, in comparison to tendons submitted to tenorrhaphy only. **Material and Method:** Forty-four rabbits were divided into four experimental groups according to the ultrasound application. They were all submitted to a section of deep flexor tendon in zone 2 and immobilized with an orthosis maintained throughout the experiment. Group A received ultrasonic treatment with an intensity of 1.4 W/cm<sup>2</sup>, group B with 0.6 W/cm<sup>2</sup>, both in continuous mode, group C with 0.6 W/cm<sup>2</sup> SATA, in pulsed mode at 50% and group D did not receive any ultrasonic treatment. The ultrasonic frequency employed was 1 MHz. After euthanasia, the tendons were dissected and submitted to the mechanical test of traction and qualitative histological analysis. The evaluated mechanical properties were: maximum force, deformation in maximum force and stiffness. **Results:** There were no statistically significant differences among the experimental groups. **Conclusion:** Therapeutic ultrasound did not improve the mechanical properties of the flexor tendons after repair.

**Keywords:** Ultrasonic therapy. Tendon injuries. Biomechanics.

**Citação:** Romano CVG, Barbieri CH, Mazzer N, Volpon JB, Shimano AC, Roncaglia FB. O ultra-som terapêutico não aumentou as propriedades mecânicas de tendões flexores após reparo. *Acta Ortop Bras.* [periódico na Internet]. 2010; 18(1):10-4. Disponível em URL: <http://www.scielo.br/aob>

**Citation:** Romano CVG, Barbieri CH, Mazzer N, Volpon JB, Shimano AC, Roncaglia FB. Therapeutic ultrasound did not increase the mechanical properties of flexor tendons after their repair. *Acta Ortop Bras.* [online]. 2010; 18(1):10-4. Available from URL: <http://www.scielo.br/aob>.

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

Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo - FMRP-USP

Trabalho realizado no Laboratório de Bioengenharia do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo - FMRP-USP - Brasil

Endereço para correspondência: Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. Campus Universitário. CEP: 14048-900 Ribeirão Preto, SP, Brasil – Email: [crisgraminha@yahoo.com.br](mailto:crisgraminha@yahoo.com.br)

Trabalho recebido em 04/07/08 aprovado em 10/11/08

## INTRODUÇÃO

O ultra-som terapêutico é um dos agentes físicos mais empregados em fisioterapia para a recuperação de lesões de tecidos moles.<sup>1</sup> Segundo Ramirez et al.<sup>2</sup>, esse recurso estimula a divisão celular, aumenta a atividade fibroblástica e síntese de colágeno durante o estágio ativo da reparação tecidual, que se inicia aproximadamente no terceiro dia após a lesão.<sup>3</sup>

Dos muitos estudos que investigaram os efeitos do ultra-som sobre o reparo de tecidos moles, boa parte foi dirigida especificamente para a cicatrização tendinosa<sup>4-10</sup>, e embora haja fortes indícios de que o ultra-som favorece a cicatrização desse tecido, esses estudos ainda apresentam resultados contraditórios.

Roberts et al.<sup>4</sup> relataram que a aplicação de ultra-som pulsado a 0,8 W/cm<sup>2</sup>, cinco vezes por semana, por seis semanas resultou em um efeito prejudicial sobre o processo cicatricial do tendão flexor. Stevenson et al.<sup>5</sup>, Turner et al.<sup>6</sup> e Romano<sup>7</sup>, não encontraram diferenças significativas nas propriedades mecânicas do tendão flexor tratado com ultra-som. No entanto, Cunha et al.<sup>9</sup> compararam os efeitos do ultra-som contínuo e pulsado na cicatrização de tendões de calcâneo de ratos. Os resultados mostraram que o ultra-som no modo pulsado apresentou um efeito melhor na organização e agregação de bandas de colágeno do que no modo contínuo. Mais recentemente, estudos demonstraram efeitos benéficos do ultra-som contínuo na resistência máxima de tendões de calcâneo, tanto com doses de 1,0 W/cm<sup>2</sup> como de 2,0 W/cm<sup>2</sup>, sugerindo que o ultra-som acelerou o processo de cicatrização desses tendões.<sup>9,10</sup> Com resultados semelhantes, Yeung et al.<sup>11</sup> encontraram tanto melhora nas propriedades mecânicas carga máxima e rigidez, como na quantidade de fibroblastos e alinhamento do colágeno em tendões de calcâneo de ratos irradiados com ultra-som no modo pulsado a uma intensidade de 0,5 W/cm<sup>2</sup>. Por outro lado Larsen et al.<sup>12</sup>, empregando essa mesma intensidade ultra-sônica em tendões de calcâneo de coelho, não encontraram melhora nas propriedades mecânicas.

