

· 论著 ·

运动防治骨质疏松专家共识

邹军^{1*} 章岚² 任弘³ 王国祥⁴ 卜淑敏⁵ 王勇⁶

1. 上海体育学院运动科学学院, 上海 200438
2. 山东体育学院科研处, 济南 250102
3. 北京体育大学运动人体科学学院, 北京 100084
4. 苏州大学体育学院, 苏州 215021
5. 首都体育学院运动科学与健康学院, 北京 100191
6. 武汉体育学院健康科学学院, 武汉 430079

中图分类号: R681 文献标识码: A 文章编号: 1006-7108(2015) 11-1291-13

摘要: 随着人口的老龄化, 骨质疏松已成为一个全球性的公共健康问题。运动防治骨质疏松的效果已被医学界所认可, 但是防治骨质疏松的运动方案至今尚未有统一的标准。在中国老年学学会骨质疏松委员会的组织下, 我们邀请多名运动与骨代谢领域的专家, 结合近年来国内外相关研究, 共同撰写运动防治骨质疏松专家共识, 旨在为大众及医学工作者提供运动预防骨质疏松的理论基础。共识主要概述了运动防治骨质疏松的机制, 总结了不同类型运动防治骨质疏松的效果及特点, 在结合国内外研究的基础上, 根据目标人群及我国大众体育的特点, 设计了绝经性骨质疏松及老年性骨质疏松的运动预防及治疗方案以及青少年骨骼健康运动方案。其中老年性骨质疏松、绝经性骨质疏松预防及治疗方案主要以有氧运动、传统养生运动为主, 低强度抗阻力量训练及低强度冲击性运动为辅, 青少年骨骼健康运动方案则以中高强度的冲击性运动为主, 有氧运动及抗阻力量训练为辅, 运动强度及运动量根据个体情况进行阶段性调整。

关键词: 运动; 骨质疏松; 运动处方; 专家共识

Expert consensus of exercise in prevention and treatment of osteoporosis

ZOU Jun¹, ZHANG Lan², REN Hong³, WANG Guoxiang⁴, BO Shumin⁵, WANG Yong⁶

1. Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China
2. Shandong Sport University, Jinan 250102, China
3. Beijing Sport University, Beijing 100084, China
4. Suzhou University, Suzhou 215021, China
5. Capital University of Physical Education and Sports, Beijing 100191, China
6. Wuhan Sport University, Wuhan 430079, China

Corresponding author: ZOU Jun, Email: zoujun777@126.com

Abstract: With the population aging, osteoporosis has now become a global public health problem. It has been recognized in medical field that exercise has positive effect on the prevention and treatment of osteoporosis, but the protocol of exercise to prevent osteoporosis remains no unified standard. With the organization of Osteoporosis Committee of China Gerontological Society, we invite several experts in the field of exercise and bone metabolism and combined with the related research at home and abroad in recent years to write an Expert Consensus of exercise in the prevention and treatment of osteoporosis, which can provide theoretical basis of exercise for the prevention of osteoporosis for the public and medical workers. The consensus mainly summarizes the mechanism of exercise in prevention of osteoporosis, and reviews the effects and characteristics of different types of exercise in the prevention and treatment of osteoporosis. On the basis of combination of national and international research, an exercise program for the prevention of postmenopausal and senile osteoporosis and an exercise program for bone health in teenagers are designed according to the target population and the characteristics of mass sports in China. Exercise program for the prevention of postmenopausal and senile osteoporosis is mainly composed of aerobic exercise and Chinese traditional national sports, and is supplemented with low

* 通讯作者: 邹军, Email: zoujun777@126.com

intensity resistance exercise and low-impact exercise. Exercise program for bone health in teenagers is mainly composed of moderate to high impact exercise, and is supplemented with aerobic and resistance strength training. The intensity and amount of exercise are adjusted according to individual circumstance.

Key words: Exercise; Osteoporosis; Exercise prescription; Expert consensus

随着世界人口的老龄化,骨质疏松症的发病率也逐年上升,现已成为世界普遍关注的公共卫生问题^[1]。骨质疏松是一种全身性骨量减少、骨组织微观结构退化、骨脆性增加、骨强度降低的骨代谢性疾病^[2]。它严重地影响着患者的生活质量,患者不仅周身疼痛,还伴有身高降低、驼背、骨折等临床症状。一直以来,对于骨质疏松的治疗主要以药物治疗为主,药物治疗能够在一定程度上缓解骨量丢失,但却无法治愈,且还有一定的毒副作用。近年来,越来越多的研究表明运动对骨质疏松有着一定的防治效果^[3,4]。因此,运动预防骨质疏松也一度成为了研究的焦点。而运动也开始成为了临床治疗骨质疏松的一种辅助手段。但到目前为止,预防骨质疏松的运动方案至今尚未有统一的标准。在《中国人群骨质疏松症防治手册 2013 版》中关于运动防治骨质疏松方法的介绍也较为单一^[5],鉴于此,我们组织多名运动与骨代谢领域的专家,结合近年来国内外相关研究,共同研讨并撰写运动防治骨质疏松专家共识,为骨质疏松风险人群及医学工作者提供防治骨质疏松的运动方案及理论基础。

1 运动防治骨质疏松的机制

1.1 机械应力对骨骼的刺激作用

机械应力引起骨的应答以及骨功能性适应外力的能力早在 19 世纪末已被发现^[6]。机体在运动过程中地面的反作用力、不同肌肉、肌腱间相互牵拉产生的拉力、切力以及挤压力均能对骨骼产生一定的刺激,这些机械应力提高了骨的强度及生物力学特性。体外研究已证实多种骨细胞如成骨细胞、骨髓干细胞均可以对内环境中各种机械力的刺激作用进行应答从而产生各种生物学效应^[7]。适宜的机械应力能够促进骨形成,提高骨密度,从而预防骨质疏松。Calendo 等报道,肌肉活动增加能促进骨形成,提高绝经后妇女腰椎骨密度 0.5%~0.7%,髌部骨密度 0.8%~0.9%^[8]。在一定的范围内,机械应力刺激越大,越能促进骨骼生长。高冲击力项目的运动员比低冲击力项目运动员及静坐对照组拥有更高的骨密度以及断面系数^[9,10],球拍类项目的运动员优势臂比对侧臂有更高的骨密度及断面系数^[11,12]。

相反,没有机械应力的刺激,机体骨量会逐渐流失。有研究报道,长期卧床及航空飞行可以引起人体骨密度的降低^[12,13]。

1.2 运动诱导激素的变化对骨代谢的影响

激素与骨代谢有着密切的关系,已有大量研究表明,雌二醇、甲状旁腺素、糖皮质激素等参与骨代谢的调节^[14,15]。其中雌激素水平下降是导致中老年女性尤其是绝经后妇女骨质疏松的主要原因之一。鉴于此,激素替代疗法曾被广泛地用于中老年女性骨质疏松的临床治疗当中,但长期应用激素易导致子宫癌等生殖系统疾病^[16]。而适宜的运动不仅能够产生机械刺激促进骨形成,还能调节机体内分泌系统,提高机体雌激素的水平,进而起到预防及治疗骨质疏松的作用。大量的研究表明,运动能够提高机体的雌激素水平,其影响程度与运动强度及运动量有关^[17]。Bentz 等报道,体力活动能够增加绝经前期妇女雌激素的分泌,且体力活动水平越高,雌激素分泌越多^[18]。Alma 等让长期静坐的健康年轻女性随机分为运动组及静坐对照组,运动组进行 30 分钟中等强度到大强度有氧运动,每周 5 次,持续 16 周,结果发现运动组雌激素代谢产物 2-OHE1/16a-OHE1 显著增加,两组间 2-OHE1/16a-OHE1 变化有显著性差异,这种差异甚至持续到运动干预后^[19]。

1.3 运动对骨代谢信号通路的调节作用

大量研究证明,Wnt/ β -catenin、BMP/Smads、OPG/RANK/RANKL 等信号通路在骨代谢中发挥着重要的调节作用^[20]。这些信号通路调节骨形成与骨吸收之间的动态平衡,共同维持骨代谢的稳定。国内外的研究均表明,适宜的体育锻炼能够上调 Wnt、BMP、OPG/RANK/RANKL 等信号通路中关键因子的表达,有利于骨形成,进而促进骨骼生长发育。此外,这些信号通路上的关键因子还能与一些细胞因子协同作用,共同调节骨代谢。Bishop 等报道,IL-6、IL-1、TNF- β 等免疫细胞因子均能通过 OPG/RANKL/RANK 通路调节骨代谢^[21]。如 IL-6 能直接激活破骨细胞分化^[22],促进 RANKL 的表达间接提高破骨细胞的活性。IFN- γ 能诱导 RANK 衔接蛋白快速降解,通过 RANKL-RANK 通路来抑制

