

· 基础研究 ·

不同强度的跑跳运动对老龄大鼠股骨生物力学特性影响的动态实验研究*

王红升¹ 段 涛¹ 杜瑞卿^{2,5} 黄 豪³ 高允海⁴

摘要 目的:探讨不同运动时间、不同强度的跑跳运动对衰退骨组织的生物力学特性的影响作用,为骨质疏松患者的临床康复治疗提供参考。方法:105只SD雄性大鼠,随机分成1个对照组(组0)和4个实验组(每天运动时间10min的为实验组1,20min的为实验组2,30min的为实验组3,40min的为实验组4),每实验组又分为运动时间为1、3、6、9、12周不同的5类,通过电刺激驱使大鼠运动。运动结束立即处死,通过电子式材料试验机测量生物力学指标。结果:实验组1在6个股骨生物力学指标的变化上基本一致,处于缓慢增长趋势,与对照组比较差异无显著性;实验组2,波动较大,基本处于先增后减,然后有快速增长的变化趋势,与对照组比较差异有显著性。实验组3和实验组4的变化基本相一致,都处于下降趋势,而且实验组4的下降更为明显,与对照组比较差异有显著性。结论:长时间适宜强度的运动能显著改善老龄鼠股骨生物力学性能,高强度长时间的运动则降低衰退骨组织的生物力学性能,低强度的运动无明显影响。长时间适宜强度的运动对延缓骨细胞衰老和骨组织的功能衰减具有积极意义。

关键词 运动强度;运动时间;生物力学;骨质疏松

中图分类号:R493,R318 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2009)-07-0600-04

Dynamic study on effects of exercises intensity on biomechanical characteristics in ageing bone/WANG Hongsheng, DU Tao, DU Ruiqing, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2009, 24(7):600—603

Abstract Objective: To determine the effects of different exercises intensities and exercises times on the structure and function of recessional bone tissue. **Method:** One hundred and five male SD rats were randomly divided into 5 groups: one control group and four experimental groups: experimental group 1 (10min exercises every day); experimental group 2 (20 min exercises every day); experimental group 3 (30min exercises every day); experimental group 4 (40 min exercises every day); in addition, every experimental group was subdivided into 5 different subgroups according to the exercises programs (1 week, 3 weeks, 6 weeks, 9 weeks, 12 weeks). All rats were sacrificed immediately when their exercises programs were finished. Biomechanical indexes were measured with electronic material test apparatus. **Result:** Six biomechanical indexes of femurs in experimental group 1 elevated slowly, resembling that in control group; in experimental group 2 the indexes fluctuated in a large extent, at first elevating then reducing, after that appeared a tend of rapid elevating, which were significantly different from those in control group; the changes in experimental group 3 and group 4 were mainly identical, showing a declining tend, especially in experimental group 4, which had great differences from control group. **Conclusion:** Exercises intensity and exercises time could greatly influence on the structure and function of aging bone tissue. Moderate intensity and long time exercises could actively influence on the retard of cells aging and function degradation of bone tissues. improve the metabolism, structure, function and biomechanical characteristics. While high-intensity and long time exercises could lower the biomechanical characteristics of ageing bone tissue; low-intensity exercise had no obvious effects on the metabolism, structure and function of ageing bone tissue.

Author's address The Orthopedic in the Second Affiliated Hospital of Nanyang Medical College, Nanyang Henan, 473061

Key words exercises intensity; exercises time; biomechanics; osteoporosis

骨的结构和力学性能与功能相适应。人在衰老过程中,骨组织的结构和功能随增龄而衰减,这种衰老的突出表现就是骨代谢异常引发的老年性骨质疏松,使骨的脆性增加,增加了骨折的危险性,它严重影响老年人群的健康,甚至个体的寿命^[1]。运动疗法是常用的防治骨质疏松的方法之一,但持续过度的运动,又不利于骨生物力学特性改善。因此,探索合

* 基金项目: 河南省教育厅基础研究资助项目(2007890009)

1 河南省南阳医学高等专科学校第二附属医院骨外科, 473061

2 河南南阳师范学院生命科学院动物生理教研室

3 河南南阳师范学院体育学院

4 辽宁中医药大学附属第一临床医院普外科

5 通讯作者

作者简介: 王红升, 男, 主治医师

收稿日期: 2008-10-06

适的运动疗法, 尤其是适宜的运动强度一直是防治骨质疏松研究领域的热点。本文以老龄大鼠为实验对象, 采用跑跳运动干预, 以探讨不同运动强度和运动时间对衰退骨组织生物力学特性的影响, 为骨质疏松患者的临床康复治疗提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验对象与分组

