

# EFEITO DE REGIMES DE TREINAMENTO FÍSICO DE ALTO IMPACTO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE OSSOS – ESTUDO EXPERIMENTAL EM RATAS WISTAR

APARELHO LOCOMOTOR  
NO EXERCÍCIO E NO ESPORTE



ARTIGO ORIGINAL

*EFFECTS OF HIGH-IMPACT EXERCISE TRAINING ON BONE MECHANICAL PROPERTIES.  
AN EXPERIMENTAL STUDY IN FEMALE WINSTAR RATS*

Fernando Fonseca de Almeida e Val<sup>1</sup>  
Rodrigo Okubo<sup>1</sup>  
Maurício José Falcai<sup>1</sup>  
Fábio Senishi Asano<sup>1</sup>  
Antônio Carlos Shimano<sup>1</sup>

1. Faculdade de Medicina de  
Ribeirão Preto Universidade de São  
Paulo – Ribeirão Preto, SP, Brasil.

## Correspondência:

Laboratório de Bioengenharia do  
Departamento de Biomecânica,  
Medicina e Reabilitação do  
Aparelho Locomotor da  
Faculdade de Medicina de  
Ribeirão Preto – Universidade de  
São Paulo.

Av. Bandeirantes, 3.900, Monte Alegre  
14049-900 – Ribeirão Preto, SP, Brasil.  
ffaval@gmail.com

## RESUMO

**Introdução:** A realização de atividade física garante benefícios ao tecido ósseo uma vez que o estresse provocado pelo carregamento promove adaptações positivas em suas propriedades mecânicas, sendo sua utilização uma estratégia não farmacológica para fortalecimento ósseo. **Objetivo:** investigar o efeito de protocolos de treinamento de alto impacto com frequências semanais e períodos diferentes nas propriedades mecânicas de ossos de ratas Wistar. **Métodos:** Foram utilizadas 54 ratas Wistar, idade média de 10 semanas, divididas em seis grupos (n = 9): GCI (grupo controle, quatro semanas, sedentário), GTI3 (treinou três vezes por semana durante quatro semanas), GTI5 (treinou cinco vezes por semana, quatro semanas), GCII (grupo controle, oito semanas, sedentário), GTII3 (treinou três vezes por semana, oito semanas) e GTII5 (treinou cinco vezes por semana, oito semanas). O protocolo de alto impacto consistiu de 10 saltos verticais por sessão. **Resultados:** Os ossos dos animais que receberam treinamento de alto impacto com frequência semanal elevada por um período maior de tempo mostraram valores superiores de suas propriedades mecânicas força máxima e rigidez relativa quando comparados aos demais grupos. **Conclusão:** Os resultados indicam que a realização de um protocolo de treinamento de alto impacto na forma de saltos verticais possui efeitos positivos sobre o tecido ósseo mesmo com frequência semanal reduzida, embora a realização de uma frequência semanal maior por um período mais elevado garanta melhores resultados.

**Palavras-chave:** atividade física, ensaio mecânico, tecido ósseo.

## ABSTRACT

**Introduction:** Physical activity has well established benefits on bone mechanical properties and is a non-pharmacological treatment strategy of bone weakening pathologies where given loading stress promotes adaptive responses that enhance bone strengthening. **Objective:** To investigate the effect of high-impact exercise training protocols with different durations and weekly frequencies on bone mechanical properties of female Wistar rats. **Methods:** Fifty-four female Wistar rats, 10 weeks old, were divided into six groups (n=9 each): GCI (four week sedentary group, control), GTI3 (trained three times per week, four weeks), GTI5 (trained five times per week, four weeks), GCII (eight week sedentary group, control), GTII3 (trained three times per week, eight weeks) and GTII5 (trained five times per week, eight weeks). The high-impact training protocol was based on the completion of 10 vertical jumps by the animals per session. **Results:** Bone mechanical properties in the groups that trained with higher weekly frequency for longer periods had greater maximum strength and stiffness when compared with the animals that trained less. **Conclusions:** The present results indicate that performance of high-impact training protocol has beneficial effects on bone mechanical properties, even with low weekly frequency, suggesting hence, that for bone gain, daily work volume is not necessary; however, for greater result, daily exercise does present better outcome.

**Keywords:** physical activity, mechanical testing, bone tissue.

Recebido em 15/03/2012, Aprovado em 06/11/2012.

