

不同负荷跑台运动对雌性大鼠骨骼的作用及其位点效应*☆

张崇林¹, 郑陆²

Function and site-effect of different load treadmill exercises on bones of female rats

Zhang Chong-lin¹, Zheng Lu²

Abstract

BACKGROUND: The bone modeling and bone remodeling will have an adapted change when the situation of mechanics changed *in vivo* bone. But it is not very certain what the adapted change is when different training load exerted to the bone.

OBJECTIVE: To explore the influence and site-effect of different load treadmill exercises on female rat's various bone mineral density (BMD).

METHODS: Female Sprague-Dawley rats were randomly divided into training group and control group. Training group received treadmill training for 17 weeks. The BMD of whole bodies, skulls, forelimbs, ribs, spines, pelvises, and hind limbs were tested at 4, 7, 9, 11, 13, 15 and 17 weeks after training.

RESULTS AND CONCLUSION: Exercise has great effects on BMD of whole bodies, skulls, forelimbs, spines, and pelvises, but does not affect the BMD of ribs. These suggest that treadmill training has different effects on bones at different parts of rats.

Zhang CL, Zheng L. Function and site-effect of different load treadmill exercises on bones of female rats. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(28): 5173-5176. [http://www.crter.cn http://en.zgckcf.com]

摘要

背景: 活体骨骼在力学环境发生变化时, 骨的建造和重建发生力学适应性变化。而不同强度运动对骨骼的作用以及对不同部位骨骼的适应性变化尚不明确。

目的: 探讨不同负荷跑台运动对雌性大鼠不同部位骨骼骨密度的影响及其位点效应。

方法: 雌性SD大鼠随机分为运动组 and 对照组, 运动组进行为期17周的跑台训练, 测量运动第4, 7, 9, 11, 13, 15, 17周时两组大鼠全身、颅骨、前肢、肋骨、脊椎骨、盆骨、后肢的骨密度。

结果与结论: 运动对于大鼠全身、颅骨、前肢骨、脊椎和盆骨的骨密度具有较大影响, 而对于肋骨的骨密度的影响没有显著性意义, 说明跑台运动对大鼠不同部位骨骼的作用不同。

关键词: 跑台运动; 雌性大鼠; 骨骼; 骨密度; 骨建造; 骨重建

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.28.011

张崇林, 郑陆. 不同负荷跑台运动对雌性大鼠骨骼的作用及其位点效应[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(28):5173-5176. [http://www.crter.org http://cn.zgckcf.com]

0 引言

新陈代谢是生命的基本特征, 活体的骨骼也不例外。骨骼在新陈代谢进行中, 实现着生长、更新、衰老的动态变化。骨骼的这种动态变化, 随着环境的变化产生着相应的适应, 比如骨骼对生物应力作用的适应, 使骨骼的成分、硬度等发生变化^[1]; 相反, 在不受力或受力较小的情况下, 容易发生失用性骨质疏松^[2]。一般认为, 运动对骨骼具有促进作用^[3], 但是, 一些高水平竞技运动员因长期竞赛或大负荷训练导致骨密度下降^[4-5], 使人们重新更客观的审视运动对骨骼的作用。

同时, 不同运动负荷对全身骨骼的影响是否等同尚缺乏系统研究。本文拟通过对大鼠长期递增大负荷跑台训练, 观察不同运动负荷下大鼠骨密度的变化, 同时探讨跑台运动对大鼠骨骼作用的位点效应。

1 材料和方法

设计: 随机分组设计, 对照动物实验。

时间及地点: 于2008-02/06在北京大学医学部实验动物中心和首都体育学院中心实验室完成

材料: 3月龄同批次未交配雌性SD大鼠240只, 体质量(261.6±7.1) g, 购自北京大学医学部维通利华实验动物技术有限公司。

实验动物的购买、训练干预及取材处理得到首都体育学院动物实验伦理委员会批准。

除运动组行运动干预外, 所有大鼠均5只/笼, 在北京大学医学部实验动物中心同等条件下自由饮食、常规饲养。

方法:

分组: 所有大鼠进行1周跑台(杭州段式PT2000型)适应性训练, 0°坡度, 10 m/min速度, 每天20 min; 并在每天上午进行阴道脱落

¹Department of Physical Education of Jinggangshan University, Ji'an 343009, Jiangxi Province, China; ²Central Laboratory of Capital Institute of Physical Education, Beijing 100088, China