105 只 28—30 月龄 (属于老龄大鼠) SD 清洁级雄性大鼠 (辽宁中医药大学实验动物中心提供), 体重 300 ± 10 克, 随机分成 5 组, 对照组 5 只, 实验组 4 组, 每组 25 只。

1.2 实验方法

1.2.1 运动方案: 各实验组大鼠每天置于模拟实验装置内, 利用高电压、低电流刺激跑跳训练模型^[4], 使动物产生跑跳运动。电击时间 0.1s, 刺激频率 10 次/min, 实验 1、2、3、4 组每天分别连续刺激运动 10min、20min、30min、40min, 1 次/日, 每周训练 6 天, 周日休息。每个实验组又分为训练时间为 1、3、6、9、12 周 5 类, 每一类训练结束后马上处死取双侧股骨进行生物力学性能测定。对照组为 0 组, 不进行运动训练, 在喂养至第 12 周中依次处死取材, 进行生物力学性能测试。所有大鼠运动前适应性喂养 1 周。

1.2.2 测试方法: 每组每类实验结束时, 股动脉放血处死动物, 分别取大鼠两侧股骨, 去除软组织, 将大鼠股骨置于三点弯曲器具, 股骨前侧向上, 两下支点距离为 17 mm。加载: 拉 (压) 速度选择键置于 2mm/min; 扭转速度选择键置于 0° — 36° /min。国产 WD-10B 电子式材料试验机, 用计算机对侧力及位移自动采控, 采样频率 30Hz。测力精度为 3‰, 用 TSC-3 光栅线位移传感器 (精确到 0.02mm) 记录挠度 (f), 计算机采集挠度及载荷信号, 并对载荷-挠度曲线自动处理。测试结束后将标本用生理盐水湿纱布包裹, 贮存于冰箱冷冻室内。

1.2.3 观测指标: 反映骨抵抗拉伸压缩变形能力和强度的结构力学指标: 最大载荷、最大正应力和能量吸收。反映骨抵抗扭转变形能力和韧性的材料力学指标有扭转刚度、柔韧系数、破坏扭转角。在试验机上能直接记录: 扭矩 (Mn)、同步的扭转角 (φ) 和挠度 (f), 直到试件破坏; 计算机得到一条 Mn- φ 曲线, 曲线下的面积即为试件的能量吸收。有关计算公式: 扭转刚度 $GIP = Mn/\varphi_p$ (Mn 为扭矩, φ_p 为单位长度的比例极限扭转角); 柔韧系数 $K = (f_1 - f_2)/(F_1 - F_2)$, 其中: f_1 为破坏挠度, f_2 为比例极限挠度, F_1 为破坏载荷, F_2 为比例极限载荷。

1.3 统计学分析

采用 SPSS13.0 软件, 对各组相应指标的比较采用单因素方差分析, 结果以均值 $\pm$ 标准差表示。

2 结果

部分大鼠在实验过程中死亡, 实验 3 组第 9 周死亡 1 只, 第 12 周死亡 1 只, 实验 4 组第 6 周死亡 1 只, 第 9 周死亡 2 只, 第 12 周死亡 2 只。不同训练强度、不同训练时间的大鼠股骨生物力学性质指标的变化见表 1。

2.1 扭转刚度的变化

由表 1 第 1 列数据可以看出, 实验 1 组扭转刚度与对照比较差异没有显著性; 实验 2 组前 3 周增长缓慢, 自第 6 周后, 增长加快, 与对照组比较, 第 6 周时差异存在显著性意义 ($P < 0.05$), 第 9 周和第 12 周差异有非常显著性意义 ($P < 0.01$)。实验 3、4 组, 自训练早期开始下降, 第 9、12 周时较对照组明显降低 ($P < 0.001$)。结果表明, 低于 20min 的训练能提高骨的扭转刚度, 高于 30min 的训练降低了扭转刚度。

2.2 柔韧系数的变化

由表 1 第 2 列数据可以看出, 实验 1 组的股骨柔韧系数与对照组比较差异没有显著性意义。实验 2 组前 3 周缓慢增长, 自第 3 周后, 进入下降趋势, 进入第 6 周后, 开始快速增长, 自第 9 周开始较对照组明显升高 ($P < 0.001$)。实验 3、4 组, 在训练早期开始缓慢增长, 于训练的第 3 周后开始较快下降, 到第 9、12 周时, 较对照组明显降低 ($P < 0.001$)。结果表明, 长期、规律、适当强度训练能提高骨柔韧系数, 高强度训练则降低骨柔韧系数。

