

游泳运动对小鼠骨密度值和 6 种骨元素含量的影响

左群* 于新凯

(上海体育学院 运动科学学院, 上海 200438)

中图分类号: R681 文献标识码: A 文章编号: 1006-7108(2013)07-0670-05

摘要: 目的 观察游泳运动对小鼠骨密度值和 6 种骨元素含量的影响。方法 10 月龄健康雌性 ICR 小鼠随机分为基础对照组(C_1)、安静对照组(C_2)、每日运动组(S_1)和隔日运动组(S_2)。所有动物适应性饲养 2 周后, C_1 组小鼠处死作为基础对照, C_2 组安静饲养 10 周, S_1 组每周无负重自由游泳 5 天, S_2 组每周隔日无负重自由游泳 3 天,游泳时间均为每天 1 小时。持续运动 10 周后,对小鼠左侧胫骨、腰椎进行取材,进行骨密度的测试,ICP 法对小鼠胫骨钙 Ca、镁 Mg、铜 Cu、锰 Mn、锌 Zn、硼 B 等 6 种元素含量进行测试。结果 (1)运动对小鼠胫骨密度和腰椎骨密度值影响不大,但可降低灰重/干重比值($P < 0.01$),提高骨有机质密度($P < 0.01$)。(2)除了 Mg 元素外,运动能使 Zn、Ca、Cu、Mn、B 等元素含量增加,其中 Ca 和 B 元素的含量, S_2 组显著高于 S_1 组($P < 0.05$)。(3)相关分析显示,胫骨有机质密度与 Zn 元素含量呈正相关,与 Mg 元素含量呈负相关;腰椎骨密度与 Mn、B 元素含量呈显著正相关($P < 0.05$)。Ca 与 Mg、Mn、Cu、B 等元素具有正相关,Cu、B、Mn 三者之间呈显著正相关($P < 0.05$)。结论 小鼠骨密度和骨元素含量随增龄发生改变,无机成分增加,有机成分减少,提示骨朝脆性增加的方向发展。游泳运动对骨密度值影响不大,但可以通过骨元素的变化影响骨成分。

关键词: 游泳;小鼠;骨密度;骨元素

Effect of swimming on bone mineral density and the levels of six bone elements in mice

ZUO Qun, YU Xinkai

(School of Kinesiology, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China)

Corresponding author: ZUO Qun, Email: zuo_qun@sus.edu.cn

Abstract: **Objective** To observe the effect of swimming on bone mineral density and the levels of six bone elements in mice. **Methods** The healthy 10-month ICR mice were randomly divided into 5 groups: basic control group (C_1), sedentary control group (C_2), daily exercise group (S_1), and every other day exercise group (S_2). After adaptive feeding for 2 weeks, mice in C_1 group were executed for basic control. Mice in C_2 group were sedentarily fed for 10 weeks. Mice in S_1 group had 1-hour swimming without loading for 5 days each week, while mice in S_2 group had 1-hour non-loading swimming every other day (3 days) each week, and the whole period lasted for 10 weeks. After 10-week exercise, bone mineral density of the left tibia and the lumbar vertebrae was detected. The contents of Ca, Mg, Cu, Mn, Zn, and B of the tibia were detected using ICP method. **Results** Exercise had little effect on bone mineral density of the tibia and the lumbar vertebrae, but could reduce the ration of ash density and dry density ($P < 0.01$), and could increase bone organic density ($P < 0.01$). Except Mg, the contents of other elements increased, and the contents of Ca and B in S_2 group were higher than those in S_1 group ($P < 0.05$). The organic density of the tibia was positively related with Zn, while negatively related with Mg. Bone mineral density of the lumbar vertebrae had a significant positive relation with Mn and B ($P < 0.05$). The content of Ca was positively related with the contents of Mg, Mn, Cu, and B. Cu, B, and Mn was significantly related with each other ($P < 0.05$). **Conclusion** Bone mineral density and the contents of bone elements change along with the age. The inorganic parts increase while the organic parts decrease, indicating that the bone becomes more fragile. The effect of swimming on BMD was little, but it could affect bone composition through the change of bone elements.