## INTRODUÇÃO

Atividade física, fraturas e imobilizações são alguns exemplos de exigência mecânica ao qual o complexo musculoesquelético (CME) é submetido durante a vida. Frente a tais estímulos ocorrem respostas adaptativas de forma qualitativa e quantitativa deste complexo e sendo este crucial para movimentação, proteção e sustentação das estruturas corporais, Shimano *et al.*<sup>1</sup>, em 2002, afirmaram que o conhecimento de suas propriedades é necessário para sua melhor compreensão. A diversidade de estímulos aos quais o CME é submetido varia de acordo

com a composição física e mecânica desse estímulo. O tipo de carga a que o osso é submetido (compressão, estiramento, torção), frequência de aplicação, nível e magnitude, tempo de exposição e velocidade de aplicação e retirada de carga, entre outros, são componentes desses estímulos, sendo as adaptações do CME consequências do tipo de imposição mecânica. Os estímulos podem advir de uma variedade de fontes e resultam em diferentes adaptações estruturais. Aqueles provenientes de treinamento físico, por exemplo, resultam em modificações dimensionais positivas na largura, diâmetro, perímetro, secção transversa, volume e peso do tecido ósseo. Acerca disso Eastell<sup>2</sup>, em

2003, constatou que as regiões corticais e trabeculares de ossos de indivíduos treinados possuíam maior espessura e resistência às solicitações externas. Já em situações contrárias, como aquelas em que ocorre falta de estímulo ao CME (paralisia, imobilizações e ausência de descarga de peso), constatou-se alterações negativas das propriedades biomecânicas, estruturais e minerais com consequente perda de massa óssea<sup>3-5</sup>.

Existe ainda o enfraquecimento do tecido decorrente de patologias e envelhecimento. Condições nas quais exista perda de integridade do CME, como no caso de osteoporose e suas implicações, acarretam problemas de saúde pública com custos elevados ao governo, sendo necessária a elaboração de uma estratégia eficaz de tratamento<sup>6</sup>.

A atividade física possui efeitos comprovados de manter ou até aumentar a densidade mineral óssea (DMO), sendo a sobrecarga advinda do treinamento uma opção na tentativa de frear a instalação de processos degenerativos do tecido ósseo<sup>7</sup>.

Em modelos animais a realização de atividade física demonstrou aumento da saúde óssea durante o período de treinamento com manutenção dos resultados, embora por tempo determinado, após cessação dos estímulos advindos do treinamento<sup>8</sup>.

No âmbito ósseo, natação (mínimo impacto) ou corrida (médio impacto) demonstram ter efeitos benéficos sobre as propriedades biomecânicas, minerais e estruturais de ossos quando comparados a controles sedentários, em que animais submetidos a protocolos de exercícios com maior sustentação de peso, como corrida, exibiram maior DMO em locais específicos de carregamento quando comparados àqueles submetidos à reduzida sustentação de peso<sup>9</sup>.

Em outra modalidade, a de alto impacto, observa-se maiores benefícios advindos do treinamento no âmbito ósseo. Acredita-se que essa categoria se destaque por propiciar maior estresse mecânico, maiores taxas de deformação tecidual, dinamismo e por serem estímulos de curta duração e alta intensidade<sup>10</sup>. Esta modalidade possui um componente inicial de aceleração provocado pela contração muscular vigorosa, que cria uma forte tensão sobre o tecido ósseo, e outro componente final, no qual participam a desaceleração e absorção de impacto, criando um segundo mecanismo gerador de forte tensão<sup>11</sup>.

Entretanto, não está bem estabelecido na literatura qual seria o volume mínimo de treinamento de alto impacto para ganhos ósseos e, por esta razão, o presente estudo possui como objetivo analisar as propriedades mecânicas de ossos de ratas submetidas ao treinamento físico de alto impacto, em diferentes frequências semanais e períodos de duração de treinamento, para averiguar que volume de treinamento físico nesta modalidade seria mais eficaz em promover efeitos benéficos no âmbito osteogênico.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Animais

Foram utilizadas 54 ratas (*Rattus norvegicus albinus*), variedade *Wistar*, idade média de 10 semanas, fornecidas pelo Biotério Central da Coordenadoria do *Campus* de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (USP-RP). Os animais foram mantidos em gaiolas coletivas recebendo água e alimentação padrão, com temperatura controlada ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Os animais ficaram alojados no biotério do Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (FMRP/USP). Este projeto foi aprovado pela Comissão de Ética em Experimentação Animal (CETEA/FMRP-USP).

