

DOI:10.13288/j.11-2166/r.2025.15.010

太极拳训练对骨质疏松症高风险人群骨密度、骨转换标志物及心率变异性的影响

林嘉铭^{1,2}, 李超³, 赵伟^{1,2}, 周峻^{1,2}, 陈晓英⁴, 奚向宇⁵,
何海军⁶, 宓保宏^{1,2}, 陈月峰^{1,2}, 陈卫衡^{1,2}✉

1. 北京中医药大学第三附属医院, 北京市朝阳区安定门外小关街 51 号, 100029; 2. 中医骨伤治疗与运动康复智能化教育部工程研究中心; 3. 国家奥林匹克体育中心; 4. 四川省宜宾市中医医院; 5. 北京市西城区广外医院; 6. 中国中医科学院望京医院

[摘要] **目的** 研究太极拳训练对骨质疏松症高风险人群骨密度、骨转换标志物和心率变异性的影响, 为骨质疏松症的早期防治提供依据。**方法** 纳入骨质疏松症高风险人群 66 例, 采用随机数字表法分为试验组与对照组各 33 例。对照组接受每周 3 次的骨质疏松症健康宣教, 试验组在对照组基础上接受由教练指导的每周 3 次、每次 40 min 的太极拳训练, 两组均干预 12 周。干预前后采用双能 X 线骨密度仪分别检测两组受试者腰椎 L₁~L₄、双侧股骨颈及双侧全髋骨密度; 采用酶联免疫吸附法测定干预前后的骨转换标志物, 包括 I 型胶原氨基端前肽 (P1NP)、 β -I 型胶原交联羧基端肽 (β -CTX)。选取试验组中依从性良好的受试者 7 例, 佩戴心率传感器后先后进行太极拳训练与指南推荐的步行活动各 20 min, 采集运动过程中的心率变异性 (HRV), 包括时域指标 [正常窦性心搏间期的标准差 (SDNN)、相邻 RR 间期差的均方根 (RMSSD)]、频域指标 [低频功率 (LF)、高频功率 (HF)、低频/高频功率比值 (LF/HF)]、非线性指标 [近似熵 (ApEn)、样本熵 (SampEn)]。**结果** 最终 63 例受试者纳入结果分析, 其中试验组 30 例, 对照组 33 例。干预后, 试验组腰椎 L₁~L₄、双侧股骨颈、双侧全髋骨密度与干预前比较差异均无统计学意义 ($P>0.05$), 对照组各部位骨密度均较干预前明显下降 ($P<0.05$)。干预前后两组 P1NP、 β -CTX 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。相较于步行运动, 太极拳锻炼中的 LF 降低, HF 升高, LF/HF 降低 ($P<0.05$); 时域指标、非线性指标两组间差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。**结论** 太极拳能够维持骨质疏松症高风险人群腰椎、股骨颈、全髋的骨密度, 改善交感/副交感神经平衡, 但对于骨转换标志物的改善不显著。

[关键词] 骨质疏松症; 太极拳; 骨密度; 心率变异性; 骨转化标志物

骨质疏松症 (osteoporosis) 是好发于中老年人群的常见病, 流行病学调查^[1]显示, 我国 50 岁以上人群中骨质疏松症发生率为 19.2%, 65 岁以上群体中发病率约为 32.0%。骨质疏松症高风险人群是指年龄 ≥ 40 岁, 容易发展为骨质疏松症的骨量正常或骨量减少人群^[2]。由于公众对骨质疏松症预防的重要性认识不足, 在骨量下降初期没有及时采取防控措施, 常常延误了防治的有利时机。已有研

究表明太极拳能够有效增加骨质疏松症患者骨密度^[3-5], 但是对其高风险人群的影响尚未得到研究。本文采用骨密度、骨转换标志物和心率变异性指标评价太极拳对骨质疏松症高风险人群的影响, 以期骨质疏松症的早期防治提供依据。本研究获北京中医药大学第三附属医院伦理委员会批准 (批件号: BZYSY-KYKTPJ-22), 所属课题研究在中国临床试验注册中心完成注册 (注册号: ChiCTR2000030289)。

