

EFEITOS DO TREINAMENTO FÍSICO SOBRE A RESISTÊNCIA MECÂNICA DO TERÇO PROXIMAL DO FÊMUR DE RATOS

EFFECTS OF PHYSICAL TRAINING ON THE MECHANICAL RESISTANCE OF RAT FEMUR PROXIMAL THIRDS

ANDREO FERNANDO AGUIAR, LEANDRO BARILE AGATI, SÉRGIO SWAIN MÜLLER, ODUVALDO CAMARA PEREIRA, MAELI DAL-PAI-SILVA

RESUMO

Objetivo: Analisar o comportamento mecânico do terço proximal do fêmur de ratos submetidos ao treinamento aeróbio e resistido crônicos. Métodos: Ratos *Wistar* machos (80 dias, 300 a 350 g) foram divididos em 3 grupos ($n=8$ por grupo): Treinamento aeróbio/8 semanas (TA), Treinamento resistido/8 semanas (TR) e controle/8 semanas (CO). Ao término do período de treinamento os animais foram sacrificados e o fêmur direito coletado. Para análise do comportamento mecânico do fêmur foram realizados ensaios de flexo-compressão. Resultados: O treinamento resistido ocasionou redução significativa da força máxima ($F_{máx}$) do fêmur. Por outro lado, promoveu um aumento (23,7%) relevante, porém não significativa, da deformação da força máxima ($DF_{máx}$). O treinamento aeróbio não afetou a $F_{máx}$, porém promoveu uma redução (26,6%) considerável, também não significativa, da $DF_{máx}$. Conclusões: Os resultados demonstram que o treinamento resistido e aeróbio, promoveram redução da $F_{máx}$ e da $DF_{máx}$ óssea, respectivamente. Os dados evidenciam uma ação diferencial de ambos os modelos de treinamento físico sobre as propriedades mecânicas do fêmur de ratos.

Descritores: Exercício. Biomecânica. Fêmur. Ratos.

ABSTRACT

Objective: To analyze the mechanical behavior of rat femur proximal thirds submitted to chronic aerobic and resistance training. Methods: Male *Wistar* rats (80 days of age, weighing 300 to 350 g) were divided into 3 groups ($n=8$ per group): control (CO), aerobic training (TA) and resistance training (TR). At the end of the training, the animals were euthanized and the right femur was collected. Flexion-compression tests were carried out to analyze the mechanical behavior of the femurs. Results: The resistance training promoted a significant reduction in maximum force ($F_{máx}$) of the femur. However, it also promoted a relevant increase (23.7%), though without statistical significance, in maximum force deformation ($DF_{máx}$). The aerobic training did not affect maximum force, however, it caused a considerable reduction in $DF_{máx}$ (26.6%), though this was also not statistically significant. Conclusions: The results show that resistance and aerobic training promoted a reduction in the $F_{máx}$ and $DF_{máx}$, respectively. The data showed a different response of both physical training models on the mechanical properties of the rat femurs.

Keywords: Exercise. Biomechanical. Femur. Rats.

Citação: Aguiar AF, Agati LB, Muller SS, Pereira OC, Dal-Pai-Silva M. Efeitos do tratamento físico sobre a resistência mecânica do terço proximal do fêmur de ratos. *Acta Ortop Bras.* [online]. 2010;18(5):245-9. Disponível em URL: <http://www.scielo.br/aob>.

Citation: Aguiar AF, Agati LB, Muller SS, Pereira OC, Dal-Pai-Silva M. Effects of physical training on the mechanical resistance of rat femur proximal thirds. *Acta Ortop Bras.* [online]. 2010;18(5):245-9. Available from URL: <http://www.scielo.br/aob>.

INTRODUÇÃO

Os efeitos da presença e ausência de carga exógena sobre as propriedades mecânicas do tecido ósseo têm sido amplamente discutidos na literatura. Segundo Bikle et al.¹, a osteogênese pode ser estimulada por pequenas deformações na arquitetura óssea, provocadas por forças mecânicas aplicadas durante a atividade física normal, que pode atuar diretamente na taxa de remodelamento ósseo. Diversos fatores associados ao exercício físico podem afetar as respostas ósseas, metabólicas e endócrinas, tal como a intensidade/volume de treinamento, o número de séries

e repetições, o período de descanso entre as séries e exercícios, e o tipo de contração muscular. Assim, diferentes modelos de exercícios podem causar diferentes adaptações ao tecido ósseo e tem sido sugerido que um mínimo dano efetivo neste tecido é necessário para a manutenção do osso.

