

• 运动人体科学 •

## 不同方式运动对去卵巢大鼠骨密度、 骨生物力学及代谢指标的影响

李世昌<sup>1</sup>, 季浏<sup>1</sup>, 刘体伟<sup>2</sup>, 马涛<sup>3</sup>, 陈祥和<sup>1</sup>

(1. “青少年健康评价与运动干预”教育部重点实验室, 华东师范大学体育与健康学院, 上海 200241;  
2. 上海民办新华初级中学, 上海 200080; 3. 浙江工业大学 体育军训部, 浙江 杭州 310014)

**摘 要:** 通过雌性大鼠去卵巢模型来模拟女性绝经后的状态, 比较研究跳跃和游泳两种不同方式运动对去卵巢大鼠骨的影响, 以期骨质疏松的预防发现更为有效的运动模式。将 32 只 3 月龄 SD 雌性大鼠随机分为 4 组: 假手术组、安静组、游泳组和跳跃组。其中安静组、游泳组和跳跃组行卵巢摘除手术, 假手术组只行假手术(即不摘除卵巢)。8 周后, 测定各组大鼠体重、骨密度(BMD)、骨生物力学和骨代谢相关指标。结果发现: 与安静组比较, 跳跃组大鼠股骨 BMD、最大载荷、弹性载荷、破坏载荷、能量吸收和弹性应力均显著性升高; 跳跃组大鼠血清 Ca 和抗酒石酸酸性磷酸酶(STR-ACP)水平显著性降低。与安静组比较, 游泳组大鼠除了血清 Ca 水平显著性降低外( $P < 0.05$ ), 其他指标虽有变化趋势, 但变化不显著。结果说明: 8 周跳跃运动对去卵巢大鼠股骨 BMD、骨生物力学以及骨代谢生化指标均起到较明显的改善作用。而 8 周游泳运动对去卵巢大鼠股骨 BMD、骨生物力学以及骨代谢生化指标的改善效果不如跳跃运动。跳跃运动与游泳相比, 在改善骨代谢, 促进骨健康方面的作用更加明显, 提示能更有利于预防绝经后女性出现骨质疏松。  
**关 键 词:** 运动生物化学; 运动方式; 骨质疏松; 骨密度; 生物力学; 动物实验  
**中图分类号:** G804.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7116(2012)02-0132-06

### Effects of different ways of exercising on the bone mineral density and bone biomechanical and metabolic indexes of ovariectomized rats

LI Shi-chang<sup>1</sup>, JI Liu<sup>1</sup>, LIU Ti-wei<sup>2</sup>, MA Tao<sup>3</sup>, CHEN Xiang-he<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Adolescent Health Assessment and Exercise Intervention, Ministry of Education, College of Physical Education and Health, East China Normal University, Shanghai 200241, China;  
2. Shanghai Xinhua Private Junior High School, Shanghai 200080, China;  
3. Physical Education and Military Department, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** By using a model of female rat ovariectomy to simulate women's postmenopausal state, the authors compared and studied the effects of such two different ways of exercising as jumping and swimming on the bones of ovariectomized rats, hoping to find a more effective mode of exercising for preventing osteoporosis. The authors divided 30 3 months old female SD rats randomly into 4 groups: a sham operated group, a calm group, a swimming group and a jumping group, in which the calm group, swimming group and jumping group were operated for ovariectomy, while the sham operated group was just subjected to a sham operation (i.e. no ovariectomy). 8 weeks later, the weight, bone mineral density (BMD), bone biomechanics and bone metabolism related indexes of the rats in various groups were measured. The author revealed the following findings: as compared with the calm group, the BMD, maximum load, elastic load, destructive load, energy absorption and elastic stress of the femur of the rats in