Zhang Chong-lin☆, Studying for doctorate, Lecturer, Department of Physical Education of Jinggangshan University, Ji'an 343009, Jiangxi Province, China ccnzcl@163.com

Correspondence to: Zheng Lu, Doctor, Professor, Master's supervisor, Central Laboratory of Capital Institute of Physical Education, Beijing 100088, China zhengluc@ipe.edu.cn

Supported by: the Teaching Innovation Group for Talented Man of Beijing Education Committee in 2007*

Received: 2011-04-20 Accepted: 2011-05-24

¹井冈山大学体育学院, 江西省吉安市 343009; 首都体育学院中心实验室, 北京市 100088

张崇林☆, 男, 1976年生, 湖北省孝感市人, 汉族, 上海体育学院在读博士, 讲师, 主要从事运动医学与体育工程方面的研究。ccnzcl@163.com

通讯作者: 郑陆, 博士, 教授, 硕士生导师, 首都体育学院中心实验室, 北京市 100088 zhengluc@ipe.edu.cn

中图分类号: R318
文献标识码: A
文章编号: 1673-8225 (2011)28-05173-04

收稿日期: 2011-04-20
修回日期: 2011-05-24
(20110420002/YJ·Q)

细胞学检查^[6]。剔除有先天性运动障碍和动情周期不稳定的大鼠15只。将动情周期稳定和没有运动障碍的大鼠随机分为运动组($n=120$)和对照组($n=105$)。

干预: 运动组大鼠行跑台训练, 周1~6训练, 周日休息。负荷设定参照Bedford等^[7]动物运动负荷标准和郑陆等^[6, 8]动物实验负荷标准。具体负荷设定见表1。

Time (wk)	Speed (m/min)	Duration (min)	Slope (°)
1	10	20	5
2	15, 18	10, 20	5
3	18, 20	15, 15	5
4	20, 22	20, 20	5
5	22, 25, 28	20, 15, 15	5
6	25, 28, 30	20, 20, 20	5
7	28, 30	30, 40	5
8	30, 32	30, 40	5, 10
9	32	70	10
10	35, 38	30, 40	10
11	38, 40	30, 40	10
12-14	40, 42	40, 30	10
15-16	42, 45	30, 40	10
17	45, 48	30, 40	10

对照组大鼠正常饲养。

骨密度的测量: 分别在第4, 7, 9, 11, 13, 15, 17周的周日取材, 每个时间点具体大鼠数见表2。

Post exercise (wk)	Control group	Training group
4	20	20
7	7	7
9	16	15
11	12	9
13	16	16
15	16	16
17	18	15

运动组大鼠取材前1 d停训, 取材前称取大鼠体质量, 以3%的戊巴比妥钠(美国Sigma公司)按1 mL/kg行腹腔注射腹膜麻醉。

采用Lunar Prodigy型双能X射线骨密度仪(美国GE公司)行骨密度扫描, 记录全身、颅骨、前肢骨、脊椎骨、肋骨、盆骨、后肢骨骨密度。

主要观测指标: 大鼠全身、颅骨、前肢骨、脊椎骨、肋骨、盆骨、后肢骨骨密度。

统计学分析: 用SPSS 11.5统计软件(美国SPSS公司)对数据进行处理。

测试结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 将运动组最高骨量 and 对照组峰值骨量与运动组最低骨量进行配对样本t检验、单因素ANOVA方差分析进行差异显著性检验, $P < 0.05$ 表示差异有显著性意义。

结果的平均数用Excel做曲线图, 进行趋势分析。

2 结果

2.1 实验动物数量分析 整个实验过程中, 对照组大鼠没有死亡发生。运动组大鼠从10周开始, 共有22只大鼠因不能适应运动负荷导致死。最终进入试验的大鼠为运动组98只和对照组105只。

2.2 两组大鼠全身骨密度变化 对照组大鼠全身骨密度直到第15周, 一直呈上升态势, 在15周达到峰值骨量。运动组大鼠在11周之前骨密度持续上升, 并且高于同期对照组。运动组大鼠峰值骨量出现在第11周, 此后随运动强度的增加持续下降, 第17周降到最低, 见图1。