A carga mecânica sobre o osso é reconhecida como um importante regulador de maturação, manutenção e força esquelética. Similarmente, acredita-se que o treinamento com pesos possa contribuir para o aumento e preservação da massa óssea em indivíduos jovens e adultos.² Dados experimentais e teóricos sugerem que para a carga gerar um aumento da massa óssea, a mesma

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

Instituto de Biociências, UNESP, Botucatu - SP

Trabalho realizado no Laboratório de Biologia do Músculo Estriado do Departamento de Morfologia, Instituto de Biociências - UNESP, Botucatu.

Endereço para correspondência: Departamento de Morfologia, Instituto de Biociências, UNESP, Distrito de Rubião Júnior S/N, 18618-000, Botucatu, São Paulo, Brasil. E-mail: afaguiar@ibb.unesp.br

Trabalho recebido em 01/07/09, aprovado em 19/11/09

Acta Ortop Bras. 2010;18(5):245-9

deve ter uma magnitude suficiente para exceder o mínimo da carga efetiva e ser aplicada de forma progressiva e intermitente.³ Por outro lado, a ausência de carga pode ser um fator determinante para a redução da matriz óssea, sendo que um dos mecanismos moleculares responsáveis para isto é a indução da resistência ao IGF-1. Foi demonstrado que a administração de IGF-1 in vivo estimula o crescimento e a formação óssea durante exposição à carga, enquanto nenhum efeito foi observado em ossos imobilizados.⁴

Evidências apontam o treinamento resistido como um potente estímulo para promover aumento da densidade e remodelamento do tecido ósseo.⁵ No entanto, resultados contraditórios têm sido relatados por outros autores.^{6,7} Similarmente, esta discrepância tem sido observada em estudos envolvendo treinamento aeróbio, na qual alguns relatam resultados satisfatórios na estrutura, recuperação e força óssea⁸, enquanto outros afirmam que tais estudos são necessários para elucidar os efeitos específicos desse modelo de exercício.⁹

Segundo Shimano e Volpon¹⁰, o método convencional de análise mecânica do fêmur apresenta resultados satisfatórios e metodologia bem definida, no entanto, o formato complexo desta região do fêmur e sua composição heterogênea, causam distribuição irregular das forças, o que dificulta a interpretação dos resultados. Em nosso estudo, utilizamos a análise da força máxima ($F_{\text{máx}}$) e da deformação da força máxima ($DF_{\text{máx}}$), por meio de ensaios de flexo-compressão, pois as mesmas refletem o comportamento mecânico da região ensaiada.¹¹ Assim, o objetivo do presente estudo foi investigar os efeitos de diferentes modelos de treinamento físico sobre a resistência mecânica do terço proximal do fêmur de ratos.

MATERIAL E MÉTODO

Animais e grupos experimentais

Foram utilizados 24 ratos Wistar machos (80 dias de idade, 300 a 350 g), provenientes do centro multidisciplinar de investigação biológica (CEMIB, UNICAMP, Campinas, São Paulo). Os animais foram mantidos em gaiolas coletivas de polipropileno (4 animais/gaiola) no Biotério de Pequenos Mamíferos do Departamento de Morfologia, em ambiente com temperatura controlada (22-24°C) e ciclo de luminosidade claro/escuro (12/12h), na qual receberam ração e água *ad libitum*. Os animais foram aleatoriamente divididos em 3 grupos experimentais: Treinamento resistido/ 8 semanas (TR, $n=8$), Treinamento aeróbio/ 8 semanas (TA, $n=8$) e Controle/ 8 semanas (CO, $n=8$). Este experimento foi aprovado pelo Comitê de Ética para Experimentação Animal (CEEA) do Instituto de Biociências da UNESP, Botucatu (Protocolo N° 017/06-CEEA) e foi conduzido de acordo com as diretrizes propostas pelo Colégio Americano de Medicina do Esporte sobre pesquisa com animais experimentais.

