

持续运动锻炼对绝经后女性骨密度影响的追踪研究

王晶晶^{1*} 郭彦君² 项云²

1. 上海体育科学研究所, 上海 200030

2. 上海体育学院, 上海 200438

中图分类号: G804.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-7108(2020) 10-1456-06

摘要: **目的** 比较不同运动锻炼参与程度的绝经后女性骨密度差异及在 12 个月间的变化。**方法** 对 82 名符合条件的社区绝经后女性骨密度进行 12 个月追踪。研究对象分为锻炼量达标组($n=42$)和不达标组($n=40$),不达标组进一步分为不锻炼和偶尔锻炼亚组。采用定量超声(QUS)法采集跟骨骨密度 T 值、 Z 值、超声传导声速(SOS)、超声宽带衰减(BUA),统计各组骨质疏松不同发生风险等级的人数比,测量时间点为基线、6 个月和 12 个月。**结果** 达标组骨密度各指标水平和骨质疏松高度风险人数比(16.7%)在 12 个月间基本维持稳定($P>0.05$);不达标组 T 值($F=11.877, P=0.000$)、 Z 值($F=7.459, P=0.002$)、BUA 值($F=4.207, P=0.026$) 在 12 个月间均出现显著下降,骨质疏松高度风险人数比由 20.0% 上升至 30.0%。达标组与不达标组 T 值变化具有明显的组间效应($F=4.268, P=0.042$)和时间效应($F=6.378, P=0.004$)。偶尔锻炼亚组骨密度各指标水平在 12 个月间下降幅度低于不锻炼亚组。**结论** 不同运动锻炼参与水平可不同程度地维持绝经后女性骨密度水平或延缓其增龄性流失。持续规律的运动锻炼对绝经后女性骨密度水平具有积极的改善作用。

关键词: 骨密度;绝经后女性;运动锻炼

A follow-up study on the effect of continuous exercise on bone mineral density in postmenopausal women

WANG Jingjing^{1*}, GUO Yanjun², XIANG Yun²

1. Shanghai Institute of Sports Science, Shanghai 200030, China

2. Shanghai Institute of Physical Education, Shanghai 200438, China

* Corresponding author: WANG Jingjing, Email: linzs912@163.com

Abstract: **Objective** To compare the differences of bone mineral density (BMD) among postmenopausal women in different levels of exercise participation, and their BMD changes during 12 months. **Methods** 82 eligible community-dwelling postmenopausal women were recruited as the participants in this follow-up study. The participants were divided into two groups: exercise-standard Group (ESG, $n=42$) and non-standard exercise Group (NSG, $n=40$). The NSG group was then furtherly divided into non-exercise group (NOG) and occasional exercise group (OEG). Changes in BMD parameters include T -score, Z -score, Speed of Sound (SOS), and Broadband Ultrasound Attenuation (BUA) were monitored using a heel quantitative ultrasound (QUS) device. Meanwhile, the percentage at different risk levels of having osteoporosis in each group was calculated. Variables were measured at baseline, at 6-month and at 12-month follow-up. **Results** BMD parameters in the ESG group remained stable during 12 months ($P>0.05$). The percentage of having high risk of osteoporosis in ESG group was 16.7%, and remained unchanged. In the NSG group, the value of T -score ($F=11.877, P=0.000$), Z -score ($F=7.459, P=0.002$) and BUA ($F=4.207, P=0.026$) decreased significantly during 12 months. The percentage of having high risk of osteoporosis in NSG group increased from 20.0% to 30.0%. Changes of T -score revealed a significant main effect of group ($F=4.268, P=0.042$) and time ($F=6.378, P=0.004$). The values of BMD parameters in NEG group declined faster during 12 months than the OEG group. **Conclusion** Different levels of exercise participation can maintain the bone mineral density level of postmenopausal women or delay their aging loss. Constant and regular physical exercise can improve the condition of BMD among postmenopausal women.