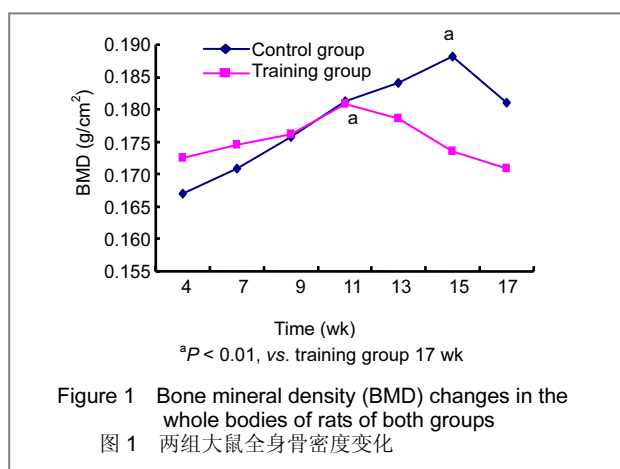


Figure 1 Bone mineral density (BMD) changes in the whole bodies of rats of both groups
图1 两组大鼠全身骨密度变化

2.3 两组大鼠颅骨骨密度变化 图2显示了大鼠颅骨骨密度的变化。对照组和运动组大鼠峰值骨量都出现在第13周, 13周之前, 基本都呈缓慢增加趋势。13周之后, 对照组大鼠出现突降, 然后稍有上升。运动组颅骨13、15周骨密度基本维持, 17周时迅速下降。

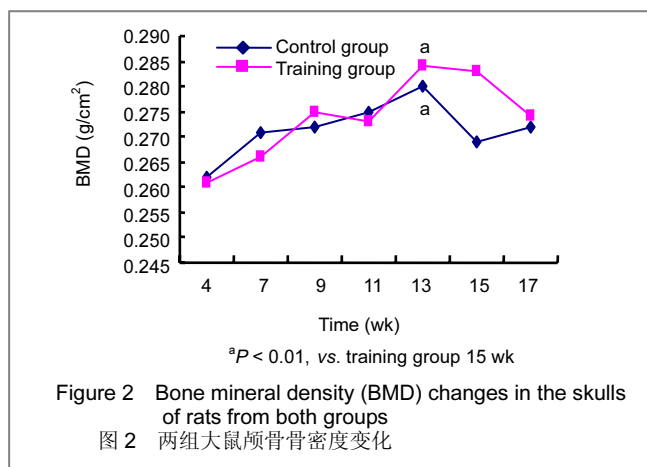
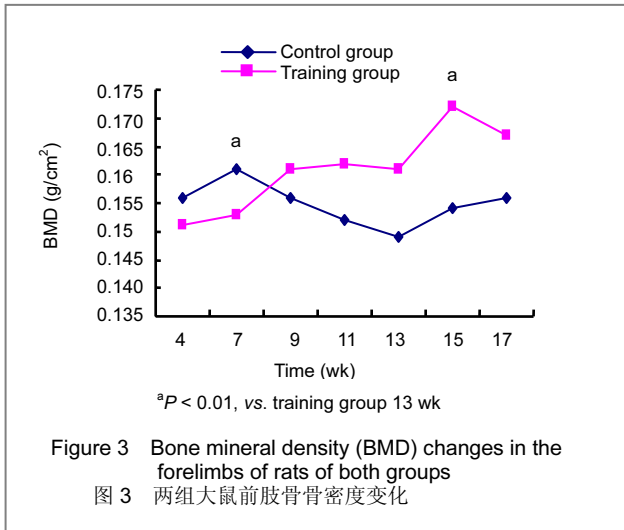


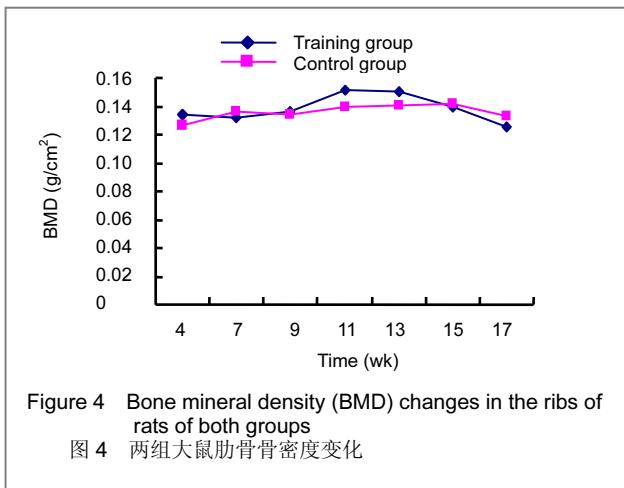
Figure 2 Bone mineral density (BMD) changes in the skulls of rats from both groups
图2 两组大鼠颅骨骨密度变化