### Grupos experimentais

Os animais foram aleatoriamente divididos em grupos controle (GCI e GCII), grupos treinados por um mês (GTI3 e GTI5) e grupos treinados por dois meses (GTII3 e GTII5) totalizando seis grupos experimentais. Tempo total de treinamento de um e dois meses caracterizaram a

duração de treinamento. Os grupos controles permaneceram sedentários por um período de um mês (GCI) e dois meses (GCII); os grupos de exercício que treinaram por um mês foram divididos em animais que treinaram três vezes (GTI3) e cinco vezes por semana (GTI5); os animais que treinaram por um período de dois meses foram divididos da mesma forma, três vezes (GTII3) e cinco vezes por semana (GTII5). Cada grupo foi composto de nove animais ( $n = 9$ ).

### Técnica de treinamento de alto impacto

Os animais dos grupos de treinamento saltaram do fundo de uma caixa de madeira de 40 cm de profundidade até o topo, onde se agarraram com seus membros anteriores à parede da caixa, puxando-se até a borda desta. Para iniciar o salto, os animais foram estimulados eletricamente a pular e, depois de completado o salto, reposicionados manualmente no fundo da caixa para o próximo salto.

### Protocolo experimental

O protocolo de atividade física consistia na realização de 10 saltos por sessão de treinamento, sendo que os grupos GTI3 e GTII3 saltaram com uma frequência de três vezes por semana e os grupos GTI5 e GTII5, cinco vezes por semana. As frequências de treinamento semanal caracterizaram o volume de treinamento de cada grupo. Os saltos possuíam um intervalo de três segundos entre eles e um período não maior que um minuto foi necessário para o término de uma sessão. Nas primeiras sessões de treinamento os animais necessitavam de estímulo elétrico para a realização do salto. No entanto, após duas sessões, os animais realizavam o salto assim que eram posicionados ao fundo da caixa e não mais necessitavam do estímulo elétrico.

Ao término do protocolo de treinamento os animais foram eutanasiados pela aplicação de uma dose excessiva do anestésico hidrato de cloral aplicado na parte ventral do animal. Após um período de 10 minutos de aplicação e da constatação da morte do animal, foi realizado o procedimento de retirada do fêmur esquerdo. Imediatamente após a dissecação, os ossos foram identificados individualmente e armazenados em solução fisiológica.

### Preparação dos ossos e ensaios mecânicos

O terço proximal do fêmur esquerdo, colo femoral, foi destinado à realização dos ensaios de flexocompressão através de compressão axial na cabeça femoral. A extremidade distal era incluída em uma esfera de metilmetacrilato para melhor acomodação do corpo de prova na máquina de ensaio. Para garantir a verticalidade do conjunto acrílico-osso era utilizado um fio de prumo. O conjunto foi preso a uma morsa acoplada à base da máquina universal de ensaio.

Os ensaios de flexocompressão foram realizados na máquina universal de ensaio (EMIC®-DL 10000), do Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto. A célula de carga utilizada foi de capacidade 50 kgf. A velocidade de aplicação de carga proposta foi 10 mm/min, pré-carga de 5 N e tempo de acomodação 30 segundos. Um gráfico de carga por deformação era plotado e através do *software* TESC 1.4 eram calculadas as propriedades mecânicas de força máxima e rigidez relativa.