Key words: bone mineral density; postmenopausal women; exercise

基金项目: 上海市体育局综合计划项目(19Z013)

* 通信作者: 王晶晶, Email: linzs912@163.com

老年人骨骼随年龄增长出现增龄性衰退,表现为骨量流失、骨密度下降、骨强度降低。骨密度的持

续降低可能发展为骨质疏松症。随着全球老龄化问题的不断加剧,骨密度降低发生率及骨质疏松患病率随之增加,相关疾病负担也因此加剧^[1-3]。增龄和绝经同为诱发骨质疏松症的不可控危险因素^[4]。绝经后女性因雌激素水平迅速下降,骨量加速流失,骨组织微结构损坏,骨密度持续降低。相较于男性,女性在 50 岁以后骨量下降迅速,骨质疏松发病率急速增长^[5],进而因骨质疏松性骨折而造成更高的疾病负担^[6]。

体力活动已被证实可以有效改善老年人骨骼健康^[7]。对于绝经后女性,规律的包括运动在内的体力活动可以改善骨密度水平或延缓其流失,预防或改善骨质疏松,并有效减少骨质疏松性骨折的发生^[8-9]。多数研究关注于几个月的短期运动锻炼对骨密度可能产生的影响,但 12 个月或更长时间的持续运动锻炼或许才能对绝经后女性的骨密度产生明显的改善作用,因此关于运动对骨密度的中长期功效研究仍需增加^[10-11]。本研究对社区绝经后女性骨密度进行 12 个月的追踪研究,比较不同运动锻炼参与程度者的骨密度差异、以及骨密度水平在 12 个月间随时间变化的趋势,为持续运动锻炼对骨密度可能产生的中长期功效提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究对象

在上海市杨浦区五角场、平凉两个街道招募志愿者作为研究对象。通过问卷调查了解招募对象的基本健康情况,之后对符合纳入条件者进行知情告

知,并签署知情同意书,采集其基线骨密度数据。研究对象纳入标准为:50~69 岁女性;闭经 2 年以上;有独立生活能力;无先天、遗传性疾病(如先天性心脏病、聋哑、痴呆、精神异常等);近期(1 年内)无确诊的代谢类疾病(如糖尿病、甲状腺疾病、甲状旁腺疾病等内分泌系统疾病);无严重肝肾功能不全;近期(1 年内)未服用过激素类药物;从不吸烟;自愿参与本研究。

通过问卷调查结果将纳入的研究对象按照体育人口划分标准^[12]分为锻炼量达标和不达标组。其中锻炼量达标组需满足锻炼量达到主述每周参与至少 3 次、每次至少 30 min 的中等及以上强度有氧运动;不达标组进一步根据运动参与情况分为不锻炼亚组(从不锻炼)和偶尔锻炼亚组(参与锻炼,但是锻炼的频率、时间或强度未达到经常锻炼标准)。之后对各组别研究对象进行 12 个月的追踪研究,每周记录研究对象体育锻炼参与情况,并在 6 个月、12 个月追踪采集其骨密度参数。12 个月间锻炼量达标组中断锻炼 1 个月及以上者,从不锻炼组参加锻炼 1 个月及以上者、或偶尔锻炼组锻炼量达到经常锻炼标准超过 1 个月者,以及追踪期采用营养补剂或药物手段干预骨密度者均不纳入统计。

研究在基线招募符合条件的受试者 103 人。经过 12 个月的跟踪,未退出研究、且维持原有体育锻炼参与情况未改变者为 82 人。最终纳入研究对象基本情况见表 1。各组间基线年龄、闭经年份、身高、体重和 BMI 差异均无明显的统计学意义($P > 0.05$)。

表 1 研究对象基线参数($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Demographic and anthropometric characteristics at baseline in the subjects($\bar{x} \pm s$)