破骨细胞生成^[23]。IL-4 及 IL-13 能够通过 STAT6 通路上调 OPG 的表达,从而抑制骨吸收^[24]。

1.4 运动对青少年骨峰值量积累的促进作用

青少年时期处于生长发育的高峰期,成年人 90% 以上的骨量是在青春期结束前积累的^[25],因此,青少年时期的骨密度水平对成年后骨峰值及骨质疏松发病率有着重要影响^[26]。适宜的运动能够促进青少年的骨骼发育,提高骨量、骨密度、骨宽度等骨形态学指标,为成年后高骨峰值的获得及骨质疏松的预防奠定基础^[27]。国外许多研究报道,增加学校体育课程课时可以作为提高青少年骨骼健康的主要方法,研究者让试验组学生在上学期间每天参与 40 min 的体育课程,而对照组参与体育课程的时间平均为每周 60 min,经过 3 年、4 年、5 年的干预,试验组在腰椎、股骨颈、胫骨等部位的骨量及骨密度均显著高于对照组^[28-30]。McKay 等研究也表明,试验组小学生在参与学校体育课程(每周 2 次,每次 40 min)的基础上进行每天 3 组,每组 10 次的下蹲跳,分别在学校早铃、午铃及晚铃响起时进行,平均每周下蹲跳 90 ± 34 次(除去法定假日、周末及缺课时间),8 个月后,试验组股骨近端及转子间骨量显

著高于只参与学校体育课程的对照组^[25]。

2 不同运动项目对骨质疏松的防治效果研究

2.1 有氧运动

有氧运动是指以糖和脂肪有氧代谢供能为主的运动,其提高心肺功能、预防心血管疾病等促进机体健康的作用已被大量研究所证实。但在骨质疏松的预防上,不同研究所持观点并不一致。综合国内外研究,我们发现,在一定的负荷范围内,有氧运动预防骨质疏松的效果与其运动强度及运动量成正比。且不同研究由于试验对象、运动方案、检测部位以及检测方法的差异,所得的结论也不尽相同。由表 1 可知,有氧运动能够提高机体腰椎、股骨颈以及跟骨等部位的骨密度,同时在这些有氧运动干预方案中,大部分受试者都完成了试验,由此表明,有氧运动能够有效地防止或延缓骨质流失,其效果主要受到运动方案的影响。其次是易于掌握,有较高的执行性。近期,Alghadir 等报道,每周 3 次,持续 12 周中等强度的有氧训练能够提高 30-60 岁受试者骨密度,增强 OC、BAP 等骨形成标志物的分泌,促进骨形成,有效地防止骨质流失,从而起到预防骨质疏松的效果^[31]。

表 1 有氧运动对骨密度的影响

Table 1 Effects of aerobic exercise on bone mineral density

研究者	试验对象及分组	运动方案	结果
Hatori 等 ^[32]	35 名绝经后妇女,45-67 岁,33 名完成试验,随机分为,HI 运动组: n = 12; MI 运动组: n = 9; 对照组: n = 12	草地上步行,每次 30 min,每周 3 次,HI 运动组心率在无氧阈之上,MI 运动组心率在无氧阈之下,持续 7 个月	腰椎骨密度* HI 运动组: 1.1% MI 运动组: -1.0% 对照组: -1.7%
Brooke-Wavell 等 ^[33]	84 名绝经后妇女,60-70 岁,78 名完成,随机分成运动组: n = 38; 对照组: n = 40	自由健步走,持续 12 个月,第四个月开始平均每天 20 min(每两周 280 min),平均心率在 110 次/分	腰椎骨密度 运动组: 0.6%, 对照组: -0.5% 股骨颈骨密度 运动组: 1.9%, 对照组: 1.3% 跟骨骨密度* 运动组: 0.2%, 对照组: -1.9%
Huuskonen 等 ^[34]	140 名男性,53-62 岁,第 2 年有 136 名参与测试,第 4 年有 132 名参与测试 运动组: n = 70; 对照组: n = 70	渐进式健步走,每周 3 天,前 3 个月每天运动 30-45 min,此后每周 5 天,每次 60 min,强度为 40-60% VO ₂ max,持续 4 年	两组间各部位骨密度均未出现显著性差异
Yamazaki 等 ^[35]	50 名绝经后妇女,49-75 岁,伴有骨量减少及骨质疏松症状,未接受雌激素替代治疗,最后对 42 名进行测试 运动组: n = 27; 对照组: n = 15	户外步行,心率大致对应 50% VO ₂ max 下的心率,每周 4 天(平均每周 4.2 天),每次至少运动 1 小时,持续 12 个月	腰椎骨密度* 运动组: $1.7 \pm 0.9\%$ 对照组: $-1.9 \pm 0.8\%$
Alghadir 等 ^[31]	65 名健康志愿者,男 36 名,女性 29 名,30-60 岁	12 周中等强度的有氧训练,每周 3 次	OC、BAP、血钙及骨密度均显著上升,DPD 显著下降

注: HI: high intensity 高强度; MI: moderate intensity 中等强度; * 表示两组间有显著性差异。OC: osteocalcin,骨钙素; BAP: bone specific alkaline Phosphatase,骨特异性碱性磷酸酶; DPD: Deoxypyridinoline,脱氧吡啶诺林。

2.2 渐进抗阻训练

渐进抗阻训练能够增加肌肉的横截面积、肌纤维

数量,从而提高肌肉力量。大量研究表明,抗阻训练能够提高机体的骨密度,防止骨质流失,从而起到预

防骨质疏松的作用。这是因为在进行抗阻力量练习时,肌肉的牵拉力以及重力通过器械传递到骨骼的力量能对骨骼产生一定的刺激,进而促进骨形成。由表 2 可知,渐进抗阻训练能够提高受试者股骨颈、腰椎、

大转子等部位的骨密度,能有效地预防骨质疏松。但是抗阻训练在执行过程中较容易出现急性损伤,使得少数受试者无法继续坚持,其次是渐进抗阻训练执行难度相对较大,难以长期坚持,执行率较低。

