



不同运动对绝经后骨质疏松女性骨密度的影响 ——基于网状Meta分析的结果*

郝莹^{1)**} 杨宁宁¹⁾ 孙梦莹¹⁾ 周晓彬²⁾ 陈卓¹⁾

(¹⁾ 西北师范大学体育学院, 兰州 730070; (²⁾ 甘肃省中医院康复医学科, 兰州 730070)

摘要 绝经后骨质疏松 (postmenopausal osteoporosis, PMOP) 是一种由雌激素水平下降引起的慢性代谢性骨病, 随着人口老龄化进程的加速, 其引发的公共卫生负担日趋严峻。运动作为防治骨质疏松的最佳非药物干预手段, 能够全面改善肌肉-骨骼协同功能, 调节内分泌和炎症微环境。但由于骨的机械适应性受雌激素水平的影响, 现有的运动方案不能有效改善 PMOP 女性的骨密度。最有效的运动类型、剂量和个体化适配仍在不断地探索中。本文在充分考虑性别和激素水平差异性的基础上, 检索并筛选 PubMed、CNKI 等数据库有关运动改善 PMOP 女性骨密度的随机对照试验, 通过网状 Meta 分析系统回顾和比较不同类型运动方式对 PMOP 女性不同部位骨密度的影响, 为探索最佳运动方式以维持或改善 PMOP 女性的骨密度提供理论指导。

关键词 绝经后骨质疏松, 运动干预, 骨密度, 网状Meta分析

中图分类号 G804.3

DOI: 10.16476/j.pibb.2024.0493

CSTR: 32369.14.pibb.20240493

我国已进入深度老龄社会, 老年健康问题面临巨大的挑战, 做好老年慢病防治工作成为当今社会重要的公共卫生挑战^[1]。以骨质疏松为代表的、与增龄相关的老年慢性疾病, 已经成为损害我国中老年人健康的重要疾病类型^[2]。骨质疏松症是一种以骨量低下、骨微结构破坏, 骨脆性增加, 易发生骨折为特征的疾病^[3]。在我国, 46.4% 的 50 岁以上人群中表现为骨量低下^[4], 骨质疏松性骨折的发病率超过心血管疾病或癌症的 3~4 倍^[5]。因髌部骨折 1 年后, 致残率高达 50%、致死率约为 20%, 所以被称为“人生最后一次骨折”^[4]。值得注意的是, 近 60% 的骨质疏松性骨折高危患者未接受骨保护治疗, 而骨质疏松症女性患病率则为男性的 5 倍^[6]。该疾病以其高致残率、高致死率的特点严重影响了患者的日常生活质量, 也给照护者、医疗资源和社会经济带来了巨大负担。因此, 制定合理有效的骨质疏松防治方案并探索其背后可靠的理论支撑显得尤为重要。

绝经后骨质疏松 (postmenopausal

osteoporosis, PMOP) 的治疗方法包括药物治疗和非药物干预两类, 药物治疗存在治疗周期长、药物副作用多样、治疗费用高、依从性低等缺点^[7], 运动被认为是预防和治疗骨质疏松症最有效的非药物治疗手段^[8]。研究表明, 运动干预可以通过机械应力刺激骨细胞和成骨细胞的产生和分化, 进而调节骨的生物力学特征^[9], 宏观上表现为平衡能力和下肢肌肉力量的增加。尽管大量的运动方案被证明具有改善骨质疏松的效果, 但是不同类型运动方案的效果不一, 且最有利于解决骨矿物质流失的方案无法确定。已有系统综述报道了不同类型运动对原发性骨质疏松症患者不同部位骨密度的影响^[10-11], 但是由于骨对机械刺激的适应性受雌激素水平的影响^[12], 其结果不能有效指导 PMOP 女性的运动方案制定工作。因此, 本文在充分考虑性

* 国家社会科学基金 (21BTY078) 和甘肃省基础 Research 计划-软科学专项 (24JRZA065) 资助。

** 通讯联系人。

Tel: 13639395477, E-mail: haoying@nwnu.edu.cn

收稿日期: 2024-11-27, 接受日期: 2025-03-25

别和激素水平差异性的基础上,通过网状Meta分析系统评价不同类型运动方式对PMOP女性不同部位骨密度的影响,为探索适宜运动方式以维持或改善PMOP女性的骨密度提供理论指导。

1 Meta分析

本分析已在PROSPERO (<https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO>)注册,注册号为CRD42024559500。

1.1 纳入与排除标准

1.1.1 研究类型

英文或中文发表的随机对照试验(RCT)。

1.1.2 研究对象

参与者为绝经后女性,未接受激素替代疗法,被诊断为骨质减少或骨质疏松症;临床诊断符合世界卫生组织(WHO)相关定义,将骨密度T-score $\leq$ -2.5定义为骨质疏松症,-2.5 $\leq$ T-score $\leq$ -1.0定义为骨量减少。

1.1.3 干预措施

包括任何类型的运动,不限制运动强度和持续时间;对照组没有接受任何运动干预。

1.1.4 结局指标

主要结局指标包括用双能X射线吸收仪(DXA)或双光子吸收仪(DPA)评估的腰椎、股骨颈、Ward's三角、大转子 and 全髋关节骨密度,次要结局指标为骨吸收标志物。

1.1.5 排除标准

原始研究为文献综述、会议摘要、学位论文,无法提取或转换相关数据;干预中具体的运动类型描述不明确;受试者在过去6个月内参加过运动方案的研究。

1.2 文献检索策略

计算机检索PubMed、Embase、ProQuest、Scopus、EBSCO、Web of Science、Cochrane Library、CNKI、万方和中国生物医学10个数据库,搜集有关运动改善PMOP人群骨密度的RCT,检索时限均从建库至2024年6月。此外,追溯纳入文献的参考文献,以补充获取更多、更有利的信息。中文检索词包括:运动、训练、锻炼、PMOP、骨密度、骨量减少、随机对照试验等;英文检索词包括:Postmenopause、Post-Menopause、Postmenopausal Period、Involutional、Age-Related、Osteoporosis、Post-Traumatic Osteoporoses Bone Loss、Bone status、Bone mass、Bone turnover、

Bone metabolism、Bone mineral Content、Bone Mineral Density、Exercise、Training、Sport、Acute Exercise、Isometric Exercise、Aerobic Exercise、taijiquan、open-air fitness dancing、Impact exercise、randomized controlled trial、randomized controlled trials as Topic、random*等。采用主题词结合自由词的检索策略进行检索,并根据各数据库特点调整检索式。

1.3 文献筛选和资料提取

本文的两位作者对文献进行独立筛选、提取数据,如有分歧咨询第三方后确认。资料提取内容为标题、第一作者、发表年份、干预对象描述(样本量、年龄、体质指数(body mass index, BMI)、绝经年限)、干预措施、结局指标。

1.4 文献质量评估

采用Cochrane手册推荐的RCT偏倚风险评价工具^[13],通过随机序列生成、分配隐藏、试验对象和研究人员的盲法、结果测量的盲法、结局指标的完整性、选择性报告和其他偏倚来源进行评估,使用Rev Man 5.4软件进行文献偏倚评价。

1.5 统计分析

根据PRISMA网状Meta分析指南,在频率学框架下,使用Stata15.0软件的随机效应模型进行网状Meta分析,效应分析指标使用标准化均数差(standardized mean difference, SMD)和95%置信区间(confidence interval, CI)表示,若95%CI不包含0则认为有统计学差异^[14]。通过绘制网络证据图描述运动干预措施之间的关系,连接节点的线代表干预措施之间的直接比较,线的粗细与研究数量成正比,节点的大小与样本量成正比。使用不一致性检验模型对证据网络存在闭环的情况,进行不一致性检验,当 $P>0.05$ 时,采用一致性模型进行分析;使用环不一致性检验评估各闭环的一致性;利用累积排序概率图下的面积(SUCRA)对不同运动类型的干预效果进行排序,面积越大表明排名越靠前;绘制漏斗图以评估小样本效应和可能存在的发表偏倚。

1.6 局限与不足

本分析存在一定的局限性:a.因受到原始研究样本量限制,考虑到应优先确保证据等级的可信度,本文未将受试者种族和干预时长因素纳入各亚组分组标准中;b.研究对骨吸收标志物结局指标数据资料进行统一编码,虽增加了结果的把握度,但可能会在换算中产生误差。未来针对原始研究筛选

应多选取大规模、前瞻性、大样本、多中心、双盲随机对照试验等高质量文献予以进一步验证,运用客观化标准对指标进行评判,最大程度降低个人倚倚风险的产生,有效筛选出临床较佳的运动方案。

2 Meta分析结果

2.1 文献检索结果

通过检索获得相关文献2 887篇,包括Web of Science 255篇、Scopus 423篇、PubMed 553篇、Embase 604篇、ProQuest 71篇、Cochrane 221篇、EBSCO 78篇、CNKI 492篇、万方107篇、中国生物医学83篇,通过其他途径获得文献12篇。经过逐层筛选最终纳入48个符合纳入标准的RTC,文献筛选流程见图S1。

2.2 纳入研究的基本特征

纳入的48项研究中1项为5臂研究,4项为3

臂研究,其余均为双臂研究;总样本量为3 206例,其中干预组1 692例,对照组1 514例。干预措施共包括9种不同的运动类型,分别为健身气功(gymnastic qigong, Qigong)、有氧运动(aerobic exercise, AE)、抗阻运动(resistive exercise, RE)、全身振动训练(whole body vibration, WBV)、冲击运动(impact exercise, IE)、操舞类运动(dance movement, DM)、抗自重肌肉耐力训练(self-weight muscle endurance training, SMET)、冲击联合抗阻运动(impact combined with resistance exercise, IE & RE)、有氧联合抗阻运动(aerobic exercise combined with resistance exercise, AE & RE),对照组不进行任何规律运动。纳入文献的研究对象特征见表1,运动干预方案的详细特征详见表S1。