组别	样本量/ <i>n</i>	年龄/岁	闭经年份/年	身高/cm	体重/kg	BMI/(kg/m ²)
总体	82	59.5±4.2	10.7±4.7	158.2±5.5	58.2±8.6	23.2±3.2
锻炼量达标	42	60.3±4.3	10.8±5.1	158.5±5.4	59.0±8.8	23.5±3.0
锻炼量不达标	40	58.7±3.9	10.7±4.4	157.9±5.7	57.3±8.4	23.0±3.3
不锻炼	11	58.3±4.3	11.0±3.7	160.7±6.2	59.2±8.8	22.9±2.9
偶尔锻炼	29	58.8±3.9	10.6±4.7	156.9±5.2	56.6±8.4	23.1±3.5

1.2 方法

采用定量超声(QUS)检测法测量跟骨骨密度,仪器为 GE Achilles InSight 超声骨密度仪,采集指标包括 *T* 值、*Z* 值、超声传导声速(SOS)和超声宽带衰减(BUA)。并提取测试结果中的骨质疏松发生风险数据,以 $T \geq -1.0$ 为可能存在骨质疏松低度风险; $-1.0 < T < -2.5$ 为可能存在骨质疏松中度风险; $T \leq -2.5$ 为可能存在骨质疏松高度风险。整个观察

期内,由同一受过培训的实验师采用同一仪器操作并采集骨密度数据,以最小程度减少测量误差。

采用问卷形式采集研究对象的性别、年龄、闭经年份、体育锻炼参与情况等数据。采用国产健民牌 II 型国民体质测试系列身高计、体重计采集身高和体重数据。根据身高体重计算 BMI。

1.3 统计学处理

采用 SPSS 22.0 软件进行数据统计分析。所有

描述性统计数据均表示为均值 $\pm$ 标准差,采用例数(百分比)描述各组内不同骨质疏松发生风险水平的检出情况。采用 K-S 检验对各组数据进行正态分布检验。各分组内各指标时间点间的比较采用单因素重复测量方差分析。采用两因素重复测量方差分析比较锻炼量达标和不达标两组在 12 个月间 T 值水平随时间变化的时间效应、组间效应及交互效应,对不满足 Mauchly 球形假设检验的数据,采用 Greenhouse-Geisser 法进行校正。对存在交互效应者,进一步分析各因素的单独效应。基于 Pearson 相关分析结果,对与 T 值存在相关的变量进行控制,分析控制混杂变量后两组间 T 值变化随时间变化的重复测量方差分析。统计学显著性水平为 P

<0.05 。

2 结果

各组跟骨骨密度各指标在 12 个月间的变化情况见表 2。可见,锻炼量达标组各时间点的各指标水平随时间变化不大,差异不具有统计学意义($P>0.05$);不达标组骨密度各指标水平随时间出现下降,除 SOS 值外,锻炼量不达标组 T 值、 Z 值、BUA 水平随时间变化均具有显著的统计学意义($P<0.05$)。进一步划分不达标组的亚组后可见,两亚组骨密度各参数水平随时间的下降幅度不同,不锻炼亚组随时间的降幅较偶尔锻炼亚组更大。

表 2 各组跟骨骨密度指标 12 个月间变化($\bar{x}\pm s$)

Table 2 Changes in the BMD parameters during 12 months($\bar{x}\pm s$)