表 2 抗阻训练对骨密度的影响

Table 2 Effects of resistance exercise on bone mineral density

研究者	试验对象及分组	运动方案	结果
Nelson 等 ^[6]	40 名绝经后妇女,50-70 岁,未接受雌激素治疗,39 名完成试验,运动组: n=20,对照组: n=19 运动组中 7 人出现肌肉损伤但最终完成方案	在监督指导下进行 80% 1 RM 的下肢力量练习,腰腹练习,每组 8 次,3 组,每周两天,每次锻炼持续 45min,持续 12 个月	股骨颈骨密度* 运动组: 0.9%, 对照组: -2.5% 腰椎骨密度* 运动组: 1.0%, 对照组: -1.8% 全身骨密度 运动组: 0.0%, 对照组: -1.2%
Sinaki 等 ^[7]	96 名绝经前期妇女,30-40 岁,67 名完成试验,运动组: n=32, 对照组: n=35, 第三年运动方案执行率为 48%, 3 人受伤退出试验	中等强度的渐进式抗阻训练,每周指导 1 天,家庭自主练习 2 天,通过沙袋、弹力带进行腰部伸展、上肢力量训练,3 × 10 RM,持续 3 年	腰椎骨密度 运动组: 0.6%, 对照组: 0.2% 股骨颈骨密度 运动组: 0.2%, 对照组: 0.0% 大转子骨密度 运动组: 0.6%, 对照组: 0.4%
White ford 等 ^[8]	143 男性,55-80 岁,122 名完成试验,抗阻训练组: n=73 步行组: n=70 运动方案执行率为 71%	渐进式抗阻训练,每周 3 天,每次锻炼 60 min,前 8 周每次 3 组,每组完成 15 次,之后按照 3 × 8 RM 进行训练,练习动作: 髋关节前屈、后伸、外展、内收,抬小腿,反握腕弯举,正握腕弯举,肱二头弯曲,反式俯卧撑,前臂旋前、旋后; 步行组: 建议每周运动 3 天,每次步行 30 min,无监督指导,持续 6 个月	髌部骨密度 抗阻训练组: 0.86% # 步行组: 0.86% # 大转子骨密度 抗阻训练组: 2.232% # 步行组: 2.234% #
Marques 等 ^[9]	71 名绝经后妇女,61-83 岁,未接受雌激素治疗,44 名完成试验,抗阻训练组: n=23 有氧运动组: n=24 对照组: n=24 运动方案执行率为 78%	渐进式抗阻训练,每周 3 天,每次 60 min,75-80% 1 RM 强度两组,每组 6-8 次,练习动作: 腿推举,前腿肌伸展,小腿曲伸,髋关节外展,胸部推举,侧平举,肩上推举,仰卧起坐; 有氧运动组: 跳跃,步行,慢跑,舞蹈,有氧健身操,前两个月强度为 50-60% 最大心率,此后为 65-85% 最大心率,持续 8 个月	髌部骨密度 抗阻训练组: 1.6% # 有氧运动组: 0.1% 对照组: -0.8% 大转子骨密度 抗阻训练组: 3.1% # 有氧运动组: 0.5% 对照组: -1.1%
Bemben 等 ^[10]	62 男性及 98 名绝经后妇女,55-74 岁,分成高强度组及低强度组,分别进行每周 2 天及 3 天的训练,最终 45 名男性及 79 名绝经后妇女(其中 75% 的妇女接受雌激素替代治疗)完成测试, 高强度 2 天组: n=31 低强度 2 天组: n=34 高强度 3 天组: n=24 低强度 3 天组: n=35 运动方案执行率为 76%	自行选择训练,每周 2-3 天,每次 60 分钟, 高强度组,3 组,每组 8 次,强度为 80% 1 RM, 低强度组,3 组,每组 16 次,强度为 40% 1 RM 练习动作: 前臂屈伸,肩上推举,侧下拉,坐姿划船,屈膝伸膝,腿部推举,髋关节前屈、后伸、外展、内收,持续 40 周	腰椎骨密度 高强度 2 天组: 1.0% 低强度 2 天组: 0.8% 高强度 3 天组: 0.9% 低强度 3 天组: 0.3% 大转子骨密度 高强度 2 天组: 0.9% 低强度 2 天组: 0.4% 高强度 3 天组: 0.8% 低强度 3 天组: 1.5% 髌部骨密度 高强度 2 天组: 0.6% 低强度 2 天组: 0.3% 高强度 3 天组: 0.6% 低强度 3 天组: 0.8%
Nichols 等 ^[11]	14-18 岁女孩,经期正常,随机分为: 抗阻训练组: n=46 对照组: n=21	抗阻训练组: 每周 3 天,每天 30~45 min,持续 15 月。渐进式练习,练习组数从进行 1 组,12~14 次练习逐渐过渡到 3 组 9~10 次练习。强度为 10RM	股骨颈密度 抗阻训练组: 3.67% # 对照组: 1.35% 全身骨密度 抗阻训练组: 2.81% 对照组: 1.62%

注: * 表示组间有显著性差异, # 表示组内实验前后有显著性差异

2.3 冲击性运动

冲击性运动是指在运动过程中受力瞬间受力点

对机体产生冲击性反作用力的运动,如跳跃后落地瞬间地面的反作用力或球拍击球瞬间击球点的反作

用力等。这些反作用力的冲击能刺激骨骼,从而促进骨形成,防止骨质流失。有报道,高冲击力项目的运动员比低冲击力项目运动员及静坐对照组拥有更高的骨密度以及断面系数^[9, 10],球拍类项目的运动员优势臂比侧臂有更高的骨密度及断面系

数^[11, 12]。由表 3 可知,冲击性运动能够提高绝经前期、绝经后女性髌部、股骨、胫骨、股骨颈、大转子等部位的骨密度,防止骨质流失,从而达到预防及治疗骨质疏松的效果。

表 3 冲击性运动对骨密度影响

Table 3 Effects of intensive exercise on bone mineral density

研究者	试验对象及分组	运动方案	结果
Sugiyama 等 ^[4]	67 名绝经前期妇女及早期绝经后妇女(绝经 5 年内),56 名完成实验,44-55 岁,绝经前期运动 1 组: n=14,对照 1 组: n=16 绝经后妇女运动 2 组: n=13,对照 2 组: n=13 运动组中绝经前期妇女运动方案执行率为 75%,绝经后妇女为 82%	非随机分组,跳绳练习,每周 2-3 天,每天跳绳 100 下,持续 6 个月,共完成 60 组练习	髌部骨密度* 运动 1 组: 1.6%,对照 1 组: -0.1% 运动 2 组: 0.7%,对照 2 组: -0.4% 股骨颈骨密度* 运动 1 组: 2.4%,对照 1 组: -0.8% 运动 2 组: 0.7%,对照 2 组: -1.1%
Vainionpää 等 ^[43, 44]	120 名绝经前期妇女,35-40 岁,80 名完成实验,随机分为: 运动组: n=39 对照组: n=41 运动方案执行率为 90%	随机分组,监督指导下进行渐进冲击性运动 60 min,包括 10 min 热身运动,40 min 冲击性踏步、跳跃、跑步及步行,10 min 放松运动。每周 3 天,以及日常的冲击性活动 10 min,3 个月后增加强度	股骨颈骨密度* 运动组: 1.1%,对照组: -0.4% 小转子骨密度* 运动组: 0.8%,对照组: -0.2% 髌部骨密度* 运动组: 0.1%,对照组: -0.3% 大转子骨密度* 运动组: 1.1%#,对照组: 0.1%
Bailey 等 ^[45]	85 名绝经前期妇女,64 名完成实验,随机分成: 运动 7 天组: n=16,34.6±7.9 岁,运动 4 天组: n=13,32.2±10.0 岁,运动 2 天组: n=16,30.7±7.4 岁,对照组: n=19,32.9±9.4 岁,运动 7 天组方案执行率为 73%,4 天组为 59%,2 天组为 76%	渐进式冲击性运动,多方向单足跳,每次 5 组,每组 10 个单足跳,每次跳跃间歇 15s,持续 6 个月	股骨颈骨密度* 运动 7 天组: 1.8% 运动 4 天组: 0.9% 运动 2 天组: 0.0% 对照组: -0.3% * 运动 7 天组 > 运动 2 天组及对照组
Niu 等 ^[46]	91 名绝经前期妇女,67 名完成实验,随机分为: 运动组: n=34,39.7±1.2 岁 对照组: n=33,38.1±1.2 岁	运动组进行渐进式冲击性运动,每周 3 天,每次 5 组,纵跳 10 下,每月指导监督 4 次,对照组进行拉伸及平衡训练,持续 12 个月	股骨颈骨密度* 运动组: 0.6%,对照组: -1.0% 腰椎骨密度* 运动组: 0.8%#,对照组: 0.2%
Fuchs 等 ^[47]	5.8-9.8 岁的小学生,随机分为: 跳跃组: n=44 对照组: n=45 运动场地为木质地板	渐进性跳跃运动,每周 3 次,每次持续 10 min,前 4 周,跳跃组从每组 50 下(无箱子)过渡到每组 80 下(有箱子),第 5 周从 61 cm 高的箱子双足跳下,每次跳 100 下,持续 7 个月的,对照组进行无冲击性的伸展运动	与对照组相比 跳跃组: 腰椎骨量增加 3.1%,骨密度增加 2.0%,股骨颈骨量增加 4.5%
McKay 等 ^[48]	试验组由 51 名 10 岁左右的小学生组成,对照组由 71 名同龄的小学生组成,两组均参与学校体育课程(每周两次,每次 40 min)	试验组在参与体育课程的基础上每天进行 3 组下蹲跳,每组 10 下,分别在学校早铃、午铃及晚铃响起时进行,平均每周下蹲跳 90±34 次,持续 8 个月	试验组在股骨近端及转子间骨量较对照组显著增加

注: * 表示组间有显著性差异, # 表示组内实验前后有显著性差异

2.4 负重运动

负重运动形式较多,可以是抗阻训练(如负重蹲起、挺举等)或是在有氧运动及冲击性运动的基础上进行额外负重,以增加运动的强度,对机体骨骼形成更大的刺激。国外有报道,绝经后女性每周 3 次的负重或者哑铃训练并适当补钙,一年后股骨颈、转子间及脊柱的骨密度均有所提高,而单纯的雌激素治疗组则无明显变化^[49]。在骨质疏松的预防与治疗上,负重运动运动强度相对较大,易出现急性运动损伤或积累性的运动损伤,因此更适用于预防,适宜具备一定运动基础的锻炼者。

2.5 民族传统健身运动

我国的民族传统健身运动有着悠久的历史,种类繁多,有太极、五禽戏、八段锦等,长期练习太极等传统养生功法对于身体机能的促进有着积极的作用。以太极拳为例,太极拳中很多动作对下肢骨有着一定的刺激作用,因此大多数太极拳练习者都有良好的平衡能力。大量研究表明,太极拳等传统健身运动能够促进骨形成,防止骨质流失,对于预防骨质疏松有着一定的效果^[49, 50]。Shen 等报道,对绝经后女性进行太极拳练习干预可以提高机体骨特异性碱性磷酸酶(BAP)以及甲状旁腺激素水平,有利于