Table 1 Basic characteristics of the included study

表1 纳入研究的基本特征

纳入研究	分组	干预方式	样本量	年龄/岁	绝经年限/年	体重/kg	BMI/%	地域	结局指标
Wayne等, 2012 ^[15]	CON	常规护理	43	60.4±5.3	>1	NR	24.5±4.0	美国	□□□□
	Qigong	太极、常规护理	43	58.8±5.6			25.8±4.2		
蔡颖娴等, 2018 ^[16]	CON	钙尔奇	30	51.4±4.9	1.63±0.13	55.01±7.26	22.01±8.04	中国	□
	Qigong	八段锦、钙尔奇	30	52.1±4.2	1.72±0.24	55.12±7.27	22.13±8.17		
张长彪等, 2017 ^[17]	CON	钙尔奇	36	53.7±1.14	5.83±0.61	59.24±1.56	18.92±1.16	中国	□□
	Qigong	八段锦、钙尔奇	36	53.5±1.40	5.94±0.75	59.47±1.25	18.50±1.11		
李琦等, 2020 ^[18]	CON	无干预	29	62.6	NR	NR	NR	中国	□
	Qigong	五禽戏	29	62.9					
ElDeeb等, 2019 ^[19]	CON	钙和维生素D	21	57.29±4.44	>1	71.43±5.42	28.28±1.54	埃及	□□□□
	Qigong	WBV、钙和维生素D	22	55.10±4.19		73.55±4.72	28.36±1.31		
Sen等, 2020 ^[20]	CON	钙和维生素D	18	54.5±6.0	9.3±4.0	NR	26.7±3.8	日本	□□□□
	WBV	WBV、钙和维生素D	15	55.0±4.6	8.0±4.1		26.6±2.7		
	IE	冲击运动	16	53.1±4.4	7.7±5.3		26.5±3.9		
Ruan等, 2008 ^[21]	CON	无干预	43	63.73±5.45	15.7±7.1	NR	23.22±3.25	中国	□□
	WBV	WBV	51	61.20±8.20	13.5±7.4		24.37±3.28		
Jepsen等, 2019 ^[22]	CON	PTH	18	69±5	22.0±5.0	NR	NR	丹麦	□□
	WBV	WBV、PTH	17	69±5	22.0±7.0				
Lai等, 2013 ^[23]	CON	无干预	14	62.4±7.1	10.6±6.9	NR	23.1±4.4	台湾	□
	WBV	WBV	14	60.1±7.1	9.80±8.7		22.7±1.9		
Verschuereen等, 2004 ^[24]	CON	无干预	24	62.2±3.1	14.6±6.6	68.56±14.5	26.51±5.8	比利时	□□□
	WBV	WBV	25	64.2±3.3	16.9±6.3	66.50±8.90	26.34±3.6		
	RE	抗阻训练	22	64.2±3.3	15.5±6.0	70.47±9.60	27.40±3.5		
von Stengel等, 2011 ^[25]	CON	无干预	52	68.1±2.7	NR	71.2±13.4	27.5±5.0	德国	□□
	WBV	WBV	50	68.8±3.6		69.1±11.8	26.5±4.2		
陈国仙等, 2017 ^[26]	CON	阿仑膦酸钠	20	66.4±9.9	NR	57.7±5.1	23.9±2.4	中国	□□□□
	WBV	WBV、阿仑膦酸钠	20	67.6±8.2		57.9±5.5	23.7±2.2		

续表

纳入研究	分组	干预方式	样本量	年龄/岁	绝经年限/年	体重/kg	BMI/%	地域	结局指标
聂明剑等, 2019 ^[27]	CON	无干预	9	65.2±5.1		55.6±6.5		中国	□
	RE	哑铃抗阻训练	11	63.9±3.2		62.4±9.7			
	IE	跳跃训练	11	59.7±5.1	NR	57.3±8.6			
	AE	健步走	10	64.6±4.4		58.3±8.2	NR		
	SMET	抗自重肌训练	10	63.2±4.4		54.8±7.3			
Hartard等, 1996 ^[28]	CON	无干预	16	67.0±10.0		63.8±11.2		澳大利亚	□ □
	RE	抗阻运动	18	64.0±6.0	>5	67.0±7.70	NR		
Linero等, 2019 ^[29]	CON	无干预	6	56.83±0.70	6.50±0.92	56.42±2.28		韩国	□ □ □
	RE	中高强度抗阻训练	7	56.40±0.72	6.57±1.00	61.99±3.45	NR		
De Matos等, 2009 ^[30]	CON	无干预	29	56.6±4.6	7.4	65.0±8.3	25.6±3.1	巴西	□ □
	RE	举重量训练	30	57.5±5.1	9.6	59.8±7.6	23.9±3.3		
Gualano等, 2014 ^[31]	CON	安慰剂	15	66.3±6.0		63.4±8.8	26.8±5.5	巴西	□ □
	RE	抗阻训练、安慰剂	15	63.6±3.6	NR	66.8±9.0	28.2±3.6		
Mosti等, 2013 ^[32]	CON	五干预	8	66.7±7.4		66.2±8.8	24.9±2.5	挪威	□ □ □ □
	RE	最大力量训练	8	61.9±5.0	NR	72.3±7.7	25.3±2.9		
Marques等, 2011 ^[33]	CON	无干预	24	67.9±5.9			28.1±3.5	葡萄牙	□ □ □
	RE	器械抗阻练习	23	67.3±5.2		NR	28.8±4.6		
	AE	行走、慢跑、踏步	24	70.3±5.5	>8		27.5±3.8		
胡鸢等, 2008 ^[34]	CON	钙、骨化三醇、阿仑膦酸钠	8					中国	□
	RE	渐进式抗阻+CON	9	55~69	>2	NR	NR		
Korpelainen等, 2006 ^[35]	CON	无干预	76	72.8±1.2		62.2±9.2	25.5±3.5	芬兰	□ □ □
	IE	双腿跳跃	84	72.9±1.1	>8	61.2±7.9	25.7±3.4		
Hans等, 2002 ^[36]	CON	钙、维D	32	66.3±4.9		64.0±7.5		瑞士	□ □ □ □
	IE	冲击运动+CON	99	67.6±5.2	>5	63.0±7.3	NR		
Basat等, 2013 ^[37]	CON	钙、维D	14	56.2±4.0	6.2±3.3		27.5±3.7	土耳其	□ □ □
	IE	高冲击训练+CON	14	55.6±2.9	6.5±2.0		26.4±3.5		
	SMET	抗自重肌力量训练	14	55.9±4.9	6.0±3.6	NR	25.0±4.7		
Posch等, 2019 ^[38]	CON	无干预	20	67.4±6.8		63.8±10.5	24.4±3.7	澳大利亚	□ □
	IE	蹦床	20	69.6±5.3	NR	64.2±8.10	25.1±3.2		
Wen等, 2016 ^[39]	CON	无干预	22	58.8±3.2		54.2±5.8	22.27±1.89	台湾	□ □
	AE	有氧运动	24	57.5±3.5	NR	52.0±6.4	21.69±2.94		
Yamazaki等, 2004 ^[40]	CON	钙	15	65.7±2.7	14.6±1.6	50.1±1.6	21.1±1.1	日本	□
	AE	步行、钙	27	64.2±2.9	16.6±1.7	51.2±1.4	21.2±0.7		
龚雄辉等, 2006 ^[41]	CON	钙	22	62.14±7.03	11.14±4.8	56.70±7.20	24.08±2.90	中国	□ □ □ □
	AE	登山、钙	22	61.25±6.90	10.95±4.7	57.00±7.88	23.74±3.01		
周隆等, 2020 ^[42]	CON	无干预	82	50.21±3.81			21.82±1.32	中国	□ □ □
	AE	有氧运动	82	51.50±2.81	NR	NR	22.62±1.12		
彭春雷等, 2016 ^[43]	CON	无干预	20	52.2±5.7		52.3±4.2		中国	□
	AE	高强度有氧运动	20	53.9±4.9	NR	52.5±5.8	NR		
孙荣鑫等, 2012 ^[44]	CON	无干预	30	55.2±6.1	5.3±2.4			中国	□
	AE	有氧运动	30	54.7±5.8	4.8±2.1	NR	NR		
陈静等, 2014 ^[45]	CON	钙	50	58.37±6.51				中国	□
	AE	行走、跑步、钙	50	58.60±7.53	NR	NR	NR		
李宁建等, 2019 ^[46]	CON	阿仑膦酸钠	96	65.34±8.13		61.15±4.27	24.12±2.46	中国	□ □
	AE	有氧、阿仑膦酸钠	96	64.10±8.27	>1	60.76±4.35	22.84±2.51		