指标	组别	基线	6 个月	12 个月	变化幅度	F 值	P 值
T 值	锻炼量达标	-1.11 $\pm$ 1.56	-1.10 $\pm$ 1.47	-1.12 $\pm$ 1.49	-0.01 $\pm$ 0.51	0.041	0.940
	锻炼量不达标	-1.53 $\pm$ 1.27	-1.74 $\pm$ 1.09	-1.86 $\pm$ 1.00	-0.33 $\pm$ 0.53	11.877	<0.001
	不锻炼	-1.42 $\pm$ 1.38	-1.68 $\pm$ 1.18	-1.91 $\pm$ 1.02	-0.49 $\pm$ 0.68	5.007	0.041
	偶尔锻炼	-1.57 $\pm$ 1.25	-1.76 $\pm$ 1.07	-1.84 $\pm$ 1.01	-0.27 $\pm$ 0.46	6.953	0.004
Z 值	锻炼量达标	0.58 $\pm$ 1.56	0.62 $\pm$ 1.48	0.63 $\pm$ 1.51	0.04 $\pm$ 0.51	0.237	0.789
	锻炼量不达标	0.04 $\pm$ 1.20	-0.13 $\pm$ 1.04	-0.22 $\pm$ 0.96	-0.26 $\pm$ 0.53	7.459	0.002
	不锻炼	0.13 $\pm$ 1.41	-0.09 $\pm$ 1.23	-0.31 $\pm$ 1.07	-0.44 $\pm$ 0.68	3.786	0.072
	偶尔锻炼	0.01 $\pm$ 1.14	-0.14 $\pm$ 0.98	-0.19 $\pm$ 0.93	-0.20 $\pm$ 0.46	3.922	0.025
SOS/ (m/s)	锻炼量达标	1534.1 $\pm$ 27.1	1533.0 $\pm$ 29.6	1533.8 $\pm$ 29.5	-0.3 $\pm$ 14.3	0.161	0.851
	锻炼量不达标	1524.2 $\pm$ 21.2	1520.8 $\pm$ 20.8	1519.6 $\pm$ 22.8	-4.6 $\pm$ 15.8	2.582	0.091
	不锻炼	1523.0 $\pm$ 24.2	1521.1 $\pm$ 24.9	1518.7 $\pm$ 26.8	-4.3 $\pm$ 13.5	0.914	0.385
	偶尔锻炼	1524.7 $\pm$ 20.3	1520.7 $\pm$ 19.5	1520.0 $\pm$ 21.6	-4.7 $\pm$ 16.8	1.829	0.170
BUA/ (dB/MHz)	锻炼量达标	106.6 $\pm$ 14.0	107.2 $\pm$ 10.9	106.5 $\pm$ 12.2	-0.2 $\pm$ 8.7	0.218	0.771
	锻炼量不达标	104.4 $\pm$ 11.4	102.7 $\pm$ 9.4	101.4 $\pm$ 8.4	-3.0 $\pm$ 8.0	4.207	0.026
	不锻炼	106.4 $\pm$ 11.5	103.3 $\pm$ 8.0	100.9 $\pm$ 6.9	-5.5 $\pm$ 8.0	3.771	0.041
	偶尔锻炼	103.6 $\pm$ 11.5	102.4 $\pm$ 10.0	101.5 $\pm$ 9.0	-2.1 $\pm$ 7.9	1.448	0.245

对锻炼量达标和不达标组 T 值随时间变化的组间差异统计结果见表 3。结果显示, T 值随时间变化的差异具有明显的统计学意义($F=6.378, P=0.004$),对比检验结果发现呈线性关系($F=8.707, P=0.004$);锻炼量达标组和不达标组的组间效应存在明显的统计学意义($F=4.268, P=0.042$);时间 $\times$ 组间存在交互作用($F=5.702, P=0.007$),两组间 T 值随时间变化的幅度不同,锻炼量不达标组 T 值下降幅度较大,达标组 T 值几乎无变化。进一步统计分析显示:基线时,锻炼量达标组和不达标组间 T 值差值为 0.42,差异不存在明显的统计学意义($F=1.784, P=0.185$);6 个月和 12 个月后两组间 T 值差值分别为 0.64($F=4.963, P=0.029$)和 0.74

($F=6.814, P=0.011$),差异均具有明显的统计学意义。

由于 T 值变化水平与年龄($r=0.307, P<0.05$)和闭经年份($r=0.231, P<0.05$)均具有一定统计学意义的线性相关。表 3 同时列出了分别控制了年龄和闭经年份后锻炼量达标和不达标组 T 值随时间变化的两因素重复测量方差分析结果。可见,在分别控制了年龄和闭经年份后, T 值的组间效应、时间效应和交互效应均具有显著的统计学意义。