Portanto, com base na revisão da literatura, o objetivo deste trabalho foi investigar as propriedades mecânicas de tendões flexores profundos de coelho submetidos à tenotomia seguida de tenorrafia e aplicação precoce do ultra-som terapêutico empregando diferentes intensidades.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Sujeitos

Foram utilizados 44 coelhos fêmeas albinos da raça Nova Zelândia, com peso corporal em torno de 2,5 Kg, mantidos em gaiolas individuais, alimentados com ração-padrão e água *ad libitum*. Esta pesquisa foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade de São Paulo.

### Procedimento cirúrgico

Para o procedimento cirúrgico, os animais foram anestesiados via intramuscular com maleato de acepromazina (1,0 mg/kg), cloridrato de ketamina (30,0 mg/kg) e cloridrato de xilazina (5,0 mg/kg) e, após a cirurgia, foi aplicado uma dose de pentabiótico (40000UI/kg).

Todos os animais foram submetidos a uma secção completa do tendão flexor profundo do terceiro dedo da pata dianteira direita, na base da falange média, que corresponde a região da zona 2 da mão humana. Em seguida foi realizada tenorrafia pela técnica de Kessler utilizando fio monofilamento de poliéster (Prolene®) de calibre 6/0. A sutura do tecido subcutâneo e pele foi realizada utilizando o mesmo fio.

## Imobilização

Após o procedimento cirúrgico, as patas operadas foram imobilizadas com uma órtese de material termoplástico, previamente confeccionada, mantendo o punho em flexão de aproximadamente 70°, as articulações metacarpo-falangianas com flexão de 50° e as interfalangianas proximal e distal em extensão, posição esta similar nas órteses utilizadas em humanos. (Figura 1) A órtese foi fixada com a ajuda de esparadrapo, sendo mantida durante todo o experimento.



**Figura 1** – Órtese de material termoplástico, mantendo o punho em flexão de aproximadamente 70°, as articulações metacarpo-falangianas com flexão de 50° e as interfalangianas proximal e distal em extensão.

## Grupos experimentais e aplicação do ultra-som terapêutico

Os 44 animais foram divididos em quatro grupos experimentais (A, B, C e D), com 11 animais cada, sendo que os animais dos grupos A, B e C foram submetidos às sessões de aplicação de ultra-som com frequência de 1 MHz, durante 6 minutos, 10 sessões consecutivas, a partir do quarto dias de pós-operatório. Nos animais do grupo A, a intensidade foi de 1,4 W/cm<sup>2</sup>, nos do grupo B de 0,6 W/cm<sup>2</sup>, ambas no modo contínuo, e nos do grupo C de 0,6 W/cm<sup>2</sup> SATA no modo pulsado a 50%. Os animais do grupo D não receberam tratamento ultra-sônico algum.

O equipamento utilizado nas aplicações foi o Sonacel III® (S. 00217) dotado de um cabeçote especialmente confeccionado, de 0,5 cm de diâmetro, para melhor acoplamento na exígua área do dedo dos coelhos. O ultra-som foi aplicado pelo método direto, com movimentos circulares uniformes, usando-se o gel como meio de acoplamento.

## Eutanásia e preparação dos tendões

Todos os animais foram sacrificados no trigésimo primeiro dia de pós-operatório, por meio de uma injeção intramuscular de uma dose excessiva de anestésico. Após o sacrifício, o tendão flexor profundo do terceiro dedo foi cuidadosamente dissecado e ressecado. Para os tendões submetidos ao ensaio de tração manteve-se a junção músculo-tendínea e o segmento distal, composto por falange e unha (Figura 2), para a fixação adequada aos acessórios da máquina universal de ensaio (Figuras 3A, 3B e 3C). Os tendões designados à análise histológica, após serem dissecados, foram seccionados 1,0 cm proximal e 0,5 cm distal ao local da sutura.