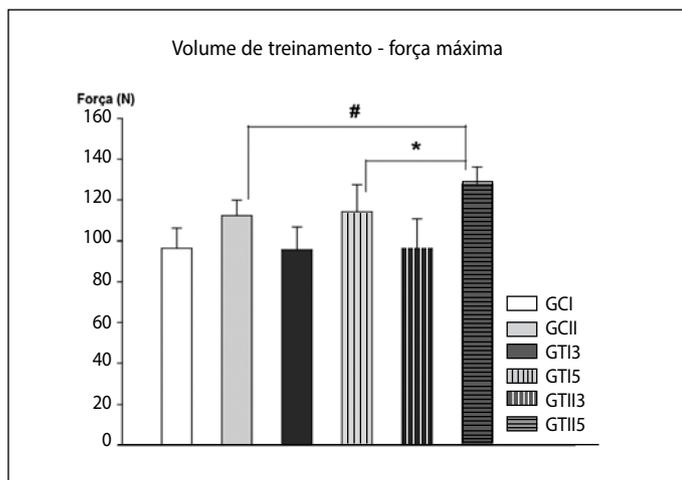
### Análise estatística

Os dados foram analisados pelo programa SIGMASTAT 3.5 e são apresentados como médias  $\pm$  DP. Os dados de ensaio mecânico foram considerados normais e o teste ANOVA *one-way* foi utilizado, seguido de uma análise *post-hoc* (teste de comparação múltipla de Tukey). Para a comparação intergrupos pelo tempo de aplicação do treinamento utilizou-se do teste *t* de *Student*. O nível de significância para todos os testes utilizados foi  $p < 0,05$ .

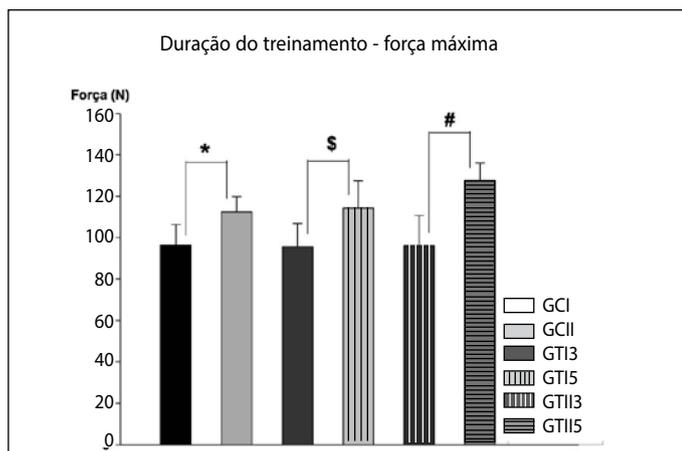
## RESULTADOS

O treinamento pelo período de um mês implicou em adaptações no parâmetro força dos fêmures em ambos os grupos (tabela 1).

Quando comparados os grupos de um mês sob o aspecto do volume de treinamento (frequência semanal) não houve efeito significativo; já para o período de dois meses, adaptações estatisticamente significativas foram encontradas entre os grupos (GCII, GTII3 e GTII5) ( $p < 0,05$ ) (figura 1A). Diferença estatística também foi encontrada quando os grupos controle, GCI e GCII ( $p < 0,001$ ), grupos que treinaram com uma frequência de três vezes por semana, GTI3 e GTII3 ( $P < 0,005$ ) e grupos que treinaram cinco vezes por semana, GTI5 e GTII5 ( $P < 0,001$ ), todos com períodos (duração) diferentes, foram comparados (figura 1B).

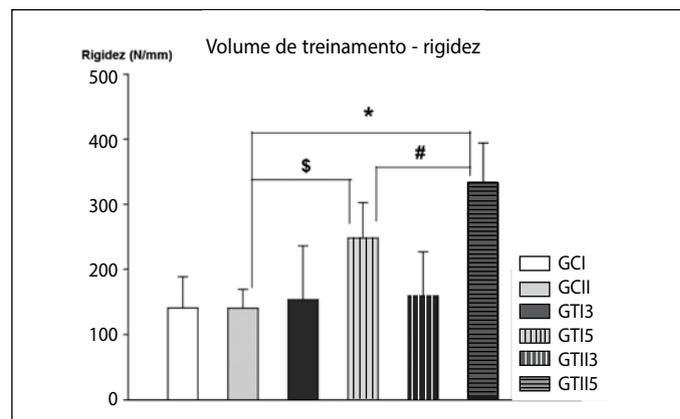


**Figura 1A.** Medidas dos ensaios mecânicos realizados. Volume de treinamento e força máxima. ANOVA revelou efeito do tempo sem a realização de treinamento sobre o parâmetro força máxima (# para  $p = 0,002$  e \* para  $p = 0,003$ ). GCI, controle/1 mês; GCII controle/2 meses; GTI3, 3x/semana/1 mês; GTI5, 5x/semana/1 mês; GTII3, 3x/semana/2 meses; GTII5, 5x/semana/2 meses.