收稿日期: 2011-08-25

基金项目: 2010 年国家社会科学基金重大项目(10ZD052)。

作者简介: 李世昌 (1956-), 男, 教授, 博士研究生导师, 研究方向: 骨组织运动适应的生物学。

the jumping group increased significantly; the levels of blood serum Ca and tartrate-resistant acid phosphatase (STR-ACP) of the rats in the jumping group decreased significantly; as compared with the calm group, except that the blood serum Ca level of the rats in the swimming group decreased significantly ( $P < 0.05$ ), all the other indexes changed insignificantly although they shown a trend of changing. The said findings indicated the followings: the 8-week jumping exercise played a role in significantly improving the BMD, bone biomechanical and bone metabolic biochemical indexes of ovariectomized rats, while the results of improvement of the BMD, bone biomechanical and bone metabolic biochemical indexes of ovariectomized rats, produced by the 8-week swimming exercise were not as good as those produced by the jumping exercise; as compared with swimming, the jumping exercise played a more significant role in improving metabolism and promoting bone health, which suggests that it is more conducive to preventing osteoporosis from occurring to postmenopausal women.

**Key words:** sports biochemistry; way of exercising; osteoporosis; bone mineral density; biomechanics; animal experiment

骨质疏松是老年人中常见的一种慢性骨病,在绝经后的女性中发病率更高。绝经后妇女常发骨质疏松症的原因主要是其卵巢分泌雌激素减少,进而导致一系列的反应所致。流行病学研究发现,体力劳动者骨密度(BMD)高于脑力劳动者,长年卧床者的BMD则会逐渐降低。运动作为一种经济有效的预防骨质疏松症的方法,越来越受到人们的重视。然而体育运动类型多种多样,防治骨质疏松较合理的运动方式是什么?不同运动项目对于骨质疏松的防治效果有什么差别?有关这方面的比较研究目前还不多见,有必要进一步深入研究。

本研究通过大鼠去卵巢模拟女性绝经后的状态,比较游泳和跳跃两种不同的运动方式对于去卵巢大鼠骨代谢的影响,为预防老年人骨质疏松症的发生提供理论上的支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验动物与分组

3月龄雌性SD大鼠32只,购于上海斯莱克实验动物中心,平均体重280g,随机分为4组,即假手术组、安静组、游泳组和跳跃组。其中安静组、游泳组和跳跃组行卵巢摘除手术,假手术组只行假手术,不摘除卵巢。大鼠在25℃恒温下分笼饲养,昼夜比12:12,标准小鼠饲料,自由饮水、摄食。运动8周结束后进行相关指标测试。

### 1.2 大鼠跳跃运动模型的建立<sup>[1]</sup>

自制的大鼠电刺激箱,将大鼠放在底板上,由生理刺激器给予一定强度的电刺激,让大鼠跳上箱子一侧专门设制的平台,休息20s,然后以平台的高度垂直将大鼠重新落到底板上。再次给予通电,刺激大鼠再次跳跃,如此循环,直到完成预定的跳跃次数。一般经几次电刺激后,大鼠不需电刺激就会自动跳跃到

一侧的高处平台上。

### 1.3 运动训练安排

所有大鼠手术后适应1周。1周后各组运动情况安排如下:

假手术组和安静组大鼠在饲养笼中自由活动。游泳组大鼠第1周前3d游泳30min,后3d游40min,从第2周开始每天游泳时间固定为45min,每周训练6d,共训练8周,游泳训练的玻璃水池为50cm×60cm×90cm,水深40cm,水温为(29±1)℃。跳跃组大鼠适应性训练3d后,跳跃高度和次数逐渐递增,第3周时跳跃高度达到48cm(约为大鼠2.3倍的体长),每天跳跃20次。每周训练6d,共训练8周。

### 1.4 动物取材

经8周训练,在最后1次训练完休息24h后,所有大鼠被断颈椎处死。心脏取血约5~8mL,置于10mL离心管中,低温离心机以4000r/min离心7min,温度控制在4℃,取血清置于5mL冻存管内,放置于-80℃低温冰箱内保存待测。取右侧股骨及腰椎骨(L1~L5),去除骨上附着的软组织,用浸透生理盐水的纱布包裹好,放于-20℃冰箱保存待测。

### 1.5 测试指标与方法

#### 1) 体重测定。

实验过程中,每周日用电子称测量各大鼠体重,并予以记录。

#### 2) 血清生化指标测定<sup>[2]</sup>。

取出保存于-80℃冰箱中的血清,检测血清钙、磷、碱性磷酸酶(ALP)及抗酒石酸酸性磷酸酶(STR-ACP)的含量。试剂盒购自南京建成生物工程研究所,严格按照说明书进行操作。血钙测定利用邻甲酚酞络合酮比色法;血磷利用孔雀绿直接显色法进行测定,血清中ALP和STR-ACP利用酶标法检测。