1 资料

1.1 诊断标准

骨质疏松症高风险人群诊断标准参照《原发性骨质疏松症诊疗指南 (2022)》^[6]、《骨质疏松症高

基金项目: 深圳市“医疗卫生三名工程”项目 (SZZYSM202311020); 北京中医药大学第三附属医院“精诚青苗”项目 (2025-QMKY-003); 北京市中西医协同“旗舰”科室建设项目; 北京市朝阳区优势专科项目

✉ 通讯作者: drchenweiheng@bucm.edu.cn

风险人群中中医辨识规范》^[2]制定：1) 年龄 ≥ 40 岁；2) 双能X线吸收检测法(DXA)测定中轴骨(腰椎 $L_1\sim L_4$ 、股骨颈或全髋部)骨密度T值 $-2.5\sim -1$ 。

1.2 纳入标准

1) 符合上述诊断标准，年龄40~75岁；2) 国际骨质疏松基金会骨质疏松1分钟测试^[6]为阳性；3) 签署知情同意书。

1.3 排除标准

1) 具有运动禁忌者，如心脏、肺脏等疾病急性阶段或消化道出血等有出血倾向；2) 长期服用糖皮质激素、抗癫痫药物、芳香化酶抑制剂等影响骨代谢药物；3) 合并心血管、脑血管、造血系统等严重原发性疾病或恶性肿瘤；4) 准备妊娠、妊娠及哺乳期妇女；5) 精神类疾病等不能正常配合试验。

1.4 剔除标准

违反或未严格遵守研究治疗方案，如服用影响治疗的药物、自行停止锻炼累计超过1个月、未能按时检测结局指标等。

1.5 脱落标准

1) 主动退出试验；2) 失访。

1.6 研究对象

本研究于2020年2月26日至5月31日纳入66名受试者，来源于中国中医科学院望京医院(24例)、北京市西城区广外医院(15例)、四川省宜宾市第一人民医院(27例)。根据腰椎骨密度值为观测的主要结局指标，参考前期同类研究^[7]进行样本量估算，试验组与对照组的差值为0.145，标准差为0.17，设双侧 $\alpha=0.05$ ，把握度即 $1-\beta$ 为0.9，试验组与对照组样本量比值为1:1；参照文献[8]方法，采用R语言计算得到试验组样本量为29例，对照组样本量为29例。考虑10%失访以及拒访的情况，最终至少需要试验组33例，对照组33例，总计纳入样本量为66例。

2 方法

2.1 研究设计

采用随机对照试验设计，按参加单位的病例分配数及随机比例由SPSS 21.0生成随机数字分组表。将随机序列号放入不透光、密封的信封中，按受试对象入组顺序从信封中抽取随机数字，根据随机数字按照指定方案对受试对象给予相应干预措施。本研究难以对太极拳教学者及受试者设盲，因此仅对指标评估者设盲，若指标评估者意外获知分组，则由其他未破盲的独立评估者重新评估疗效，

并记录时间、原因及涉及人员。

2.2 治疗方法

对照组受试者接受骨质疏松症健康宣教，宣教形式包括发放健康宣传手册、线上知识科普等，宣教内容包括骨质疏松症的危害、骨质疏松症和骨量减少的危险因素、骨质疏松症和骨量减少的预防手段等。每周3次，共12周。试验组受试者在对照组的基础上参照国家体育总局发布的二十四式简化太极拳进行干预。由专业的、经过一致性培训的太极拳教练带队现场集中训练，每次40 min，包括10 min热身，20 min太极拳练习，10 min放松。每周3次，共12周。

2.3 观察指标和方法

2.3.1 骨密度 分别于干预前后采集腰椎 $L_1\sim L_4$ 、双侧股骨颈、双侧全髋骨密度T值。骨密度测定由各中心骨密度测试室进行检测，检测仪器均为美国通用电气公司生产的双能X线Lunar iDXA检测仪，采用DXA方法进行检测。T值=(实测值-同种族同性别正常青年人峰值骨密度)/同种族同性别正常青年人峰值骨密度的标准差。