骨生成^[5]。国内也有报道,易筋经、八段锦、五禽戏以及六字诀能够显著提高绝经女性桡骨、尺骨远端以及腰椎骨密度以及血清碱性磷酸酶(ALP),降低尿脱氧吡啶啉排泄率^[5]。五禽戏可以使老年性骨质疏松患者的腰椎骨密度明显增加,并改善腰背痛,对原发性骨质疏松的防治效果显著^[5]。太极柔力球也能改善围绝经期及绝经后女性的骨代谢指标,延缓骨质流失^[54,55]。

2.6 组合式运动

组合式运动是指由两种或两种以上的运动方式

组合而成的运动项目,如采用有氧运动+抗阻运动、冲击量运动+太极拳等。其特点是运动项目丰富,既能全面提升身体素质,又能针对性地提高某个部位的骨密度。组合式运动适用于各类人群,它能促进机体的肌肉力量、平衡能力、协调能力以及心肺功能等身体机能指标,从而提高机体的运动能力,使锻炼者能更好地接受并完成下一阶段的运动方案,形成良性循环,使运动的成骨效应达到最大化。大量研究表明,组合式运动能显著提高受试者的骨密度,有效预防骨质疏松。(如表4)

表4 组合式运动对骨密度的影响

Table 4 Effects of combining exercise on bone mineral density

研究者	试验对象及分组	运动方案	结果
Kukuljan 等 ^[54]	180 名男性,50~79 岁,175 名完成试验,随机分为: 运动+牛奶组:n=45 运动组:n=46 牛奶组:n=45 对照组:n=44 运动方案执行率为 67%	持续 12 月,渐进性运动,部分监督指导,每周 3 天,每次 60~75 min,12 周为 1 期,共 4 期。 抗阻力训练及冲击性运动,上下半身的抗阻力练习主要集中在髋部及脊柱,第一期的方案为:3 组,每组 15~20 次,强度为 50~60% 1 RM,此后方案为 2 组,每组 8~12 次,强度为 60~85% 1 RM。 冲击性运动为 90~180 次,次数、速度以及分配的增多可以通过跳跃的高度及更多复杂的动作来调整(反作用力=1.5~9.7×体重)	股骨颈骨密度 运动+牛奶组:1.4% [#] 运动组:1.7% [#] ,牛奶组:-0.4% 对照组:-0.2% 髌部骨密度 运动+牛奶组:1.1% [#] 运动组:1.2% [#] ,牛奶组:1.2% 对照组:0.5% 腰椎骨密度 运动+牛奶组:2.0% [#] 运动组:2.1% [#] ,牛奶组:2.1% [#] 对照组:0.6%
Kemmler 等 ^[55]	246 名绝经后妇女,≥65 岁,227 名完成试验,随机分为: 运动组:n=115 对照组:n=112 运动方案执行率为 82%,每天摄入钙 1500 mg,Vit D 500 IU	18 月,渐进性运动,每周 60 min 的监督指导训练及两天(各 20 min)在家自主训练,运动组:20 min 热身运动、20 min 大强度有氧舞蹈(70~85% 最大心率)、5 min 静力性及动力性平衡训练、功能性体操、等长力量训练、上身动态抗阻训练以及下身负重运动。家庭自主训练主要以力量训练及柔韧训练为主	腰椎骨密度* 运动组:1.8% 对照组:0.3% 股骨颈骨密度* 运动组:1.0% 对照组:-1.1%
Marques 等 ^[56]	60 名绝经后妇女,63~83 岁,49 名完成试验,随机分为: 运动组:n=30 对照组:n=30 运动方案执行率为 72%	渐进性运动,监督指导,每周 2 天,每次 60 min,包括 10 min 热身运动、15 min 中等到大强度的负重运动(前行、15 cm 高踏板踏步、1.7 倍体重的反作用力脚后跟前行、1.8 倍体重原地踏步、2.7 倍体重脚后跟着地)、10 min 肌肉耐力训练(下半身负重、上半身用弹力带或哑铃)、10 min 静力性及动力性平衡训练、10 min 敏捷训练以及 5 min 拉伸,持续 8 个月	股骨颈骨密度* 运动组:2.8% 对照组:-0.7% 腰椎骨密度 运动组:1.3% 对照组:-0.6%
Bolton 等 ^[57]	39 名绝经后妇女伴有髌部骨量减少,37 名完成,随机分成 对照组:n=19,60.3±5.6 岁 运动组:n=18,56.3±4.7 岁 运动方案执行率为 88%,每天摄入钙 600 mg/d	持续 12 个月,部分监督指导,每周 3 天,每次 60 分钟,4×3 个月渐进性运动,10 分钟热身运动、10 分钟放松运动、40 min 抗阻训练(2 组×8 RM,每组 12 次快速完成)、冲击性及平衡练习。 3 个月后增加家庭日常训练,3 组,每组 10 次跳跃	髌部骨密度* 对照组:0.5% 对照组:-0.9% 其他部位无显著差异
Bradney 等 ^[58]	8.4~11.8 岁男孩,随机分为: 运动组:n=20, 对照组:n=20	利用课余时间进行非渐进性的组合式运动,由一名体育老师监督指导,每周 3 次,每次 30 min,持续 8 个月,运动方案包含:有氧运动、足球、排球、舞蹈、体操、篮球、举重	与对照组比较,运动组全身面积骨密度增加 1.2%、腰椎面积骨密度 2.8%、股骨中段骨密度增加 5.6%,其他部位无显著差异
Lofgren 等 ^[59]	7~9 岁小学生 试验组:n=121 对照组:n=110	试验组学生在上学期间每天参与 40 min 的体育课程,持续 4 年,对照组参与体育课程的时间平均为每周 60 min	与对照组比较,试验组男孩、女孩腰椎骨量各增加 3.3%、7%,股骨颈宽度各增加 0.6%、1.7%

注:*表示组间有显著性差异,#表示组内实验前后有显著性差异

2.7 振动训练

振动训练是一种新兴的训练方法,目前在运动训练、康复理疗、航空等领域均得到广泛应用^[61,62]。相对于其他运动方式,全身振动训练具有简单、效果显著、训练方案可控性高等特点^[63,64]。全身振动训练的高频机械刺激能以相对较小的负荷达到较好的训练效果^[65]。已有研究表明,振动训练能够促进骨质生长,增强骨骼形态和强度,是预防及治疗骨质疏松的有效手段^[66,67]。Lai 等报道,绝经后妇女每天接受 1 次 5 min 高频(30 Hz)高强度(3.2 g)的站姿全身振动刺激,每周 3 次,为期 6 个月,试验后试验组腰椎骨密度增高 2.032%,而对照组腰椎骨密度降低 0.046%^[68]。Rubin 等的研究也表明,全身振动训练(每天 2 次,每次 10 min,振幅 2 m/s,频率 30 Hz)可以减少绝经后女性骨密度下降,从而防治骨质疏松^[69]。Lam 等也通过研究证明,全身振动

治疗可以显著提高青春期特发性脊柱侧凸患者患侧股骨颈骨密度和腰椎骨矿含量^[70]。需要注意的是,20 Hz 以下的振动频率容易引发机体产生共振现象,影响机体健康。Mester 等报道,振幅 0.5 mm、频率 20 – 25 Hz 的全身振动将导致人体不适^[71]。Cardinale 的研究也表明,振动加速度过大,振动时间过长也会引发不良反应。应将振动频率设置为 30 Hz 以上,依据个人情况严格控制好强度及时间^[72]。由于振动训练需要借助仪器,因此振动训练目前对普通大众而言,其普及率及使用率仍处于一个较低的水平。

2.8 不同类型运动防治骨质疏松的特点

不同的运动均具有一定的成骨效应,这种积极作用与运动项目特点、强度以及运动量密切相关。在综合相关研究的基础上,我们总结出不同类型运动预防骨质疏松的特点及干预效果,详情见表 5。