#### 3) BMD测定。

从 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中取出股骨和腰椎骨,室温自然解冻,用 Hologic Discovery A 骨密度仪扫描股骨和腰椎(L1~L4)BMD。

#### 4)骨生物力学指标的测定。

将股骨放在津岛 AG—20KNA 万能材料实验机上,各测试样本放置的位置及方向前后保持一致,支点跨距为 20 mm,调整上压头接近股骨,以 2 mm/min 速度进行三点弯曲试验,直至骨折。股骨压断后,用游标卡尺量取股骨断裂处椭圆横截面外层长轴、外层短轴、内层长轴及内层短轴的长度。

用剪刀小心剪除第 5 腰椎上下椎间盘、椎弓及突起,并用细砂纸打磨成上下平面平行且与纵轴垂直的三棱柱。用游标卡尺测量椎体矢状径、冠状径和高度。然后将椎体置于津岛 AG—20KNA 万能材料实验机上,调整上压头接近椎骨,以 2 mm/min 的加载速度进行压缩实验,直至出现椎体塌陷或压缩性骨折时停止操作。

所测生物力学指标包括结构力学指标和材料力学指标,结构力学指标又包括最大荷载、弹性荷载、破坏荷载、最大挠度、弹性挠度、破坏挠度、刚性系数和能量吸收,在荷载-变形曲线上直接读取和计算。材料力学指标包括最大应力、弹性应力、破坏应力、最大应变、弹性应变、破坏应变和弹性模量,通过结构力学指标结合骨的几何形状和尺寸计算得出。

#### 1.6 数据处理

各组参数以均值 $\pm$ 标准差表示,使用软件 SPSS11.0 进行统计分析,组间差异显著性采用方差分析的 LSD(ONE WAY-ANOVA)进行分析,以  $P<0.05$  为显著性差异标准,以  $P<0.01$  为极显著性差异标准。

## 2 结果及分析

### 2.1 大鼠体重

各组大鼠在实验后体重均有明显增加,尤其是前 3 周,去卵巢大鼠体重增加的幅度比假手术组明显要大。3 周后,各组大鼠体重增长趋于缓慢,甚至有时游泳组和跳跃组大鼠体重出现负增长(如图 1)。各组大鼠最终体重比较,安静组( $426.67\pm 35.16$  g)、游泳组( $389.50\pm 13.13$  g)和跳跃组( $394.67\pm 17.99$  g)均显著高于假手术组( $347.16\pm 9.43$  g);游泳组和跳跃组均低于安静组,但统计分析,游泳组与安静组大鼠体重差异存在显著性( $P<0.05$ ),而跳跃组与安静组大鼠体重差异不存在显著性( $P>0.05$ )。

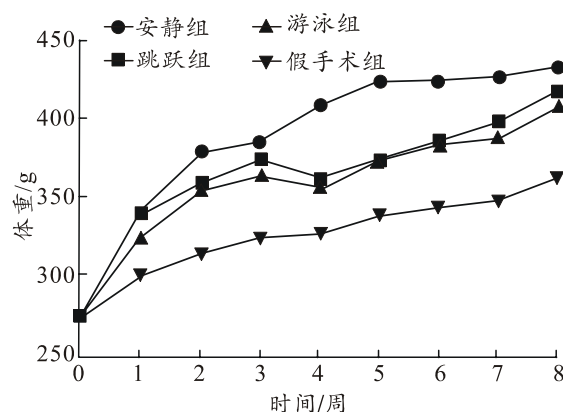


图 1 实验中各组大鼠体重变化

### 2.2 大鼠股骨和腰椎骨(L1~L4)BMD

安静组股骨和腰椎骨 BMD 明显低于假手术组,且差异有非常显著性( $P<0.01$ ),跳跃组 BMD 明显高于安静组( $P<0.01$ ),但仍低于假手术组,游泳组 BMD 与安静组相比虽有升高趋势,但差异没有显著性(见表 1)。