Key words: Swimming; Mice; Bone mineral density; Bone element

基金资助:运动健身科技省部共建教育部重点实验室项目(上海体育学院)

* 通讯作者: 左群, Email: zuo_qun@sus.edu.cn

运动在提高骨密度,改善骨量方面一直备受关注,负重运动对骨的作用比较明显^[1],非负重运动对骨密度的影响一直以来报道不一。有研究发现^[2,3],游泳运动员骨密度值低于长跑和柔道运动员,而且与普通人相比,不存在显著差异。但也有研究发现^[17, 20-23],游泳者比不运动者拥有更高的骨密度,且游泳运动对生长发育期、老年和骨质疏松大鼠骨量和骨强度均有提高。因此,作为一种非负重方式,游泳运动对骨密度的影响还有待证实,其机制还有待进一步探讨。因此,本实验通过观察游泳运动对 10 月龄小鼠骨密度值和骨元素含量的影响,为探讨非负重运动方式对骨的影响及其机制提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 动物与分组

健康二级雌性 10 月龄 ICR 小鼠 32 只,购自中英合资西普尔-必凯实验动物有限公司,随机分为 4 组,分别为基础对照组(C_1)、安静对照组(C_2)、每日运动组(S_1)和隔日运动组(S_2),每组 8 只。以国家标准啮齿类动物饲料喂养,自由饮食和饮水。动物房室温控制在 $22 \pm 2^\circ\text{C}$,相对湿度 55% ~ 65%,每日照明时间为 12 小时。

1.2 实验动物模型

所有动物适应性饲养 2 周后, C_1 组小鼠处死作为基础对照。 C_2 组安静饲养 10 周, S_1 组每周有负重自由游泳 5 天, S_2 组每周隔日有负重自由游泳 3 天,游泳时间均为每天 1 小时。游泳水深超过 70cm,水温控制在 $32 \pm 2^\circ\text{C}$ 。持续运动 10 周后对 C_2 、 S_1 、 S_2 组进行取材,其中 S_1 、 S_2 组为运动后 24 小时取材。

1.3 取材

完整取出左侧胫骨、腰椎(L_2),去除附着的肌肉和结缔组织,用浸透生理盐水的纱布包好,以备骨

密度和骨元素含量等指标的测试。

1.4 指标测定

1.4.1 骨密度的测定:对左侧胫骨和腰椎用固体物理密度仪(Mettler Toledo AG204, Swiss)进行骨密度的测试,结果以 g/cm^3 表示。

1.4.2 胫骨干重与灰重的测定:对左侧胫骨用三氯甲烷-甲醇混合液(2:1)脱脂 72 h,在环流热空气高热箱(Heraeus SUT6060, Germany)中 120°C 烘 6 h,冷却后在万分之一天平上(Sartoris BS210S, Germany)上称取重量为干重(g);接着置马福炉(SX2-4-10, 上海)内 600°C 下灰化 6 h 至成白色粉末状,干燥冷却后用同上天平称取重量为灰重(g)。以干重减去灰重为骨固体基质中有机质的含量,灰重/干重表示干骨中无机盐含量比值。

1.4.3 骨元素的测定:灰化骨用浓硝酸溶解后,采用原子发射光谱仪(IRIS Intrepid II HR DUO, America),以电感耦合氩气等离子体为光源对钙、镁、铜、锰、锌、硼等 6 种元素含量进行测试。

1.5 统计方法

数据由 SPSS11.0 统计分析软件进行处理,采用 One-way ANOVA 进行方差分析,采用 LSD 法进行组间比较。以 Pearson 法进行相关系数分析,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 骨密度值的变化