2.3.2 骨转换标志物 分别于干预前后采集受试者静脉血样检测分析得出，包括骨形成标志物血清I型胶原N-端前肽(P1NP)和骨吸收标志物 β -I型胶原羧基端肽(β -CTX)水平。

2.3.3 心率变异性(HRV) 从试验组中挑选7例依从性良好的受试者。佩戴心率传感器先后进行太极拳锻炼20 min和平地步行20 min以获取2种锻炼过程中的HRV结果。HRV结果包括时域指标：所有正常窦性心搏间期的标准差(SDNN)、相邻RR间期差的均方根(RMSSD)；频域指标：低频功率(LF)、高频功率(HF)、低频/高频功率比值(LF/HF)；非线性指标：近似熵(ApEn)、样本熵(SampEn)。实验仪器是Polar A370心率表和Polar H10胸带式心率传感器。测试时，胸带环绕绑定于下胸围水平位置，佩戴心率表进行记录。在运动过程中记录10 min R-R间期信号，通过Kubios HRV Standard应用软件智能处理剔除异常搏动、干扰和伪差后，进行HRV分析。由于测试环境和设备限制，每个受试者在训练结束后1个月内不同日期、同一时间段(早8:00—9:00)进行测试。测试环境要求相对安静、无电子设备以及外界因素干扰。受试者佩戴好仪器后，进行连续2次的10 min太极拳测试；经过10 min休息后，连续进行两次10 min步行测试。过程中共记录太极拳和步行共4组10 min HRV数据。

2.4 脱落控制方案

课题实施人员为每一位受试者建立运动记录档案并由专人负责跟进追踪，并每周3次组织现场跟练，以保证动作质量及频次，并对每次运动进行医务监督，防止运动意外发生，对未能按时参与锻炼的受试者进行电话访问，督促其居家锻炼。

2.5 统计学方法

采用SPSS21.0软件进行统计分析。计量资料服从正态分布以均值±标准差($\bar{x}\pm s$)表示，组内前后比较采用配对 t 检验，组间比较采用独立样本 t 检验；不服从正态分布以中位数(四分位数) $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示，组内前后比较采用配对Wilcoxon检验，组间比较采用Mann-Whitney U 检验。计数资料以频数(百分比)描述，组间比较采用卡方检验(χ^2 检验)，当所有单元格的期望计数 ≥ 5 时，直接报告Pearson χ^2 检验结果；若存在至少一个单元格期望计数 < 5 (但 ≥ 1)，采用Yates连续性修正卡方检验；若任何单元格的期望计数 < 1 或期望计数 < 5 的单元格占比超过20%，采用Fisher精确检验。以 $P < 0.05$ 作为有统计学意义。

3 结果

3.1 两组受试者基线资料比较

66例受试者中有63例完成了试验。试验组中有3例受试者因个人原因未完成随访，按脱落处理，最终纳入统计分析试验组30例，对照组33例。

表1 两组骨质疏松症高风险人群基线资料比较

Table1 Comparison of general information between the two groups of participants with high-risk osteoporosis				
项目	试验组 (30例)	对照组 (33例)	t/Z 值	P 值
年龄/岁, $\bar{x}\pm s$	62.39±4.94	62.10±5.84	0.21	0.833
身高/m, $\bar{x}\pm s$	1.59±0.08	1.57±0.07	0.93	0.355
女性/例 (%)	26 (86.67)	29 (87.88)	—	1.000
体重/kg, $M(P_{25}, P_{75})$	59.00 (57.00, 65.00)	60.00 (55.00, 65.00)	-0.65	0.517
BMI/kg·m ⁻² , $M(P_{25}, P_{75})$	24.03 (22.87, 25.09)	23.73 (22.58, 25.72)	-0.03	0.973
腰椎骨密度/T·g ⁻¹ ·cm ⁻³ , $\bar{x}\pm s$	-1.09±0.83	-1.03±0.99	-0.24	0.808