所有研究对象在 12 个月间,发生骨质疏松高度风险的人数比从 18.3% 增长至 23.2%,低度风险的人数比从 36.6% 降低至 30.5%。划分锻炼量是否达标后,两组不同骨质疏松风险发生等级的分布

情况在 12 个月间的变化见表 4。可见锻炼量达标组 12 个月间骨质疏松风险各等级人数分布基本维持稳定;不达标组,低度风险等级人数比在 12 个月间逐渐减少,高度风险人数比逐渐增加。

表 3 锻炼量达标与不达标组 T 值随时间变化的组间比较统计学结果

Table 3 The statistical results of the comparison of the T -score changes over time between the standard and non-standard exercise groups

统计量		无调整	控制年龄	控制闭经年份
组间效应	F	4.268	5.670	5.310
	P	0.042	0.020	0.024
时间效应	F	6.378	5.085	6.456
	P	0.004	0.011	0.003
交互效应	F	5.702	3.933	3.969
	P	0.007	0.028	0.027

表 4 锻炼量达标与不达标组 12 个月间骨质疏松风险等级分布变化 [$n(\%)$]

Table 4 Changes in the distribution of osteoporosis risk grades in 12 months between the exercise volume meets and does not meet the standard group [$n(\%)$]

指标	组别	基线	6 个月	12 个月
低度风险	锻炼量达标	18(42.9)	18(42.9)	17(40.5)
	锻炼量不达标	12(30.0)	9(22.5)	8(20.0)
中度风险	锻炼量达标	17(40.5)	18(42.9)	18(42.9)
	锻炼量不达标	20(50.0)	22(55.0)	20(50.0)
高度风险	锻炼量达标	7(16.7)	6(14.3)	7(16.7)
	锻炼量不达标	8(20.0)	9(22.5)	12(30.0)

3 讨论

3.1 QUS 法追踪骨密度随时间变化的可行性

QUS 检测法因其与公认诊断金标双能 X 线吸收(DXA)检测法结果的高度相关,以及便携、无辐射、节约时间、低成本等优势,常被推荐用于人群的骨质疏松风险筛查和骨折风险预测^[13-14]。在评价运动干预对骨密度的改善效果时,采用 DXA 法进行重复短间隔多次测试可能涉及到增加辐射暴露、增加成本等问题,可以采用 QUS 法追踪运动对各年龄段人群骨健康参数随时间变化的影响^[15]。本研究中有 8 名流失的研究对象是因其参考基线 QUS 法测得的中高度风险结果至医院进行 DXA 法诊断并进而采用药物治疗后退出本研究,侧面提示了 QUS 法对筛查社区女性骨质疏松或骨量降低发生风险的可行性。

SOS 和 BUA 是 QUS 法用于评价骨密度水平的主要参数,分别指超声信号在骨骼中的传导速度,和

超声信号通过骨骼时因骨组织的吸收和散射而发生的超声能量信号衰减,二者均与骨密度水平呈良好正相关。 T 值和 Z 值分别指骨密度水平相较同性别健康人群骨密度水平峰值和相较同性别同龄人骨密度平均水平的标准偏差。 T 值是预测骨量减少和骨质疏松发生风险的常用指标,基于 QUS 法测得的 T 值对绝经后女性骨质疏松及骨折的发生风险具有较好的预测效果^[16]。本研究最终纳入的研究对象总体在基线存在骨质疏松高度风险的人数比为 18.3%,其中 50~59 岁为 11.0%,60~69 岁为 27.0%。这一结果总体略低于张智海等^[17]基于 DXA 的我国人群骨质疏松发生率的文献分析结果。这可能与本研究纳入了较自然人群更多的经常参加体育锻炼者有关。进一步划分锻炼量达标与不达标组后,不达标组骨质疏松高度风险人数比为 20%,并在 12 个月增长至 30%,这一结果与报告的我国人群骨质疏松发生率水平基本一致,一定程度上提示 QUS 法可以用于辅助预测绝经后女性骨质疏松的发生风险。