2.4 两组大鼠前肢骨骨密度变化 运动组前肢骨骨密度在运动7周达到峰值, 随后下降, 第13周达到最低, 随后稍有上升。

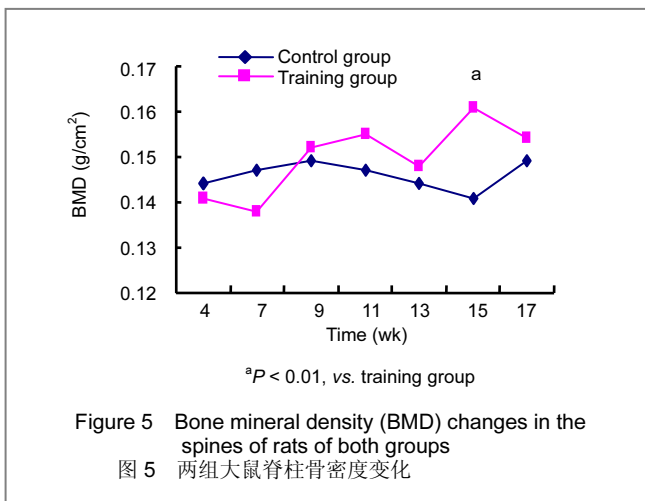
对照组大鼠前肢骨骨密度峰值骨量出现在15周, 见图3。



2.5 两组大鼠肋骨骨密度变化 肋骨是全身各部位骨密度变化最小的。运动组与对照组大鼠肋骨骨密度变化差异没有显著性意义, 见图4。



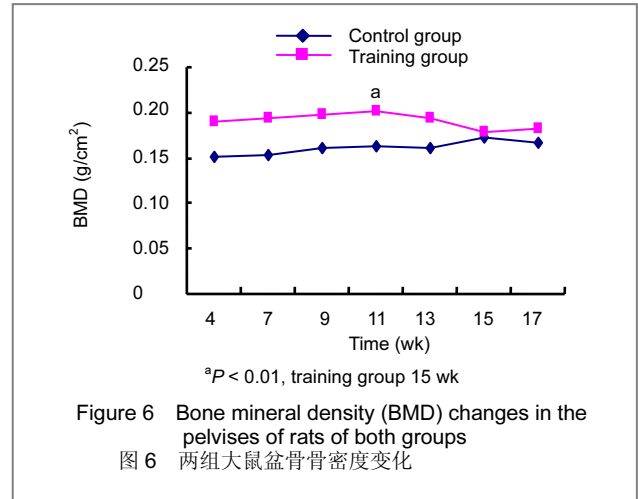
2.6 两组大鼠颈椎骨密度变化 对照组大鼠颈椎骨骨密度变化比较复杂, 骨密度峰值出现在15周, 见图5。



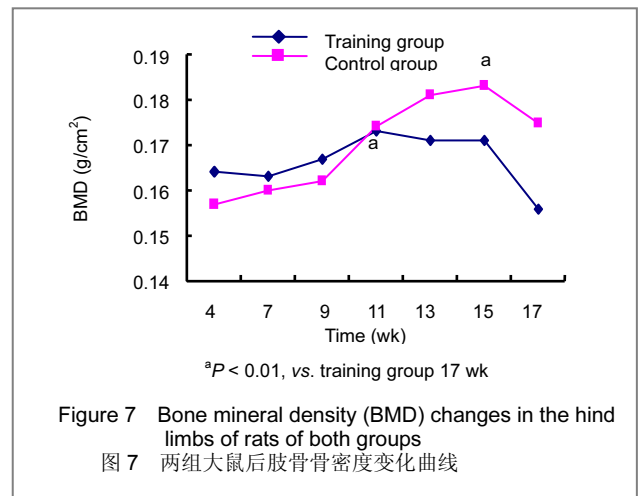
运动组大鼠颈椎骨密度在运动早期略高于对照, 且骨密度随时间增加, 峰值出现在运动9周时, 而后逐渐

下降, 至15周时达到最低值。

2.7 两组大鼠盆骨骨密度变化 运动组盆骨骨密度在运动过程中始终高于对照组, 运动组最高估量出现在11周, 随后下降, 15周最低。对照组大鼠盆骨骨密度变化较小, 峰值骨量出现在第15周, 见图6。