注：BMI，身体质量指数；—，Fisher精确检验无此项数据。

表2 两组骨质疏松症高风险人群干预前后各部位骨密度T值比较

Table2 Comparison of T-values of bone mineral density at each site before and after intervention between the two groups of participants with high-risk osteoporosis							
with high-risk osteoporosis							
组别	时间	例数	腰椎L ₁ ~L ₄	左股骨颈	右股骨颈	左全髋	右全髋
试验组	干预前	30	-1.09±0.83	-1.40 (-1.73, -0.85)	-1.30 (-1.60, -0.68)	-1.20 (-1.53, -0.58)	-0.88±0.70
	干预后	30	-1.21±0.90	-1.25 (-1.90, -0.75)	-1.40 (-1.70, -0.10)	-1.10 (-1.53, -0.60)	-0.86±0.71
对照组	干预前	33	-1.03±0.99	-1.01±0.71	-1.07±0.61	-0.78±0.63	-0.84±0.61
	干预后	33	-1.39±1.16 ^{a)}	-1.34±0.60 ^{a)}	-1.34±0.56 ^{a)}	-0.97±0.65 ^{a)}	-0.99±0.62 ^{a)}

注：a) 与本组干预前比较， $P < 0.05$ 。

表1示，两组受试者年龄、性别、身高、体重、BMI、腰椎骨密度比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)，具有可比性。

3.2 两组受试者干预前后骨密度比较

表2示，两组受试者干预前腰椎L₁~L₄、双侧股骨颈、全髋骨密度T值比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)。与本组干预前相比，干预后试验组腰椎L₁~L₄、双侧股骨颈、双侧全髋T值差异无统计学意义($P > 0.05$)，对照组各部位骨密度T值降低($P < 0.01$)。

3.3 两组受试者干预前后骨转换标志物比较

表3示，两组受试者干预前后骨形成标志物P1NP、骨吸收标志物 β -CTX比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

表3 两组骨质疏松症高风险人群干预前后骨转换标志物比较

Table 3 Comparison of bone turnover markers before and after intervention between the two groups of participants with high-risk osteoporosis				
with high-risk osteoporosis				
组别	时间	例数	P1NP	β -CTX
试验组	干预前	30	49.85(39.73, 70.29)	0.40(0.14, 0.58)
	干预后	30	50.91(35.50, 70.55)	0.39(0.23, 0.66)
对照组	干预前	33	42.17(35.23, 54.82)	0.29(0.18, 0.47)
	干预后	33	37.86(31.73, 51.11)	0.25(0.18, 0.54)

注：P1NP，I型原胶原氨基端前肽； β -CTX， β -I型胶原交联羧基端肽。

表 4 试验组受试者太极拳和步行两种不同运动方式下 HRV 指标比较

Table 4 Comparison of HRV indexes under two different exercises, Tai Chi and walking, in patients of the intervention group($\bar{x}\pm s$)								
运动方式	例数	SDNN/ms	RMSSD/ms	LF/ms ²	HF/ms ²	LF/HF	ApEn	SampEn
太极拳	7	41.25±12.47	39.99±20.59	67.90±13.73 ^{a)}	32.00±13.65 ^{a)}	3.30±1.72 ^{a)}	1.01±0.25	1.29±0.45
步行	7	34.43±11.56	26.60±16.69	82.89±8.18	17.00±8.11	7.79±3.42	1.03±0.17	1.18±0.32

注：HRV，心率变异性；SDNN，所有正常窦性心搏间期的标准差；RMSSD，相邻RR间期差的均方根；LF，标准化低频功率；HF，标准化高频功率；LF/HF，低频功率与高频功率比值；ApEn，近似熵；SampEn，样本熵。
a) 与步行运动的受试者比较， $P<0.05$ 。

3.4 试验组受试者不同运动方式下 HRV 指标比较
表 4 示，与步行相比，进行太极拳运动的受试者频域指标 LF、LF/HF 降低，HF 升高 ($P<0.05$)，时域指标 SDNN、RMSSD 和非线性指标 ApEn、SampEn 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。