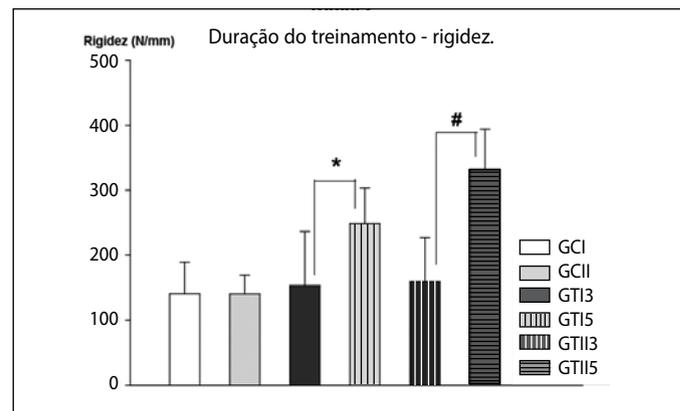


**Figura 1B.** Medidas dos ensaios mecânicos realizados. Duração do treinamento e força máxima. ANOVA revelou efeito de diferentes protocolos de treinamento sobre o parâmetro força máxima (\* para  $p = 0,008$ , \$ para  $p = 0,003$  e # para  $p < 0,001$ ). GCI, controle/1 mês; GCII controle/2 meses; GTI3, 3x/semana/1 mês; GTI5, 5x/semana/1 mês; GTII3, 3x/semana/2 meses; GTII5, 5x/semana/2 meses.

Adaptações também foram encontradas com a aplicação do protocolo de treinamento de alto impacto sobre o parâmetro rigidez (tabela 1). Embora o volume de treinamento não tenha surtido diferença estatística para os grupos de treinamento de um mês, dois meses de treinamento exerceram sobre a rigidez óssea adaptações significativas ( $P < 0,05$ ) para aqueles grupos treinados quando comparados com o grupo sedentário (figura 1C); houve também adaptações significativas ( $P < 0,05$ ) para os grupos com diferente duração de treinamento, mas com frequências semanais iguais (figura 1D).



**Figura 1C.** Medidas dos ensaios mecânicos realizados. Volume de treinamento e rigidez relativa. ANOVA revelou efeito de diferentes frequências de treinamento sobre a rigidez (\* para  $p < 0,001$  e # para  $p = 0,005$  e \$ para  $p = 0,003$ ). GCI, controle/1 mês; GCII controle/2 meses; GTI3, 3x/semana/1 mês; GTI5, 5x/semana/1 mês; GTII3, 3x/semana/2 meses; GTII5, 5x/semana/2 meses.



**Figura 1D.** Medidas dos ensaios mecânicos realizados. Duração do treinamento e rigidez relativa. ANOVA revelou efeito sobre a rigidez dos diferentes protocolos de treinamento (\* para  $p < 0,007$  e # para  $p < 0,001$ ). GCI, controle/1 mês; GCII controle/2 meses; GTI3, 3x/semana/1 mês; GTI5, 5x/semana/1 mês; GTII3, 3x/semana/2 meses; GTII5, 5x/semana/2 meses.

## DISCUSSÃO

Os dados mostraram que o protocolo de treinamento de alto impacto, mesmo por períodos menores, surtiu efeito positivo sobre o tecido ósseo. No entanto, os grupos que realizaram treinamento com frequência e período maiores tiveram ganhos mais expressivos nos parâmetros biomecânicos analisados.

**Tabela 1.** Valores (MD  $\pm$  DP) das propriedades mecânicas de força máxima e rigidez relativa dos ossos fêmures dos grupos experimentais.

	GCI (n = 9)	GTI3 (n = 9)	GTI5 (n = 9)	GCII (n = 9)	GTII3 (n = 9)	GTII5 (n = 9)
Força máxima (N)	98,07 $\pm$ 8,9	96,94 $\pm$ 11,09	98,62 $\pm$ 12,98	110,81 $\pm$ 6,12	111,26 $\pm$ 9,84	127,60 $\pm$ 8,42
Rigidez relativa (N/mm)	140,75 $\pm$ 51,74	158,94 $\pm$ 86,11	150,50 $\pm$ 65,46	139,57 $\pm$ 30,95	239,36 $\pm$ 48,77	332,12 $\pm$ 61,77

Valores em médias  $\pm$  DP. GCI, controle/1 mês; GCII controle/2 meses; GTI3, 3x/semana/1 mês; GTI5, 5x/semana/1 mês; GTII3, 3x/semana/2 meses; GTII5, 5x/semana/2 meses.