表 5 不同类型运动防治骨质疏松效果一览表

Table 5 The effect of different types of exercise on bone mineral density

	适用人群	特点	推荐项目	防治效果	作用部位
有氧运动	各类人群	运动强度适中,运动项目丰富,难度低,执行率高,不易受伤	骨质疏松患者:步行、快走、自行车、广场舞等	较弱,生理范围内效果与运动负荷成正比	腰椎、股骨颈、跟骨等
渐进抗阻训练	正常人群,轻度骨质疏松人群	需器械,易出现肌肉损伤,执行率低,难度大	核心肌群训练,局部抗阻训练	较强	股骨颈、腰椎、大转子等
冲击性运动	正常人群,轻度骨质疏松人群	以跳跃性项目为主,形式多样,效果强,但较难掌控	跳绳、踏板操、单足跳等	强	髌部、股骨、胫骨、股骨颈、大转子等
负重运动	具备一定运动基础的人群,不适于骨质疏松人群	容易出现过度运动,形成累积性疲劳,但效果显著	负重蹲起、负重跑,负重踏步等	强	腰椎、股骨颈、大转子、胫骨、跟骨等
民族传统健身运动	各类人群	种类丰富,极少出现运动损伤,具有养生保健功效	太极拳、五禽戏、八段锦、易筋经	较强	桡骨、尺骨远端、腰椎骨等
组合式运动	各类人群	运动方式多样化,可根据个人情况选择最优方案	有氧+抗阻训练,太极+抗阻训练	强	腰椎、股骨颈、大转子、胫骨、跟骨等
振动训练	各类人群	仪器要求高,负荷强度可控性高,普及率较低	站姿全身振动训练等	强	腰椎、股骨颈等

注:所有运动都须遵循循序渐进原则,由专业人士进行定期指导、评估,严重骨质疏松者避免脊柱前屈动作及高冲击力项目

3 骨质疏松运动处方的制定

3.1 制定原则

在结合美国运动医学学会(ACSM)相关建议的基础上,我们认为骨质疏松运动处方的制定应遵循以下原则:

1) 特殊化及个人化原则:运动训练的机械负荷必须要针对目标区域的骨骼,即区域特殊化。其次,

应根据个体实际情况设计相应的运动处方,将运动效果最大化;

2) 超负荷及循序渐进原则:运动处方的负荷量需要超过日常体力活动的负荷,当骨骼开始适应给予的既定负荷刺激后,需要循序渐进地增加负荷;

3) 持之以恒原则:停止运动后,运动促进骨骼的积极效应也将减弱或消失,因此,必须持之以恒才能真正地预防、治疗骨质疏松;

4) 医务监督原则: 在进行运动干预之前, 应进行全面体检以了解身体的健康水平, 在运动处方执行的过程中应定期进行专业指导及效果评估, 根据个人实际及时调整方案。

3.2 具体方案

3.2.1 老年性骨质疏松防治方案: 老年性骨质疏松

症为 II 型原发性骨质疏松, 一般是指发生在 65 岁以上女性(国外为 70 岁) 和 70 岁以上男性身上的骨质疏松症。根据老年性骨质疏松症的临床特征, 我们将运动方案分为预防方案及治疗方案, 详情如表 6、7。

表 6 中老年人老年性骨质疏松运动预防方案

Table 6 Exercise program for the prevention of senile osteoporosis in the middle-aged and the elderly

阶段及对应人群	推荐项目	具体方案
初级阶段(第 1~3 月): 长期静坐者、无锻炼经验、体质较差者等, 初级阶段持续时间视个体情况而定	A 类: 步行、快走、自行车 B 类: 踏板操、单足站立 C 类: 太极、八段锦、五禽戏	根据个人爱好选择以下两种方式之一(以下同): ①从 A、B 类中的各选择一项运动项目, 每周 3 天, 每次 20~40 min; ②C 类每周 4~6 天, 若配合 A、B 类运动时适当减少时间, 每天运动时间控制在 30~60 min, 心率控制在 55~65% 最大心率
中级阶段(第 4~9 月): 完成初级阶段或有锻炼习惯的人群	A 类: 快走、慢跑、自行车 B 类: 踏板操、单足站立、低强度抗阻训练(弹力带) C 类: 太极、八段锦、五禽戏、太极柔力球	①A、B 类中的各选择一项运动项目, 每周 3 天, 每次 30~45 min, 低强度抗阻训练主要利用弹力带进行髋部前屈、后伸、外收内展, 每个动作 3 组, 每组 8~15 次。②C 类每周 5~6 天, 若配合 A、B 类运动时适当减少时间, 每天运动时间控制在 40~60 min, 心率控制在 55~75% 最大心率
高级阶段(第 10~12 月): 完成中级阶段或有一定运动基础并体质良好的人群	A 类: 快走、慢跑、自行车 B 类: 负重踏板操(负重 4~8% 体重)、单足站立、低强度抗阻训练(弹力带) C 类: 太极、八段锦、五禽戏、太极柔力球	①A、B 类中的各选择一项运动项目, 每周 4 天, 每次 30~45 min。②C 类每周 6 天, 若配合 A、B 类运动时适当减少时间, 每天运动时间控制在 40~70 min, 心率控制在 60~80% 最大心率

注: 运动前须进行体检确定是否适宜上述运动项目, 每次运动以不产生疲劳或轻度疲劳为宜, 每次运动前后各做 10 min 的热身运动及放松运动。初级阶段由专业人士指导, 每周至少一次会谈(面谈或其他形式的交流皆可), 每月进行健康教育及评估, 达标后可加入下一阶段的训练

表 7 老年性骨质疏松运动治疗方案

Table 7 Treatment protocol of exercise for senile osteoporosis

阶段及对应人群	推荐项目	具体方案
初级阶段(第 1~3 月): 老年性骨质疏松患者	A 类: 步行 B 类: 踏板操 C 类: 太极、八段锦、五禽戏	根据个人爱好选择以下两种方式之一(以下同): ①从 A、B 类中的各选择一项运动项目, 每周 3 天, 每次 20~30 min; ②C 类每周 4~6 天, 若配合 A、B 类运动时适当减少时间, 每天运动时间控制在 30~50 min, 心率控制在 50~65% 最大心率
中级阶段(第 4~9 月): 完成初级阶段且骨量流失停止或减缓的老年性骨质疏松患者	A 类: 快走、步行 B 类: 踏板操、单足站立 C 类: 太极、八段锦、五禽戏	①A、B 类中的各选择一项运动项目, 每周 3 天, 每次 30~40 min; ②C 类每周 4~6 天, 若配合 A、B 类运动时适当减少时间, 每天运动时间控制在 40~60 min, 心率控制在 55~70% 最大心率
高级阶段(第 10~12 月): 完成初级阶段且骨密度增加、骨量不再减少的老年性骨质疏松患者	A 类: 快走、步行、广场舞 B 类: 踏板操、单足站立、低强度抗阻训练(弹力带) C 类: 太极、八段锦、五禽戏、太极柔力球	①A、B 类中的各选择一项运动项目, 每周 4 天, 每次 30~40 min。②C 类每周 6 天, 若配合 A、B 类运动时适当减少时间, 每天运动时间控制在 40~60 min, 心率控制在 60~75% 最大心率

注: 运动前须进行体检确定是否适宜上述运动项目, 每次运动以不产生疲劳或轻度疲劳为宜, 每次运动前后各做 10 min 的热身运动及放松运动。初级阶段由专业人士指导, 每周至少一次会谈, 每月进行健康教育及评估, 达标后可加入下一阶段的训练

3.3.2 绝经性骨质疏松防治方案: 绝经后骨质疏松症属于原发性 I 型骨质疏松症, 即高转换型骨质疏松症。易发生骨折部位主要集中在椎体、桡骨远端以及髌部等部位。根据绝经后骨质疏松症的临床特征, 我们将运动方案分为预防方案及治疗方案, 详情如表 8、9。

3.3.3 青少年骨骼健康运动方案: 青少年时期处于

生长发育的高峰期, 成年人 90% 以上的骨量是在青春期结束前积累的^[23], 此时的骨密度水平对成年后骨峰值及骨质疏松发病率有着重要影响^[24]。运动是促进青少年骨骼健康的有效方法, 鉴于此, 在结合我国青少年发育特点及国内外相关研究的基础上, 我们制定了青少年骨骼健康运动方案, 详情如表 10。

