

· 综述 ·

运动强度对骨密度影响的研究进展

阚世锋 陈文华 余波 张雯

骨质疏松 (osteoporosis) 是临床上最常见的骨代谢紊乱疾病,其主要特征包括全身性骨量减少,骨微结构改变,进而导致骨脆性增加,容易发生骨折等^[1]。骨质疏松的发生与峰值骨量 (peak bone mass, PBM) 有着密切联系,成年前期如能达到理想的骨峰值水平,可有效减缓中老年时期的骨量丢失及预防骨质疏松发生。有报道称,青少年时期骨峰值增加 5% ~ 10%,可使成年后骨质疏松性骨折发生率下降 25% ~ 50%^[2]。机体峰值骨量水平与很多因素有关,其中运动锻炼具有关键性作用^[3]。科学、合理的体育运动不仅能通过增加骨骼机械负荷加快骨量累积,还能促进性激素分泌、钙及维生素 D 吸收,从而间接提高骨矿物质密度 (bone mineral density, BMD); 另外适量运动还能使骨微结构发生改变,增强骨骼生物力学性能^[4-5]。总之运动在改善骨代谢、提高骨密度及预防骨质疏松方面具有重要作用,但不同强度的运动对骨的作用效应不同,有时甚至是截然相反。本文通过分析近年来相关文献,拟就不同强度运动对骨密度影响的差异作一简要综述。

低强度运动对骨密度的影响

Hatori 等^[6]观察了不同强度运动对绝经女性骨质的影响,发现 30 min/次、3 次/周、持续 28 周高于无氧阈值强度的运动可显著增加骨密度,而同样方案、低于无氧阈值强度的运动则对骨密度无明显影响作用。Kevin 等^[7]将 62 例中老年男性和女性对象 (平均年龄 68.4 ± 6 岁) 随机分为大强度运动组、低强度运动组和空白对照组,分别进行每周 3 次不同强度运动锻炼,24 周后发现大强度运动组股骨颈骨密度增加 1.96%,而低强度运动组骨密度与对照组比较无明显变化。另有动物实验证实,对 3 月龄 Sprague-Dawley (SD) 大鼠给予 12 m/min、20 min/d、5 d/周的低强度跑台运动,于实验进行 6 周、12 周后分别测定大鼠股骨骨量及骨密度,发现与对照组比较差异无统计学意义^[8];同样日常生活中的散步、家务劳动等均属于低强度运动,该运动强度低于骨应变的应力阈值,不能有效刺激骨组织,从而达不到显著增加青少年时期骨密度的作用,也不能预防绝经后妇女因雌激素缺乏导致的骨质疏松,只能对抗肢体制动造成的废用性骨质疏松。

中等强度运动对骨密度的影响

一、中等强度运动对青少年时期骨密度的影响

儿童和青少年时期是骨量累积的关键时期,18 岁以前可获得峰值骨量的 85% ~ 90%^[2]。在该时期进行适量体育运动可加速全身骨矿物质累积,大幅提高骨峰值,增加骨密度,从

而影响成年以后的骨量水平。吴久玲等^[9]观察中等强度体育运动对 60 名 10 ~ 12 岁女性运动员骨密度的影响,并以 90 名同年龄段普通学生作为对照组,结果发现运动员组除头部外,其上肢、下肢、骨盆及全身骨密度值均显著高于对照组,而且 1 年后骨密度变化值 (即增长值) 仍是运动员组明显高于对照组。Hawley 等^[10]对 24 名 18 ~ 23 岁大学生进行中等强度卧推、举重等抗阻运动,每周 3 次,24 周后发现男性学生腰椎及股骨颈骨密度增加 2.7% ~ 7.7%,女性学生则增加 0.8% ~ 1.5%。有学者对青春期女生进行为期 9 个月的跳跃训练,发现中等强度的跳跃训练可增加青春期末女性的骨峰值水平^[11]。Bennell 等^[12]研究指出,5 周龄 SD 大鼠经 12 周中等强度的跑台运动后,通过检测不同部位骨密度发现,运动组大鼠腰椎、股骨颈及全身骨密度均较对照组显著增加。Iwamoto 等^[13]的实验研究也得到类似结果。