与 C_1 组相比, C_2 组胫骨密度值、胫骨干重密度和灰重密度、灰重/干重比值($P < 0.01$)均增加,胫骨有机质密度却显著下降($P < 0.05$)。表明随龄增加,骨无机成分增加,有机成分减少。运动对胫骨密度值影响不大,但可降低灰重/干重比值(与 C_2 组相比, S_2 组 $P < 0.01$),增加胫骨有机质密度(与 C_2 组相比, S_2 组 $P < 0.01$),其中 S_2 组显著高于 S_1 组($P < 0.05$)。运动对腰椎骨密度值影响不大。

表 1 胫骨密度和腰椎骨密度等指标的变化

Table 1 The changes of bone mineral density of the tibia and the lumbar vertebrae

指标	C_1	C_2	S_1	S_2
胫骨密度(g/cm^3)	1.1765 ± 0.0605	1.2406 ± 0.0518	1.2393 ± 0.0896	1.2488 ± 0.0635
胫骨干重密度(g/cm^3)	1.0656 ± 0.0727	1.1202 ± 0.0747	1.1310 ± 0.0813	1.2053 ± 0.1348
胫骨灰重密度(g/cm^3)	0.6110 ± 0.0853	0.6886 ± 0.0456	0.7062 ± 0.0882	0.7063 ± 0.0500
胫骨灰重/干重	0.5719 ± 0.0526	$0.6305 \pm 0.0128^{**}$	0.6096 ± 0.0267	$0.5856 \pm 0.0262^*$
胫骨有机质密度(g/cm^3)	0.4546 ± 0.0533	$0.4139 \pm 0.0313^*$	0.4424 ± 0.0530	$0.4992 \pm 0.0612^{*\Delta}$
腰椎骨密度(g/cm^3)	0.9491 ± 0.0907	1.0113 ± 0.0368	0.9946 ± 0.0174	1.0218 ± 0.0890

1) 与 C_1 组比较: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$; 2) 与 C_2 组比较: * $P < 0.01$; 3) 与 S_1 组比较: $\Delta P < 0.05$

2.2 胫骨元素含量的变化

与 C₁ 组相比, C₂ 组除了 Zn 和 Mg 之外, Ca、Cu、Mn、B 含量均增加, 其中 Ca、Cu、Mn 的含量显著增加 ($P < 0.05$, $P < 0.05$, $P < 0.01$)。运动使 Ca、

Cu、Mn、Zn、B 等 5 种元素含量增加, 其中 Ca 和 B 元素的含量, S₂ 组显著高于 S₁ 组 ($P < 0.05$); 但 S₂ 组 Mg 元素含量显著低于 C₂ 组和 S₁ 组 ($P < 0.01$, $P < 0.05$)。

表 2 胫骨元素含量/胫骨重量值的变化 (μg/g)

Table 2 The changes of the ratio of the tibia elements and the tibia weight

指标	C ₁	C ₂	S ₁	S ₂
Ca(mg/g)	9.0510 ± 0.8174	10.3984 ± 1.1518 *	10.5459 ± 0.8068 *	10.9609 ± 0.7672 * [▲]
Mg	194.8037 ± 12.2852	191.4045 ± 22.0893	187.5849 ± 15.6567	168.2561 ± 14.1518 * [▲]
Cu	0.6825 ± 0.1368	1.1081 ± 0.3682 *	1.2063 ± 0.2929	1.3098 ± 0.1809
B	0.6903 ± 0.4627	1.0278 ± 0.4239	1.4890 ± 0.3859 *	1.4950 ± 0.4102 * [▲]
Zn	13.0482 ± 1.4057	13.1039 ± 4.6201	13.7089 ± 1.1876	13.8587 ± 1.2873
Mn	0.2875 ± 0.0820	0.4865 ± 0.0583 **	0.5699 ± 0.1202	0.5192 ± 0.0925

1) 与 C₁ 组比较: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$; 2) 与 C₂ 组比较: * $P < 0.01$; 3) 与 S₁ 组比较: [▲] $P < 0.05$