3.2 运动锻炼对绝经后女性骨密度的影响

运动对骨骼健康的促进作用,从生物力学角度讲是由于运动的机械应力对骨骼造成的良性刺激,从生物化学角度讲是由于运动诱导激素变化、调节骨代谢信号通路,进而对骨代谢产生积极作用所致^[18]。运动作为公认的非药理干预手段,可用于延缓中老年人骨量流失^[19]。本研究各个时间点的测试结果中,锻炼量达标组骨密度的各指标水平均优于不达标组,同时达标组骨质疏松低度风险人数比相较不达标组更高,高度风险人数比更低。重复测量方差分析结果显示,不论是否控制年龄和闭经年份等骨密度影响因素,达标组和不达标组的 T 值水平差异始终存在显著的统计学意义。这些结果均提示了规律的运动锻炼对绝经后女性骨密度有积极的改善作用。

不同的运动类型、运动频率、运动持续时间、运动量等对于骨密度可能产生的影响并不相同^[9]。通常认为,运动类型方面,身体负重的中等强度以上有氧运动或抗阻训练有利于绝经后女性的骨量维持^[20-21];时长方面,平均每天锻炼时间大于 30 min 的老年人骨密度水平明显优于不锻炼和少于 30 min 者^[22];频率方面,每周至少 2 次的体育锻炼才能对骨密度产生积极影响^[23];运动量方面,相较中等运动量(150 min/周),大运动量(300 min/周)女性骨密度水平更高^[24]。本研究中,尽管基线时不锻炼组

骨密度水平略高于偶尔锻炼组,但 12 个月,不锻炼组骨密度各指标水平降幅更大、降速更快。提示不同程度参与运动锻炼可以不同程度地维持绝经后女性骨密度水平或延缓其增龄性流失,即使体育锻炼参与程度并未达到经常锻炼水平,但偶尔参与,也可能因每次锻炼时长、频率或类型等达到一定剂量,而对绝经后女性骨密度水平产生积极影响。

3.3 持续参与运动锻炼对绝经后女性骨密度的作用效果

规律运动有益于促进包括骨骼健康在内的老年人身体健康^[25]。长时间参与运动锻炼,对绝经后女性骨密度具有积极改善作用^[26],并且可持续长达 16 年^[27]。目前对于可有效改善骨密度的锻炼持续时间的观点并不一致,有研究认为,干预时间超过 12 个月的有氧锻炼能更好地改善骨密度^[12];也有研究认为持续 7 个月、频率大于 2 次/周的规律运动是改善绝经后女性骨密度的最短时长^[28]。

总体来讲,本研究各组 SOS 值和 BUA 值水平均在 12 个月间出现了下降,提示了不论参与锻炼与否,绝经后女性的骨密度水平平均会随年龄增长逐渐下降。但不同分组的下降程度有所不同。相较锻炼量不达标组,锻炼量达标组在 12 个月间骨密度各指标水平只出现极小程度的下降。进一步划分亚组后,不锻炼组下降幅度高于偶尔锻炼组,提示规律运动对于绝经后女性的骨量维持并延缓其流失有良好的作用效果。另外,尽管组间无明显统计学差异,但本研究中锻炼量达标组平均年龄比不达标组稍大,理论上骨密度水平可能更低。然而实际测试结果显示达标组骨密度各指标水平不仅在基线就略高于不达标组,且 12 个月间骨密度水平基本维持不变,而不达标组 T 值、 Z 值、BUA 水平均随时间呈现具有统计学意义的显著下降,SOS 水平亦出现下降。另外,达标组 Z 值水平始终大于 0,即骨密度水平优于同龄人;不达标组 Z 值从基线的略高于 0 下降至小于 0,即骨密度水平由接近同龄人水平下降至低于同龄人水平。尽管不能排除个体差异和未知混杂因素,但这些结果在很大程度上提示了规律锻炼可能在延缓绝经后女性骨量流失中发挥重要作用。基于 T 值的重复测量方差分析结果显示,不论是否调整年龄和闭经年份,锻炼量达标组与不达标组间随时间变化均有显著的时间效应和组间效应,提示尽管骨密度水平会随时间出现增龄性下降,但持续规律的参与运动锻炼可以有效延缓绝经后女性骨密度的增龄性流失。