尽管不同形式运动对骨的刺激作用不同,但中等强度、各种形式的运动对处于生长期的骨发育均具有积极作用,其作用机制主要与增加骨的机械负荷有关。骨骼承受的机械负荷一般有两种方式,一种是应力直接作用于骨组织,另一种是肌肉的间接牵拉作用。骨骼接受适量机械负荷刺激后产生应变,使得成骨细胞活性增强,破骨细胞活性受到抑制,骨形成大于骨吸收,骨矿物质不断累积,骨密度增加。此外机体在运动时,骨骼肌的收缩牵拉骨细胞膜,从而诱发膜磷脂与磷脂酶 A₂ 结合或钙离子流入导致磷脂酶 A₂ 活性增强,促进膜磷脂中花生四烯酸释放,从而加速前列腺素 E₂ (prostaglandin E₂, PGE₂) 合成。PGE₂ 能激活腺苷酸环化酶,导致细胞内 cAMP 水平增加,促进 DNA 和 RNA 合成,诱发骨细胞分化和增殖,加速新骨形成^[14]。而且有研究还发现运动能通过影响体内性激素水平、增加骨血流量等多种机制调节骨代谢,使峰值骨量达到较高水平^[15-16]。

二、中等强度运动对成年及成年后期骨密度的影响

目前研究发现,机体骨量在青春期持续增长,在 20 岁左右时达到峰值水平,直到 35 岁之前,骨量均处于一个相对稳定的平台期^[2]。待平台期结束后机体骨量开始逐渐丢失,40 岁以后机体骨量每年丢失 0.5%,这一丢失率在不同性别、不同种族人群中无明显差异^[4]。女性在 51 ~ 60 岁期间,由于绝经期前后雌激素水平降低,骨密度可出现骤然下降,易诱发原发性骨质疏松症。这一时期通过适量运动可增加或维持骨密度,对减少骨丢失、预防骨质疏松具有重要意义。Snow 等^[17]让绝经后女性穿加重背心进行跳跃运动,每周 3 次,5 年后发现受试对象股骨颈骨密度增加 1.54%。Dalsky 等^[18]对 17 例 55 ~ 70 岁女性进行行走、慢跑和爬楼梯训练,每周 3 次,9 个月后发现其腰椎骨矿物质含量增加 5.2%,22 个月后发现其腰椎骨矿物质密度则下降 1.4%。卜淑敏等^[19]通过动物实验发现,去卵巢大鼠经 14 周中等强度跑台运动后,其股骨、胫骨近端骨密度及骨量均显著增加,股骨远端和胫骨近端骨小梁数量增多、断裂

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2012.09.019

作者单位:200080 上海,上海交通大学附属第一人民医院康复医学科

通信作者:陈文华,Email:chen.wh@163.com

减少。钟卫权等^[20]将去卵巢成年大鼠分为中等负荷运动组、大负荷运动组及雌激素干预组,各运动组分别给予不同强度游泳训练,6 周后发现中等负荷运动组和雌激素干预组大鼠骨松质骨矿盐含量显著升高,提示中等强度游泳训练与注射雌激素效果类似,能提高骨质疏松大鼠骨代谢水平,促进骨形成,抑制骨吸收。章晓霜等^[21]研究结果显示,中等强度运动能抑制去卵巢大鼠骨吸收和骨形成,但抑制骨吸收的作用更显著,且增加了骨矿沉积,最终导致骨形成作用大于骨吸收。

骨骼的生长、成熟及退变是成骨细胞和破骨细胞共同作用的结果。老年人骨骼的破骨细胞仍保持良好活性,成骨细胞活性则呈现下降趋势,使骨形成和骨吸收的动态平衡被打破,骨量丢失增加,容易发生骨质疏松。中等强度运动可明显提高雌二醇、孕酮水平^[22],这在一定程度上抑制了由于雌激素减少所导致的破骨细胞活性增强,减少骨量快速丢失,但促骨形成作用不明显;此外运动和雌激素在骨代谢调节方面还具有一定协同效应,究其原因可能包括以下两方面:首先雌激素可降低骨重建的应变阈值。妇女绝经后由于雌激素急剧减少,探测到的骨应变阈值增高,如补充外源性雌激素,则有助于骨重建的应变阈值降低。另外运动干预还可通过增加机械载荷来促进骨骼应变,两者共同作用使骨骼应变更容易达到阈值,从而进行保留型骨重建,减少绝经后骨量丢失^[23]。