O volume de treinamento (três ou cinco vezes por semana) não afetou de forma significativa o grupo submetido ao protocolo por quatro semanas. Entretanto, foram observadas diferenças significativas para ambas as propriedades ósseas quando uma frequência de treinamento semanal de cinco vezes foi comparada à frequência de três e à não realização de treinamento no período de oito semanas, mostrando maior efetividade deste regime em provocar mudanças osteogênicas.

Quando os grupos treinados foram comparados levando-se em conta a duração do protocolo (quatro ou oito semanas), observou-se para o parâmetro força máxima, diferença entre os grupos que treinaram com frequências diferentes. No entanto, observou-se também diferença estatística para este parâmetro entre os grupos controles (GCI e GCII). Isto pode possivelmente ser atribuído à interferência do fator idade. Não foi possível, no entanto, quantificar sua influência no âmbito osteogênico. A duração do treinamento de forma semelhante afetou o parâmetro rigidez relativa dos ossos dos animais. Para esta propriedade não foi encontrada diferença entre os grupos controles, sugerindo não haver interferência do fator tempo. Consequentemente, sugerimos que as mudanças desta propriedade são advindas do estresse mecânico provocado pelo treinamento.

Em condições saudáveis, os ossos, quando submetidos às alterações de pressão e solicitações dadas por estímulos externos, ativam mecanismos celulares que desencadeiam a remodelação óssea, resultando em adaptação do osso frente a esse novo estímulo<sup>13</sup>.

Outro estudo conduzido por Umemura *et al.*<sup>14</sup>, demonstrou que intervalos maiores entre as sessões de treinamento, ou mesmo entre cada salto do protocolo, acarretou maior massa óssea nos membros inferiores dos animais. Uma das explicações que os autores sugerem para esse fato seria que o intervalo maior modificaria a dinâmica dos fluidos extracelulares e, com isso, a resposta anabólica óssea ao carregamento mecânico. Foi sugerido então que a sensibilidade óssea aumentada a cada salto, advinda do intervalo entre saltos de 30 segundos, pudesse fazer com que o tecido ósseo percebesse uma maior magnitude de carga, para aqueles saltos com maior intervalo, em relação àqueles com menor intervalo (três segundos).

Robling *et al.*<sup>15</sup>, verificaram que um intervalo de oito horas entre sessões de estímulo mecânico foi suficiente para que a sensibilidade mecânica fosse restaurada às células do tecido em comparação com períodos menores, demonstrando a importância de períodos de recuperação para a maximização dos efeitos osteogênicos da sobrecarga mecânica, como em protocolos com exercícios.

O presente estudo utilizou-se de intervalos entre saltos iguais para todos os grupos, sendo a frequência semanal de treinamento diferente, acarretando em intervalos entre sessões maiores (48 horas), no caso dos grupos que treinaram três vezes por semana e períodos menores (24 horas) para os grupos que treinaram cinco vezes por semana. O período de treinamento total de quatro e oito semanas e o tempo entre sessões deste estudo podem ter diminuído a influência desses

intervalos sobre a sensibilidade óssea. Outro fator que influencia a dinâmica do remodelamento ósseo é a tensão que é imposta sobre o tecido. O protocolo de treinamento utilizado neste trabalho consistiu, basicamente, no efeito da contração muscular concêntrica sobre o osso, havendo pouca ou nenhuma sobrecarga mecânica de natureza excêntrica, uma vez que os animais não realizaram descarga de peso nas patas traseiras ao se agarrarem na parede da caixa após os saltos, e também ao fato de terem sido cuidadosamente reposicionados no fundo da caixa após a execução destes.

Estudos realizados avaliando as relações entre a magnitude de carga e a formação óssea, como também a influência da ação muscular sobre o osso, demonstraram que exercícios de resistência excêntrica são mais eficazes no aumento da DMO que treinamento com resistência concêntrica. Isso significa que exercícios com cargas na fase excêntrica do movimento são mais osteogenicamente efetivos que os com resistência concêntrica. Demonstram também que a magnitude de carga é o principal mecanismo pelo qual a ação muscular influencia a massa óssea, pelo fato de exercícios excêntricos gerarem mais tensão que os concêntricos<sup>16,17</sup>.