续表									
纳入研究	分组	干预方式	样本量	年龄/岁	绝经年限/年	体重/kg	BMI/%	地域	结局指标
Yu等, 2019 ^[47]	CON	钙、D3	40	61.5±7.5	NR	57.8±7.40	24.1±2.6	台湾	□ □
	DM	舞蹈、钙、D3	40	62.5±6.6		57.3±10.0	24.0±4.2		
Qin等, 2018 ^[48]	CON	钙	25	45~60	NR	NR	NR	中国	□ □ □ □
	DM	广场舞、钙	25						
Angin等, 2015 ^[49]	CON	无干预	19	55.9±9.2	NR	62.79±10.7	24.85±4.31	土耳其	□
	DM	普拉提	22	58.2±5.4		60.93±7.64	24.16±2.94		
王雅纯等, 2018 ^[50]	CON	钙、利塞膦酸钠	84	67.4±7.6	NR	NR	22.1±1.7	中国	□ □ □ □
	DM	广场舞+CON	84	68.3±6.6			22.3±1.5		
秦晋泽等, 2017 ^[51]	CON	钙尔奇	25	45~60	NR	NR	NR	中国	□ □ □ □
	DM	广场舞、钙尔奇、	25						
胡健康等, 2021 ^[52]	CON	阿仑膦酸钠	30	68.5±7.23	NR	64.08±1.41	NR	中国	□ □ □
	SMET	核心训练+CON	30	70.1±6.12		59.49±1.35			
Bolton等, 2012 ^[53]	CON	无干预	8	56.3±4.7	11.7±7.1	63.6±11.9	25.0±4.4	澳大利亚	□ □
	IE&RE	跳跃、抗阻训练	10	60.3±5.6	13.0±7.4	64.5±9.7	25.2±4.3		
Watson等, 2018 ^[54]	CON	五干预	43	65.0±5.0	NR	63.4±11.4	23.8±3.9	澳大利亚	□ □
	IE&RE	高抗阻、冲击训练	43	65.0±5.0		61.8±8.9	23.2±3.4		
Engelke等, 2006 ^[55]	CON	钙、D3	30	55.5±3.0	5.4±2.1	67.0±13.6	NR	德国	□
	IE&RE	抗阻、冲击、钙、D3	48	55.2±3.3	4.6±2.1	67.6±9.6			
Kemmler等, 2003 ^[56]	CON	钙、D3	41	55.9±3.1	>1	64.8±13.6	24.7±3.9	德国	□ □
	IE&RE	抗阻、跳跃、钙、D3	59	55.1±3.4		67.6±9.7	25.1±3.3		
胡少云等, 2021 ^[57]	CON	骨化三醇、阿仑膦酸钠、D3	30	56.23±3.81	6.77±1.37	55.46±3.37	NR	中国	□ □ □
	AE&RE	有氧、抗阻+CON	30	58.9±2.93	6.15±1.27	57.46±2.37			
	CON	D3、阿法骨化醇、阿仑膦酸钠	26	56.25±3.75	3.48±1.57				
李蕊等, 2019 ^[58]	AE&RE	有氧、抗阻+CON	26	55.4±4.12	3.36±2.14		22.65±4.14	中国	□ □ □
	CON	无干预	11	59.73±1.19	NR	64.0±7.52			
Marchsei等, 2012 ^[59]	AE&RE	有氧运动、闭链抗阻	11	64.0±8.90			68.0±7.65		意大利
	CON	钙、D3	20	64.9±5.7	15.0±6.0	45.8±4.0	19.9±2.1		
Iwamoto等, 2001 ^[60]	AE&RE	步行、抗阻、钙、D3	8	65.3±4.7	16.0±6.0	45.5±6.5	19.7±1.3	日本	□
	CON	钙、D3	44	59.6±3.6	NR	NR	24.9±2.3		
Bergström等, 2008 ^[61]	AE&RE	快走、抗阻、钙、D3	48	58.9±4.3				24.4±2.6	瑞典
	CON	钙尔奇	32	56.3±2.1	6.81±1.2	NR	NR		
刘海全等, 2007 ^[62]	AE&RE	慢跑、抗阻、钙尔奇	36	56.3±2.1					

所有数值均使用“平均数±标准差”表示。CON: 对照组; Qigong: 健身气功; AE: 有氧运动; RE: 抗阻运动; WBV: 全身振动训练; IE: 冲击运动; DM: 操舞类运动; SMET: 抗自重肌肉耐力训练; IE&RE: 冲击联合抗阻运动; AE&RE: 有氧联合抗阻运动; NR: 数据缺失。□ 腰椎, □ 股骨颈, □ Ward’ s三角, □ 大转子, □ 全髋, □ 骨吸收标志物。

2.3 纳入研究的偏倚风险评价结果

本文选用Cochrane系统评价的偏倚风险评价工具对纳入研究进行了质量评价, 结果(图1)显示, 所有研究明确陈述了分组方法; 17项研究使用不透明的信封进行了分配隐藏; 由于干预性质, 需要进行伦理审核签署知情同意书, 只有两项研究采用了双盲干预; 在数据的完整性评价条目中, 42项研究报告了失访率, 但组间失访数目和原因相

似; 选择性报告方面, 90%的研究明确报告了主要结局和次要结局指标; 所有文献均无其他偏移风险。

2.4 网状Meta分析结果

2.4.1 网络证据图与一致性分析

各研究之间的网络关系, 以抗阻运动和冲击运动样本量居多, 其中运动干预对腰椎、股骨颈及全髋位置的骨密度及骨吸收转化物指标形成了闭环,

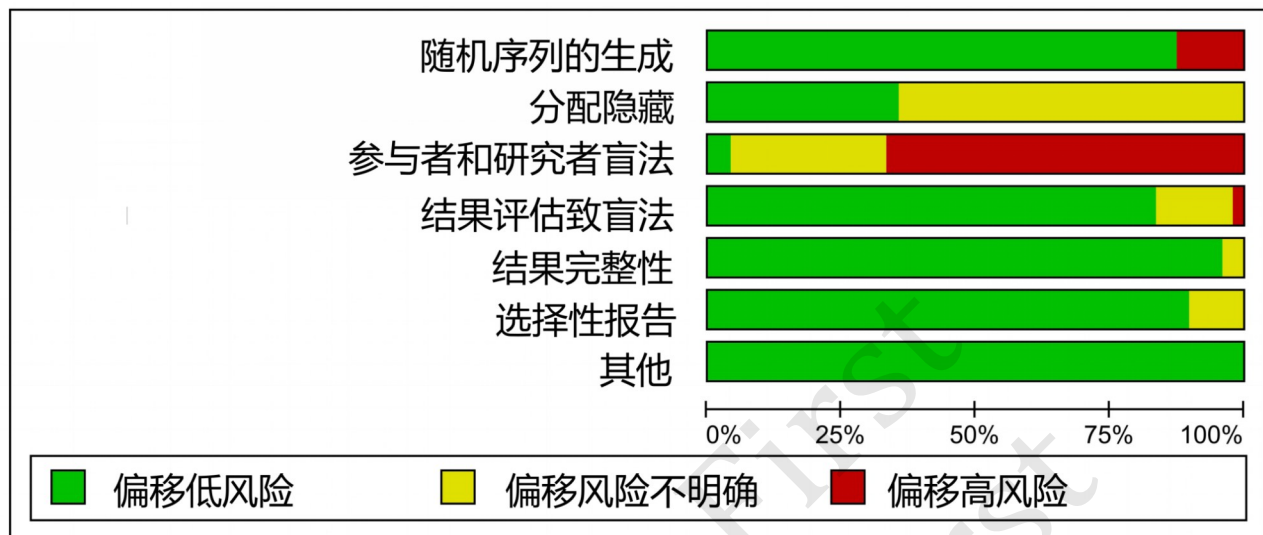


Fig. 1 Risk of bias graph of the Included Studies

图1 纳入研究的风险偏移图

大转子、Ward's 三角区相关指标间尚未形成闭环 (图2)。

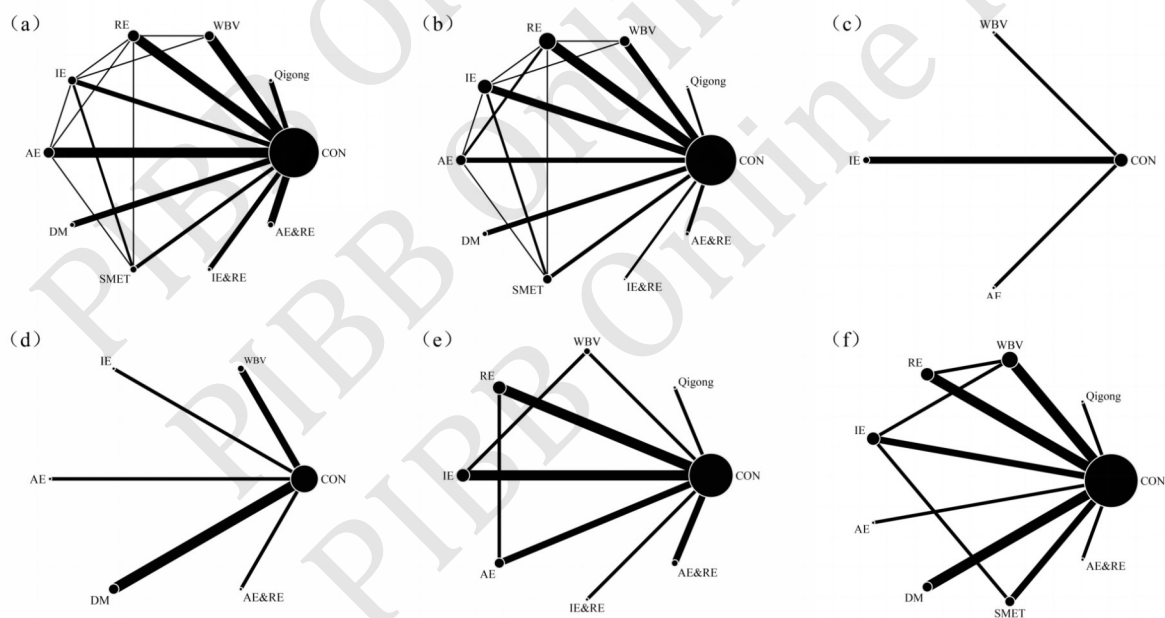


Fig. 2 Network evidence diagram

图2 网络证据图

(a) 腰椎骨密度指标; (b) 股骨颈骨密度指标; (c) 股骨颈骨密度指标; (d) Ward's 三角骨密度指标; (e) 全髌骨密度指标; (f) 骨吸收标志物指标。CON: 对照组; Qigong: 健身气功; AE: 有氧运动; RE: 抗阻运动; WBV: 全身振动训练; IE: 冲击运动; DM: 操舞类运动; SMET: 抗自重肌肉耐力训练; IE&RE: 冲击联合抗阻运动; AE&RE: 有氧联合抗阻运动。