2.8 两组大鼠后肢骨骨密度变化 运动组运动13周时达到最大, 随后开始下降, 17周达最低。对照组峰值骨量出现在15周。见图7。



3 讨论

活体的骨骼不断进行着新陈代谢, 使骨的形态、结构发生变化, 适应力学环境需要的过程称为骨建造^[9]。骨建造包括了成骨漂移和破骨漂移。成骨漂移指原有局部骨量不足以承受外力时, 骨表面被激活进入成骨过程, 使骨量增加, 承受相应的外力。破骨漂移是指原有局部骨量因受力小而显得相对过多, 骨表面被激活而进入破骨过程, 使骨量减少。骨骼在适应力学变化发生骨建造的同时, 还为适应相应内环境的变化(如激素浓度变化、骨代谢相关酶浓度变化)以及骨折、骨失用等, 发生着骨

重建^[10-12]。如有研究表明, 绝经后女性, 雌激素下降, 短时间激活大量骨单位进入骨重建, 同时大量基质蛋白酶释放, 骨基质溶解加速, 导致骨量降低^[10]。本文结果显示, 随着运动负荷的增加, 大鼠局部的骨骼发生着不同的骨漂移和骨重建。

从全身的骨密度分析, 跑台运动对大鼠的成骨漂移发生在11周左右, 此后则发生破骨漂移为主。颅骨起到保护大脑的重要作用, 可能是生物进化选择, 颅骨的骨量一直处在很高水平, 并且远远超过其他地方的骨量, 而且尽管其不在受力轴上, 但并未随大强度运动而发生破骨漂移。值得说明的是, 颅骨骨密度非常显著性的高于全身其他各处骨骼骨密度。分析认为, 除颅骨在扫描过程中出现的多块骨叠加外, 牙齿也被计算成颅骨骨量, 在实际分析中要注意。运动组大鼠前肢骨第4、7周明显高于同期对照组, 说明此时的运动负荷促刺激前肢骨发生成骨漂移, 使骨量增加, 适应外力。随运动强度的增加, 运动组前肢骨量迅速下降, 分析原因可能是大鼠处于爬坡跑步状态, 主要以后肢用力为主, 相对而言, 前肢成了非受力轴, 发生破骨漂移。有研究表明, 大鼠负坡度跑步(下坡跑), 前肢的增骨效应比后肢好^[13]。本文结果说明, 对前肢骨, 7周之前的运动强度能刺激成骨漂移的发生, 随运动强度增加, 以破骨漂移作用为主。对啮齿动物而言, 肋骨直接承受着部分内脏的负荷, 随着运动加剧, 内脏对肋骨的冲击力也加剧, 表现为应力的增加, 刺激了成骨漂移的发生。运动组第11、13周达到最高, 说明11周之前的运动强度, 都能刺激肋骨成骨漂移的发生。相应的对照组, 由于没有运动对骨的冲击作用, 肋骨骨密度基本在同一水平。9周之前的运动强度, 能刺激大鼠脊椎骨骨密度成骨漂移的发生, 随运动量增加, 破骨漂移作用加强。而对对照组的峰值骨量在15周才达到, 说明大强度跑台运动, 不能促进大鼠脊椎骨骨密度的增加。运动组盆骨骨密度始终高于对照组, 说明, 跑台运动, 对大鼠盆骨刺激作用最大, 是最主要的受力骨。整个运动过程中, 一直处在成骨漂移过程中, 骨密度一直维持很高。后肢是正坡度跑台运动最主要的动作产生部位。本文显示, 11周之前的运动强度, 能促进后肢骨的成骨漂移, 并且其高骨量维持到第15周。

纵观不同位置骨骼骨密度的变化即可发现, 正常状态下, 大鼠峰值骨量出现在28周左右, 而运动组大鼠, 除盆骨一直高于对照组外, 其他部位峰值骨量都出现在28周之前(实验15周之前), 其原因除了骨骼适应力学刺激的骨建造, 另一重要原因是激素及相关骨代谢酶变化导致的骨重建。本课题组前期研究成果显示, 运动组大鼠雌二醇从第6周就低于同期对照组^[14]。雌激素降低, 会刺激骨破骨漂移的发生, 导致骨密度降低。