2.3 骨密度与骨元素指标的相关分析

表 3 和 4 显示, 胫骨密度、干重密度、灰重密度与 Ca、Mn、B、Cu 显著正相关 (均为 $P < 0.01$), 胫骨灰重/干重与 Ca、Mn、Cu 显著正相关 (均为 $P < 0.01$, Mn 为 $P < 0.05$)。胫骨有机质密度与 Zn 正相

关, 与 Mg 负相关 (均为 $P < 0.05$)。腰椎骨密度与 Mn、B 含量显著正相关 ($P < 0.05$)。Ca 与 Mg、Mn、Cu、B 正相关 (均为 $P < 0.01$), Cu、B、Mn 三者之间显著正相关 (均为 $P < 0.01$, B 与 Mn 为 $P < 0.05$)。

表 3 骨密度与骨元素指标的相关分析

Table 3 The correlation between bone mineral density and bone element indexes

r 值	胫骨骨密度	胫骨干重密度	胫骨灰重密度	胫骨灰重/干重	胫骨有机质密度	腰椎密度
Ca	0.610 **	0.652 **	0.816 **	0.690 **	-0.211	0.292
Mg	-0.008	0.130	0.322	0.431	-0.329 *	0.003
Mn	0.676 **	0.660 **	0.655 **	0.370 *	-0.003	0.320 *
Zn	0.40	0.079	-0.082	-0.258	0.337 *	0.021
Cu	0.597 **	0.602 **	0.634 **	0.413 **	0.023	0.291
B	0.497 **	0.577 **	0.463 **	0.115	0.231	0.303 *

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, 双尾检验

表 4 骨元素之间的相关分析

Table 4 The correlation among bone elements

r 值	Mg	Mn	Zn	Cu	B
Ca	0.621 **	0.521 **	-0.100	0.473 **	0.452 **
Mg		-0.138	-0.112	0.059	-0.007
Mn			-0.019	0.727 **	0.527 *
Zn				0.077	0.135
Cu					0.479 **

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, 双尾检验

3 讨论

3.1 小鼠骨密度值的变化

有研究发现^[18,19] 雌性大鼠的骨峰值在 10 月龄左右, 10 月龄雌性大鼠全身骨密度值高于 6 月龄组。对不同月龄大鼠的骨密度进行研究后发现^[4], 雌性大鼠股骨和腰椎体积增加至 12 月龄以后开始减缓, 股骨和腰椎骨密度的峰值区间为 7~12 月龄,

7 月龄前骨密度持续增加, 尤其是 1~3 月龄增加迅速, 经 7~12 月龄后骨密度开始下降。Wronski^[6] 对各年龄大鼠的胫骨用骨组织形态计量学进行系统比较后发现, 雌性大鼠骨快速生长期是 1~3 月龄, 持续生长期是 4~6 月, 缓慢生长期是 7~12 月, 12 月龄大鼠骨量达高峰, 此后缓慢下降。本实验中, 10 月龄小鼠胫骨和腰椎骨密度仍在增加, 但增加幅度减缓。从干重密度和灰重密度来看, 随龄增加胫骨无机物含量上升, 有机质密度显著下降, 提示 10 月龄小鼠骨的脆性随增龄逐渐增加。骨承受或抗击外力作用能力的大小, 由骨有机成分和无机成分共同决定, 两者比例合适或达到最佳, 才能使骨既有一定的硬度和强度, 又有一定的弹性和柔韧性。二者比例失调, 骨的结构和功能发生改变, 甚至出现异常。老年人随着年龄增加, 骨中有机物含量减少, 无机物含量增加, 骨的脆性增加, 结果易发生骨折。因此在