**Figura 2** – Tendão flexor profundo dissecado com a preservação da junção músculo-tendínea e o segmento distal (falange e unha).

### Ensaio mecânico de tração

Dez tendões de cada grupo foram submetidos ao ensaio mecânico de tração utilizando a máquina universal de ensaio (marca EMIC®, modelo DL 10000) do Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. A máquina foi acoplada a um microcomputador dotado do *software* Tesc 3.13®, responsável pelo comando do equipamento e plotagem do gráfico força *versus* deformação. No início de todos os ensaios foi aplicada uma pré-carga de 2 N, com tempo de acomodação de 60 segundos. A velocidade de aplicação da carga foi de 5 mm/min e registrada por uma célula de carga de 50 Kgf. Para cada ensaio foi construído o gráfico força *versus* deformação e obtidos os seguintes parâmetros mecânicos: força máxima, deformação na força máxima e rigidez.

Após os ensaios mecânicos, especificamente para a propriedade mecânica força máxima, foram estabelecidos quatro valores de referência (8, 16, 20 e 24 N), e procurou-se verificar a porcentagem de tendões de cada grupo experimental que suportava uma carga igual ou maior a cada um desses valores.

### Análise histológica qualitativa

Um tendão de cada grupo foi designado aleatoriamente para a análise histológica qualitativa. Após terem sido dissecados foram mantidos em formol a 10% por 24 horas, incluídos em blocos de parafina e submetidos a cortes longitudinais de 5  $\mu$ m de espessura

e corados com Hematoxilina-Eosina floxina. A avaliação histológica foi realizada às cegas, empregando um microscópio óptico da marca Zeiss® (modelo Axiophot II), equipado com uma câmera digital da marca Sony® (modelo SSC-DC 54) acoplada a um microcomputador dotado do *software* Snappy 4.0 para armazenamento das imagens digitalizadas. Foram observados a atividade fibroblástica, deposição de colágeno e vascularização no sítio da lesão.

### Análise estatística

Para a comparação simultânea entre os grupos experimentais das propriedades mecânicas força máxima, deformação na força máxima e rigidez, foi utilizado o teste ANOVA. Para a comparação de proporções das porcentagens de tendões de cada grupo experimental que suportavam os quatro valores de força máxima estabelecidos como referência, foi usado o teste exato de Fisher, ambos com nível de significância estabelecidos em 5% ( $p \leq 0,05$ ).

## RESULTADOS

### Generalidades

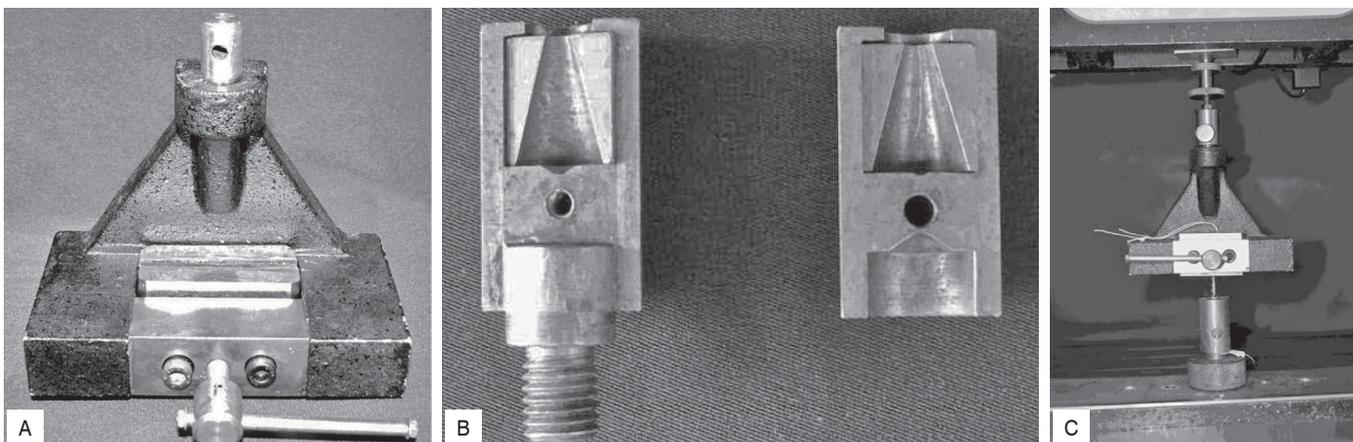
De modo geral, os animais toleraram bem tanto a anestesia e o procedimento cirúrgico, como o período de confinamento, a imobilização do membro operado e a aplicação do ultra-som. Dos 40 tendões que foram submetidos ao ensaio mecânico de tração, três foram descartados (um de cada grupo: B, C e D) devido à grande variação nas curvas obtidas nos gráficos força *versus* deformação. Durante os ensaios todos os tendões falharam por ruptura, que ocorreu no local da lesão.