4 讨论

骨质疏松性骨折是老年患者致残和致死的主要原因之一，但目前其知晓率、诊断率、治疗率仍然很低^[6]。调查显示，我国 40~49 岁人群骨量减少率达到 32.9%，50 岁以上达到 46.4%^[9]。骨质疏松症的防治关键在于早期识别高风险人群并实施有效干预。大部分患者在诊断或者发生骨质疏松性骨折之前无任何症状，难以察觉，提高公众对骨质疏松症的认识，加强对其风险因素的控制具有重要意义^[10]。本研究以中医“治未病”思想为指导，将太极拳这一心身运动疗法应用于骨质疏松症高风险人群的干预研究。研究^[11]显示，自主神经系统中的交感神经过度兴奋使骨吸收加快，加剧骨折风险。因此，本研究整合骨代谢指标（骨密度、骨转换标志物）与自主神经功能指标（心率变异性），从双维度探索太极拳干预骨质疏松症高风险人群的效果及其作用机制，为太极拳早期防治骨质疏松症提供依据。

本研究采用 DXA 评估骨密度变化，结果显示试验组腰椎、股骨颈及全髋骨密度无显著下降，而对照组三个部位的骨密度出现显著下降，这表明练习太极拳的人群中，骨密度下降的速率比年龄匹配的对照组更慢。从生物力学角度分析，太极拳可能通过下肢骨骼应力刺激、脊柱螺旋应力以及筋膜网络协同三方面作用，动态负荷刺激骨骼，激活成骨细胞的活性^[12-13]。同时太极拳还存在内分泌调节、神经-骨骼交互及血流动力学改善等方面作用^[14-15]。

骨转换生化标志物是骨转换过程中产生的中间代谢产物或酶类，其中血清 PINP（骨形成标志物）与 β -CTX（骨吸收标志物）为核心指标^[16]。本研

究结果发现，相较于干预前，试验组和对照组的 PINP 和 β -CTX 均无显著差异，且两组之间亦无显著差异。一项 Meta 分析结果^[7]显示，PINP 水平与发生骨质疏松性脊柱压缩骨折的风险呈正相关。另有研究^[17]显示，有氧运动后骨质疏松症患者较健康宣教能显著降低 β -CTX 水平。但多项系统评价与临床试验结果表明，运动与 PINP、 β -CTX 没有明确相关性^[18-21]。因此，太极拳与骨转换标志物 PINP 和 β -CTX 之间的相关性尚需进一步研究。

HRV 是评估自主神经平衡的敏感指标，其中 LF 与 HF 比值变化可反映交感-迷走神经张力^[22]。本研究中与步行运动相比，太极拳锻炼能使受试者 LF 功率显著降低，HF 功率显著升高，LF/HF 显著降低，提示交感神经活性减弱，迷走神经活性增强，交感神经和迷走神经均衡性更好。该结果与一项研究太极拳对心率变异性影响的 Meta 分析结果^[23]相似。另有研究^[24]显示，长期太极拳练习能够提高安静时迷走神经张力，改善心脏功能。综上，太极拳锻炼能更有效地优化自主神经平衡，表现为交感神经活性抑制与迷走神经张力增强。

本研究首次从“骨骼-自主神经平衡”的视角探讨太极拳预防骨质疏松症的潜在机制，发现太极拳锻炼有助于维持骨质疏松症高风险人群的骨密度，并可能通过改善交感-迷走神经平衡，缓解慢性应激导致的骨吸收加速，提示太极拳对骨骼系统稳态与自主神经功能存在双向调节作用。这一机制与《黄帝内经》中“形神合一”理论具有内在契合性，骨密度和心率变异性或可作为反映形神状态的一组潜在客观指标，其具体关联有待进一步研究。然而，本研究存在一定局限性：受干预方式及设备限制，心率变异性检测未覆盖全部受试者，且 12 周的干预周期尚不足以评估太极拳的远期效应。未来研究可通过延长随访时间，更全面地评估太极拳对骨密度及心率变异性的长期影响。