评价骨的质量时,不能仅由骨密度这一个指标的变化来决定,还要关注骨成分的改变。

游泳运动对骨的影响到底如何?有作者^[8]认为游泳属于无负重运动对骨的影响较小,其效果不如举重等负重运动,游泳运动员骨密度值与对照组相比无显著差别。但也有研究认为游泳运动能提高骨密度,如 Swissa^[9]等对 5 周龄 Sabra 雌性大鼠进行为期 20 周的游泳训练,其中 20 只负重 1%,其余 10 只无负重游泳。结果发现不论负重与否,大鼠骨重量、骨体积、骨长度、皮质骨面积、BD、BMC 等指标运动组均显著高于对照组 ($P < 0.05$),提示游泳运动对骨的生长发育有积极的作用。同样 Hoshi 等^[10,16]的研究发现,游泳运动能使小鼠股骨 BMD 值显著高于对照组 ($P < 0.05$),表明游泳运动对骨密度有较好的促进作用。Hart^[11]等的研究也表明,对去卵巢大鼠实施持续 12 周的游泳运动,可以使股骨密度和骨矿含量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。有作者认为^[24],不同的骨骼具有不同的负荷阈值,承重部位的骨细胞与非承重部位的骨细胞相比,需要更大的负荷来引起骨量的变化。重力承受区的骨同时受到重力和肌肉牵拉作用,而非重力承受区骨骼的力大部分来自肌肉牵拉作用。因此,与只需要肌肉牵拉就能对骨密度施加影响的非重力承受区的骨骼相比,这部分骨骼的负荷阈值要高得多。本实验中胫骨和腰椎均为承重骨,采用无负重的游泳运动给予骨的刺激主要来自肌肉的牵拉,因此,游泳运动对胫骨和腰椎骨密度值影响不大。

3.2 小鼠骨元素含量的变化

对骨骼而言,除了钙、磷、镁等元素外,微量元素在骨骼的代谢中同样起着重要作用。作为多种酶的活性中心,它们不但与骨盐代谢有关,而且与骨基质合成有密切联系,共同影响骨骼的结构。

钙是构成动物骨骼组织的重要矿物质成分,主要以羟磷灰石的形式沉积于胶原基质中。大量临床实践及流行病学调查结果表明,钙摄入不足是导致骨质疏松的危险因素,骨钙含量减少是骨质疏松症的重要病理特征。锰是许多酶的组成部分或是活化中心,是骨胶原合成必不可少的物质。作为硫酸软骨素合成酶的必需辅助因子,与结缔组织韧性和硬度及黏多糖合成、硫酸软骨素代谢、钙磷代谢密切相关。缺锰可降低成纤维细胞活性及氨基多糖的合成,引起骨化异常。硼对维持骨的正常代谢起着重要作用,双羟维生素 D₃ (1,25-(OH)₂D₃) 的转化和胆固醇转变成雌二醇所需的羟化酶需要硼酸盐离

子,硼缺乏会减少软骨蛋白的多糖和胶原蛋白的合成。在维甲酸所致大鼠骨质疏松模型实验中,研究发现实验组大鼠血清硼含量明显低于正常对照组,用含硼中药双骨胶囊治疗后效果较好^[13]。铜以金属酶的形式存在于体内,参与弹性蛋白和胶原蛋白的交联,对骨的生长发育和修复等起重要作用。铜缺乏使胶原成熟发生障碍,影响无机盐在骨胶原表面的沉积,引起骨结构紊乱。在骨质疏松患者中,可见尿铜排泄量显著增加,骨质疏松症大鼠骨中铜的含量显著降低。锌既是骨的组成成分,又参与骨的代谢过程。锌对骨代谢的影响可能通过以下方式发挥作用:(1)参与骨盐的形成,与氟组成锌氟复合体,促进磷灰石结晶化;(2)影响 1,25-(OH)₂D₃ 和降钙素 (CT) 水平;(3)影响骨代谢酶,如碱性磷酸酶的活性。作为碱性磷酸酶的辅基,缺锌使骨碱性磷酸酶活性降低,影响成骨过程中焦磷酸盐水解,使骨矿物质减少,骨中 DNA、胶原和糖蛋白合成下降,骨量降低,导致骨质疏松症的发生^[14]。骨质疏松大鼠骨锌含量明显较正常对照组低,骨质疏松患者尿锌排泄量增加。镁的 60%~65% 存在于骨骼,与钙、磷等形成骨矿,是促进骨生长、维护骨细胞结构与功能的重要矿物质。镁可以通过调节降钙素分泌和 1,25-(OH)₂D₃ 的合成影响骨形成。镁离子同时也是焦磷酸酶等的激动剂,而焦磷酸酶能水解焦磷酸盐,消除焦磷酸盐对骨盐沉积的抑制作用,促进成骨过程。绝经后妇女骨质疏松的发生可能与镁丢失有关^[15]。