### Propriedades mecânicas

A Figura 4 mostra os valores médios e desvio padrão para a força máxima dos quatro grupos experimentais e embora o valor médio, em números absolutos, tenha sido maior para os tendões do grupo B, a análise estatística mostrou que não houve diferença significativa entre os grupos ( $p=0,13$ ).

A Figura 5 mostra os valores médios e desvio padrão para a deformação na força máxima dos quatro grupos experimentais, sendo que não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos ( $p=0,15$ ).

A Figura 6 mostra os valores médios e desvio padrão para a rigidez dos quatro grupos experimentais, sendo que igualmente aos demais parâmetros, também não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos ( $p=0,48$ ).



**Figura 3** – A) Acessório superior para a fixação da junção músculo-tendínea à máquina universal de ensaio. B) Acessório inferior para a fixação do segmento distal (falange/unha) à máquina universal de ensaio. C) Fixação dos tendões à máquina universal de ensaio.

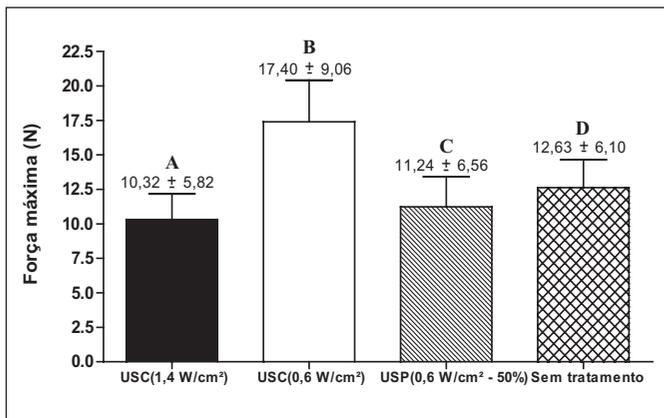


Figura 4 – Valores médios e desvio padrão da força máxima dos quatro grupos experimentais.

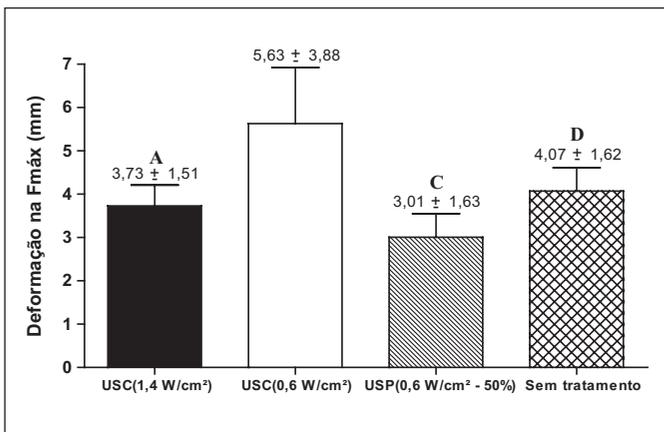


Figura 5 – Valores médios e desvio padrão da deformação na força máxima dos quatro grupos experimentais.

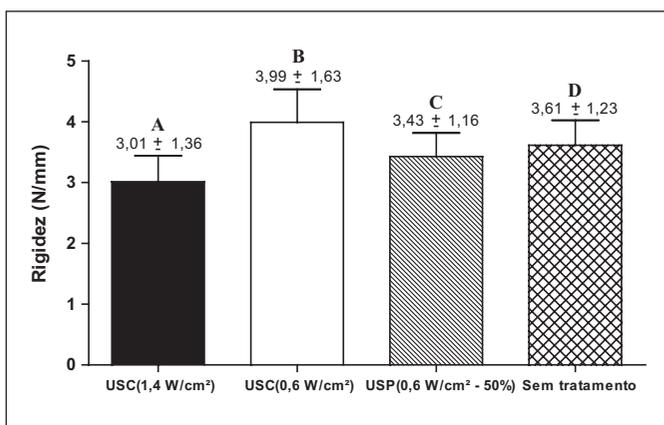


Figura 6 – Valores médios e desvio padrão da rigidez dos quatro grupos experimentais.