后续研究计划选择基于精准测定的 DXA 检测法,更有针对性、样本量更大的社区绝经后女性进行更长时间的持续追踪观察,以弥补现有研究不足,并观察更长时间周期内不同运动锻炼参与程度女性骨密度水平随时间的变化趋势。

4 结论

不同程度参与运动锻炼可以不同程度地维持绝经后女性骨密度水平或延缓其增龄性流失。不同锻炼量水平的绝经后女性,骨密度在 12 个月间随时间变化并不相同,不锻炼者骨密度随时间下降幅度最大,偶尔锻炼者骨密度的增龄性下降可以在一定程度上被延缓,经常锻炼者骨密度水平基本维持稳定。持续参与运动锻炼对绝经后女性骨密度增龄性流失具有积极的改善作用。

【参 考 文 献】

- [1] Sánchez-Riera L, Carnahan E, Vos T, et al. The global burden attributable to low bone mineral density[J]. Ann Rheum Dis, 2014, 73(9): 1635-1645.
- [2] 贺丽英,孙蕴,姜文娟,等. 2010-2016 年中国老年人骨质疏松患病率 Meta 分析[J]. 中国骨质疏松杂志,2016, 22(12): 1590-1596.
- [3] 宋新明,周勇义,郭平,等. 中国老年人慢性病的致残作用分析[J]. 人口与发展,2016, 22(3): 79-83.
- [4] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 原发性骨质疏松症诊疗指南(2017)[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2017, 10(5): 413-444.
- [5] 韩亚军,帖小佳,哈木·托合提. 中国中老年人骨质疏松症患病率的 Meta 分析[J]. 中国组织工程研究,2014, 18(7): 1129-1134.
- [6] 毛贝尼,张钟,付维力,等. 中国骨质疏松性骨折疾病负担的系统评价[J]. 中国循证医学杂志,2018, 18(2): 151-155.
- [7] Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, et al. The physical activity guidelines for Americans [J]. JAMA, 2018, 320(19): 2020-2028.
- [8] Memillan L, Zengin A, Ebeling P, et al. Prescribing physical activity for the prevention and treatment of osteoporosis in older adults[J]. Healthcare,2017, 5(4): 1-15.
- [9] 邹军,章岚,任弘,等. 运动防治骨质疏松专家共识[J]. 中国骨质疏松杂志,2015, 21(11): 1291-1302.
- [10] Benedetti MG, Furlini G, Zati A, et al. The effectiveness of physical exercise on bone density in osteoporotic patients[J]. Biomed Res Int,2018,2018: 4840531.
- [11] 董宏,孟良,王荣辉. 体育锻炼对中老年人群骨密度影响的 meta 分析[J]. 北京体育大学学报,2016, 39(3): 58-65.
- [12] 江崇民,张一民,张彦峰,等. 中国城乡居民参加体育锻炼程度评价的辨识[J]. 体育科学,2009, 29(5): 24-31, 39.
- [13] 马远征,王以朋,刘强,等. 中国老年骨质疏松症诊疗指南