三、大强度运动对骨密度的影响

适度运动能增加机体骨量、提高骨密度,而运动强度过大则对骨密度无影响甚至会导致骨密度下降。Slemenda 等^[24]研究显示,10~25 岁花样滑冰运动员其股骨项、胫骨骨密度随着运动强度增加而减少。王文瑾等^[25]对女性长跑运动员骨密度研究后发现,大强度运动往往导致女性月经紊乱,闭经运动员的骨密度与绝经后妇女相当,闭经长跑运动员的脊柱骨密度较月经正常长跑运动员低 5%,髌关节骨密度低 6%,全身骨密度低 3%,可见月经紊乱是大强度运动导致女性骨密度降低的重要原因之一。Burrows 等^[26]对长期耐力跑运动员研究后发现,长跑运动员骨密度与长跑距离具有负相关性,如每周多跑 10 km,则腰椎骨密度较其他运动员低 1%,股骨颈骨密度则低 2%,并且该变化与运动员年龄无明显相关性。Bourrin 等^[27]对 5 周龄雄性大鼠进行大强度跑台运动(80%最大摄氧量),经 11 周训练后发现大鼠骨骼出现骨量丢失现象。杨国敏等^[28]对生长期 SD 雄性大鼠进行 8 周大强度跳跃训练,发现大鼠股骨长轴方向成长受到明显抑制,骨盐含量显著降低。王人卫等^[29]通过对健康成年雌性大鼠进行大强度运动跑台训练,发现中长期大强度运动训练可导致骨量减少、骨密度下降。

关于大强度运动导致骨密度下降的原因,目前研究认为可能包括以下机制:①长期进行大强度运动导致机体过度疲劳,干扰了下丘脑-垂体-性腺轴功能,间接抑制卵巢产生和释放雌激素(或抑制睾丸产生和释放雄激素),从而降低血液中雌激素(或雄激素)水平,而性激素(特别是雌激素)与骨组织代谢具有密切关系,它能直接抑制破骨细胞活性并促进成骨细胞成骨作用,使骨形成大于骨吸收^[30-31]。②大强度运动容易诱发肌肉疲劳,使肌肉对应力的缓冲作用减弱,导致应力过多集中于机体某一部分,骨骼需重新改造塑型以适应增加的应力,当破骨活动超出骨正常生理代谢速度时,就可能在局部形成微细骨折,导致骨量丢失。

总 结

通过综合分析上述文献,可知骨骼是一种动力学器官,在一定范围内骨量和骨密度随着运动负荷的增加而增加,当运动负荷超过某一阈值时(如运动员长期进行高强度训练),就可能对骨骼健康产生负面影响。Frost^[32]提出“力学稳态理论”来解释应力引起骨量重新分配以适应力学环境的机制,他认为骨量的增减取决于外力作用的大小,当应力作用于骨所产生的应变在生理范围内时,骨吸收和骨形成速度相当,骨量维持平衡;如应变超过生理范围上限时,骨形成速度则大于骨吸收速度,总骨量逐渐增加,骨骼进行塑建,即在骨表面形成板层骨,从而降低局部应变;如应变过大、达到病理负荷状态时,骨表面形成交联骨,骨结构发生改变;如应变小于生理下限时,骨吸收速度大于骨形成速度,机体总骨量减少,骨骼进行吸收型重建,从而使局部应变扩大至整个生理范围。

综上所述,运动强度与骨密度间存在着密切联系,不同强度运动对机体骨量、骨密度的影响具有显著差异。这也提醒我们在运动健身时要选择适宜的运动强度,以保证获得最佳锻炼效果,延缓骨骼老化进程。