Treinamento Resistido

O grupo TR foi submetido a um programa de treinamento físico resistido (TR) durante oito semanas, seguindo o modelo de agachamento proposto por Tamaki et al.¹² (Figura 1) Os animais do grupo controle não receberam qualquer estímulo de treinamento durante o período experimental. Para a realização do treinamento, os animais utilizaram uma jaqueta de couro (1), conectada a uma barra de madeira móvel de 35 cm (2), na qual foram alocadas as anilhas de sobrecarga (3). Os ratos acoplados a jaqueta permaneceram na posição sentada com suas pernas traseiras flexionadas

e apoiadas na base de sustentação (4). Utilizando-se um estimulador elétrico (5) (modelo Dualpex 961, Quarker), foi realizada a estimulação elétrica, por meio de eletrodos auto-adesivos (marca ValuTrode, modelo CFE200 e tamanho 3,2 cm) posicionados na cauda dos ratos. Os parâmetros utilizados na eletroestimulação foram: frequência 1Hz, duração 1 milissegundo (ms), ciclo ativo 1:2 segundos (s) e a intensidade de corrente ajustada para permitir a realização do movimento, variando de 4 a 15 miliampéres (mA). Como resultado da eletroestimulação, os ratos realizaram, repetidamente, a extensão dos joelhos, levantando a sobrecarga fixada ao aparato. A fim de garantir a mesma intensidade de treinamento do início ao final do experimento, foram realizados ajustes semanais de sobrecarga, por meio do teste de uma repetição máxima (1RM). O protocolo de TR consistiu da realização de 4 séries de 12 repetições (3x/semana), com sobrecarga de 65-75% de 1RM e intervalo de 40 segundos entre as séries. As sessões de treinamento foram realizadas sempre no mesmo período do dia, entre 14 e 16h. O programa de treinamento teve início após duas semanas de familiarização com o aparato e com a execução do exercício. Na primeira semana desta fase, os ratos utilizando a jaqueta, foram fixados ao aparato durante 20 minutos diários, sem a estimulação elétrica. Na segunda semana foi permitida a realização dos exercícios, utilizando-se para tanto, 2 séries de 5 a 10 repetições com carga entre 40 e 60% do peso corporal.

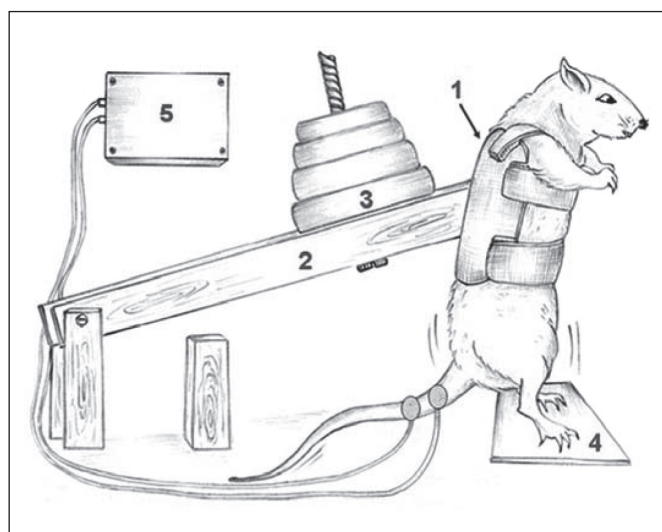


Figura 1 – Aparato utilizado para o treinamento resistido. (Adaptado de Tamaki et al.)¹²

Treinamento aeróbio

O grupo TA foi submetido a um programa de treinamento aeróbio de natação, semelhante ao proposto por Gobatto et al.¹³ As sessões de treino foram realizadas em um aquário subdividido em compartimentos individualizados, contendo água a 28-30°C e 35 cm de profundidade. O protocolo consistiu em uma sessão diária (5 dias/semana), durante 8 semanas. O volume (tempo) e intensidade (sobrecarga) de treinamento foram progressivos, sendo equivalente a 10 min, sem sobrecarga (1ª sem); 20 min, 1% (2ª sem); 25, 30, 35 e 40 min, 3% (do início ao final da 3ª sem); 45, 50, 55 e 60 min, 5% (do início ao final da 4ª sem) e 60 min, 5% (5ª a 8ª sem), respectivamente. (Tabela 1) As sessões de treinamento foram realizadas sempre no mesmo período do dia, entre 14 e 16h.