2.3 破坏扭转角的变化

由表 1 第 3 列数据可以看出, 实验 1 组与对照组比较差异没有显著性意义。实验 2 组于前 1 周增长缓慢, 在第 1 周后, 进入下降趋势, 进入第 6 周后, 开始快速增长, 到第 9 周后较对照组明显增加 ($P < 0.001$)。实验 3、4 组, 在训练一开始就较快下降, 到第 9、12 周时, 较对照组降低 ($P < 0.001$)。结果表明, 长期、规律、适当强度的训练能提高骨破坏扭转角, 高强度训练则降低骨破坏扭转角。

2.4 最大载荷的变化

由表 1 第 4 列数据可以看出, 实验 1 组股骨最大载荷与对照组比较差异没有显著性意义。实验 2 组于前 1 周快速增长, 在第 1 周后, 进入下降趋势, 第 3 周后, 开始快速增长, 到第 9 周后较对照组明显增加 ($P < 0.05$)。实验组 3 和实验组 4, 在训练早期开始缓慢增长, 于训练的第 1 周后开始较快地下降, 实

验4组到第12周时,较对照组明显降低($P<0.05$)。结果表明,只有适当强度的训练才能持续显著提高骨最大载荷。

2.5 最大正应力的变化

由表1第5列数据可以看出,实验组1股骨最大正应力与对照没有显著差异。实验2组于前1周缓慢增长;在第1周后,进入下降趋势,进入第3周后,开始快速增长,第9周后较对照组明显增加($P<0.001$)。实验3、4组,在训练早期开始缓慢增长,于训练的第1周后开始较快地下降,实验4组到第9、12周时,较对照组明显降低($P<0.001$)。结果表明,训练早期,训练强度对骨最大正应力没有显著影响。训练后期,高强度训练降低了骨最大正应力,低强度训练没有显著影响,适当强度的训练才能显著提高骨最大正应力。

2.6 破坏能量吸收的变化

由表1第6列数据可以看出,实验1组股骨破坏能量吸收在前1周缓慢增长,从第1周后,开始增长较快,到第3周后,较对照组升高($P<0.05$)。实验2组于前1周缓慢增长,在1周后,开始增长较快,第3周时较对照组有升高($P<0.05$),第9周后差异更明显($P<0.001$)。实验3、4组,在训练开始缓慢下降,于训练的第1周后开始较快地下降,实验4组到第9、12周时,较对照组明显降低($P<0.001$)。结果表明,训练强度对骨破坏能量吸收的影响显著,特别是随着训练时间的增加。低强度的训练能提高骨破坏能量吸收,而高强度训练则降低了骨破坏能量吸收。

从各组各实验指标总的来看,实验1组6个指标的变化基本一致,处于缓慢增长趋势,实验2组,波动较大,基本处于先增后减,然后有快速增长的变化趋势。实验3、4组的变化基本相一致,基本都处于下降趋势,而且实验4组的下降更为明显。

表1 不同训练强度不同训练时间的大鼠股骨生物力学性质指标的变化

($\bar{x}\pm s$)