参考文献

- [1] WANG L, YU W, YIN X, et al. Prevalence of osteoporosis and fracture in China: the China osteoporosis prevalence study[J]. JAMA Netw Open, 2021,4(8):e2121106.
- [2] 中华中医药学会. 骨质疏松高风险人群中医辨识规范[J]. 中医正骨, 2025,37(2):1-3.
- [3] KONG J, TIAN C, ZHU L. Effect of different types of Tai Chi exercise programs on the rate of change in bone mineral density in middle-aged adults at risk of osteoporosis: a randomized controlled trial[J]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1):949.
- [4] LI J, GUO J, WANG X, et al. Efficacy and safety of Tai Chi exercise on bone health: an umbrella review [J]. Osteoporos Int, 2023,34(11):1853-1866.
- [5] 王晓雯, 陈贵全. 传统养生与现代体育运动防治原发性骨质疏松的研究进展[J]. 国际老年医学杂志, 2022, 43(6):755-758.
- [6] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会, 章振林. 原发性骨质疏松症诊疗指南(2022)[J]. 中国全科医学, 2023,26(14):1671-1691.
- [7] 张兵, 吕朝晖, 董云鹏, 等. 绝经后骨质疏松患者 BMD、骨代谢指标与椎体骨折相关性的 Meta 分析[J]. 颈腰痛杂志, 2023,44(6):958-962.
- [8] WANG X, JI X. Sample size estimation in clinical research: from randomized controlled trials to observational studies[J]. Chest, 2020,158(1S):S12-S20.
- [9] 中国骨质疏松症流行病学调查及“健康骨骼”专项行动结果发布[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2019, 12(4):317-318.
- [10] 中国医师协会骨科医师分会骨质疏松学组, 中华医学会骨科学分会青年骨质疏松学组, 中华预防医学会健康传播分会, 等. 中国人群骨质疏松症风险管理公众指南(2024)[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2024,17(6):533-548.
- [11] GUAN Z, YUAN W, JIA J, et al. Bone mass loss in chronic heart failure is associated with sympathetic nerve activation[J]. Bone, 2023,166:116596. doi: 10.1016/j.bone.2022.116596.
- [12] 李文龙, 全文静, 顾耀东. 不同下蹲高度对太极拳初学者下肢生物力学的影响[J]. 医用生物力学, 2024, 39(S1):177.
- [13] 王子兴, 刘海斌. 基于 OpenSim 的太极拳对腰椎肌肉的影响研究[J]. 医用生物力学, 2024,39(S1):478.
- [14] 张婷, 杜岩, 陈胜楠, 等. 中医传统功法防治骨质疏松症研究概况[J]. 辽宁中医药大学学报, 2025, 27(2):153-157.
- [15] 杨琦, 陈晓雯. 中医传统运动在老年性骨质疏松症防治中的应用[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2024,27(1):55-59.
- [16] 夏维波, 章振林, 林华, 等. 原发性骨质疏松症诊疗指南(2017)[J]. 中国骨质疏松杂志, 2019, 25(3):281-309.
- [17] 张明欣, 王晓燕, 刘仲华, 等. 运动干预联合同伴教育对老年骨质疏松患者自我效能及骨代谢指标的影响[J]. 上海医药, 2024,45(4):58-62.
- [18] DROR N, CARBONE J, HADDAD F, et al. Sclerostin and bone turnover markers response to cycling and running at the same moderate-to-vigorous exercise intensity in healthy men[J]. J Endocrinol Invest, 2022, 45(2):391-397.
- [19] SCHUMM AK, CRAIGE EA, ARORA NK, et al. Does adding exercise or physical activity to pharmacological osteoporosis therapy in patients with increased fracture risk improve bone mineral density and lower fracture risk? a systematic review and meta-analysis [J]. Osteoporos Int, 2023,34(11):1867-1880.
- [20] MIESZKOWSKI J, KOCHANOWICZ A, PISKORSKA E, et al. Serum levels of bone formation and resorption markers in relation to vitamin D status in professional gymnastics and physically active men during upper and lower body high-intensity exercise [J]. J Int Soc Sports Nutr, 2021,18(1):29.
- [21] YAN Y, TAN B, FU F, et al. Exercise vs conventional treatment for treatment of primary osteoporosis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Orthop Surg, 2021,13(5):1474-1487.
- [22] 宋麒麟, 蒋桔泉. 心脏交感神经功能检测方法的评价[J]. 中国循环杂志, 2017,32(8):823-826.
- [23] ZHOU Y, WANG Q, LARKEY L, et al. Tai Chi effects on heart rate variability: a systematic review and meta-analysis [J]. J Integr Complement Med, 2024, 30(2):121-132.
- [24] 刘全, 张勇. 24 式太极拳运动对不同人群血压、心率变异的影响[J]. 北京体育大学学报, 2011,34(12):59-62.