A análise dos resultados referentes à porcentagem de tendões de cada grupo experimental que suportava uma carga igual ou maior a cada um dos valores estabelecidos para a propriedade mecânica força máxima (Tabela 1), mostra que os valores percentuais de tendões de cada grupo referente à força máxima maior ou

Tabela 1 – Distribuição das porcentagens de tendões dos quatro grupos experimentais em função dos valores estabelecidos para a força máxima.

Força máxima (N)	Grupo A n (%)	Grupo B n (%)	Grupo C n (%)	Grupo D n (%)
< 8	4 (40)	2 (22)	4 (45)	2 (22)
≥ 8	6 (60)	7 (78)	5 (55)	7 (78)
< 16	8 (80)	3 (33)	6 (67)	7 (78)
≥ 16	2 (20)	6 (67)	3 (33)	2 (22)
< 20	10 (100)	6 (67)	8 (89)	7 (78)
≥ 20	0 (0)	3 (33)	1 (11)	2 (22)
< 24	10 (100)	6 (67)	9 (100)	9 (100)
≥ 24	0 (0)	3 (33)	0 (0)	0 (0)

igual a 8 N são relativamente próximos. Já os valores para a força máxima maior ou igual a 16, 20 e 24 N, são sempre maiores para o grupo B (USC – 0,6 W/cm²), o que pode ser indicativo de que os tendões desse grupo toleram uma carga maior que os tendões dos demais grupos. Contudo, não houve diferenças estatisticamente significantes entre os grupos para os quatro valores de força máxima estabelecidos, embora a análise estatística indique uma forte tendência do grupo B possuir um percentual significativamente superior de valores na força máxima, maior ou igual a 16 N (p=0,07), maior ou igual a 20 N (p=0,09) e maior ou igual a 24 N (p=0,09), do que o grupo A (USC – 1,4 W/cm²).

#### Análise histológica qualitativa

Os resultados da análise histológica revelaram que os achados, nas extremidades do tecido tendinoso, foram semelhantes para todos os tendões, onde foram encontrados fibrócitos dispostos em paralelo, entremeados por colágeno e pouca vascularização. Na região central desse tecido, que corresponde ao local da sutura, para os tendões dos grupos A, C e D foram encontrados proliferação fibroblástica com depósito de fibras colágenas dispostas em paralelo com características ora densa ora frouxa. Já para o grupo B (USC - 0,6 W/cm² SATA - 50%), além da proliferação fibroblástica, foram observados intensa reação vascular e fibras colágenas dispostas em paralelo de forma totalmente densa, o que pode sugerir uma melhor organização deste colágeno.

#### DISCUSSÃO

Os resultados apresentados mostraram que, embora os tendões do grupo B apresentaram em números absolutos valores maiores para a propriedade mecânica força máxima, não houve diferenças estatisticamente significantes entre os grupos experimentais, demonstrando que o ultra-som terapêutico não interferiu nas propriedades mecânicas do tendão flexor. Esses achados vão de encontro aos demonstrados por Stevenson et al.<sup>5</sup>, Turner et al.<sup>6</sup> e Romano<sup>7</sup>, que também não encontraram melhora nas propriedades mecânicas em tendões flexores de coelho irradiados com ultra-som.