组别	周数	股骨数	扭转刚度 (N·m/rad)	柔韧系数 (D/MPa)	破坏扭转角 (D/mm)	最大载荷 (N)	最大正应力 (MPa)	破坏能量吸收 (mJ)
对照组	0	10	114.6±10.5	21.5±2.0	0.84±0.1	29.4±6.9	140.4±9.3	9.8±2.3
实验1组	1	10	115.3±19.3	22.8±2.5	1.15±0.2	30.8±11.2	140.5±10.3	10.2±1.2
	3	10	115.8±16.1	21.6±2.8	1.03±0.2	32.7±8.5	143.6±11.6	12.4±2.6 ^①
	6	10	114.9±15.2	23.3±4.6	1.04±0.1	34.6±8.3	147.8±19.0	13.2±3.2 ^①
	9	10	118.6±9.8	23.1±3.1	1.05±0.2	34.8±9.3	146.6±10.2	13.5±3.3 ^①
	12	10	120.4±16.8	24.0±3.8	1.04±0.1	35.8±11.6	148.3±15.3	14.1±4.8 ^①
实验2组	1	10	115.2±17.5	22.8±6.5	1.15±0.2	42.7±16.2 ^①	149.5±10.3	10.2±1.2
	3	10	117.9±18.4	31.2±5.8	1.03±0.2	35.7±9.5	143.6±11.6	12.4±3.6 ^①
	6	10	126.2±17.9 ^①	18.2±7.5	0.78±0.1	39.6±10.3	180.8±16.0	15.2±2.1 ^③
	9	10	126.5±13.3 ^②	90.1±17.1 ^③	2.36±0.3 ^③	44.8±11.3 ^①	191.6±10.2 ^③	15.5±1.3 ^③
	12	10	127.1±11.4 ^②	91.2±11.2 ^③	3.58±0.2 ^③	46.8±12.6 ^①	203.3±11.3 ^③	17.1±1.7 ^③
实验3组	1	10	105.3±12.7	22.8±8.5	1.03±0.5	40.1±8.2	142.5±10.3	9.2±1.2
	3	10	102.7±11.3	28.2±9.8	1.03±0.6	32.5±7.1	135.6±11.6	8.4±2.6
	6	10	88.5±12.8	18.2±7.5	0.78±0.4	30.6±2.3	126.8±19.0	7.2±2.1
	9	8	72.9±7.3 ^③	16.1±2.1 ^③	0.66±0.2 ^③	30.3±2.3	118.6±18.2	6.5±1.8 ^②
	12	8	61.3±7.8 ^③	15.2±3.2 ^③	0.58±0.2 ^③	28.8±3.2	99.3±15.3	4.8±2.2 ^③
实验4组	1	10	95.2±8.9	22.8±3.5	0.95±0.5	37.6±3.2	141.5±10.3	8.8±1.6
	3	10	75.6±11.6	27.2±4.8	0.84±0.8	32.7±3.5	131.3±13.6	6.8±2.1 ^①
	6	8	65.8±9.3 ^③	18.2±1.5	0.65±0.1 ^③	30.6±2.1	105.5±11.0	5.5±1.3 ^②
	9	6	57.6±8.6 ^③	14.5±2.1 ^③	0.52±0.1 ^③	29.7±3.5	98.7±9.2 ^③	3.8±1.5 ^③
	12	6	48.7±9.3 ^③	12.7±2.2 ^③	0.49±0.2 ^③	25.4±3.6 ^①	82.3±10.3 ^③	3.8±1.7 ^③

每组的每一类与对照组进行比较:① $P<0.05$;② $P<0.01$;③ $P<0.001$

3 讨论

骨骼的生长、成熟和退变是成骨细胞与破骨细胞等共同作用的结果。老年人的破骨细胞仍保持着良好的活性,成骨细胞的活性则呈下降趋势,使骨形成和骨吸收的动态平衡逐渐被打破,呈现破骨细胞活性大于成骨细胞的负平衡,骨代谢表现为骨形成减弱,骨吸收相对增强的骨转换特点,骨量丢失增加,易于引起骨质疏松,功能也呈增龄性衰退^[5-7]。

骨只有在不断地适应承受外力产生应力刺激的力学环境中才能不断地进行骨结构自身的改建、塑形,并适应外部环境的变化。因此,功能活动不但直接决定着骨的形态和结构,而且还使骨的生物力学

性能始终适应于功能活动的需要。

骨生物力学是研究骨组织在外力作用下的力学特性和骨受力后的生物效应,对骨质量进行评定的一种直接而可靠方法^[9]。我们采用三点弯曲试验评价不同运动量的跳跃运动对老龄大鼠股骨生物力学性能的影响,研究发现,20min/d、6天/周的跳跃运动(实验2组)能较好地改善老龄大鼠股骨的生物力学性能;10min/d的运动(实验1组)也可改善老龄大鼠股骨生物力学性能,但效果并不显著;而30min/d(实验3组)和40min/d(实验4组)的运动,随运动周期的延长则使大鼠股骨生物力学性能下降,以实验4组更为明显。说明适宜的运动量能改善老龄大鼠股

骨生物力学性能, 运动量过小对老龄大鼠股骨生物力学性能无影响, 运动量过大则使其生物力学性能下降。Wolman 认为, 运动对骨代谢及生物力学的影响, 可因运动方式与强度的差异而表现不同。研究表明, 阈值下限应力负荷和过度的阈值上限应力负荷都无法使骨保持正常的骨代谢而影响骨的结构和功能, 也无法实现骨的适应^[1]。适宜的运动具有促进骨形成和促进骨重建的作用。而运动负荷过大, 则易造成骨吸收作用增加, 并超过骨形成作用, 导致骨的负平衡, 而引起失骨^[10-12]。同时, 较大的运动负荷能够在骨内造成较多的显微损伤, 而显微损伤的积累可致骨的生物力学强度明显下降^[13]。