基于网络证据图的结果, 需要对干预措施之间形成闭环的结局指标进行环不一致性检验、不一致性模型和局部不一致性检验。环不一致性检验结果表明, 在骨吸收标志物指标中仅“CON-RE-SMET”一个闭环出现不一致, 其余呈现较好一致性; 不一致模型检验结果不显著, 可采用一致性模型分析。节点分割法显示直接比较证据与间接比较证据具有一致性 ($P>0.05$), 结果可靠性较高。

2.4.2 网状Meta分析与排序结果

腰椎骨密度: 共44篇文献对腰椎骨密度进行了报道, 样本量为2 734例。网状Meta分析联赛图结果(图S2)显示, 与对照组相比, WBV ($SMD=0.68$, $95\%CI$ (0.19, 1.18))、DM ($SMD=0.64$, $95\%CI$ (0.02, 1.27)) 可显著改善患者腰椎骨密度 ($P<0.05$), 各干预措施间接比较均无显著性差异 ($P>0.05$)。SUCRA 概率排序(图3)发现, 各干预措施在改善腰椎骨密度方面的效果排序为: WBV ($SUCRA=81.9$) > DM ($SUCRA=78.2$) > SMET ($SUCRA=77.8$) > AE ($SUCRA=56.6$) > Qigong ($SUCRA=52.7$) > AE & RE ($SUCRA=42.2$) > RE ($SUCRA=37.7$) > IE ($SUCRA=31.0$) > IE & RE ($SUCRA=21.0$) > CON ($SUCRA=20.8$)。

股骨颈骨密度: 共31篇文献对股骨颈骨密度进行了报道, 样本量为2 269例。网状Meta分析联赛图结果(图S2)显示, 与对照组相比, WBV ($SMD=0.64$, $95\%CI$ (0.30, 0.99))、DM ($SMD=0.73$, $95\%CI$ (0.31, 1.14)) 可显著改善患者股骨颈骨密度 ($P<0.05$), 间接比较中 WBV ($SMD=0.67$, $95\%CI$ (0.01, 1.34)) 相对于 Qigong ($P<0.05$) 具有显著性优势, DM 相对于 Qigong、SMET 均具有显著性优势 ($P<0.05$)。SUCRA 概率排序(图3)发现, 各干预措施在改善股骨颈骨密度方面的效果排序为: DM ($SUCRA=91.1$) > WBV ($SUCRA=86.3$) > AE & RE ($SUCRA=64.8$) > AE ($SUCRA=51.3$) > IE ($SUCRA=50.4$) > RE ($SUCRA=48.0$) > IE & RE ($SUCRA=43.4$) > SMET ($SUCRA=27.8$) > Qigong ($SUCRA=20.6$) > CON ($SUCRA=16.5$)。

Ward's 三角区骨密度: 共8篇文献对 Ward's 三角区骨密度进行了报道, 样本量为548例。网状Meta分析联赛图结果(图S2)显示, 直接比较和间接比较差异均无显著性差异 ($P>0.05$)。

SUCRA 概率排序发现(图3), 各干预措施在改善 Ward's 三角区骨密度方面的效果排序为: WBV ($SUCRA=72.2$) > AE & RE ($SUCRA=50.5$) > IE ($SUCRA=49.5$) > CON ($SUCRA=46.5$) > AE ($SUCRA=46.3$) > DM ($SUCRA=35.1$)。

大转子骨密度: 共7篇文献对大转子骨密度进行了报道, 样本量为511例。网状Meta分析联赛图结果(图S2)显示, WBV ($SMD=1.03$, $95\%CI$ (0.57, 1.50)) 可显著改善患者大转子的骨密度 ($P<0.05$); 间接比较中 WBV 相比 IE、AE、AE&RE 有显著优势, RE、IE、AE 相比 AE&RE 有显著优势 ($P<0.05$)。SUCRA 概率排序(图3)发现, 各干预措施在改善大转子骨密度方面的效果排序为: WBV ($SUCRA=98.7$) > RE ($SUCRA=75.7$) > IE ($SUCRA=51.2$) > AE ($SUCRA=45.1$) > CON ($SUCRA=27.7$) > AE&RE ($SUCRA=1.6$)。

全髌骨密度: 共11篇文献对全髌骨密度进行了报道, 样本量为750例。网状Meta分析联赛图结果显示(图S2), 与对照组相比, AE & SMET ($SMD=-0.54$, $95\%CI$ (-0.91, -0.16)) 具有显著性差异 ($P<0.05$), 间接比较中 WBV、RE 和 IE 相对于 AE & SMET 具有显著性优势 ($P<0.05$)。SUCRA 概率排序(图3)发现, 各干预措施在改善全髌骨密度方面的效果排序为: WBV ($SUCRA=78.7$) > RE ($SUCRA=74.6$) > IE ($SUCRA=56.8$) > IE & RE ($SUCRA=49.2$) > CON ($SUCRA=48.3$) > Qigong ($SUCRA=45.1$) > AE ($SUCRA=43.7$) > AE & RE ($SUCRA=3.7$)。

骨吸收标志物: 共13篇文献对大转子骨密度进行了报道, 样本量为701例。网状Meta分析联赛图结果(图S2)显示, 直接比较和间接比较差异均无显著性差异 ($P>0.05$)。SUCRA 概率排序发现(图3), 各干预措施在降低骨吸收标志物方面的效果排序为: DM ($SUCRA=73.5$) > AE ($SUCRA=73.1$) > WBV ($SUCRA=57.9$) > SMET ($SUCRA=56.1$) > Qigong ($SUCRA=50.1$) > AE & RE ($SUCRA=46.2$) > CON ($SUCRA=35.9$) > IE ($SUCRA=31.2$) > RE ($SUCRA=26.1$)。

2.4.3 发表偏倚或小样本效应检验

通过漏斗图对结局指标进行发表偏倚检验见图S3, 发现各结局指标漏斗图对称性较好, 发表偏倚或小样本效应影响较小。

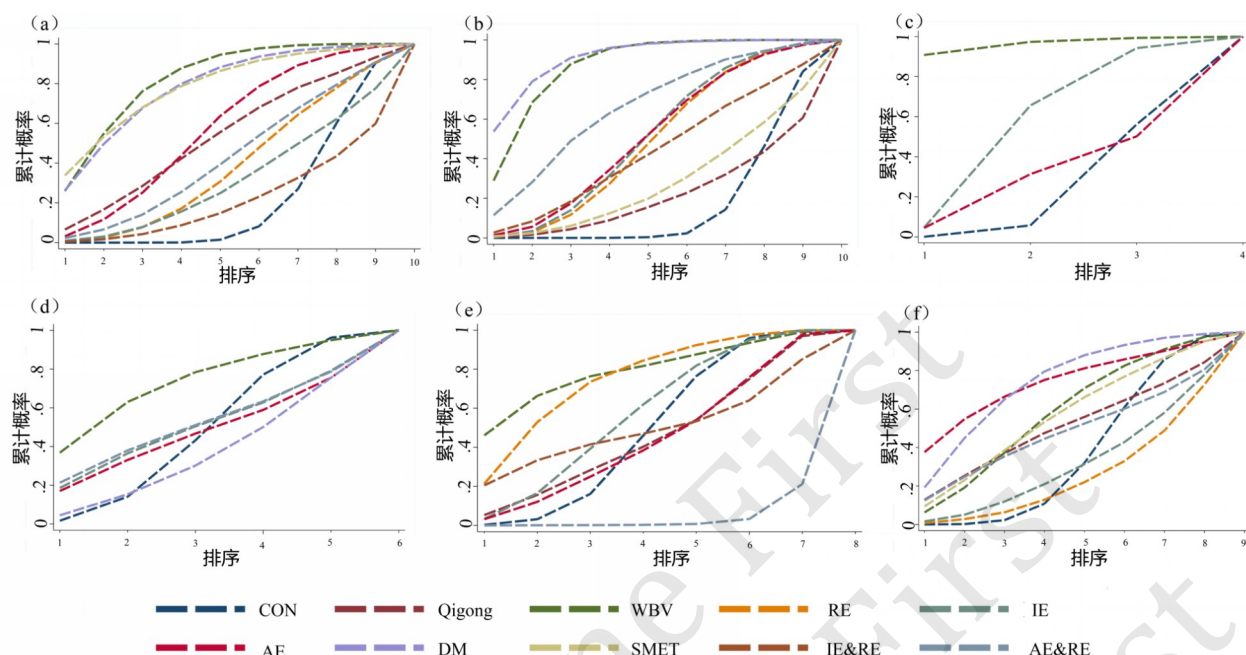


Fig. 3 Area probability ranking results under the SUCRA curve

图3 SUCRA曲线下面积概率排序结果

(a) 腰椎骨密度指标; (b) 股骨颈骨密度指标; (c) 股骨颈骨密度指标; (d) Ward's三角骨密度指标; (e) 全髌骨密度指标; (f) 骨吸收标志物指标。CON: 对照组; Qigong: 健身气功; AE: 有氧运动; RE: 抗阻运动; WBV: 全身振动训练; IE: 冲击运动; DM: 操舞类运动; SMET: 抗自重肌肉耐力训练; IE&RE: 冲击联合抗阻运动; AE&RE: 有氧联合抗阻运动。

3 总结和讨论

本文通过对纳入的48项研究进行网状Meta分析, 比较了9种不同运动对PMOP或骨量减少女性骨密度和骨吸收标志物的影响, 通过汇总有关运动对PMOP或骨量减少女性骨密度影响的RCT, 发现不同运动类型对各结局指标的改善效果具有差异性。与其余运动类型相比, WBV作为改善腰椎、大转子、Ward's三角、全髌骨密度最佳运动方式的可能性最大; 与不运动相比, WBV和DM可显著改善腰椎、股骨颈的骨密度, 而其余运动类型不具有显著性; DM对增加股骨颈骨密度、降低骨吸收标志物的效果最佳。因此可以得出, 改善PMOP的最佳运动为WBV, 其次为操舞类运动。