No presente estudo, a utilização exclusiva de sobrecarga concêntrica devido ao protocolo adotado mostrou-se efetiva em aumentar a força e a rigidez óssea do colo femoral dos animais. Embora esteja comprovado cientificamente que cargas excêntricas gerem maior tensão e, assim, provoquem maiores deformações – e, por conseguinte, maiores ganhos osteogênicos –, a forma adotada no presente estudo demonstrou ser possível obter ganhos consideráveis através apenas de uma modalidade de força sobre o tecido ósseo.

## CONCLUSÃO

Ao se analisar os parâmetros força máxima e rigidez relativa, obtidos pelo ensaio mecânico do colo femoral de animais submetidos a exercícios de alto impacto, verificou-se que frequências diárias de treinamento por períodos mais elevados são mais benéficas à gênese óssea quando comparados a frequências e períodos reduzidos de estresse advindo deste modelo de exercício, embora um volume de treinamento menor que dois meses e com frequência semanal menor seja capaz também de provocar alterações destas propriedades.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo pela disponibilização de sua infraestrutura e à FAPESP e ao CNPq, pelo apoio financeiro e bolsas outorgadas.

---

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

---

## REFERÊNCIAS

1. Shimano MM, Shimano AC, Volpon JB. Histerese de fêmures de ratas submetidos a ensaios de flexão em diferentes faixas etárias. *Rev Bras Eng Biomed* 2002;18:89-97.
2. Eastell R. Management of osteoporosis due to ovarian failure. *Med Pediatr Oncol* 2003;41:222-7.
3. Bain SD, Rubin CT. Metabolic modulation of disuse osteopenia: endocrine-dependent site specificity on bone remodeling. *J Bone Miner Res* 1990;5:1069-75.
4. Smith EL, Gilligan C. Mechanical forces and bone. *Bone Miner Res* 1989;6:139-73.
5. Wronski TJ, Lowry PL, Walsh CC, Ignaszewski JA. Skeletal alterations in ovariectomized rat. *Calcif Tissue Int* 1985;37:32-8.
6. Fuchs RK, Snow CM. Gains in hip bone mass from high-impact training are maintained: A randomized controlled trial in children. *J Pediatr* 2002;141:357-62.
7. Ocarino NM, Serakides R. Effect of the physical activity on normal bone and on the osteoporosis prevention and treatment. *Rev Bras Med Esporte* 2006;12:149-52.
8. Honda A, Sogo N, Nagasawa S, Kato T, Umemura Y. Bone benefits gained by jump-training are preserved after detraining in Young and adult rats. *J Appl Physiol* 2008;105:849-53.
9. Huang TH, Lin SC, Chang FL, Hsieh SS, Liu SH, Yang RS. Effects of different exercise modes on mine-

10. Turner CH. Three rules for bone adaptation to mechanical stimuli. *Bone* 1998;23:399-407.
11. Nagasawa S, Umemura Y. Bone hypertrophy in rats: effects of jump number and height. *Adv Exerc Sports Physiol* 2002;8:87-92.
12. Umemura Y, Nagasawa S, Honda A, Singh R. High-impact exercise frequency per week or day for osteogenic response in rats. *J Bone Miner Metab* 2008;26:456-60.
13. Burger EH, Klein-Nulend J. Responses of bone to biomechanical forces in vitro. *Adv Dent Res* 1999;13:93-8.
14. Umemura Y, Sogo N, Honda A. Effects of intervals between jumps or bouts on osteogenic response to loading. *J Appl Physiol* 2002;93:1345-8.
15. Robling AG, Burr DB, Turner CH. Recovery periods restore mechanosensitivity to dynamically loaded bone. *J Exp Biol* 2001;204:3389-99.
16. Hawkins SA, Schroeder ET, Wiswell RA, Jaque SV, Marcell TJ, Costa, K. Eccentric muscle action increases site-specific osteogenic response. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1287-92.
17. Heinonen A, Oja P, Kannus P, Sievanen H, Haapasalo H, Manttari A. Bone mineral density in females athletes representing sports with different loading characteristics of the skeleton. *Bone* 1995;17:197-203.