因此, 运动应以适度为原则, 适宜的运动能显著改善骨代谢, 改善骨的结构和功能, 促进其生物力学指标的优化, 这对延缓骨细胞衰老和骨组织的功能衰减具有积极意义。

4 结论

①低强度运动, 对骨的生物力学性无明显影响。
②长期、规律、适宜强度的运动能显著改善老龄鼠骨的生物力学性能, 这对延缓骨细胞衰老和骨组织的功能衰减具有积极意义。
③超负荷的运动将降低老龄鼠的骨生物力学性能, 时间越长, 下降越明显。

参考文献

- [1] 刘忠厚. 骨质疏松学[M]. 北京: 北京科学出版社, 1998. 101—108.
- [2] Lee TC, Staines A, Taylor D. Bone adaptation to load: microdamage as a stimulus for bone remodelling [J]. Journal of Anatomy, 2002, 201(6): 437.
- [3] 杨桂通. 生物力学[M]. 重庆: 重庆出版社, 2000. 38—45.
- [4] Li GP, Zhang SD, Chen H, et al. Radiographic and histologic analyses of stress fracture in rabbit tibias[J]. Am J Sports Med, 1985, 13: 285.
- [5] 邱平, 李育民, 高瑾. 运动对中老年人骨代谢生化指标的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2005, (5): 340—342.
- [6] 郑诚功, 魏鸿文. 运动医学与生物力学[J]. 中华创伤骨科杂志, 2007, 9(6): 501—501.
- [7] 章晓霜, 许豪文, 赵卫东. 不同强度运动和雌激素联合作用对去卵巢大鼠骨骼生物力学性能的影响 [J]. 中国运动医学杂志, 2006, 25(2): 187—191.
- [8] 王彤, 张丽霞. 生物力学和电生理检测技术在中枢性损伤运动障碍评估中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2005, 20(1): 73—75.
- [9] 韩长伶, 田德虎, 张奉琪. 牵引重力、持续时间对颈椎生物力学影响研究[J]. 中国康复医学杂志, 2005, 20(5): 331—332.
- [10] 关晨霞, 郭钢花, 李哲. 治疗性站立及行走对脊髓损伤患者骨密度的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(2): 179—180.
- [11] 许豪文, 周红律. 骨质疏松、维生素 K 和运动[J]. 天津体育学院学报, 2003, 18(2): 51—53.
- [12] 邱燕春. 运动训练性下腰痛患者肌肉及腰椎组织的生物力学变化 [J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11(49): 9906—9909.
- [13] 杨霖, 杨永红, 何成奇. 骨质疏松症的康复评定[J]. 中国康复医学杂志, 2006, 21(12): 1140—1142.

第二届国际运动康复研讨班招生通知

由卫生部中日友好医院主办的第二届“国际运动康复研讨班”将于 2009 年 8 月在北京举行, 主题为“认知学习理论在运动康复中的应用”。届时将邀请日本康复专家小原正俊教授、林满彦教授、郭丹博士, 国内康复专家谢欲晓教授、毕胜主任等担任主讲老师, 以理论与实践相结合的形式, 向学员介绍中日两国目前最前沿的运动康复领域的新进展、新技术。

授课主要内容: 认知运动疗法(感觉回路和运动回路的统合理论与运动疗法); 以“心动”为导向的作业疗法; 运动想象在康复治疗中应用; 认知学习在运动再学习中的应用等。

培训对象: 康复科医师、治疗师、神经科医师及相关临床、科研、教学人员; 报到时间: 2009 年 8 月 22 日 8:00—20:00; 报到地点: 中日友好医院物理康复科(门诊楼二层); 培训地点: 中日友好医院教学楼; 培训时间: 2009 年 8 月 23—27 日; 收费标准: 培训费 900 元(包括学费和资料费), 住宿费、膳食费、差旅费及往返车船机票自理。

培训结束后, 将授予国家级继续教育 I 类学分 10 分。请于 2009 年 8 月 10 前将报名信息寄到: 北京市朝阳区樱花东路 2 号中日友好医院物理康复科, 邮编: 100029, 郭京伟收; 欢迎电话报名和电子邮件报名, 咨询电话: 010-84205481, 手机: 13366916938; 联系人: 郭京伟, 电子信箱: gjwbox2@sina.com; 马雯馨, 电子信箱: grace_ma8721@hotmail.com。