- (2018)[J]. 中国骨质疏松杂志, 2018, 24(12): 1541-1567.
- [14] Hans D, Baim S. Quantitative ultrasound (QUS) in the management of osteoporosis and assessment of fracture risk[J]. J Clin Densitom, 2017, 20(3): 322-333.
- [15] Babatunde OO, Forsyth JJ. Quantitative ultrasound and bone's response to exercise: A meta analysis[J]. Bone, 2013, 53(1): 311-318.
- [16] McCloskey EV, Kanis JA, Odén A, et al. Predictive ability of heel quantitative ultrasound for incident fractures: an individual-level meta-analysis [J]. Osteoporos Int, 2015, 26(7): 1979-1987.
- [17] 张智海, 刘忠厚, 石少辉, 等. 中国大陆地区以 $-2.5SD$ 为诊断的骨质疏松症发病率文献回顾性研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2015, 21(1): 1-7.
- [18] 张玲莉, 孙忠广, 邹军. 运动预防骨质疏松的研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(3): 368-372.
- [19] Santos L, Elliott-Sale KJ, Sale C. Exercise and bone health across the lifespan[J]. Biogerontology, 2017, 18(6): 931-946.
- [20] 徐超. 运动锻炼对骨质疏松的预防作用[J]. 中国老年学杂志, 2018, 38(24): 6139-6141.
- [21] 聂明剑, 张智海, 冯强, 等. 12 周社区运动干预对绝经后骨质疏松症女性骨密度的影响研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2019, 25(4): 446-451.
- [22] 陈敏敏, 杜艳萍, 洪维, 等. 上海社区老年人生活方式与跟骨定量超声骨密度的相关性[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2016, 9(2): 166-173.
- [23] Kemmler W, von Stengel S, Kohl M. Exercise frequency and bone mineral density development in exercising postmenopausal osteopenic women. Is there a critical dose of exercise for affecting bone? Results of the erlangen fitness and osteoporosis prevention study[J]. Bone, 2015, 89: 1-6.
- [24] Gonzalo Encabo P, Mcneil J, Boyne DJ, et al. Dose-response effects of exercise on bone mineral density and content in post-menopausal women[J]. Scand J Med Sci Sports. 2019, 29(8): 1121-1129.
- [25] Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, et al. Exercise and Physical Activity for Older Adults [J]. Med Sci Sport Exercise, 2009, 41(7): 1510-1530.
- [26] 赵静, 程亮. 不同方式长期运动对老年女性骨密度的影响[J]. 中国骨质疏松杂志, 2020, 26(1): 50-53.
- [27] Kemmler W, Engelke K, von Stengel S. Long-term exercise and bone mineral density changes in postmenopausal women-are there periods of reduced effectiveness? [J]. J Bone Miner Res, 2016, 31(1): 215-222.
- [28] 郭梁. 运动对绝经后妇女骨密度影响的研究进展[J]. 中国骨质疏松杂志, 2018, 24(03): 380-384.

(收稿日期: 2020-02-21; 修回日期: 2020-03-13)

(上接第 1455 页)

- [13] Lang I, Füllsack S, Wyzgol A, et al. Binding studies of TNF receptor superfamily (TNFRSF) receptors on intact cells [J]. J Biol Chem, 2016, 291(10): 5022-5037.
- [14] Tao ZS, Zhou WS, Wu XJ, et al. Prevention of ovariectomy-induced osteoporosis in rats: Comparative study of zoledronic acid, parathyroid hormone (1-34) and strontium ranelate [J]. Z Gerontol Geriatr, 2019, 52(2): 139-147.
- [15] Tyrovolas JB. The "mechanostat" principle and the osteoprotegerin-OPG/RANKL/RANK system PART II. the role of the hypothalamic-pituitary axis [J]. J Cell Biochem, 2017, 118(5): 962.
- [16] Chamoux E, Bisson M, Payet MD, et al. TRPV-5 Mediates a receptor activator of NF- κ B (RANK) ligand-induced increase in cytosolic Ca in human osteoclasts and down-regulates bone resorption [J]. J Biol Chem, 2010, 285(33): 25354-25362.
- [17] Kohli SS, Kohli V. Role of RANKL-RANK/osteoprotegerin molecular complex in bone remodeling and its immunopathologic implications [J]. Indian J Endocrinol Metab, 2011, 15(3): 175.

(收稿日期: 2020-02-14; 修回日期: 2020-03-24)