表 1 各组大鼠股骨和腰椎骨 BMD ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	n/只	股骨	腰椎	g/cm <sup>3</sup>
假手术组	8	0.292 8 $\pm$ 0.031 5	0.282 5 $\pm$ 0.020 5	
安静组	8	0.248 3 $\pm$ 0.010 2 <sup>2)</sup>	0.241 8 $\pm$ 0.013 4 <sup>2)</sup>	
游泳组	8	0.268 2 $\pm$ 0.021 6	0.260 8 $\pm$ 0.011 2	
跳跃组	8	0.283 7 $\pm$ 0.011 7 <sup>1)</sup>	0.268 0 $\pm$ 0.014 4 <sup>1)</sup>	

1)与安静组比较  $P<0.05$ ; 2)与假手术组比较  $P<0.01$

### 2.3 大鼠股骨生物力学指标

在结构力学指标方面,跳跃组大鼠股骨最大荷载、弹性荷载、破坏荷载及能量吸收均明显高于安静组大鼠;跳跃组大鼠股骨弹性荷载和能量吸收明显高于游泳组大鼠;游泳组和假手术组各指标比安静组有所升

高,但差异没有显著性(见表 2)。

在材料力学指标方面,跳跃组大鼠股骨弹性应力明显高于安静组大鼠( $P<0.05$ ),其他指标与安静组相比没有显著性差异;游泳组和假手术组各指标比安静组有所升高,但差异没有显著性(见表 3)。

表 2 各组大鼠股骨结构力学指标 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	n/只	最大荷载/N	弹性荷载/N	破坏荷载/N	最大挠度/mm
假手术组	8	141.6±9.9	126.3±7.7	127.6±9.3	0.901±0.265
安静组	8	132.8±11.8	115.0±17.3	121.2±7.8	0.816±0.094
游泳组	8	137.0±10.1	117.2±10.9	128.7±14.9	0.861±0.201
跳跃组	8	159.1±21.9 <sup>1)</sup>	145.3±22.3 <sup>2) 3)</sup>	150.1±21.8 <sup>1)</sup>	0.840±0.180

组别	n/只	弹性挠度/mm	破坏挠度/mm	刚性系数/(N·mm <sup>-1</sup> )	能量吸收/(N·mm)
假手术组	8	0.667±0.147	1.096±0.307	197.2±45.0	179.7±22.4
安静组	8	0.607±0.100	0.973±0.097	191.5±25.4	158.3±15.6
游泳组	8	0.637±0.197	0.993±0.179	199.7±65.2	168.0±11.9
跳跃组	8	0.638±0.034	0.997±0.147	224.9±46.1	201.0±21.2 <sup>2) 3)</sup>

1)与安静组比较 P<0.05; 2)与安静组比较 P<0.01; 3)与游泳组比较 P<0.05

表 3 各组大鼠股骨材料力学性能指标 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	n/只	最大应力/(N·mm <sup>-2</sup> )	弹性应力/(N·mm <sup>-2</sup> )	破坏应力/(N·mm <sup>-2</sup> )	最大应变/%
假手术组	8	183.3±19.0	63.3±15.0	165.3±18.7	4.31±1.28
安静组	8	172.4± 8.2	148.6±12.6	158.1±16.2	4.07±0.53
游泳组	8	185.8±16.7	158.9±17.0	174.5±21.8	4.15±1.00
跳跃组	8	188.2±27.7	171.6±25.7 <sup>1)</sup>	177.5±28.1	4.25±0.98

组别	n/只	弹性应变/%	破坏应变/%	弹性模量/(N·mm <sup>-2</sup> )
假手术组	8	3.19±0.73	5.25±1.50	5 399±1 663
安静组	8	3.03±0.56	4.86±0.52	5 006±777
游泳组	8	3.07±0.96	4.78±0.89	5 667±2 023
跳跃组	8	3.22±0.30	5.04±0.81	5 391±1 179