Tabela 1 – Programa de treinamento aeróbio.

Semana	Tempo (min)	Sobrecarga (%PC)
1ª	10	-
2ª	20	1%
3ª	25 a 40	3%
4ª	45 a 60	5%
5ª	60	5%
6ª	60	5%
7ª	60	5%
8ª	60	5%

Ensaio mecânico

Os ensaios de flexo-compressão foram realizados em uma máquina universal de ensaio EMIC®-10000N. (Figura 2) Para a obtenção das forças exercidas foi utilizada uma célula de carga com capacidade máxima de 50kgf e as deformações foram captadas pelos sensores internos de deslocamento da máquina. O conjunto acrílico-osso foi preso em uma morsa acoplada à base da máquina universal de ensaio. Foi aplicada uma força vertical com um acessório de 2 mm de diâmetro na cabeça femoral até que houvesse fratura. A velocidade de aplicação da força foi de 0,1mm/min. Dos ensaios foram obtidos gráficos força x deformação do qual foi possível obter como propriedades mecânicas a rigidez e a força máxima.

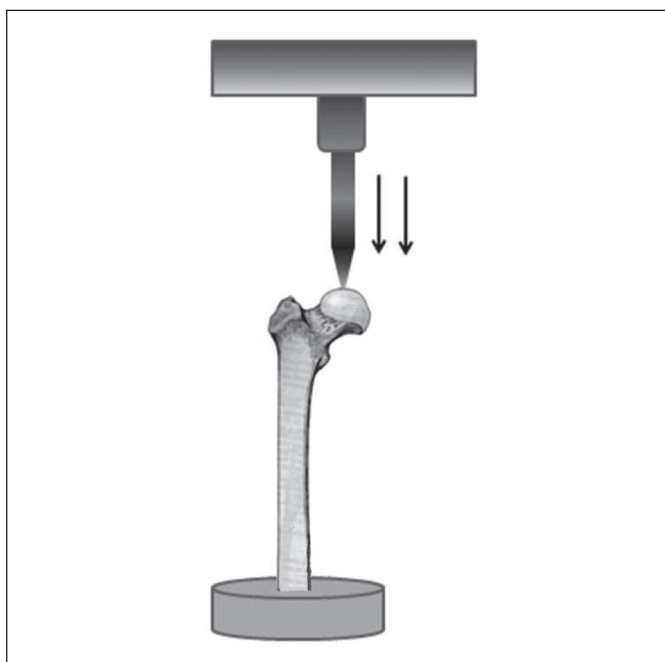


Figura 2 – Figura representativa de um fêmur sendo submetido ao ensaio mecânico de flexo-compressão.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise estatística foi utilizado o programa GraphPad InStat® v.3. O procedimento estatístico foi realizado após estudo preliminar de variabilidade, relacionada à normalidade e igualdade de variância entre os grupos, com poder estatístico de 80% para as

comparações realizadas. Para realizar a comparação do ganho de peso corporal (relação intra-grupo) dos grupos experimentais, foi utilizado o teste *t* de Student pareado. Outra comparação realizada foi à análise mecânica do osso entre os grupos, neste caso foi utilizado o teste de análise de variância ANOVA de uma via (One Way Analysis of Variance), para dados paramétricos, seguido por teste post-hoc de Tukey. Em todas as análises foi usado o valor de 5% como nível de significância.

RESULTADOS

Peso Corporal

Os valores referentes ao peso corporal inicial (PI) não foram estatisticamente diferentes entre os grupos. (Tabela 2) Todos os grupos apresentaram ganho significativo ($p < 0,05$) de peso corporal (PC) do início ao final do período de experimento. O percentual de aumento do PC ($\Delta\%$) foi de 26,2%, 30,8% e 33,5% nos grupos CO, TA e TR, respectivamente, porém, os valores não foram estatisticamente diferentes entre os grupos. (Tabela 2)

Tabela 2 – Peso Corporal Inicial (PI) e Final (PF), e a variação percentual ($\Delta\%$) do peso corporal dos grupos: não-treinado (CO), treinamento aeróbio (TA) e treinamento resistido (TR). Valores expressos em média \pm DP.