目前关于运动防治PMOP骨密度这一领域的Meta分析鲜有报道, 主要聚焦于运动对绝经后骨质健康女性或原发性骨质疏松人群干预效果的Meta分析。与本文结果不同的是, 原发性骨质疏松中改善腰椎和股骨颈骨密度的最佳运动方式是太极、五禽戏等温和缓慢的中国传统体育运动^[11]。与之相类似的是, 一项网状Meta分析发现易筋经

是改善老年人骨密度的最佳运动方式^[63]。然而, 这些研究对象不仅包含绝经后女性, 还包含未绝经女性及老年男性作为参与者。一种可能的解释是, 雌激素水平可能对施加在骨骼上的机械应变有累积效应, 这可能导致运动对不同人群骨密度的效果不同。

3.1 全身振动训练 (WBV)

WBV是一种由振动平台产生垂直或水平方向循环振动, 继而对机体产生机械刺激的方式。本文关于WBV对PMOP女性骨密度的良好效益, 与前期部分学者的研究结果一致^[64], 其潜在机制可能与WBV促进了骨的机械应力传导、成骨细胞分化及骨微循环改善等因素相关。首先, 机械振动通过身体传递, 在骨骼中产生机械应力直接刺激机械敏感的骨细胞, 促进骨形成, 抑制骨吸收来调节骨重塑^[5, 64]。WBV也可以通过减缓碱性磷酸酶(ALP)、Runx2和 β -catenin等成骨因子的表达的降低, 并阻止了RANKL等破骨细胞标志物水平的增加^[65-66]。其次, 机械振动使肌肉产生牵张反射, 肌肉不断进行高频低强度的收缩, 并对其所附着的骨骼产生局部机械应力刺激, 促进骨钙素和骨细胞的

生成^[64]。此外, WBV可以增加骨微血管的血流灌注量, 抑制骨吸收增加骨量^[67-68]。WBV也可有效地减少脂肪的堆积^[69], 前人的研究发现机械刺激可以通过促进机体骨髓巨噬细胞释放脂溶性因子, 从而促进成骨细胞的分化^[70], 这可能也是全身振动改善骨密度的机制之一。WBV综合冲击运动、力量练习以及有氧运动多种运动干预的特点, 通过多种机制改善骨质疏松。

WBV产生的疗效还受不同运动参数的影响, 近年来, WBV的治疗以低强度(振幅<1 g)和高频率(20~90 Hz)的机械振动模式能够有效促进成骨细胞的分化^[71]。一项Meta分析通过亚组分析发现高频低幅和低频高幅可对腰椎骨密度产生显著的改善作用, 但高频高幅无明显效果^[72]。除此之外, 在实际治疗中还需注意单次治疗时长、治疗频率和治疗周期等相关治疗参数, 目前较为常用的治疗模式是单次10~30 min, 一周3~5次, 治疗周期一般为8~24周。此外, 有研究发现高累计运动时间的疗效大于低累计运动时间的效果^[73], 干预期间的总运动剂量超过7 000 min, 频率约为30 Hz, 幅度约0.3 g的剂量对骨密度有较好的改善作用。WBV与抗阻训练、有氧等传统训练相比有更好的可行性, 肌肉阻力练习通常需要大约60 min的干预时间, 这需要动力和个性化的专业支持。而WBV在每次干预过程中需要的时间平均为10~20 min, 并且参与者的积极性很小。但目前91%的研究是在干预周期≤1年进行的, 需要更长期的研究来更好地确定绝经后妇女人群的有效性。

3.2 操舞类运动

操舞类运动通过将音乐、舞蹈、体育相结合的方式侧重于调节参与者的心理、身体和行为。DM可以有效改善腰椎, 股骨颈的骨密度。操舞类运动大多表现为下肢的跳跃、奔跑、屈膝半蹲负重、单腿支撑等姿势, 对下肢肌力、骨骼机械应力有较好的强化作用, 可有效改善股骨颈的骨密度^[74]。运动中躯干和髋关节的旋转、屈伸对腰椎和股骨近端产生挤压、拉伸等机械刺激, 使得椎体周围血流量增加, 肌肉收缩^[75]。因此, 对BMD的提升也主要集中在腰椎和股骨颈。DM还能够通过增加血清雌二醇的水平来间接增加骨密度^[75]。但有报道指出, 广场舞对>65岁的老年女性骨密度的改善并不显著^[76-77], 这可能是因为运动对骨量的疗效在绝经前期或绝经后早期比后期更有效^[12, 78]。另外, DM作为降低PMOP女性骨吸收标志物最佳干预方

式的概率最大, 但应谨慎对待该结果, 因为在纳入原始文献中有3项研究探索了DM对骨吸收标志物的影响, 仅有一项研究的结果显示DM能够显著降低骨吸收标志物水平, 要明确DM对骨吸收标志物的影响, 未来还需更多的研究验证其干预效果。

3.3 抗阻运动 (RE)

RE作为一种最常见的运动干预措施, 在防治骨质疏松的治疗中被广泛应用, RE对骨质疏松的作用在宏观上表现为增加骨小梁数量和骨皮质厚度以及减少体重等, 在机制上通过调节信号通路抑制抗酒石酸盐酸性磷酸酶(tartrate-resistant acid phosphatase, TRAP)的激活以及解除雌激素下降对降钙素受体的抑制, 从而抑制破骨细胞的活化和功能^[79]。RE通过肌骨串扰模式首先促进骨骼肌收缩分泌的肌肉因子以自分泌/旁分泌形式作用于骨骼, 将机械信号转换成生物信号产生一系列复杂的影响^[80]。RE被证明是增强肌因子释放的强大刺激^[81], 能够抑制肌肉质量的负调节因子(MSTN), 启动位于肌肉-骨界面的胰岛素生长因子1(IGF-1), 激活mTOR通路促进肌肉蛋白质的合成^[82], 从而激活Wnt/ β -catenin通路, 缓解肌肉萎缩, 促进成骨分化。白介素-6、鸢尾素和阿普林也在RE之后快速进入血液随之作用于骨骼, 维持骨骼吸收和骨骼形成之间的平衡^[83]。Howe等^[84]的Meta分析发现高阻力训练会增加绝经后女性的骨密度。也有研究表明, 联合RE似乎可有效保留绝经后妇女的股骨颈和腰椎BMD, 而单一RE仅产生不显著的积极效果^[85]。本文的结果与之类似, 这可能是因为参与者均是低雌激素和低骨密度的女性, 原始研究中考虑到研究对象的特征和耐受度, 所选取的运动较为单一, 强度较低(60%~80%RM)随之产生的效果较小。有报道指出即使是骨质疏松症运动指南建议的中等强度阻力(70%~80%RM)^[86], 也不足以产生机械应力来刺激成骨反应。只有每周不低于3次的高频率、中高强度(大于80%~85%RM)的RE才可引起骨密度显著性改变^[87]。对于PMOP人群来说除了很难适应这种强度之外, 也会担心发生跌倒和骨折的顾虑。

3.4 有氧运动 (AE)

AE能够保证充分的氧气供给, 运动强度多为轻、中等强度运动, 是中老年人最简单、最容易进行的运动之一。但有关AE对骨密度的影响, 仍然存在较大的争议。意大利骨质疏松症运动指南建议30 min的体育活动, 如步行, 足以预防和管理骨质

疏松症^[88]。然而,一项系统综述则指出AE作为运动干预措施不足以预防和改善绝经后女性的骨质流失^[89],与本文的结果与之类似。这是可能因为RE对雌二醇水平和瘦体重的疗效比AE更有效,而AE只是降低了机体的脂肪含量,对雌激素和肌肉的反应不足以引起骨代谢的变化。Razzak等^[90]发现AE对绝经后骨密度的疗效不如RE,大于75%最大摄氧量、高负重AE比简单的AE更有效,但这也增加了跌倒和骨折风险。尽管如此,简单的AE对骨质疏松症患者的心血管以及身体成分有很大的好处,对生活质量、功能活动性可产生有益的影响^[91]。因此骨质疏松、骨质减少的人群仍建议进行AE。

3.5 冲击运动 (IE)

IE指涉及跳跃或滞空后再落地,从而对机体产生较大冲击力的运动。该运动被认为其强度高、地面对骨骼产生的机械应力较大,对骨密度能够产生积极的影响并与运动强度呈正相关,对男性的效果更显著^[92]。相比之下,与本文的分析结果相似的是一项为期12个月的垂直跳跃练习,观察到对绝经后女性股骨颈和腰椎的骨密度没有显著影响,但对绝经前女性有显著影响^[93],这可能是因为骨骼对机械刺激的敏感性受雌激素水平和骨密度的影响。由于PMOP人群存在脆性骨折较高风险,高强度、高冲击力运动的安全性令人担忧,但Manaye等^[94]通过对已有研究的评估确定在冲击练习对老年女性是安全的。但是为了降低受伤的风险,建议老年人在尝试IE之前进行一段时间的下肢肌肉强化和核心稳定性训练,在组织训练时应由专业人员监督。

尽管本文通过对比目前最常见的9种运动干预手段,明确了改善PMOP最佳的运动类型是WBV,但该结果还受训练时间、绝经年限、结局指标检测手段精准性等因素的影响。现有研究暂不能很全面地反映运动的真实疗效。首先,现有研究的随访时间较短,限制了我们预测运动对骨量流失的长期影响。其次,现有研究的结局指标中绝大部分仅关注骨密度,骨骼质量还取决于骨微结构、几何形状、骨强度等,因此基于骨密度的运动研究可能低估了机械负荷对骨骼的实际影响,需要进一步的研究来量化运动对整个骨骼强度及其微结构决定因素的影响。绝经后女性骨量的流失也受绝经年限的影响,研究表明,随着绝经年限的延长,骨量流失逐渐增加,绝经后15~20年女性将丢失一生总骨量的