1)与安静组比较 P<0.05

2.4 大鼠血清 Ca、P 浓度和 STR-ACP 及 ALP 酶活力  
 跳跃组和游泳组血清中 Ca 浓度均明显低于安静组(P<0.05)，假手术组血清中 Ca 含量比安静组低，但无显著性差异；3 个手术组大鼠血清抗酒石酸性磷酸酶(STR-ACP)活力均比假手术组升高，其中安静组

与假手术组相比差异有显著性 (P<0.05)；两运动组血清 STR-ACP 活力均比安静组有所降低，其中跳跃组与假手术组相比差异有显著性(P<0.05)；各组血清 P 与碱性磷酸酶(ALP)活力之间虽有不同，但差异均无显著性(见表 4)。

表 4 各组大鼠血清中 Ca、P 浓度、STR-ACP 及 ALP 酶活力 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	n/只	c(Ca)/(mmol·L <sup>-1</sup> )	c(P)/(mmol·L <sup>-1</sup> )	STR-ACP/(U·L <sup>-1</sup> )	ALP(U·L <sup>-1</sup> )
假手术组	8	2.27±0.37	3.58±1.38	11.91±1.49	24.35±5.64
安静组	8	2.80±0.32	4.75±1.50	14.86±1.68 <sup>2)</sup>	38.98±15.11
游泳组	8	1.93±0.43 <sup>1)</sup>	4.79±1.06	13.12±1.67	36.87±12.18
跳跃组	8	2.16±0.32 <sup>1)</sup>	5.25±1.14	12.15±1.69 <sup>1)</sup>	28.76±5.86

1)与安静组比较 P<0.05; 2)与假手术组比较 P<0.05

### 3 讨论

#### 3.1 建立大鼠骨质疏松模型

Kalu<sup>[3]</sup>的报道显示，去卵巢大鼠的骨丢失与女性绝经后的骨丢失过程相似。因此，可以将去卵巢大鼠作为女性绝经后骨质疏松模型进行研究，突破了以人做实验的局限性，更有利于骨质疏松深层次的防治和研究。本实验中，与假手术组相比，安静组大鼠股骨和

腰椎 BMD 均明显降低(P<0.01)、血清 STR-ACP 明显升高(P<0.05)，其他生物力学和血清生化指标也表现出相同趋势，只是差异不显著。这说明通过去卵巢手术能够成功模拟妇女绝经后的骨丢失过程。造模的成功为本实验的顺利实施打下良好的基础。

#### 3.2 运动对去卵巢大鼠体重的影响

本研究发现，摘除卵巢后大鼠体重急剧上升，增

长速度明显快于假手术组,其中安静组大鼠体重平均比假手术组高 22.9%( $P<0.01$ )。这种体重快速增加现象可能是对去卵巢导致雌激素减少的一种代偿性生理反应。其原因可能是卵巢摘除后,血中雌激素水平降低,肾上腺分泌雌酮,在脂肪组织中加速转化为雌激素以弥补血中不足,引起体内脂质代谢失常,脂肪堆积造成肥胖<sup>[4]</sup>。也有研究指出,绝经后肥胖是对骨质疏松的一种代偿作用,从力学角度上讲,体重作为骨的一种长期负荷,它的增加能加大对骨骼、肌肉的刺激,进而减少骨量的丢失。但这种代偿作用并未能完全抵消骨量的下降,在没有外界刺激下,绝经后女性发生骨质疏松的概率大大提高。

有关研究表明,运动对大鼠去卵巢后体重的增加有一定的抑制作用,但这种抑制不能完全抵消摘除卵巢对体重的影响<sup>[5-6]</sup>。本研究也得出同样的结果,与安静组相比,跳跃组和游泳组大鼠体重都有所降低,其中游泳组体重平均比安静组降低 8.7%( $P<0.05$ ),但实验后游泳组和跳跃组大鼠的体重仍比假手术组高出 12.2%( $P<0.05$ )和 13.7%( $P<0.01$ )。也有研究得出不一致的结果,如章晓霜<sup>[7]</sup>的研究发现运动训练只能减少脂肪堆积,但对于内脏重量无影响,对于体重的增加也无作用。但根据本研究的结果显示,大鼠去卵巢后在有运动干预的情况下,跳跃组和游泳组的体重明显高于假手术组,低于安静组体重。说明运动干预可以有效控制体重的增加,但其作用不能弥补因雌激素缺乏而对体重造成的影响,故大鼠去卵巢后以及绝经后女性的体重增加主要是因为雌激素缺乏所造成的。