Grupos	PI (g)	PF (g)	$\Delta\%$
CO (n=8)	308,9 \pm 27,1	418,6 \pm 37,7*	26,2
TA (n=8)	326,0 \pm 27,8	471,4 \pm 34,9*	30,8
TR (n=8)	302,8 \pm 32,3	455,1 \pm 61,8*	33,5

* $p < 0,05$ comparado ao PI.

Força Máxima ($F_{m\acute{a}x}$) e Deformação da Força Máxima ($DF_{m\acute{a}x}$)

O aparato utilizado para análise da $F_{m\acute{a}x}$ e $DF_{m\acute{a}x}$ está mostrado na Figura 2 e os dados correspondentes apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente. Após oito semanas de treinamento resistido, o grupo TR apresentou uma redução significativa ($p < 0,05$) da $F_{m\acute{a}x}$ comparado ao grupo controle (CO: 191,6 \pm 29,7 N e TR: 143,1 \pm 33,9 N, dif.% = -25.3%). No entanto, o grupo TA não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) nos valores da $F_{m\acute{a}x}$ em relação ao grupo CO (CO: 191,6 \pm 29,7 N e TA: 180,3 \pm 13,0 N). (Figura 3)

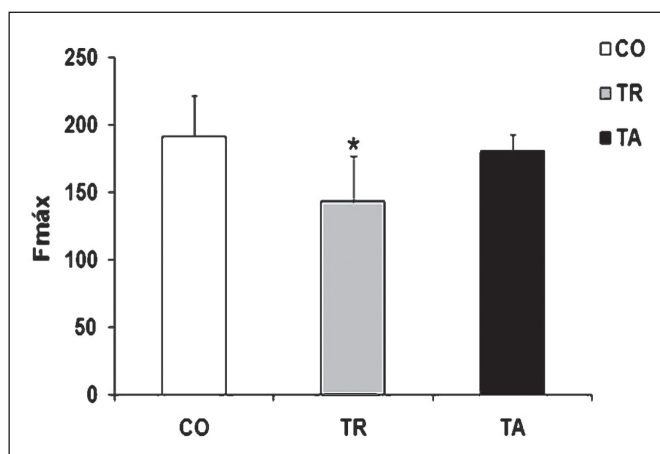


Figura 3 – Força máxima ($F_{m\acute{a}x}$) do fêmur dos grupos: controle (CO, n=8), treinamento resistido (TR, n=8) e treinamento aeróbio (TA n=8). Valores expressos em média \pm DP. * $p < 0,05$ comparado ao grupo CO.

tenção da síntese de colágeno do tecido ósseo. Consistente com esta idéia, McCulloch et al.²⁰ sugerem que o aumento da massa óssea seja mais evidente nas modalidades terrestres com impacto e sustentação corporal, do que em atividades aquáticas. Assim, a diminuição gravitacional decorrente do treinamento aeróbio de natação poderia ser um fator estimulante para diminuição da flexibilidade óssea, decorrente da diminuição da síntese de colágeno tipo I.

CONCLUSÃO

Os resultados demonstram uma ação benéfica diferencial de ambos os modelos de treinamento físico sobre as propriedades mecânicas de ratos adulto-juvenes. Os dados sugerem uma

aplicação específica de exercício/treinamento físico de acordo com a atividade física ou modalidade esportiva, visto que as adaptações crônicas do tecido ósseo apresentam características peculiares em resposta ao estímulo aplicado durante a atividade.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa de mestrado e doutorado. Ao departamento de Cirurgia Experimental, ao técnico Bardella por auxiliarem nas análises e aos alunos Ivan José Vechetti Júnior, Rodrigo Wagner Alves de Souza e Alan Dantas do Santos Felisberto pelo apoio no período experimental.