参 考 文 献

- [1] 刘忠厚. 骨质疏松学. 北京: 科学出版社, 1998: 142-143.
- [2] Matthews BL, Bennell KL. Bone health and young females. J Womens Health, 2005, 29: 19-27.
- [3] Daniel WB, Wendy MK. Exercise and the preservation of bone health. J Cardiopulm Rehabil, 2008, 28: 153-162.
- [4] Petit MA, Macdonald HM, McKay HA. Growing bones: how important is exercise? Curr Opin Orthop, 2006, 17: 431-437.
- [5] Kohrt WM, Bloomfield SA, Little KD, et al. Physical activity and bone health. Med Sci Sports Exerc, 2004, 27: 1985-1996.
- [6] Hatori M, Hasegawa A, Adachi H, et al. The effects of walking at the anaerobic threshold level on vertebral bone loss in postmenopausal women. Calcif Tissue Int, 1993, 52: 411-413.
- [7] Vincent KR, Braith RW. Resistance exercise and bone turnover in elderly men and women. Med Sci Sports Exerc, 2002, 3: 17-23.
- [8] 阙世锋, 余波, 陈文华, 等. 运动负荷骤降对生长期大鼠长骨骨量和骨代谢生化指标的影响. 中国康复理论与实践, 2012, 18: 222-225.
- [9] 吴久玲, 渠川琰, 陈丽君. 体育运动对青春期少女骨密度的影响. 中华预防医学杂志, 2001, 35: 152-153.
- [10] Almstedt HC, Canepa JA, Ramirez DA, et al. Changes in bone mineral density in response to 24 weeks of resistance training in college-age men and women. J Strength Cond Res, 2011, 25: 1098-1103.
- [11] Witzke KA, Snow CM. Effect of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. Med Sci Sports Exerc, 2000, 32: 1051-1057.
- [12] Bennell K, Khan K, Warmington S, et al. Age does not influence the bone response to treadmill exercise in female rats. Med Sci Sports Exerc, 2002, 34: 1958-1965.
- [13] Iwamoto J, Shimamura C, Takeda T, et al. Effects of treadmill exercise on bone mass, bone metabolism, and calciotropic hormones in young growing rats. J Bone Miner Metab, 2004, 22: 26-31.
- [14] 叶鸣, 金其贯. 运动与骨密度的研究进展. 西安体育学院学报, 2002, 19: 38-42.

- [15] Vainionpää A, Korpelainen R, Vaananen HK, et al. Effect of impact exercise on bone metabolism. *Osteoporosis Int*, 2009, 20:1725-1733.
- [16] Kaijun N, Riikka A, Hui G, et al. Effect of office-based brief high-impact exercise on bone mineral density in healthy premenopausal women: the Sendai Bone Health Concept Study. *J Bone Miner Metab*, 2010, 28:568-577.
- [17] Snow CM, Shaw JM, Winters KM, et al. Long-term exercise using weighted vests prevents hip bone loss in postmenopausal women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2000, 55:489-491.
- [18] Dalsky GP, Stocke KS, Ehsani AA, et al. Weight-bearing exercise training and lumbar bone mineral content in postmenopausal women. *Ann Intern Med*, 2008, 108:824-828.
- [19] 卜淑敏, 陈永杰. 中等强度跑台运动对去卵巢大鼠骨量和相关血清性激素水平的影响. *中国老年学杂志*, 2010, 2:342-344.
- [20] 钟卫权. 不同负荷的游泳训练及雌激素对去卵巢大鼠骨质疏松症的影响. *中国组织工程研究与临床康复*, 2007, 11:3351-3353.
- [21] 章晓霜, 高顺生, 李青南. 运动对实验性骨质疏松大鼠骨量的影响. *中国康复医学杂志*, 2000, 15:215-217.
- [22] 乔媛媛, 王晓晨, 王曼莹. 运动-雌激素-骨代谢相关性研究进展. *吉林体育学院学报*, 2009, 25:78-79.
- [23] 黄何平. 体育锻炼对骨密度的影响. *沈阳体育学院学报*, 2004, 23:319-321.
- [24] Slemenda CW, Johnston CC. High intensity activities in young women: site specific bone mass effects among female figure skaters. *Bone Miner*, 1993, 20:125-128.
- [25] 王文瑾, 郑陆, 王蕴红, 等. “女运动员三联征”的研究现状及进展. *首都体育学院学报*, 2009, 21:60-62.
- [26] Burrows M, Nevill AM, Simpson D. Physiological factors associated with low bone mineral density in female endurance runners. *Br J Sports Med*, 2003, 37:67-71.
- [27] Bourrin S, Genty C, Palle S, et al. Adverse effect of strenuous exercise: adensitometric and histomorphometric study in the rat. *Appl Physiol*, 1994, 76:1999-2005.
- [28] 杨国敏, 魏文仪. 大强度跳跃训练对生长期大鼠股骨成长和骨盐含量的影响. *成都体育学院学报*, 2000, 26:75-78.
- [29] 王人卫, 高勇, 陆爱云, 等. 大强度运动训练对雌性大鼠性激素和骨密度的影响. *中国运动医学杂志*, 2003, 2:121-125.
- [30] 许广军, 郑刚, 郭英杰. 体育运动对骨密度影响的研究进展. *沈阳师范大学学报*, 2007, 25:527-530.
- [31] Torstveit MK, Sundgot-Borgen J. The female athlete triad: are elite athletes at increased risk? *Med Sci Sport Exerc*, 2005, 37:184-193.
- [32] Frost HM. The role of changes in mechanical usage set points in the pathogenesis of osteoporosis. *J Bone Miner Res*, 1992, 7:253-261.