表 8 中年女性绝经性骨质疏松运动预防方案

Table 8 Prevention protocol of exercise for postmenopausal osteoporosis

阶段及对应人群	推荐项目	具体方案
初级阶段(第 1~3 月): 长期静坐者、无锻炼经验、体质较差者、绝经前期及绝经后期女性等, 初级阶段持续时间使个体情况而定	A 类: 步行、快走、自行车 B 类: 踏板操、单足站立、有氧舞蹈 C 类: 太极、八段锦、五禽戏	根据个人爱好选择以下两种方式之一(以下同): ①A、B 类中的各选择一项运动项目, 每周 3 天, 每次 20~40 min; ②C 类每周 4~6 天, 若配合 A、B 类运动时适当减少时间, 每次运动总时间控制在 30~60 min, 心率控制在 55~70% 最大心率
中级阶段(第 4~9 月): 完成初级阶段或有锻炼习惯的人群	A 类: 快走、慢跑、自行车、有氧舞蹈 B 类: 踏板操、单足站立、低强度抗阻训练(弹力带、小哑铃) C 类: 太极、八段锦、五禽戏、太极柔力球	①A、B 类中的各选择一项运动项目, 每周 3 天, 每次 30~45 min, 低强度抗阻训练主要使用弹力带进行腕部前屈、后伸、外收内展, 使用小哑铃进行正握、反握弯举, 每个动作 3 组, 每组 8~15 次; ②C 类每周 5~6 天, 若配合 A、B 类运动时适当减少时间, 每天总运动时间控制在 40~60 min, 心率控制在 60~75% 最大心率
高级阶段(第 10~12 月): 完成中级阶段或有一定运动基础并体质良好的人群	A 类: 快走、慢跑、自行车、羽毛球、网球、有氧舞蹈 B 类: 负重踏板操、单足站立、低强度抗阻训练(弹力带、小哑铃)、跳绳 C 类: 太极、八段锦、五禽戏、太极柔力球	①A、B 类中的各选择一项运动项目, 每周 4 天, 每次 30~50 min。跳绳每次 100 下, 分 1~3 组完成, 负重踏板操负重 4~8% 体重; ②C 类每周 6 天, 若配合 A、B 类运动时适当减少时间, 每天总运动时间控制在 40~80 min, 心率控制在 65~85% 最大心率

注: 运动前须进行体检确定是否适宜上述运动项目, 每次运动以不产生疲劳或轻度疲劳为宜, 每次运动前后各做 10 min 的热身运动及放松运动。初级阶段由专业人士指导, 每周至少一次会谈, 每月进行健康教育及评估, 达标后可加入下一阶段的训练

表 9 绝经性骨质疏松运动治疗方案

Table 9 Treatment protocol of exercise for postmenopausal osteoporosis

阶段及对应人群	推荐项目	具体方案
初级阶段(第 1~3 月): 绝经性骨质疏松患者	A 类: 步行、快走 B 类: 踏板操、单足站立 C 类: 太极、八段锦、五禽戏	根据个人爱好选择以下两种方式之一(以下同): ①A、B 类中的各选择一项运动项目, 每周 3 天, 每次 20~40 min; ②C 类每周 4~6 天, 若配合 A、B 类运动时适当减少时间, 每次运动总时间控制在 30~50 min, 心率控制在 55~65% 最大心率
中级阶段(第 4~9 月): 完成初级阶段且骨量流失停止或减缓的绝经性骨质疏松患者	A 类: 快走、有氧舞蹈 B 类: 踏板操、单足站立、 C 类: 太极、八段锦、五禽戏	①A、B 类中的各选择一项运动项目, 每周 3 天, 每次 30~45 min; ②C 类每周 5~6 天, 若配合 A、B 类运动时适当减少时间, 每天总运动时间控制在 40~60 min, 心率控制在 55~70% 最大心率
高级阶段(第 10~12 月) 完成初级阶段且骨密度增加、骨量不再减少的绝经性骨质疏松患者	A 类: 快走、慢跑、有氧舞蹈 B 类: 踏板操、单足站立、低强度抗阻训练(弹力带、小哑铃) C 类: 太极、八段锦、五禽戏	①A、B 类中的各选择一项运动项目, 每周 4 天, 每次 30~50 min, 低强度抗阻训练主要使用弹力带进行腕部前屈、后伸、外收内展, 使用小哑铃进行正握、反握弯举, 每个动作 3 组, 每组 8~12 次; ②C 类每周 6 天, 若配合 A、B 类运动时适当减少时间, 每天总运动时间控制在 40~70 min, 心率控制在 60~80% 最大心率

注: 每次运动以不产生疲劳或轻度疲劳为宜, 每次运动前后各做 10 min 的热身运动及放松运动。初级阶段由专业人士指导, 每周至少一次会谈, 每月进行健康教育及评估, 达标后可加入下一阶段的训练

表 10 青少年骨骼健康运动方案

Table 10 Exercise program for bone health in teenagers

人群	性别	推荐项目	具体方案
小学生: 5~12 岁	男	A 类: 快走、慢跑、踏板操 B 类: 跳远、跳绳、下蹲跳、50 米跑 C 类: 羽毛球、篮球	每周运动 3~5 天, A 类或 C 类每次 30~50 min。B 类中每次 3 组, 跳跃类每组 10~15 下, 跳绳每组 80~120 下, 50 米跑一次一组。平均心率控制在 60~75% 最大心率
	女	A 类: 快走、有氧舞蹈、踏板操、扔沙包 B 类: 跳绳、50 米跑、跳远 C 类: 羽毛球、踢毽子	
中学生: 13~18 岁	男	A 类: 慢跑、健美操、太极 B 类: 100 米跑、实心球、引体向上、下蹲跳、跳远 C 类: 篮球、羽毛球、网球、足球、排球	每周运动 3~6 天, A 类、C 类每次 30~60 min, B 类每次 3 组, 跳跃类每组 12~20 下, 跳绳 100~160 下, 实心球、引体向上每组 6~8 下, 平均心率控制在 60~85% 最大心率
	女	A 类: 慢跑、有氧舞蹈、太极 B 类: 跳远、跳绳、50/100 米跑 C 类: 羽毛球、网球、踢毽子、排球	

注: 每次运动前后各做 5 min 的热身运动及放松运动。建议每次运动时每个类别选择一项, 每周锻炼时间比 C 类:B 类:A 类≈3:1:1

4 小结

运动预防及治疗骨质疏松的效果毋庸置疑,运动方式不同,作用部位及锻炼效果也不相同。值得一提的是,在制定骨质疏松运动处方时不仅要考虑个体差异及目标部位,也需要考虑到身体素质的全面发展,这样才能更好地执行并完成运动方案。在综合国内外相关研究的基础上,结合目标人群及我国大众体育特点,我们设计了预防、治疗老年性骨质疏松与绝经性骨质疏松的运动处方以及青少年骨骼健康运动方案,所涉运动均为大众体育中常见的运动项目,方案难度相对简单。不足之处,请广大同行、医生以及社会体育指导员提出宝贵意见。

【 参 考 文 献 】

- [1] ZHANG Z Q, HO S C, CHEN Z Q, et al. Reference values of bone mineral density and prevalence of osteoporosis in Chinese adults [J]. Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 2014, 25(2): 497-507.
- [2] AHLBORG H G, ROSENGREN B E, JARVINEN T L, et al. Prevalence of osteoporosis and incidence of hip fracture in women—secular trends over 30 years [J]. BMC musculoskeletal disorders, 2010, 11:48.
- [3] ROGHANI T, TORKAMAN G, MOVASSEGHE S, et al. Effects of short-term aerobic exercise with and without external loading on bone metabolism and balance in postmenopausal women with osteoporosis [J]. Rheumatology international, 2013, 33(2): 291-8.
- [4] HOSNY I A, ELGHAWABI H S, YOUNAN W B, et al. Beneficial impact of aerobic exercises on bone mineral density in obese premenopausal women under caloric restriction [J]. Skeletal radiology, 2012, 41(4): 423-7.
- [5] 中国人群骨质疏松症防治手册 2013 版; proceedings of the 第十一届国际骨矿研究学术会议暨第十三届国际骨质疏松研讨会 [C], 中国广东广州, F, 2013.
- [6] BURGERS T A, WILLIAMS B O. Regulation of Wnt/beta-catenin signaling within and from osteocytes [J]. Bone, 2013, 54(2): 244-9.
- [7] RUBIN J, RUBIN C, JACOBS C R. Molecular pathways mediating mechanical signaling in bone [J]. Gene, 2006, 367: 1-16.
- [8] CALENDO L R, TAEYMANS J, ROGAN S. [Does muscle activation during whole-body vibration induce bone density improvement in postmenopausal women? —A systematic review] [J]. Sportverletzung Sportschaden: Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin, 2014, 28(3): 125-31.
- [9] NIKANDER R, SIEVANEN H, HEINONEN A, et al. Femoral neck structure in adult female athletes subjected to different loading modalities [J]. Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research, 2005, 20(3): 520-8.
- [10] BAILEY C A, BROOKE-WAVELL K. Exercise for optimising peak bone mass in women [J]. The Proceedings of the Nutrition Society, 2008, 67(1): 9-18.
- [11] HAAPASALO H, KONTULAINEN S, SIEVANEN H, et al. Exercise-induced bone gain is due to enlargement in bone size without a change in volumetric bone density: a peripheral quantitative computed tomography study of the upper arms of male tennis players [J]. Bone, 2000, 27(3): 351-7.
- [12] DUCHER G, PROUTEAU S, COURTEIX D, et al. Cortical and trabecular bone at the forearm show different adaptation patterns in response to tennis playing [J]. Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry, 2004, 7(4): 399-405.
- [13] LEBLANC A D, SCHNEIDER V S, EVANS H J, et al. Bone mineral loss and recovery after 17 weeks of bed rest [J]. Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research, 1990, 5(8): 843-50.
- [14] KRUM S A. Direct transcriptional targets of sex steroid hormones in bone [J]. Journal of cellular biochemistry, 2011, 112(2): 401-8.
- [15] GENNARI L, MERLOTTI D, NUTI R. Selective estrogen receptor modulator (SERM) for the treatment of osteoporosis in postmenopausal women: focus on lasofoxifene [J]. Clinical interventions in aging, 2010, 5:19-29.
- [16] ROSSOUW J E, ANDERSON G L, PRENTICE R L, et al. Risks and benefits of estrogen plus progestin in healthy postmenopausal women: principal results From the Women's Health Initiative randomized controlled trial [J]. JAMA: the journal of the American Medical Association, 2002, 288(3): 321-33.
- [17] DEVLIN M J. Estrogen, exercise, and the skeleton [J]. Evolutionary anthropology, 2011, 20(2): 54-61.
- [18] BENTZ A T, SCHNEIDER C M, WESTERLIND K C. The relationship between physical activity and 2-hydroxyestrone, 16alpha-hydroxyestrone, and the 2/16 ratio in premenopausal women (United States) [J]. Cancer causes & control: CCC, 2005, 16(4): 455-61.
- [19] SMITH A J, PHIPPS W R, THOMAS W, et al. The effects of aerobic exercise on estrogen metabolism in healthy premenopausal women [J]. Cancer epidemiology, biomarkers & prevention: a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology, 2013, 22(5): 756-64.
- [20] MONROE D G, MCGEE-LAWRENCE M E, OURSLER M J, et al. Update on Wnt signaling in bone cell biology and bone disease [J]. Gene, 2012, 492(1): 1-18.
- [21] BISHOP K A, COY H M, NERENZ R D, et al. Mouse Rankl