不同的运动形式, 对不同部位骨骼的作用是不同的, 主要表现为: 处在受力轴上的骨, 由于骨受到牵拉, 激

活成骨过程, 使骨量增加; 而非受力轴上的骨, 由于骨受到刺激作用较小, 健骨效应则不明显。当过度训练时, 整体上表现为骨密度下降, 从部位上来看, 骨密度的下降首先表现在非受力轴骨骼上, 其次才是受力轴上的骨, 这就是运动对骨骼作用的位点效应。由本文结果分析可知, 适宜的负荷, 能对全身骨骼起促进作用, 受力轴上的骨作用更明显; 超负荷运动, 对非受力轴上的骨破骨漂移效应加强。大鼠跑台运动健骨的位点效应由强到弱依次为: 盆骨、后肢骨、肋骨、脊椎骨、前肢骨; 破骨效应则反之。

骨代谢是与遗传、运动、营养、内分泌等密切相关的复杂过程。在研究运动与骨健康时, 如果能把营养补充、维持内分泌稳态等进行综合考虑, 效果一定会更显著。

4 参考文献

- [1] Li XF, Cui BTE, Hao BW, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(24):4495-4498. 李秀芬, 崔巴特尔, 郝博文, 等. 不同人群负重和非负重运动对骨密度的影响[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010,14(24):4495-4498.
- [2] Fan CL. Taiyuan: Shanxi Medical University, 2007. 樊春亮. 废用性骨质疏松后神经递质SP含量变化对OPG、RANKL表达的影响[D]. 太原: 山西医科大学, 2007.
- [3] Creighton DL, Morgan AL, Boardley D, et al. Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. J Appl Physiol. 2001;90(2):565-570.
- [4] Garnero P. Markers of bone turnover for the prediction of fracture risk. Osteoporos Int. 2000;11 Suppl 6:S55-65.
- [5] Cobb KL, Bachrach LK, Greendale G, et al. Disordered eating, menstrual irregularity, and bone mineral density in female runners. Med Sci Sports Exerc. 2003;35(5):711-719.
- [6] Zheng L, Pan LP, Sui B, et al. Shandong Tiyu Xueyuan Xuebao. 2005;21(2):46-50. 郑陆, 潘力平, 隋波, 等. 运动性动物周期紊乱动物模型的建立[J]. 山东体育学院学报, 2005,21(2):46-50.
- [7] Bedford TG, Tipton CM, Wilson NC, et al. Maximum oxygen consumption of rats and its changes with various experimental procedures. J Appl Physiol. 1979;47(6):1278-1283.
- [8] Wang RW, Lu AY, Chen PJ. Zhongguo Yundong Yixue Zazhi. 2000;19(3):293-296. 王人卫, 陆爱云, 陈佩杰. 递增负荷的运动性闭经动物模型的建立[J]. 中国运动医学杂志, 2000,19(3):293-296.
- [9] Frost HM. Osteoporosis: new concepts and some implications for future diagnosis, treatment and research. Berlin: Ernst Schering Research Foundation AG, 1998:7.
- [10] Frost HM. On the estrogen-bone relationship and postmenopausal bone loss: A new model. J Bone Miner Res. 1999;14(9):1473-1477.
- [11] Zhang CL. Beijing: Capital Institute of Physical Education, 2009. 张崇林. 长期递增大负荷训练对雌性大鼠骨I型胶原和基质金属蛋白酶影响的研究[D]. 北京: 首都体育学院, 2009.
- [12] Murray DW, Wilson-MacDonald J, Morscher E, et al. Bone growth and remodelling after fracture. J Bone Joint Surg Br. 1996;78(1):42-50.
- [13] Ma T, Li SC, Liang XX, et al. Tiyu Kexue. 2011;31(1):48-55. 马涛, 李世昌, 梁晓霞, 等. 上、下坡跑台运动对去卵巢小鼠骨密度及骨组织形态计量学指标的影响[J]. 体育科学, 2011,31(1):48-55.
- [14] Chen XH, Zheng L, Wang ZQ. Zhongguo Yundong Yixue Zazhi. 2009;28(6):660-664. 陈晓红, 郑陆, 王智强. 过度运动致骨量降低动物模型的建造[J]. 中国运动医学杂志, 2009,28(6):660-664.

来自本文课题的更多信息—

基金资助: 北京市教育委员会人才强教学学术创新团队——“运动与女性骨健康”项目(2007年)。

作者贡献: 张崇林数据统计, 文章写作; 郑陆进行试验设计; 张崇林、郑陆以及团队其他成员实施试验。

利益冲突: 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。