No entanto, vale ressaltar aqui algumas diferenças, em números absolutos, para a propriedade mecânica força máxima, que foi maior para o grupo B, irradiados com ultra-som contínuo a uma intensidade de 0,6 W/cm², o que pode sugerir que esses tendões se tornaram mais resistentes, pois suportaram uma carga maior. Esses resultados vão na direção aos achados do estudo de Enwemeke et al.<sup>13</sup>, que encontraram melhora nas propriedades mecânicas com intensidade de 0,5 W/cm² no modo contínuo, intensidade esta muito próxima a utilizada nos tendões do grupo B. Pode-se

supor que o calor produzido por intensidades em torno de 0,5 W/cm<sup>2</sup> possa ter contribuído para melhora das propriedades mecânicas, em função de ter possibilitado um aumento da extensibilidade do colágeno, proteína fibrosa que dá resistência ao tecido. Essa suposição tem por base o estudo de Backer et al.<sup>14</sup> que, a partir de uma revisão extensa da literatura, indicam que tanto os efeitos térmicos como os não térmicos podem aumentar a atividade fibroblástica, melhorar a extensibilidade do colágeno e facilitar a degranulação mastocitária, contribuindo para o reparo tecidual. Contudo, é importante ressaltar que há estudos que evidenciam melhora na qualidade do colágeno empregando-se intensidades ultra-sônicas no modo pulsado, dentre os quais os de Cunha et al.<sup>8</sup> e Gan et al.<sup>15</sup> Por outro lado, os valores para a força máxima foram menores para os tendões do grupo A, irradiados com ultra-som no modo contínuo a uma intensidade de 1,4 W/cm<sup>2</sup>, sugerindo que esses tendões se tornaram menos resistentes. É possível que uma intensidade de 1,4 W/cm<sup>2</sup> no modo contínuo tenha gerado um calor excessivo sobre o tecido prejudicando o processo de reparação. Vale ressaltar porém que esse resultado encontrado no presente estudo contrapõe-se aos apresentados por Jackson et al.<sup>16</sup> que evidenciaram melhora nas propriedades mecânicas em tendões irradiados com intensidade ultra-sônica de 1,5 W/cm<sup>2</sup> no modo contínuo e também aos achados de Ng et al.<sup>9</sup> e Ng et al.<sup>10</sup> que empregaram intensidades de 1,0 e 2,0 W/cm<sup>2</sup>. Embora os trabalhos de Yeung et al.<sup>11</sup> tenham demonstrado melhora na carga máxima e rigidez em tendões irradiados com intensidades de 0,5 W/cm<sup>2</sup> SATA, no modo pulsado, os resultados do presente estudo mostraram que os tendões submetidos à aplicação do ultra-som pulsado, com intensidade de 0,6 W/cm<sup>2</sup> SATA, apresentaram um comportamento biomecânico inferior até mesmo que os tendões dos animais do grupo D, que não receberam tratamento ultra-sônico algum. Esses achados vão de encontro aos demonstrados por Romano,<sup>7</sup> que também não encontrou melhora nas propriedades mecânicas em tendões flexores de coelho irradiados com ultra-som no modo pulsado a 20%, com uma intensidade de 0,8 W/cm<sup>2</sup>. Para os parâmetros deformação na força máxima e rigidez, os valores médios obtidos pelos quatro grupos experimentais foram muito próximos, sugerindo que o ultra-som não interferiu nessas propriedades. Já Larsen et al.<sup>12</sup> encontraram em seu estudo uma diminuição significativa da rigidez com o aumento gradual das intensidades ultra-sônicas empregadas.

Especificamente para a propriedade mecânica força máxima, procurou-se verificar a porcentagem de tendões de cada grupo experimental que suportava uma carga maior ou igual a 8, 16, 20 e 24 N. Os resultados mostraram que os valores percentuais de tendões para a força máxima maior ou igual a 16, 20 e 24 N foram sempre maiores para o grupo B, indicando que os tendões desse grupo toleraram uma carga maior que os tendões dos demais grupos. Além disso, embora a análise estatística não tenha mostrado diferenças significativas entre os grupos experimentais, os tendões do grupo B (USC - 0,6 W/cm<sup>2</sup>) tenderam a apresentar um desempenho superior ao do grupo A (USC - 1,4 W/cm<sup>2</sup>), quanto à sua resistência. Quanto aos achados histológicos, podemos observar no presente trabalho que no tendão do grupo B as fibras colágenas se apresentaram de forma totalmente densa, ao contrário do que foi observado nos tendões dos demais grupos experimentais, que ora essas fibras se apresentavam de forma densa ora frouxa. Esse achado poderia, talvez, explicar o melhor comportamento biomecânico desses tendões durante os ensaios de tração, considerando que há estudos evidenciando uma relação entre qualidade do colágeno e melhora nas propriedades mecânicas.<sup>15,17</sup> Finalmente vale ressaltar a importância da continuidade dos estudos científicos envolvendo a terapia ultra-sônica no processo de reparo tecidual, já que os resultados dos diversos trabalhos na área são ainda contraditórios. Os achados do presente estudo demonstra que, mesmo não havendo diferenças estatisticamente significantes entre os grupos experimentais, houve uma melhora na resistência dos tendões irradiados com ultra-som. Os resultados encontrados por outros autores também indicam efeitos satisfatórios provenientes do ultra-som terapêutico no processo de reparo do tendão,<sup>3,8-13,15</sup> mas tem-se ainda aqueles estudos que não demonstraram melhora nas propriedades mecânicas em tendões flexores de coelhos irradiados com ultra-som.<sup>5-7</sup>

