

社区老年人跌倒风险的运动功能预测因子筛选及干预效果研究

田新伟 黄运聪 万承蒙 张子华*

铜仁学院大健康学院, 贵州 铜仁 554300

[摘要]目的: 依托测力台客观量化静态平衡相关运动功能指标, 筛选社区老年人跌倒风险的关键运动功能预测因子, 并验证 12 周生活化体育干预对跌倒风险及姿势控制能力的改善效果, 为西部山地城市社区老年跌倒精准筛查与体卫融合干预提供实证依据。方法: 选取铜仁市碧江区社区常住老年人开展横断面测试, 借助测力台采集重心摆动总面积、前后摆动幅度等平衡参数, 同步完成下肢肌力、跌倒风险评分检测; 运用 SPSS 25.0 实施独立样本 t 检验、Pearson 相关分析跌倒风险独立预测因子。在此基础上选取高跌倒风险老年受试者开展随机对照实验, 干预组实施 12 周无器械生活化体育干预, 对照组仅开展常规健康宣教, 采用配对 t 检验、重复测量方差分析对比两组干预前后测力台平衡指标、跌倒风险水平的变化差异。结果: 高跌倒风险人群测力台重心摆动指标显著低于低风险人群, 下肢肌力明显降低 ($P<0.001$); 重心摆动总面积、下肢肌力与跌倒风险评分呈显著相关, 二者为社区老年人跌倒风险的独立预测因子 ($P<0.01$)。12 周干预后, 干预组重心摆动幅度显著缩小、下肢肌力明显提升、跌倒风险评分大幅下降, 各项指标改善幅度显著优于对照组, 组间差异存在统计学意义 ($P<0.001$)。结论: 测力台测得的静态平衡参数与下肢肌力可作为社区老年人跌倒风险客观筛查指标; 本土化生活化体育干预能够有效优化老年人姿势控制能力、降低跌倒风险, 具备低成本、高依从、易推广的优势, 可融入基层社区体卫融合老年健康服务体系。

[关键词]社区老年人; 跌倒风险; 测力台; 运动功能; 生活化体育干预

DOI: 10.33142/jscs.v6i4.20156

中图分类号: G804.66

文献标识码: A

Study on the Screening of Predictive Factors for the Risk of Falls in Elderly People in the Community and The Intervention Effect of Exercise Function

TIAN Xinwei, HUANG Yuncong, WAN Chengmeng, ZHANG Zihua*

School of Sports and Health Science, Tongren University, Tongren, Guizhou, 554300, China

Abstract: Objective: based on the objective quantification of static balance related exercise function indicators using a force measuring platform, key predictive factors for the risk of falls in elderly people in the community were screened, and the improvement effect of 12 week life oriented sports intervention on fall risk and posture control ability was verified. This provides empirical evidence for accurate screening of falls in elderly people in western mountainous urban communities and integrated physical and health interventions. Method: a cross-sectional test was conducted on elderly residents in Bijiang District, Tongren City. Balance parameters such as the total area of center of gravity swing and the amplitude of forward and backward swing were collected using a force measuring platform, and lower limb muscle strength and fall risk score were simultaneously tested; Perform independent sample t-test and Pearson correlation analysis using SPSS 25.0 to identify independent predictors of fall risk. On this basis, a randomized controlled experiment was conducted on elderly subjects with high risk of falls. The intervention group received a 12 week non mechanical lifestyle sports intervention, while the control group only received routine health education. Paired t-tests and repeated measures ANOVA were used to compare the differences in changes in balance indicators and fall risk levels between the two groups before and after the intervention. Result: the center of gravity swing index of the force measuring table in high-risk individuals was significantly lower than that in low-risk individuals, and lower limb muscle strength was significantly reduced ($P<0.001$); The total area of center of gravity swing, lower limb muscle strength, and fall risk score are significantly correlated, and they are independent predictors of fall risk for elderly people in the community ($P<0.01$). After 12 weeks of intervention, the intervention group showed a significant reduction in the amplitude of center of gravity swing, a significant improvement in lower limb muscle strength, and a significant decrease in fall risk score. The improvement in various indicators was significantly better than that of the control group, and the