50%左右^[95],绝经年限在11~15年、大于16年骨质疏松发病风险分别是绝经年限小于10年的2.080及4.806倍。前人发现,相同的运动干预,对不同绝经年限女性的骨密度改善效果不同^[78],绝经早期骨代谢相对活跃,对运动刺激反应更敏感。虽然运动对绝经后期骨密度的效果有限,但这类人群更应该坚持运动,以缓解骨质流失,降低骨折风险。但由于原始研究中对绝经年限的报道并不完整,无法进行亚组分析探讨绝经年限对本研究结果是否产生影响。

附件 见本文网络版 (<http://www.pibb.ac.cn>, <http://www.cnki.net>):

PIBB_20240493_Table S1.pdf

PIBB_20240493_Figure S1.pdf

PIBB_20240493_Figure S2.pdf

PIBB_20240493_Figure S3.pdf

参考文献

- [1] 姜雨晴,赵允伍,王珩.高质量发展视角下构建慢病防治体系的难点与路径.卫生经济研究,2024,41(09) 26-33
Jiang Y Q, Zhao Y W, Wang H. Health Economics Research, 2024, 41(09) 26-33
- [2] 林贤灿,吴建军,黄宏兴,等.我国基层骨质疏松症防治的问题及策略.中国骨质疏松杂志,2022,28(11): 1678-1682
Lin X C, Wu J J, Huang H X, et al. Chin J Osteoporos, 2022, 28(11): 1678-1682
- [3] Camacho P M. Osteoporosis: update on diagnosis and management. Endocrinol Metab Clin North Am, 2024, 53(4): xi-xii
- [4] 袁玲丹,宋利格.《原发性骨质疏松症诊疗指南(2022版)》解读.同济大学学报:医学版,2023,44(6): 777-784
Yuan L D, Song L G. J Tongji Univ Med Sci, 2023, 44(6): 777-784
- [5] Hao Y, Yang N, Sun M, et al. The role of calcium channels in osteoporosis and their therapeutic potential. Front Endocrinol (Lausanne), 2024, 15: 1450328
- [6] 中国药学会循证药学专业委员会.钙剂预防成人原发性骨质疏松症的临床实践指南.中国循证医学杂志,2024,24(10): 1117-1128
Chinese Pharmaceutical Society Evidencebased Pharmacy Specialised Committee. Chin J Evid Based Med, 2024, 24(10): 1117-1128
- [7] Zhang L, Zheng Y L, Wang R, et al. Exercise for osteoporosis: a literature review of pathology and mechanism. Front Immunol, 2022, 13: 1005665
- [8] Chang X, Xu S, Zhang H. Regulation of bone health through physical exercise: mechanisms and types. Front Endocrinol (Lausanne), 2022, 13: 1029475

- [9] Zhang L, Zeng C, Huang J, *et al.* Exploration of the miR-187-3p/CNR2 pathway in modulating osteoblast differentiation and treating postmenopausal osteoporosis through mechanical stress. *FASEB J*, 2024, **38**(13): e23776
- [10] Lyu F F, Ramoo V, Chui P L, *et al.* Efficacy of mindfulness exercises for primary osteoporosis pain and balance: a systematic review and network meta-analysis. *Orthop Nurs*, 2024, **43**(5): 284-299
- [11] Zhang S, Huang X, Zhao X, *et al.* Effect of exercise on bone mineral density among patients with osteoporosis and osteopenia: a systematic review and network meta-analysis. *J Clin Nurs*, 2022, **31**(15/16): 2100-2111
- [12] Wang D, Cai J, Pei Q, *et al.* Gut microbial alterations in arginine metabolism determine bone mechanical adaptation. *Cell Metab*, 2024, **36**(6): 1252-1268.e8
- [13] Crocker T F, Lam N, Jordão M, *et al.* Risk-of-bias assessment using Cochrane's revised tool for randomized trials (RoB 2) was useful but challenging and resource-intensive: observations from a systematic review. *J Clin Epidemiol*, 2023, **161**: 39-45
- [14] Shim S, Yoon B H, Shin I S, *et al.* Network meta-analysis: application and practice using Stata. *Epidemiol Health*, 2017, **39**: e2017047
- [15] Wayne P M, Kiel D P, Buring J E, *et al.* Impact of Tai Chi exercise on multiple fracture-related risk factors in post-menopausal osteopenic women: a pilot pragmatic, randomized trial. *BMC Complement Altern Med*, 2012, **12**: 7
- [16] 蔡颖娴, 李秀兰, 招晶晶, 等. 八段锦联合钙尔奇D预防绝经后骨质疏松症30例临床观察. *中国民族民间医药*, 2018, **27**(23): 130-132
Cai Y X, Li X L, Zhao J J, *et al.* *Chin J Ethnomed Ethnopharmacy*, 2018, **27**(23): 130-132
- [17] 张长彪, 赵军, 邓强, 等. 基于“治未病·未病先防”理论探讨中西医结合预防绝经后骨质疏松症. *西部中医药*, 2017, **30**(1): 69-72
Zhang C B, Zhao J, Deng Q, *et al.* *West J Tradit Chin Med*, 2017, **30**(1): 69-72
- [18] 李琦, 杨鹤祥, 于冬冬, 等. 改良五禽戏处方对肝肾亏虚型绝经后骨质疏松症疗效观察. *辽宁中医药大学学报*, 2020, **22**(3): 154-157
Li Q, Yang D X, Yu D D, *et al.* *J Liaoning Univ Tradit Chin Med*, 2020, **22**(3): 154-157
- [19] ElDeeb A M, Abdel-Aziem A A. Effect of whole-body vibration exercise on power profile and bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis: a randomized controlled trial. *J Manipulative Physiol Ther*, 2020, **43**(4): 384-393
- [20] Sen E I, Esmailzadeh S, Eskiuyurt N. Effects of whole-body vibration and high impact exercises on the bone metabolism and functional mobility in postmenopausal women. *J Bone Miner Metab*, 2020, **38**(3): 392-404
- [21] Ruan X Y, Jin F Y, Liu Y L, *et al.* Effects of vibration therapy on bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis. *Chin Med J (Engl)*, 2008, **121**(13): 1155-1158
- [22] Jepsen D B, Ryg J, Hansen S, *et al.* The combined effect of Parathyroid hormone (1-34) and whole-body vibration exercise in the treatment of postmenopausal osteoporosis (PaVOS study): a randomized controlled trial. *Osteoporos Int*, 2019, **30**(9): 1827-1836
- [23] 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. *Clin Interv Aging*, 2013, **8**: 1603-1609
- [24] Verschueren S M P, Roelants M, Delecluse C, *et al.* Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *J Bone Miner Res*, 2004, **19**(3): 352-359
- [25] von Stengel S, Kemmler W, Engelke K, *et al.* Effects of whole body vibration on bone mineral density and falls: results of the randomized controlled ELVIS study with postmenopausal women. *Osteoporos Int*, 2011, **22**(1): 317-325
- [26] 陈国仙, 王国荣, 李国山, 等. 低强度复合振动联合阿仑膦酸钠对绝经后骨质疏松患者骨密度的影响研究. *中国康复医学杂志*, 2017, **32**(2): 182-186
Chen G X, Wang G R, Li G S, *et al.* *Chin J Rehabil Med*, 2017, **32**(2): 182-186
- [27] 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. *中国骨质疏松杂志*, 2019, **25**(4): 446-451
Nie M J, Zhang Z H, Feng Q, *et al.* *Chin J Osteoporos*, 2019, **25**(4): 446-451
- [28] Hartard M, Haber P, Ilieva D, *et al.* Systematic strength training as a model of therapeutic intervention. A controlled trial in postmenopausal women with osteopenia. *Am J Phys Med Rehabil*, 1996, **75**(1): 21-28
- [29] Linero C, Choi S J. Effect of blood flow restriction during low-intensity resistance training on bone markers and physical functions in postmenopausal women. *J Exerc Sci Fit*, 2021, **19**(1): 57-65
- [30] de Matos O, Lopes da Silva D J, Martinez de Oliveira J, *et al.* Effect of specific exercise training on bone mineral density in women with postmenopausal osteopenia or osteoporosis. *Gynecol Endocrinol*, 2009, **25**(9): 616-620
- [31] Gualano B, Macedo A R, Alves C R R, *et al.* Creatine supplementation and resistance training in vulnerable older women: a randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. *Exp Gerontol*, 2014, **53**: 7-15
- [32] Mosti M P, Kaehler N, Stunes A K, *et al.* Maximal strength training in postmenopausal women with osteoporosis or osteopenia. *J Strength Cond Res*, 2013, **27**(10): 2879-2886
- [33] 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. *Exp Gerontol*, 2011, **46**(7): 524-532
- [34] 胡鸢, 唐金树, 侯树勋, 等. 渐进抗阻训练结合阿仑膦酸钠提高