(修回日期:2012-07-20)

(本文编辑:易 浩)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

本刊对来稿中统计学处理的有关要求

1. 统计研究设计:应交代统计研究设计的名称和主要做法。如调查设计(分为前瞻性、回顾性或横断面调查研究);实验设计(应交代具体的设计类型,如自身配对设计、成组设计、交叉设计、析因设计、正交设计等);临床试验设计(应交代属于第几期临床试验,采用了何种盲法措施等)。主要做法应围绕4个基本原则(随机、对照、重复、均衡)概要说明,尤其要交代如何控制重要非试验因素的干扰和影响。

2. 资料的表达与描述:用 $(\bar{x} \pm s)$ 表达近似服从正态分布的定量资料,用 $M(Q_R)$ 表达呈偏态分布的定量资料;用统计表时,要合理安排纵横标目,并将数据的含义表达清楚;用统计图时,所用统计图的类型应与资料性质相匹配,并使数轴上刻度值的标法符合数学原则;用相对数时,分母不宜小于20,要注意区分百分率与百分比。

3. 统计分析方法的选择:对于定量资料,应根据所采用的设计类型、资料所具备的条件和分析目的,选用合适的统计分析方法,不应盲目套用 t 检验和单因素方差分析;对于定性资料,应根据所采用的设计类型、定性变量的性质和频数所具备的条件以及分析目的,选用合适的统计分析方法,不应盲目套用 χ^2 检验。对于回归分析,应结合专业知识和散点图,选用合适的回归类型,不应盲目套用简单直线回归分析,对具有重复实验数据的回归分析资料,不应简单化处理;对于多因素、多指标资料,要在一元分析的基础上,尽可能运用多元统计分析方法,以便对因素之间的交互作用和多指标之间的内在联系进行全面、合理的解释和评价。

4. 统计结果的解释和表达:当 $P < 0.05$ (或 $P < 0.01$)时,应说明对比组之间的差异有统计学意义,而不应说对比组之间具有显著性(或非常显著性)的差别;应写明所用统计分析方法的具体名称(如:成组设计资料的 t 检验、两因素析因设计资料的方差分析、多个均数之间两两比较的 q 检验等),统计量的具体值(如 $t = 3.45$, $\chi^2 = 4.68$, $F = 6.79$ 等),应尽可能给出具体的 P 值(如 $P = 0.0238$);当涉及到总体参数(如总体均数、总体率等)时,在给出显著性检验结果的同时,再给出95%可信区间。