REFERÊNCIAS

1. Bikle DD, Sakata T, Halloran BP. The impact of skeletal unloading on bone formation. *Gravit Space Biol Bull.* 2003;16:45-54.
2. Westerlind KC, Fluckey JD, Gordon SE, Kraemer WJ, Farrell PA, Turner RT. Effect of resistance exercise training on cortical and cancellous bone in mature male rats. *J Appl Physiol.* 1998;84:459-64.
3. Frost HM. Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 2. Redefining Wolff's law: the remodeling problem. *Anat Rec.* 1990;226:414-22.
4. Bikle DD, Harris J, Halloran BP, Morey-Holton ER. Skeletal unloading induces resistance to insulin-like growth factor I. *J Bone Miner Res.* 1994;9:1789-96.
5. Menkes A, Mazel S, Redmond RA, Koffler K, Libanati CR, Gundberg CM et al. Strength training increases regional bone mineral density and bone remodeling in middle-aged and older men. *J Appl Physiol.* 1993;74:2478-84.
6. Gleeson PB, Protas EJ, LeBlanc AD, Schneider VS, Evans HJ. Effects of weight lifting on bone mineral density in premenopausal women. *J Bone Miner Res.* 1990;5:153-8.
7. Rockwell JC, Sorensen AM, Baker S, Leahey D, Stock JL, Michaels J et al. Weight training decreases vertebral bone density in premenopausal women: a prospective study. *J Clin Endocrinol Metab.* 1990;71:988-93.
8. Hart KJ, Shaw JM, Vajda E, Hegsted M, Miller SC. Swim-trained rats have greater bone mass, density, strength, and dynamics. *J Appl Physiol.* 2001;91:1663-8.
9. Huang TH, Lin SC, Chang FL, Hsieh SS, Liu SH, Yang RS. Effects of different exercise modes on mineralization, structure, and biomechanical properties of growing bone. *J Appl Physiol.* 2003;95:300-7.
10. Shimano MM, Volpon JB. Mechanical behavior of rats. femoral proximal thirds after a period of tail suspension and exercises. *Acta Ortop Bras.* 2007;15:254-7.
11. Bloomfield SA, Allen MR, Hogan HA, Delp MD. Site- and compartment-specific changes in bone with hindlimb unloading in mature adult rats. *Bone.* 2002;31:149-57.
12. Tamaki T, Uchiyama S, Nakano S. A weight-lifting exercise model for inducing hypertrophy in the hindlimb muscles of rats. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24:881-6.
13. Gobatto CA, de Mello MA, Sibuya CY, de Azevedo JR, dos Santos LA, Kokubun E. Maximal lactate steady state in rats submitted to swimming exercise. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2001;130:21-7.
14. Maeda H, Kimmel DB, Raab DM, Lane NE. Musculoskeletal recovery following hindlimb immobilization in adult female rats. *Bone.* 1993;14:153-9.
15. Zerwekh JE, Ruml LA, Gottschalk F, Pak CY. The effects of twelve weeks of bed rest on bone histology, biochemical markers of bone turnover, and calcium homeostasis in eleven normal subjects. *J Bone Miner Res.* 1998;13:1594-601.
16. Pereira COM, Cruz CD, Agati LB, Pereira Junior COM, Muller AS. Efeito do exercício físico resistido de alta intensidade e do decanoato de nandrolona sobre a resistência mecânica do fêmur em ratos machos. In: *The Latin American Veterinary Conference, 2007, Lima - Peru. Proceedings of the Latin American Veterinary Conference.* Lima, 2007. p.356-7.
17. Kirchner EM, Lewis RD, O'Connor PJ. Bone mineral density and dietary intake of female college gymnasts. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27:543-9.
18. Nickols-Richardson SM, Modlesky CM, O'Connor PJ, Lewis RD. Premenarcheal gymnasts possess higher bone mineral density than controls. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:63-9.
19. Colletti LA, Edwards J, Gordon L, Shary J, Bell NH. The effects of muscle-building exercise on bone mineral density of the radius, spine, and hip in young men. *Calcif Tissue Int.* 1989;45:12-4.
20. McCulloch RG, Bailey DA, Whalen RI, Houston CS, Faulkner RA. Bone density and bone mineral content of adolescent soccer athlete and competitive swimmers. *Pediatr Exerc Sci.* 1992;4:319-30.