- 绝经后骨质疏松症患者腰椎骨密度的初步研究. 中国康复理论与实践, 2008, **14**(4): 374-375
- Hu Y, Tang J S, Hou S X, *et al.* Chin J Rehabil Theory Pract, 2008, **14**(4): 374-375
- [35] Korpelainen R, Keinänen-Kiukaanniemi S, Heikkinen J, *et al.* Effect of impact exercise on bone mineral density in elderly women with low BMD: a population-based randomized controlled 30-month intervention. Osteoporos Int, 2006, **17**(1): 109-118
- [36] Hans D, Genton L, Drezner M K, *et al.* Monitored impact loading of the hip: initial testing of a home-use device. Calcif Tissue Int, 2002, **71**(2): 112-120
- [37] Basat H, Esmailzadeh S, Eskiyurt N. The effects of strengthening and high-impact exercises on bone metabolism and quality of life in postmenopausal women: a randomized controlled trial. J Back Musculoskeletal Rehabil, 2013, **26**(4): 427-435
- [38] Posch M, Schranz A, Lener M, *et al.* Effectiveness of a mini-trampoline training program on balance and functional mobility, gait performance, strength, fear of falling and bone mineral density in older women with osteopenia. Clin Interv Aging, 2019, **14**: 2281-2293
- [39] Wen H J, Huang T H, Li T L, *et al.* Effects of short-term step aerobics exercise on bone metabolism and functional fitness in postmenopausal women with low bone mass. Osteoporos Int, 2017, **28**(2): 539-547
- [40] Yamazaki S, Ichimura S, Iwamoto J, *et al.* Effect of walking exercise on bone metabolism in postmenopausal women with osteopenia/osteoporosis. J Bone Miner Metab, 2004, **22**(5): 500-508
- [41] 龚雄辉, 闫福芝, 张红霞. 登山对绝经后骨质疏松症患者骨量的影响. 现代中西医结合杂志, 2006, **15**(19): 2611-2612
- Gong X H, Yan F Z, Zhang H X. Mod J Integr Tradit Chin West Med, 2006, **15**(19): 2611-2612
- [42] 周隆, 任兆舟, 张展, 等. 运动疗法对防治绝经后妇女骨质疏松症的疗效分析及对骨密度的影响. 中国妇幼保健, 2020, **35**(7): 1270-1273
- Zhou L, Ren Z Z, Zhang Z, *et al.* Matern Child Health Care China, 2020, **35**(7): 1270-1273
- [43] 彭春雷, 钱志远, 温仲民. 不同程度有氧运动对绝经后骨质疏松患者骨密度和雌激素水平影响的研究. 中国血液流变学杂志, 2016, **26**(1): 101-103, 117
- Peng C L, Qian Z Y, Wen Z M. Chin J Hemorheol, 2016, **26**(1): 101-103, 117
- [44] 孙荣鑫. 有氧运动对绝经后女性骨密度及激素水平影响的临床观察. 中国妇幼保健, 2012, **27**(1): 127-129
- Sun R X. Matern Child Health Care China, 2012, **27**(1): 127-129
- [45] 陈静, 王洪欣. 钙剂联合运动疗法治疗中老年妇女骨质疏松症疗效分析. 中国实用医药, 2015, **10**(9): 205-206
- Chen J, Wang H X. China Pract Med, 2015, **10**(9): 205-206
- [46] 李宇建, 华彬, 章中良, 等. 双膦酸盐治疗加运动康复对绝经后妇女骨质疏松症的疗效研究. 中国预防医学杂志, 2019, **20**(11): 1097-1100
- Li N J, Hua B, Zhang Z L, *et al.* Chin Prev Med, 2019, **20**(11): 1097-1100
- [47] Yu P A, Hsu W H, Hsu W B, *et al.* The effects of high impact exercise intervention on bone mineral density, physical fitness, and quality of life in postmenopausal women with osteopenia: a retrospective cohort study. Medicine (Baltimore), 2019, **98**(11): e14898
- [48] Qin J, Rong X, Zhu G, *et al.* The effects of square dancing on bone mineral density and bone turnover markers in patients with postmenopausal osteoporosis. Journal of Mechanics in Medicine and Biology, 2018, **18**(8): 1-8
- [49] Angin E, Erden Z, Can F. The effects of clinical pilates exercises on bone mineral density, physical performance and quality of life of women with postmenopausal osteoporosis. J Back Musculoskeletal Rehabil, 2015, **28**(4): 849-858
- [50] 王雅纯, 周少法, 宋艳玲. 运动联合利塞膦酸钠治疗绝经后女性骨质疏松症疗效分析. 中国骨质疏松杂志, 2018, **24**(3): 315-318
- Wang Y C, Zhou S F, Song Y L. Chin J Osteoporos, 2018, **24**(3): 315-318
- [51] 秦晋泽, 荣晓旭, 朱国兴, 等. 广场舞对绝经期后骨质疏松患者的骨密度和骨转换指标影响的研究. 中国骨质疏松杂志, 2017, **23**(1): 43-46, 50
- Qin J Z, Rong X X, Zhu G X, *et al.* Chin J Osteoporos, 2017, **23**(1): 43-46, 50
- [52] 胡健康, 周鹏, 魏百川, 等. 核心力量训练对绝经后骨质疏松症患者腰椎骨密度的影响. 当代医学, 2021, **27**(30): 62-64
- Hu J K, Zhou P, Wei B C, *et al.* Contemp Med, 2021, **27**(30): 62-64
- [53] 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 Sci Med Sport, 2012, **15**(2): 102-109
- [54] Watson S L, Weeks B K, Weis L J, *et al.* High-intensity resistance and impact training improves bone mineral density and physical function in postmenopausal women with osteopenia and osteoporosis: the LIFTMOR randomized controlled trial. J Bone Miner Res, 2018, **33**(2): 211-220
- [55] Engelke K, Kemmler W, Lauber D, *et al.* Exercise maintains bone density at spine and hip EFOPS: a 3-year longitudinal study in early postmenopausal women. Osteoporos Int, 2006, **17**(1): 133-142
- [56] Kemmler W, Engelke K, Weineck J, *et al.* The Erlangen fitness osteoporosis prevention study: a controlled exercise trial in early postmenopausal women with low bone density-first-year results. Arch Phys Med Rehabil, 2003, **84**(5): 673-682
- [57] 胡少云, 曹晓宁, 胡少君. 运动疗法对绝经后骨质疏松症骨代谢影响的临床研究. 临床医药实践, 2021, **30**(6): 403-405
- Hu S Y, Cao X N, Hu S J. Proceeding Clin Med, 2021, **30**(6): 403-405
- [58] 李蕊, 杨震, 韩伟, 等. 联合性运动疗法对绝经后骨质疏松症患者骨代谢的影响. 国际骨科学杂志, 2019, **40**(1): 52-56, 62
- Li R, Yang Z, Han W, *et al.* Int J Orthop, 2019, **40**(1): 52-56, 62
- [59] Marchese D, D'andrea M, Ventura V, *et al.* Effects of a weight-

- bearing exercise training on bone mineral density and neuromuscular function of osteopenia women. *European Journal of Inflammation*, 2012, **10**(3): 427-435
- [60] Iwamoto J, Takeda T, Ichimura S. Effect of exercise training and detraining on bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis. *J Orthop Sci*, 2001, **6**(2): 128-132
- [61] Bergström I, Landgren B, Brinck J, *et al.* Physical training preserves bone mineral density in postmenopausal women with forearm fractures and low bone mineral density. *Osteoporos Int*, 2008, **19**(2): 177-183
- [62] 刘海全, 秦佳佳, 刘洪江. 运动综合疗法对绝经后骨质疏松症骨密度的影响. *中医正骨*, 2007(3): 14
- Liu H Q, Qin J J, Liu H J. *The Journal of Traditional Chinese Orthopedics and Traumatology*, 2007(3): 14
- [63] 邢双涛, 冯世杰, 关朝阳. 不同运动对老年人骨密度影响的网状Meta分析. *中国骨质疏松杂志*, 2024, **30**(3): 348-354
- Xing S T, Feng S J, Guan C Y. *Chin J Osteoporos*, 2024, **30**(3): 348-354
- [64] Hoffman D B, Schifano A G, Cooley M A, *et al.* Low intensity, high frequency vibration training to improve musculoskeletal function in a mouse model of volumetric muscle loss. *J Orthop Res*, 2025, **43**(3): 622-631
- [65] Minematsu A, Nishii Y, Sakata S. Effects of whole-body vibration on bone properties in aged rats. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 2021, **21**(2): 287-297
- [66] Minematsu A, Nishii Y. Effects of whole-body vibration on bone properties in type 2 diabetes model rats. *Osteoporos Sarcopenia*, 2024, **10**(3): 101-107
- [67] Xu L, Zhang L, Li G, *et al.* Inhibiting histone deacetylase 6 suppresses the proliferation of microvascular endothelial cells by epigenetically activating miR-375-3p, potentially contributing to bone loss during mechanical unloading. *J Transl Med*, 2024, **22**(1): 811
- [68] He W Z, Yang M, Jiang Y, *et al.* miR-188-3p targets skeletal endothelium coupling of angiogenesis and osteogenesis during ageing. *Cell Death Dis*, 2022, **13**(5): 494
- [69] Higaki S, Koga Y, Inai R, *et al.* Long-term whole-body vibration stimulus decreases body fat accumulation in rats fed a high-fat diet. *J Oleo Sci*, 2023, **72**(9): 839-847
- [70] Peng H, Hu B, Xie L Q, *et al.* A mechanosensitive lipolytic factor in the bone marrow promotes osteogenesis and lymphopoiesis. *Cell Metab*, 2022, **34**(8): 1168-1182.e6
- [71] 李明志, 刘海英, 李胜利, 等. 全身低载高频振动参数交互作用下松质骨力学行为的模拟研究. *医疗卫生装备*, 2024, **45**(7): 17-23
- Li M Z, Liu H Y, Li S G, *et al.* *Chin Med Equip J*, 2024, **45**(7): 17-23
- [72] Oliveira L C, Oliveira R G, Pires-Oliveira D A. Effects of whole body vibration on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int*, 2016, **27**(10): 2913-2933
- [73] de Oliveira R D J, de Oliveira R G, de Oliveira L C, *et al.* Effectiveness of whole-body vibration on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Osteoporos Int*, 2023, **34**(1): 29-52
- [74] Li H, Jiang H, Wang J, *et al.* Effects of mind-body exercises for osteoporosis in older adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Geriatr Orthop Surg Rehabil*, 2023, **14**: 21514593231195237
- [75] 朱琛煜, 邹军, 杨珏. 休闲性舞蹈防治骨质疏松的临床研究进展. *中国骨质疏松杂志*, 2024, **30**(3): 458-462
- Zhu C Y, Zou J, Yang J, *Chin J Osteoporos*, 2024, **30**(3): 458-462
- [76] 魏彬, 黄景辉, 程智涛, 等. 广场舞对不同年龄段绝经后妇女腰椎骨密度影响的队列研究. *空军军医大学学报*, 2024, **15**(4): 430-435
- Wei B, Huang J H, Cheng Z T, *et al.* *J Air Force Med Univ*, 2024, **15**(4): 430-435
- [77] Ji J, Hou Y, Li Z, *et al.* Association between physical activity and bone mineral density in postmenopausal women: a cross-sectional study from the NHANES 2007-2018. *J Orthop Surg Res*, 2023, **18**(1): 501
- [78] Kemmler W, Shojaa M, Kohl M, *et al.* Effects of different types of exercise on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. *Calcif Tissue Int*, 2020, **107**(5): 409-439
- [79] Wang Q, Weng H, Xu Y, *et al.* Anti-osteoporosis mechanism of resistance exercise in ovariectomized rats based on transcriptome analysis: a pilot study. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2023, **14**: 1162415
- [80] Hong A R, Kim S W. Effects of resistance exercise on bone health. *Endocrinol Metab (Seoul)*, 2018, **33**(4): 435-444
- [81] Zunner B E M, Wachsmuth N B, Eckstein M L, *et al.* Myokines and resistance training: a narrative review. *Int J Mol Sci*, 2022, **23**(7): 3501
- [82] Gomasasca M, Banfi G, Lombardi G. Myokines: the endocrine coupling of skeletal muscle and bone. *Adv Clin Chem*, 2020, **94**: 155-218
- [83] Zhao Z, Yan K, Guan Q, *et al.* Mechanism and physical activities in bone-skeletal muscle crosstalk. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2024, **14**: 1287972
- [84] Howe T E, Shea B, Dawson L J, *et al.* Exercise for preventing and treating osteoporosis in postmenopausal women. *Cochrane Database Syst Rev*, 2011(7): CD000333
- [85] Zhao R, Zhao M, Xu Z. The effects of differing resistance training modes on the preservation of bone mineral density in postmenopausal women: a meta-analysis. *Osteoporos Int*, 2015, **26**(5): 1605-1618
- [86] Giangregorio L M, Papaioannou A, MacIntyre N J, *et al.* Too Fit To Fracture: exercise recommendations for individuals with osteoporosis or osteoporotic vertebral fracture. *Osteoporos Int*, 2014, **25**(3): 821-835
- [87] 王珍玉, 夏渊, 卢悦, 等. 不同抗阻训练方案对绝经后女性骨密度影响的网状Meta分析. *中国组织工程研究*, 2023, **27**(28): 4586-4592
- Wang Z Y, Xia Y, Lu Y, *et al.* *Chin J Tissue Eng Res*, 2023, **27**(28): 4586-4592