- expression is regulated in T cells by c-Fos through a cluster of distal regulatory enhancers designated the T cell control region [1]. The Journal of biological chemistry, 2011, 286 (23): 20880-91.
- [22] SETHI N, DAI X, WINTER C G, et al. Tumor-derived JAGGED1 promotes osteolytic bone metastasis of breast cancer by engaging notch signaling in bone cells [J]. Cancer cell, 2011, 19(2): 192-205.
- [23] TAKAYANAGI H, OGASAWARA K, HIDA S, et al. T-cell-mediated regulation of osteoclastogenesis by signalling cross-talk between RANKL and IFN-gamma [J]. Nature, 2000, 408 (6812): 600-5.
- [24] STEIN N C, KREUTZMANN C, ZIMMERMANN S P, et al. Interleukin-4 and interleukin-13 stimulate the osteoclast inhibitor osteoprotegerin by human endothelial cells through the STAT6 pathway [J]. Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research, 2008, 23(5): 750-8.
- [25] MCKAY H A, MACLEAN L, PETIT M, et al. "Bounce at the Bell": a novel program of short bouts of exercise improves proximal femur bone mass in early pubertal children [J]. British journal of sports medicine, 2005, 39(8): 521-6.
- [26] SUNDBERG M, GARDSSELL P, JOHNNELL O, et al. Peripubertal moderate exercise increases bone mass in boys but not in girls: a population-based intervention study [J]. Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 2001, 12 (3): 230-8.
- [27] MACKELVIE K J, KHAN K M, MCKAY H A. Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? a systematic review [J]. British journal of sports medicine, 2002, 36(4): 250-7. discussion 7.
- [28] DETTER F T, ROSENGREN B E, DENCKER M, et al. A 5-year exercise program in pre- and peripubertal children improves bone mass and bone size without affecting fracture risk [J]. Calcified tissue international, 2013, 92(4): 385-93.
- [29] LOFGREN B, DENCKER M, NILSSON J A, et al. A 4-year exercise program in children increases bone mass without increasing fracture risk [J]. Pediatrics, 2012, 129(6): e1468-76.
- [30] LOFGREN B, DETTER F, DENCKER M, et al. Influence of a 3-year exercise intervention program on fracture risk, bone mass, and bone size in prepubertal children [J]. Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research, 2011, 26(8): 1740-7.
- [31] ALGHADIR A H, ALY F A, GABR S A. Effect of Moderate Aerobic Training on Bone Metabolism Indices among Adult Humans [J]. Pakistan journal of medical sciences, 2014, 30 (4): 840-4.
- [32] HATORI M, HASEGAWA A, ADACHI H, et al. The effects of walking at the anaerobic threshold level on vertebral bone loss in postmenopausal women [J]. Calcified tissue international, 1993, 52(6): 411-4.
- [33] BROOKE-WAVELL K, JONES P R, HARDMAN A E. Brisk walking reduces calcaneal bone loss in post-menopausal women [J]. Clinical science, 1997, 92(1): 75-80.
- [34] HUUSKONEN J, VAISANEN S B, KROGER H, et al. Regular physical exercise and bone mineral density: a four-year controlled randomized trial in middle-aged men. The DNASCO study [J]. Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 2001, 12 (5): 349-55.
- [35] YAMAZAKI S, ICHIMURA S, IWAMOTO J, et al. Effect of walking exercise on bone metabolism in postmenopausal women with osteopenia/osteoporosis [J]. Journal of bone and mineral metabolism, 2004, 22(5): 500-8.
- [36] NELSON M E, FIATARONE M A, MORGANTI C M, et al. Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. A randomized controlled trial [J]. JAMA: the journal of the American Medical Association, 1994, 272(24): 1909-14.
- [37] SINAKI M, WAHNER H W, BERGSTRALH E J, et al. Three-year controlled, randomized trial of the effect of dose-specified loading and strengthening exercises on bone mineral density of spine and femur in nonathletic, physically active women [J]. Bone, 1996, 19(3): 233-44.
- [38] WHITE FORD J, ACKLAND TR, DHALIWAL S S, et al. Effects of a 1-year randomized controlled trial of resistance training on lower limb bone and muscle structure and function in older men [J]. Osteoporosis International, 2010, 21(9): 1529-36.
- [39] MARQUES E A, WANDERLEY F, MACHADO L, et al. Effects of resistance and aerobic exercise on physical function, bone mineral density, OPG and RANKL in older women [J]. Experimental gerontology, 2011, 46(7): 524-32.
- [40] BEMBEN D A, BEMBEN M G. Dose-response effect of 40 weeks of resistance training on bone mineral density in older adults [J]. Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 2011, 22 (1): 179-86.
- [41] NICHOLS D L, SANBORN C F, LOVE A M. Resistance training and bone mineral density in adolescent females [J]. The Journal of Pediatrics, 2001, 139(4): 494-500.
- [42] SUGIYAMA T, YAMAGUCHI A, KAWAI S. Effects of skeletal loading on bone mass and compensation mechanism in bone: a new insight into the "mechanostat" theory [J]. Journal of bone and mineral metabolism, 2002, 20(4): 196-200.
- [43] VAINIONPAA A, KORPELAINEN R, SIEVANEN H, et al. Effect of impact exercise and its intensity on bone geometry at weight-bearing tibia and femur [J]. Bone, 2007, 40(3): 604-11.