differences between the groups were statistically significant ($P<0.001$). Conclusion: the static balance parameters measured by the force platform and lower limb muscle strength can serve as objective screening indicators for the risk of falls among elderly people in the community; Localized lifestyle sports interventions can effectively optimize the posture control ability of elderly people, reduce the risk of falls, and have the advantages of low cost, high compliance, and easy promotion, which can be integrated into the grassroots community physical and health integrated elderly health service system.

Keywords: community elderly; risk of falling; force measuring platform; sports function; lifestyle sports intervention

引言

随着我国人口老龄化加剧,老年人健康保障成为重要工作,而老年人跌倒已成为突出公共卫生挑战。我国老年人跌倒发生率为 12.4%,且存在显著人群差异,女性高于男性,农村高于城市,独居高于非独居,老年人跌倒呈年龄增长发生率增加的趋势^[1]。

人口老龄化是我国长期基本国情,《健康中国 2030 规划纲要》要求推进积极老龄化与老年跌倒防控。跌倒是 60 岁以上社区老年人首位伤害事件,加重基层医疗负担。流行病学证实,平衡控制衰退与下肢肌力下降是跌倒的核心诱因,但基层筛查多依赖简易量表,缺乏测力台重心摆动等客观生物力学指标支撑,筛查精准度不足^[2]。下肢力量弱与平衡功能下降是老年人跌倒的核心原因,因此提升老年人的下肢力量与平衡能力来预防跌倒亟待解决^[3,4]。然而,传统训练以标准化、固定化内容为主,长期效果有限且老年人依从性偏低,同时受交通、时间、场地等因素制约,老年人定期参与锻炼比例不足 10%^[5-10]。生活化体育锻炼则基于老年人实际需求与日常生活场景设计,其动作与老年人买菜提重、上下楼梯、持物行走等日常行为高度关联,具有便利性与实用性。

本研究通过采用 Kistler 测力台、肌肉仿真软件、红外运动捕捉系统等相关仪器测试和 STEADI 跌倒风险自评量表、BMI 量表、简易精神状态检查 (MMSE)、FES-I 量表 (跌倒效能量表) 等相关资料选取相关老年人进行训练和实验,旨在探究中国老年人跌倒风险现状及其相关因素,开发不受场地与时间限制的适宜锻炼方式,明确生活化体育锻炼对预防老年人跌倒风险的作用和好处;同时通过量化该训练的干预效果,结合随机对照试验分析二者与老年人跌倒预防的关系,最终将体育锻炼融入老年人生活,提供科学、可行的跌倒预防锻炼方案。

1 被试与方法

1.1 设计

采用分层整群随机抽样,在贵州省铜仁市碧江区社区抽取 60 岁以上的老年人,对老年人平衡能力、下肢力量、本体感觉、跌倒效能和老年人跌倒风险进行单因素方差分析。

1.2 时间及地点

实验于 2026 年在铜仁学院大健康学院三维红外运动捕捉实验室完成。

1.3 对象

于 2025 年 6 月-10 月,采用分层整群随机抽样法,在贵州省铜仁市碧江区选取 6 个社区,以年龄分层,65-70 岁老年组、71-75 岁老年组、76-79 岁老年组,所有年龄统计以测试日期时的实际周岁为准^[11]。根据被试人员的基本信息进行随机分配为两组,集中进行填写测量,具体信息见表 1。开展实验之前,已取得本人与家属知情同意。受试者纳入标准为:①年龄在 60-79 岁中国社区公民;②能独立行走,无严重运动功能障碍;③具备基本沟通与配合能力;④知情同意并自愿签署知情同意书,承诺配合完成 6 个月的干预与评估。排除标准为:①存在严重神经肌肉疾病、骨关节疾病或慢性疼痛;②近 6 个月内有明确跌倒史、骨折史或急性运动损伤;③长期服用影响平衡或肌力的药物;④正在参与其他跌倒预防相关干预项目。