## CONCLUSÃO

Sob as condições experimentais desta pesquisa concluímos, com base na análise estatística, que o ultra-som não interferiu nas propriedades mecânicas do tendão flexor após reparo.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. Dr. José Batista Volpon e aos funcionários do Laboratório de Bioengenharia da FMRP-USP de Ribeirão Preto, onde foi realizada esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Dyson M. Mechanisms involved in therapeutic ultrasound. *Physiotherapy*. 1987;73:116-20.
- Ramirez A, Schwane JA, McFarland C, Starcher B. The effect of ultrasound on collagen synthesis and fibroblast proliferation in vitro. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29:326-32.
- Enwemeka CS. The effects of therapeutic ultrasound on tendon healing: a biomechanical study. *Am J Phys Med Rehabil*. 1989;68:283-7.
- Roberts M, Rutherford JH, Harris D. The effect of ultrasound on tendon repairs in the rabbit. *Hand*. 1982;14:17-20.
- Stevenson JH, Pang CJ, Lindsay WK, Zuker RM. Functional, mechanical, and biochemical assessment of ultrasound therapy on tendon healing in the chicken toe. *Plast Reconstr Surg*. 1986;77:965-72.
- Turner SM, Powell ES, Ng SS. The effect of ultrasound on the healing of repaired cockerel tendon: is collagen cross-linkage a factor? *J Hand Surg Br*. 1989;14:428-33.
- Romano CVG. Os efeitos do ultra-som terapêutico aplicado na fase precoce da cicatrização do tendão flexor. Estudo biomecânico em tendões de coelho [dissertação]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; 2001.
- Cunha A, Parizoto NA, Vidal BC. The effect of therapeutic ultrasound on repair of the Achilles tendon (tendo calcaneus) of the rat. *Ultrasound Med Biol*. 2001;27:1691-6.
- Ng CO, Ng GY, See EK, Leung MC. Therapeutic ultrasound improves strength of achilles tendon repair in rats. *Ultrasound Med Biol*. 2003;29:1501-6.
- Ng GY, Ng C O, See E K. Comparison of therapeutic ultrasound and exercises for augment tendon healing in rats. *Ultrasound Med Biol*. 2004;30:1539-43.
- Yeung CK, Guo X, Ng YF. Pulsed ultrasound treatment accelerates the repair of Achilles tendon rupture in rats. *J Orthop Res*. 2006;24:193-201.
- Larsen A, Kritensen G, Thorlancius-Ussing O, Oxlund H. The influence of ultrasound on the mechanical properties of healing tendons in rabbits. *Acta Orthop*. 2005;76:225-30.
- Enwemeka CS, Rodriguez O, Mendosa S. The biomechanical effects of low-intensity ultrasound on healing tendons. *Ultrasound Med Biol*. 1990;16:801-7.
- Jackson BA, Robertson VJ, Duck F. A review of therapeutic ultrasound: biophysical effects. *Phys Ther*. 2001;81:1351-8.
- Gan BS, Huys S, Sherebrin MH, Scillely CG. The effects of ultrasound treatment on flexor tendon healing in the chicken limb. *J Hand Surg Br*. 1995;20:809-14.
- Jackson BA, Schwane A, Starcher BC. Effects of ultrasound therapy on the repair of Achilles tendon injuries in rats. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23:171-6.
- Parry DA, Barnes GR, Craig AS. A comparison of the size distribution of collagen fibrils in connective tissues as a function of age and a possible relation between fibril size distribution and mechanical properties. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*. 1978;203:305-21.