- [44] VAINIONPAA A, KORPELAINEN R, LEPPALUOTO J, et al. Effects of high-impact exercise on bone mineral density: a randomized controlled trial in premenopausal women [J]. Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 2005, 16 (2): 191-7.
- [45] BAILEY C A, BROOKE-WAVELL K. Optimum frequency of exercise for bone health: randomised controlled trial of a high-impact unilateral intervention [J]. Bone, 2010, 46 (4): 1043-9.
- [46] NIU K, AHOLA R, GUO H, 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]. Journal of bone and mineral metabolism, 2010, 28 (5): 568-77.
- [47] FUCHS R K, BAUER J J, SNOW C M. Jumping improves hip and lumbar spine bone mass in prepubescent children: a randomized controlled trial [J]. Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research, 2001, 16 (1): 148-56.
- [48] GOING S, LOHMAN T, HOUTKOOPE L, et al. Effects of exercise on bone mineral density in calcium-replete postmenopausal women with and without hormone replacement therapy [J]. Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 2003, 14 (8): 637-43.
- [49] WOO J, HONG A, LAU E, et al. A randomised controlled trial of Tai Chi and resistance exercise on bone health, muscle strength and balance in community-living elderly people [J]. Age and ageing, 2007, 36 (3): 262-8.
- [50] 邹军, 林菲, 张丽, 等. 长期太极拳运动对绝经后妇女骨密度和平衡能力的影响 [J]. 中国康复理论与实践, 2011, (1): 80-2.
- ZOU Jun, LIN Fei, ZHANG Li, et al. Effect of Long Time Taijiquan Training on Bone Density and Balance Function in Post-menopause Women [J]. CHINESE JOURNAL OF REHABILITATION THEORY AND PRACTICE, 2011, (1): 80-2.
- [51] SHEN C L, CHYU M C, YEH J K, et al. Effect of green tea and Tai Chi on bone health in postmenopausal osteopenic women: a 6-month randomized placebo-controlled trial [J]. Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 2012, 23 (5): 1541-52.
- [52] 苗福盛, 王猛. 健身气功对绝经女性骨密度和骨代谢影响研究 [J]. 吉林体育学院学报, 2012, 03: 107-9.
- MIAO Fusheng, WANG Meng. Research of Fitness Qigong on Menopause Female's Bone Mineral Density and Bone Metabolism [J]. Journal of Jilin Institute of Physical Education. 2012, 03: 107-9.
- [53] 沈茂荣, 冯彦江, 王甜, 等. 华佗五禽戏锻炼对老年性骨质疏松患者腰椎骨密度的影响 [J]. 中国骨质疏松杂志, 2013, (3): 271-4.
- SHEN Maorong, FENG Yanjiang, WANG Tian, et al. Effect of Hua Tuo's frolics of five animals on the bone mineral density of lumbar vertebrae in senile patients with osteoporosis, 2013, (3): 271-4.
- [54] 杜新星, 张明军, 苟波, 等. 太极柔力球运动对围绝经期女性雌激素及骨代谢指标的影响 [J]. 西安体育学院学报, 2014, (4): 459-63.
- [55] 王洁. 太极柔力球运动对绝经后妇女骨密度和骨代谢指标的影响 [J]. 北京体育大学学报, 2007, (9): 1226-8.
- WANG Jie. Influence of Taiji Softball to Postmenopausal Women's Bone Mineral Density and Bone Metabolism Index [J]. JOURNAL OF BEIJING SPORT UNIVERSITY, 2007, (9): 1226-8.
- [56] KUKULJAN S, NOWSON C A, BASS S L, et al. Effects of a multi-component exercise program and calcium-vitamin-D3-fortified milk on bone mineral density in older men: a randomised controlled trial [J]. Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 2009, 20 (7): 1241-51.
- [57] KEMMLER W, VON STENGEL S, ENGELKE K, et al. Exercise effects on bone mineral density, falls, coronary risk factors, and health care costs in older women: the randomized controlled senior fitness and prevention (SEFIP) study [J]. Archives of internal medicine, 2010, 170 (2): 179-85.
- [58] MARQUES E A, MOTA J, MACHADO L, et al. Multicomponent training program with weight-bearing exercises elicits favorable bone density, muscle strength, and balance adaptations in older women [J]. Calcified tissue international, 2011, 88 (2): 117-29.
- [59] BOLTON K L, EGERTON T, WARK J, et al. Effects of exercise on bone density and falls risk factors in post-menopausal women with osteopenia: a randomised controlled trial [J]. Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia, 2012, 15 (2): 102-9.
- [60] BRADNEY M, PEARCE G, NAUGHTON G, et al. Moderate exercise during growth in prepubertal boys: changes in bone mass, size, volumetric density, and bone strength: a controlled prospective study [J]. Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research, 1998, 13 (12): 1814-21.
- [61] RITTWEGGER J. Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be [J]. European journal of applied physiology, 2010, 108 (5): 877-904.
- [62] 卜淑敏, 韩天雨. 全身振动训练在运动训练和康复领域中的应用及研究进展 [J]. 北京体育大学学报, 2014, (8): 65-70.

(下转第 1306 页)

- involved in the RANK/RANK/OPG bone remodeling pathway are associated with bone mineral density at different skeletal sites in men [1]. Human Genetics. 2006,118(5):568-77.
- [4] Paternoster L, Ohlsson C, Sayers A, et al. OPG and RANK polymorphisms are both associated with cortical bone mineral density: findings from a metaanalysis of the Avon longitudinal study of parents and children and gothenburg osteoporosis and obesity determinants cohorts [J]. J Clin Endocrinol Metab. 2010,95(8):3940-8.
- [5] Xiong DH, Shen H, Zhao LJ, et al. Robust and comprehensive analysis of 20 osteoporosis candidate genes by very high-density single-nucleotide polymorphism screen among 405 white nuclear families identified significant association and gene-gene interaction [J]. J Bone Miner Res. 2006, 21(11):1678-95.
- [6] Roshandel D, Holliday KL, Pye SR, et al. Genetic Variation in the RANKL/RANK/OPG Signaling Pathway Is Associated With Bone Turnover and Bone Mineral Density in Men [J]. Journal of Bone and Mineral Research. 2010,25(8):1830-8.
- [7] Wuyts W, Van Wesenbeeck L, Morales-Piga A, et al. Evaluation of the role of RANK and OPG genes in Paget's disease of bone [J]. Bone. 2001,28(1):104-7.
- [8] Kim JG, Kim JH, Kim JY, et al. Association between osteoprotegerin (OPG), receptor activator of nuclear factor-kappa B (RANK), and RANK ligand (RANKL) gene polymorphisms and circulating OPG, soluble RANKL levels, and bone mineral density in Korean postmenopausal women [J]. Menopause-the Journal of the North American Menopause Society. 2007,14(5):913-8.
- [9] Koh JM, Park BL, Kim DJ, et al. Identification of novel RANK polymorphisms and their putative association with low BMD among postmenopausal women [J]. Osteoporosis International. 2007, 18(3): 323-31.
- [10] Choi JY, Shin A, Park SK, et al. Genetic polymorphisms of OPG, RANK, and ESR1, and bone mineral density in Korean postmenopausal women [J]. Calcified Tissue International. 2005,77(3):152-9.
- [11] Liu J-m, Zhang M-j, Zhao L, et al. Analysis of Recently Identified Osteoporosis Susceptibility Genes in Han Chinese Women [J]. Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2010, 95(9): E112-E20.

(收稿日期: 2012-09-08)

(上接第 1302 页)

- [63] MARIN P J, RHEA M R. Effects of vibration training on muscle strength: a meta-analysis [J]. Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, 2010, 24(2): 548-56.
- [64] CHEN C H, LIU C, CHUANG L R, et al. Chronic effects of whole-body vibration on jumping performance and body balance using different frequencies and amplitudes with identical acceleration load [J]. Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia, 2014, 17(1): 107-12.
- [65] OSAWA Y, OGUMA Y, ISHII N. The effects of whole-body vibration on muscle strength and power: a meta-analysis [J]. Journal of musculoskeletal & neuronal interactions, 2013, 13(3): 380-90.
- [66] GILSANZ V, WREN T A, SANCHEZ M, et al. Low-level, high-frequency mechanical signals enhance musculoskeletal development of young women with low BMD [J]. Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research, 2006, 21(9): 1464-74.
- [67] WYSOCKI A, BUTLER M, SHAMLIYAN T, et al. Whole-body vibration therapy for osteoporosis: state of the science [J]. Annals of internal medicine, 2011, 155(10): 680-6, W206-13.
- [68] LAI C L, TSENG S Y, CHEN C N, et al. Effect of 6 months of whole body vibration on lumbar spine bone density in postmenopausal women: a randomized controlled trial [J]. Clinical interventions in aging, 2013, 8: 1603-9.
- [69] RUBIN C, RECKER R, CULLEN D, et al. Prevention of postmenopausal bone loss by a low-magnitude, high-frequency mechanical stimuli: a clinical trial assessing compliance, efficacy, and safety [J]. Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research, 2004, 19(3): 343-51.
- [70] LAM T P, NG B K, CHEUNG L W, et al. Effect of whole body vibration (WBV) therapy on bone density and bone quality in osteopenic girls with adolescent idiopathic scoliosis: a randomized, controlled trial [J]. Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 2013, 24(5): 1623-36.
- [71] MESTER J, KLEINODER H, YUE Z. Vibration training: benefits and risks [J]. Journal of biomechanics, 2006, 39(6): 1056-65.
- [72] CARDINALE M, POPE M H. The effects of whole body vibration on humans: dangerous or advantageous? [J]. Acta physiologica Hungarica, 2003, 90(3): 195-206.

(收稿日期: 2015-07-11)