有研究发现^[5],老年组股骨头松质骨中钙、磷、铜、锶元素含量明显低于青年组 ($P < 0.05$),表明在骨吸收过程中,无机盐首先被溶解,其中钙、磷、铜等丢失最为严重,而胶原成分较慢降解,微量元素在这个过程中发生流失。对大鼠的研究发现,随龄增加骨钙和骨铜含量没有发生改变,但骨镁含量下降,骨锌含量增加;尿钙排出量增加明显,尿镁下降,尿锌和铜不变^[7]。运动对骨元素的影响如何? Swissa 等人的研究发现^[9],游泳运动可使大鼠肱骨钙、磷、镁、锌含量及力学特性显著高于对照组 ($P < 0.05$),表明运动对骨元素含量的提高有促进作用。本实验中,除了镁和锌元素外,钙、铜、锰、硼等 4 种元素含量在胫骨重量比中随增龄而增加;运动能使钙、铜、锰、锌、硼等 5 种元素含量增加,尤其是钙和硼。微量元素锌、铜、锰在骨有机质合成中对促进钙的吸收,防止骨密度的损失起着重要作用。除了作为骨基质的组成成分,微量元素往往和钙一起在骨矿化

过程中沉积,又在骨吸收时一起溶出,具有一定的协同和相关作用。膳食中钙、锌、铜含量与骨密度在一定程度上也具有一定的相关,如钙和锌摄入的缺乏将减少骨密度,铜缺乏增加髌部骨折^[12,14]。本研究发现,游泳运动虽然不能对腰椎和胫骨密度产生影响,但能提高胫骨有机质密度。结合骨元素含量的变化及骨成分与骨元素含量相关分析的结果,表明运动在一定程度上通过影响骨元素的变化,促进骨胶原的合成,改善骨成分,这对减少随龄增加出现的骨质疏松性增加具有一定保护作用。骨元素之间不同程度的相关,表明各元素之间通过相互作用,对骨基质的构成共同发挥重要作用。因此结果提示,除了钙元素之外,还要综合考虑其它微量元素及其之间的相互影响,对骨基质的构成所起的重要作用。