The Effects of Tai Chi Training on Bone Density, Bone Turnover Markers, and Heart Rate Variability in High-Risk Osteoporosis Population

LIN Jiaming^{1,2}, LI Chao³, ZHAO Wei^{1,2}, ZHOU Jun^{1,2}, CHEN Xiaoying⁴, XI Xiangyu⁵, HE Haijun⁶, MI Baohong^{1,2}, CHEN Yuefeng^{1,2}, CHEN Weiheng^{1,2}

1. Beijing University of Chinese Medicine Third Affiliated Hospital, Beijing, 100029; 2. Engineering Research Center of Chinese Orthopaedics and Sports Rehabilitation Artificial Intelligent, Ministry of Education; 3. National Olympic Sports Center; 4. Yibin Hospital of Traditional Chinese Medicine, Sichuan Province; 5. Beijing Xicheng Guangwai Hospital; 6. Wangjing Hospital of China Academy of Chinese Medical Sciences

ABSTRACT **Objective** To explore the effects of the Tai Chi training on bone density, bone turnover markers, and heart rate variability for people with high-risk osteoporosis, and to provide evidence for the prevention of osteoporosis at early stage. **Methods** Sixty-six cases of people with high risk of osteoporosis were included, and they were divided into 33 cases each in the intervention group and the control group using the random number table method. The control group received osteoporosis health education three times a week, and the intervention group received Tai Chi training under the guidance of a trainer three times a week for 40 mins each time on the basis of the control group, and both groups were intervened for 12 weeks. Dual-energy X-ray absorptiometry was used to measure the bone density of L₁~L₄ vertebrae, bilateral femoral necks and bilateral total hips in the two groups before and after the intervention; enzyme-linked immunosorbent assay was used to determine bone turnover markers before and after the intervention, including pro-collagen type I pro-amino-terminal prepropyl peptide (P1NP) and β -collagen type I cross-linking carboxy-terminal peptide (β -CTX). Seven cases with good compliance in the intervention group were selected. After wearing the heart rate sensor, they successively performed Tai Chi training and walking activities recommended by the guideline for 20 mins each, and the heart rate variability (HRV) during exercise was collected, including time-domain indexes such as standard deviation of normal sinus intervals (SDNN), root-mean-square of the difference between adjacent RR intervals (RMSSD), frequency-domain metrics such as low-frequency power (LF), high-frequency power (HF), and low-frequency/high-frequency power ratio (LF/HF), as well as nonlinear metrics such as approximate entropy (ApEn), sample entropy (SampEn). **Results** Finally, 63 cases were included in the outcome analysis, including 30 cases in the intervention group and 33 cases in the control group. After the intervention, the differences of L₁~L₄ vertebrae, bone density of bilateral femoral neck and bilateral total hip in the intervention group were not statistically significant when compared with those before intervention ($P>0.05$), while the bone density of all parts of the control group decreased significantly compared with that before intervention ($P<0.05$), and the difference in the bone density of the L₁~L₄ vertebrae, bilateral femoral neck, and the right total hip before and after the intervention of the intervention group was smaller than that of the control group ($P<0.05$). The differences in P1NP and β -CTX between groups before and after intervention was not statistically significant ($P>0.05$). Compared with walking exercise, LF decreased, HF increased and LF/HF decreased during Tai Chi exercise ($P<0.05$); the time domain indexes and non-linear indexes between groups had no statistically significant difference ($P>0.05$). **Conclusion** Tai Chi exercise can maintain lumbar, hip, and femoral bone density and improve sympathetic/parasympathetic balance in people at high risk for osteoporosis, but cannot significantly improve bone turnover markers.

Keywords osteoporosis; Tai Chi; bone density; heart rate variability; bone turnover markers

(收稿日期: 2024-12-08; 修回日期: 2025-06-02)

[编辑: 果 彤, 焦 爽]