### 3.3 运动对大鼠 BMD、生物力学及骨代谢指标的影响

骨密度(BMD)测定对于早期诊断骨质疏松十分重要,是骨矿代谢中骨的量化指标。当 BMD 减少超过一定范围时就会产生临床上所表现的骨质疏松。如股骨颈 BMD 每减少一个标准差,其骨折危险性就增加 2.6 倍<sup>[8]</sup>。因此,精确检测 BMD,对于判断骨量水平,预防骨质疏松造成的骨折具有十分重要的意义。

骨生物力学特性直接反映骨的内在质量和性能,它与骨量、骨体积、皮质骨厚度和松质骨小梁结构有密切关系,是对骨形态结构的综合反映<sup>[9-12]</sup>。骨是由无机质与有机质两大部分组成,无机质主要由无定形钙磷混合物和钙磷羟灰石晶体构成,有机质主要包括胶原蛋白、骨钙蛋白、骨涎蛋白等。当成骨细胞活性超过破骨细胞时,新骨不断形成,钙不断被沉积到骨上,骨量不断增加。由于破骨细胞代谢,同时又有大量骨细胞被分解,释放钙、磷等矿物质到血液循环中。因此,通过测定血钙、血磷的含量可间接了解骨代谢平衡的状况。血浆中无机磷的含量水平影响骨吸收速率,

血磷的稳定是骨生长和矿化的必要条件。由于血钙与血磷浓度有密切关系,当血钙以钙盐形式沉淀时,血钙减少,相应地血磷的浓度会上升。

碱性磷酸酶(ALP)是最常用的评价骨形成和骨转换的指标,是反应成骨细胞的活跃程度的生物标志物之一。ALP 由成骨细胞分泌产生,主要存在于血清和骨中,而血清中 ALP 有 50%来源于骨。当成骨活动增强时,成骨细胞分泌大量 ALP,一部分参与骨的钙化,一部分释放到血液中。通常认为血液中 ALP 升高是由代偿性骨形成增强引起的。血浆抗酒石酸酸性磷酸酶(STR-ACP)主要由破骨细胞产生释放,主要存在于骨、前列腺、溶酶体、红细胞、血小板及脾脏中。STR-ACP 在骨吸收时对骨基质的溶解起重要作用,当骨吸收活跃时,反映在血中酶活性明显升高。因此血浆中的 STR-ACP 水平可作为反映破骨细胞活性和骨吸收情况的重要指标。

大量的研究表明,运动对骨具有重要影响,适宜的运动能有效增加骨量,改善骨健康。但不同运动方式和运动强度对骨的影响也不尽相同。一般认为,垂直面上的剪切力对于骨代谢的作用效果优于侧面对骨施加的载荷,在平时的运动训练过程中承重练习和肌肉力量练习均能有效预防骨丢失,增加骨量。本研究中,跳跃组大鼠股骨在运动中有较强的垂直应力刺激作用,实验结果显示:与安静组相比,跳跃组大鼠股骨 BMD、最大载荷、弹性载荷、破坏载荷、能量吸收和弹性应力均显著性升高,跳跃组大鼠血清 Ca 和 STR-ACP 水平也显著性降低。这说明跳跃运动能提高去卵巢大鼠成骨细胞活性并能较好的抑制破骨细胞的代谢作用,从而抑制了血清 STR-ACP 水平的增加,有利于去卵巢大鼠骨细胞对钙的吸收,从而降低大鼠血钙的水平,促进骨钙化,增加 BMD,最终使骨的内在质量和性能的提高,表现为生物力学指标的改善。