4 小结

10月龄小鼠随龄增加骨无机成分增加,有机成分减少,提示骨朝脆性增加的方向发展。游泳运动对骨密度值影响不大,但对骨成分的改变起到一定的作用。

【参考文献】

- [1] Bassey EJ, Ramsdale SJ. Weight-bearing exercise and ground reaction forces; a 12-month randomized controlled trial of effects on bone mineral density in healthy postmenopausal women. *Bone*, 1995,16(4):469-476.
- [2] Orwoll ES, Ferar J, Oviatt SK, et al. The relationship of swimming exercise to bone mass in men and women. *Arch Intern Med*, 1989,149(10):2197-2200.
- [3] Simkin A, Leichter I, Swissa A, et al. The effect of swimming activity on bone architecture in growing rats. *J Biomech*, 1989, 22(8-9):845-851.
- [4] Gao JJ, Zhou Y, Gu SZ, et al. Age-related changes of bone biological indices in rats. *Chin J Osteoporosis*, 2004, 10(2):143-146.
- [5] Wu XT, Dai KR, Qiu SJ, et al. A comparative study of inorganic substances and trace elements in the cancellous part of femoral head between old and young people. *Jiangsu Med J*, 2000,26(2):105-107.
- [6] Wronski TJ, Dann LM, Scott KS, et al. Long-term effects of ovariectomy and aging on the rat skeleton. *Calcif Tissue Int*, 1989,45(6):360-366.
- [7] Coudray C, Feillet-Coudray C, Rambeau M, et al. The effect of aging on intestinal absorption and status of calcium, magnesium, zinc, and copper in rats: a stable isotope study. *J Trace Elem Med Biol*, 2006,20(2):73-81.
- [8] Avlonitou E, Georgiou E, Douskas G, et al. Estimation of body composition in competitive swimmers by means of three different techniques. *Int J Sports Med*, 1997,18(5):363-368.
- [9] Swissa-Sivan A, Simkin A, Leichter I, et al. Effect of swimming on bone growth and development in young rats. *Bone Miner*, 1989,7(2):91-105.
- [10] Hoshi A, Watanabe H, Chiba M, et al. Bone density and mechanical properties in femoral bone of swim loaded aged mice. *Biomed Environ Sci*, 1998,11(3):243-250.
- [11] Hart KJ, Shaw JM, Vajda E, et al. Swim-trained rats have greater bone mass, density, strength, and dynamics. *J Appl Physiol*, 2001,91(4):1663-1668.
- [12] Li W, Tian Y, Song X, et al. Relationship between BMD and Zn, Cu, Ca levels in the hair and meal in elderly people. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci*, 2005,25(1):97-99.
- [13] Lei YX, Guo X, Zhao J, et al. The before or after treatment to the rat osteoporosis serum trace element change. *J Xi'an Med Univ*, 2001,22(5):415-417.
- [14] Hirota K, Hirota T. Nutrition-related bone disease. *Nippon Rinsho*, 2006,64(9):1707-1711.
- [15] Ringe JD. Past and future of anabolic agents. *Ann Med Interne (Paris)*, 2000,151(6):482-489.
- [16] Hoshi A, Watanabe H, Chiba M, et al. Effects of exercised at different ages on bone density and mechanical properties of femoral bone of aged mice. *Tohoku J Exp Med*, 1998,185(1):15-24.
- [17] Etherington J, Harris PA, Nandra D, et al. The effect of weight-bearing exercise on bone mineral density: a study of female elite athletes and the general population. *J Bone Miner Res*, 1996, 11(9):1333-1338.
- [18] Emslander HC, Sinaki M, Muhs JM, et al. Bone mass and muscle strength in female college athletes (runners and swimmers). *Mayo Clin Proc*, 1998,73(12):1151-1160.
- [19] Matsumoto T, Nakagawa W, Nishida S, et al. Bone density and bone metabolic markers in active collegiate athletes: findings in long-distance runners, judoists, and swimmers. *Int J Sports Med*, 1997,18(6):408-412.
- [20] Orwoll ES, Ferar J, Oviatt SK, et al. The relationship of swimming exercise to bone mass in men and women. *Arch Intern Med*. 1989,149(10):2197-2200.
- [21] Simkin A, Leichter I, Swissa A, et al. The effect of swimming activity on bone architecture in growing rats. *J Biomech*, 1989, 22(8-9):845-851.
- [22] Swissa-Sivan A, Statter M, Brooks GA, et al. Effect of swimming on prednisolone-induced osteoporosis in elderly rats. *J Bone Miner Res*, 1989,7(2):161-169.
- [23] Swissa-Sivan A, Azoury R, Statter M, et al. The effect of swimming on bone modeling and composition in young adult rats. *Calcif Tissue Int*, 1990,47(3):173-177.
- [24] Martin AD, McCulloch, RG. Bone dynamics: stress, strain and fracture. *J Sports Sci*, 1987,5(2):155-163.