- 4586-4592
- [88] Rossini M, Adami S, Bertoldo F, *et al.* Guidelines for the diagnosis, prevention and management of osteoporosis. *Reumatismo*, 2016, **68**(1): 1-39
- [89] Daly R M, Dalla Via J, Duckham R L, *et al.* Exercise for the prevention of osteoporosis in postmenopausal women: an evidence-based guide to the optimal prescription. *Braz J Phys Ther*, 2019, **23**(2): 170-180
- [90] Razzak Z A, Khan A A, Farooqui S I. Effect of aerobic and anaerobic exercise on estrogen level, fat mass, and muscle mass among postmenopausal osteoporotic females. *Int J Health Sci (Qassim)*, 2019, **13**(4): 10-16
- [91] Marini S, Barone G, Masini A, *et al.* The effect of physical activity on bone biomarkers in people with osteoporosis: a systematic review. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2020, **11**: 585689
- [92] Wu M C, Nfor O N, Ho C C, *et al.* The association between different impact exercises and osteoporosis: an analysis of data from the Taiwan biobank. *BMC Public Health*, 2024, **24**(1): 1881
- [93] Bassey E J, Rothwell M C, Littlewood J J, *et al.* Pre- and postmenopausal women have different bone mineral density responses to the same high-impact exercise. *J Bone Miner Res*, 1998, **13**(12): 1805-1813
- [94] Manaye S, Cheran K, Murthy C, *et al.* The role of high-intensity and high-impact exercises in improving bone health in postmenopausal women: a systematic review. *Cureus*, 2023, **15**(2): e34644
- [95] 李建国, 李鼎鹏, 谢兴文, 等. 2224例女性月经史及绝经年龄、绝经年限与骨质疏松症相关性研究. *中国骨质疏松杂志*, 2022, **28**(9): 1326-1329
- Li J G, Li D P, Xie X W, *et al.* *Chin J Osteoporos*, 2022, **28**(9): 1326-1329

Effect of Exercise Intervention on Bone Mineral Density in Postmenopausal Osteoporosis Woman

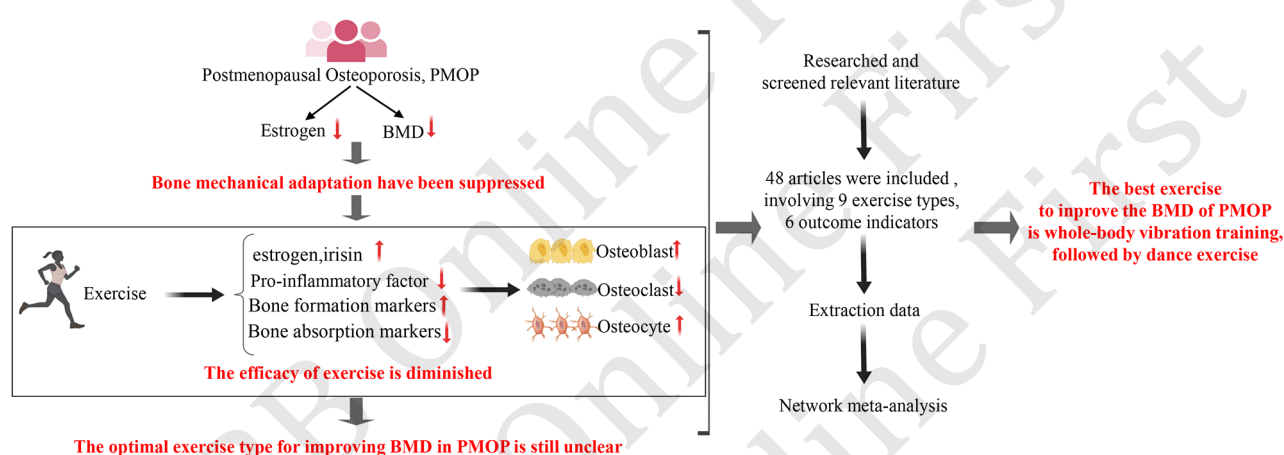
— a Network Meta-analysis*

HAO Ying^{1)**}, YANG Ning-Ning¹⁾, SUN Meng-Ying¹⁾, ZHOU Xiao-Bin²⁾, CHEN Zhuo¹⁾

⁽¹⁾College of Physical Education, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

⁽²⁾Department of Rehabilitation Medicine, Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730070, China)

Graphical abstract



Abstract Postmenopausal osteoporosis (PMOP) is a chronic metabolic bone disease caused by a decrease in estrogen levels. With the acceleration of population aging process, the public health burden caused by it is becoming increasingly severe. The prevalence rate of osteoporosis in people over 65 years old in China is as high as 32%, which is especially prominent after menopause, which is about 5 times that of elderly men. About 40% of postmenopausal women are at risk of osteoporotic fractures, with a disability rate of up to 50% and a fatality rate of about 20%. The prevention and treatment of osteoporosis has become a major public health issue of global concern, and it is particularly urgent to develop reasonable and effective prevention and treatment programs and explore their scientific basis. Exercise is an important non-drug means for the prevention and treatment of PMOP, it can improve estrogen levels and the expression of bone formation transcription factors, and inhibit the levels of proinflammatory factors and bone resorption markers, macroscopically manifested by the improvement of bone microstructure and bone density. However, the effectiveness of exercise in improving bone mineral density (BMD) remains controversial. Some studies revealed significant changes of bone to mechanical stimulation, while others showed no significant effect of mechanical training, this heterogeneity in bone adapt to mechanical stimulation is particularly evident in postmenopausal women. Although the evidence that a wide range of exercise programs can improve osteoporosis, the optimal solution to address bone mineral loss remains unclear. The most effective exercise type, dosage and personalized adaptation are still being determined. This study will fully consider the differences in gender and hormone levels, searching and screening randomized controlled trials of PubMed, CNKI and other databases regarding exercise improving bone mineral density in women with PMOP. Strictly following the PRISMA guidelines to reviewed and compared the effects of different types of exercise

modalities on BMD at different sites in women with PMOP by network Meta-analysis, to provide theoretical guidance to maintain or improve BMD in women with PMOP.

Key words postmenopausal osteoporosis, exercise intervention, bone mineral density, network Meta-analysis

DOI: 10.16476/j.pibb.2024.0493

CSTR: 32369.14.pibb.20240493

* This work was supported by a grant from The National Social Science Foundation of China (21BTY078) and Gansu Province Basic Research Program-Special Funding for Soft Science (24JRZA065).

** Corresponding author.

Tel: 86-13639395477, E-mail: haoying@nwnu.edu.cn

Received: November 27, 2024 Accepted: March 25, 2025