与安静组相比,游泳组大鼠除了血清 Ca 水平显著性降低外,其他指标虽有相应变化趋势,但不存在显著性差异。这说明游泳运动对于去卵巢大鼠骨的刺激作用没有跳跃运动明显。分析其原因可能有两个方面:跳跃时体重对下肢骨作用较大,属于负重运动(WBPA, weight-bearing physical activity),有纵向机械刺激。而游泳运动,尽管有骨骼肌的不断收缩,肌肉对骨产生不断的牵拉刺激,其刺激效果明显的小于负重对骨的作用,属于非负重运动(NWB, PA non-weight-bearing physical activity)。很多研究表明, WBPA 比 NWBPA 对骨的刺激效果更明显,如 Emslander 等<sup>[13]</sup>通过对 21 名跑步运动员、22 名游泳运动员与 20 名非运动员的对照研究发现,跑步运动员的

全身 BMD 和股骨颈 BMD 显著高于其他两组, 而游泳运动员和非运动员之间没有显著性差别。

跳跃组大鼠下肢骨受到较强的地面反作用力, 而游泳对于下肢骨的地面反作用力微乎其微。Pettersson 等<sup>[14]</sup>比较研究了跳绳运动和足球运动对 BMD 影响的差异, 他们发现跳绳运动组和足球运动组的 BMD 均显著高于对照组, 而且发现跳绳组的全身 BMD 和腰椎 BMD 均显著高于足球组。以上说明跳跃运动时, 骨在垂直面上所承受的载荷明显大于其它运动方式, 跳跃运动对于预防和治疗骨质疏松具有良好的效果。

### 参考文献:

- [1] 李世昌, 马涛, 尹小俭, 等. 不同运动方式对生长期大鼠骨密度和组织形态计量学指标的影响[J]. 体育科学, 2008, 28(1): 54-58.
- [2] 郑庆云, 李世昌, 马涛. 纵跳对生长期大鼠骨密度、骨代谢生化指标的影响[J]. 体育科学, 2008, 28(8): 45-49.
- [3] Kalu D N, Salerno E, Liu C C, et al. The ovariectomized rat model of postmenopausal bone loss [J]. Bone Miner, 1991, 15(3): 175-191.
- [4] 李洪洋. 去势雌鼠固执骨质疏松模型研究[J]. 现代预防医学, 1992(19): 1-3.
- [5] Nordsletten L, Kaastad T S, Madsen J E, et al. The development of femoral osteopenia in ovariectomized rats is not reduced by high intensity treadmill training: a mechanical and densitometric study [J]. Calcif Tissue Int, 1994, 55(6): 436-442.
- [6] Peng Z, Tuukkanen J, Väänänen H K. Exercise can provide protection against bone loss and prevent the decrease in mechanical strength of femoral neck in ovariectomized rats[J]. J Bone Miner Res, 1994, 9(10): 1559-1564.
- [7] 章晓霜. 不同强度运动和雌激素联合作用对去卵巢大鼠骨骼影响的实验研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2004.
- [8] Cummings S R, Black D M, Nevitt M C, et al. Bone density at various sites for prediction of hip fractures [J]. Lancet, 1993, 341(8837): 72-75.
- [9] 吕厚山, 孙铁铮, 刘忠厚. 骨关节炎的诊治与研究进展[J]. 中国骨质疏松杂志, 2004, 10(3): 255-262.
- [10] 马涛, 李世昌, 郑庆云. 运动与骨代谢动物实验研究进展[J]. 体育学刊, 2009, 16(6): 107-112.
- [11] Pak CYC, Sskhaee K, Beu N H. Comparison of nonrandomized rails with slow release odium fluoride with a randomized placebo on rolled trial in postmenopausal osteoporosis[J]. Bone Miner Res, 1996(11): 160-166.
- [12] 曹新生, 张乐宁, 吴兴裕, 等. 间断性头高位+45°对抗措施对模拟失重大鼠股骨生物力学特性的影响[J]. 第四军医大学学报, 2000, 21(6): 655-658.
- [13] Emslander H C, Sinaki M, Muhs J M, et al. Bone mass and muscle strength in female college athletes (runners and swimmers)[J]. Mayo Clin Proc, 1998, 73(12): 1151-1160.
- [14] Pettersson U, Nordstrom P, Alfredson H, et al. Effect of high impact activity on bone mass and size in adolescent females: a comparative study between two different types of sports[J]. Calcif Tissue Int, 2000, 67: 207-214.