(收稿日期:2012-07-12)

作者: 左群, 于新凯, ZUO Qun, YU Xinkai
作者单位: 上海体育学院运动科学学院, 上海, 200438
刊名: 中国骨质疏松杂志 
英文刊名: Chinese Journal of Osteoporosis
年, 卷(期): 2013, 19(7)

参考文献(24条)

1. Bassey EJ; Ramsdale SJ [Weight-bearing exercise and ground reaction forces: a 12-month randomized controlled trial of effects on bone mineral density in healthy postmenopausal women](#) 1995(04)
2. Orwoll ES; Ferar J; Oviatt SK [The relationship of swimming exercise to bone mass in men and women](#) 1989(10)
3. Simkin A; Leichter I; Swissa A [The effect of swimming activity on bone architecture in growing rats](#) 1989(8-9)
4. Gao JJ; Zhou Y; Gu SZ [Age-related changes of bone biological indices in rats](#)[期刊论文]-[Chinese Journal of Osteoporosis](#) 2004(02)
5. Wu XT; Dai KR; Qiu SJ [A comparative study of inorganic substances and trace elements in the cancellous part of femoral head between old and young people](#)[期刊论文]-[Jiangsu Medical Journal](#) 2000(02)
6. Wronski TJ; Dann LM; Scott KS [Long-term effects of ovariectomy and aging on the rat skeleton](#) 1989(06)
7. Coudray C; Feillet-Coudray C; Rambeau M [The effect of aging on intestinal absorption and status of calcium, magnesium, zinc, and copper in rats: a stable isotope study](#)[外文期刊] 2006(02)
8. Avlonitou E; Georgiou E; Douskas G [Estimation of body composition in competitive swimmers by means of three different techniques](#) 1997(05)
9. Swissa-Sivan A; Simkin A; Leichter I [Effect of swimming on bone growth and development in young rats](#) 1989(02)
10. Hoshi A; Watanabe H; Chiba M [Bone density and mechanical properties in femoral bone of swim loaded aged mice](#)[期刊论文]-[Biomedical and Environmental Sciences](#) 1998(03)
11. Hart KJ; Shaw JM; Vajda E [Swim-trained rats have greater bone mass, density, strength, and dynamics](#) 2001(04)
12. Li W; Tian Y; Song X [Relationship between BMD and Zn, Cu, Ca levels in the hair and meal in elderly people](#) 2005(01)
13. Lei YX; Guo X; Zhao J [The before or after treatment to the rat osteoporosis serum trace element change](#)[期刊论文]-[Journal of Xi'an Medical University](#) 2001(05)
14. Hirota K; Hirota T [Nutrition-related bone disease](#)[外文期刊] 2006(09)
15. Ringe JD [Past and future of anabolic agents](#) 2000(06)
16. Hoshi A; Watanabe H; Chiba M [Effects of exercised at different ages on bone density and mechanical properties of femoral bone of aged mice](#) 1998(01)
17. Etherington J; Harris PA; Nandra D [The effect of weightbearing exercise on bone mineral density: a study of female elite athletes and the general population](#) 1996(09)
18. Emslander HC; Sinaki M; Muhs JM [Bone mass and muscle strength in female college athletes \(runners and swimmers\)](#) 1998(12)
19. Matsumoto T; Nakagawa W; Nishida S [Bone density and bone metabolic markers in active collegiate athletes: findings in long-distance runners, judoists, and swimmers](#) 1997(06)
20. Orwoll ES; Ferar J; Oviatt SK [The relationship of swimming exercise to bone mass in men and women](#) 1989(10)
21. Simkin A; Leichter I; Swissa A [The effect of swimming activity on bone architecture in growing rats](#) 1989(8-9)
22. Swissa-Sivan A; Statter M; Brooks GA [Effect of swimming on prednisolone-induced osteoporosis in elderly rats](#) 1989(02)
23. Swissa-Sivan A; Azoury R; Statter M [The effect of swimming on bone modeling and composition in young adult rats](#) 1990(03)

24. [Martin AD;McCulloch.,RG Bone dynamics:stress, strain and fracture](#) 1987(02)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_zggzsszz201307005.aspx