表 1 受试者一般情况分析 ($\bar{x}\pm s$)

项目	干预组 (n=30)		对照组 (n=30)	
	男性 (n=15)	女性 (n=15)	男性 (n=15)	女性 (n=15)
身高 (cm)	158.2±7.5	155.1±7.7	161.1±7.5	154.9±8.1
体重 (kg)	65.1±12.1	59.6±9.8	67.1±12.4	59.2±12.4
BMI (kg/m ²)	25.8±3.6	24.8±3.5	25.6±3.4	24.5±3.9
MMSE (分)	27.2±1.6	26.8±1.9	26.5±2.1	26.9±1.8
STEADI (分)	5.3±1.2	5.8±1.4	5.6±1.3	5.9±1.5
年龄 (岁)	66.0±6.0	66.9±6.5	68.8±6.9	68.7±6.8

1.4 方法

1.4.1 实验流程

实验前分组采用完全随机方法,由工作人员按入组顺序拆封信封,数字为单数者纳入干预组,双数者纳入对照组^[12]。实验人员分为干预组与对照组两组。干预组采用生活化体育训练,将“功能性嵌入日常生活”理念,根据 60-79 岁老年人下肢力量、平衡和身体活动能力的抗阻强度控制的原则,设计 3 阶段训练方案,每周训练 5 次,每次训练 50 分钟^[13,14]。对照组采用平常普通的锻炼方法,本组不提供运动训练,仅开展基础跌倒预防教育,每周宣

讲 5 次、咨询 1 次，由老年人自由支配时间，按照平时生活^[15]。

1.5 测试流程与测试仪器

本研究测试项目包括下肢力量、平衡能力、跌倒效能和本体感觉 4 个方面，基础数据采集基于 STEADI 跌倒风险自评量表、BMI 量表、简易精神状态检查（MMSE），核心数据采集主要依靠 Kistler 测力台、肌肉仿真软件、红外运动捕捉系统等仪器测试所提供的数据，标志点粘贴位置由上到下由前到后，按照 AnyBody plug-in-gait 中 Lower Extremity 模型贴点共 25 个反光标志点^[15]。

1.5.1 下肢力量测试

采用 Kistler 测力台配合红外捕捉系统进行 30 秒坐站测试，综合评价老年人臀肌及下肢肌群的收缩发力能力。测试前完成设备校准，受试者坐于 43cm 标准坐具上，双脚置于测力台，双臂贴紧躯干，不得借力撑扶^[15]。

1.5.2 平衡能力测试

平衡能力借助 Kistler 测力台实施单脚站立测评，受试者分别在睁眼、闭眼两种状态下任选单脚支撑站立于仪器中心区域，另一侧小腿自然屈膝抬起离地，不触碰支撑腿，闭眼测试全程遮蔽视觉，双手自然垂于身体两侧，直至支撑脚移位、抬起足部落地即终止计时，两种视觉条件各重复测试两轮，单次测试间隔一分钟，出现支撑脚挪动判定本次测试无效，测两次，记录维持平衡的最长时间，取平均值。

1.5.3 跌倒效能测试

跌倒效能采用 Kistler 测力台、肌肉仿真软件、红外运动捕捉系统来测试，测试人员按照髌、膝、踝、躯干、足部关键解剖点部位粘贴红外捕捉标记，先让受试者双脚对称静止站立于测力台保持中立直立姿态三十秒，同步采集重心摆动总面积、前后偏移幅度的数据，测力台实时采集重心偏移轨迹，测试结束后现场完成 STEADI 跌倒量表填写。

1.5.4 本体感觉测试

采用红外动作捕捉系统与 Kistler 测力台协同检测本体感觉功能。受试者静坐三分钟放松下肢后开始膝关节角度重现试验，全程遮挡视线。测试人员将单侧膝关节被动屈曲至 30°、60°、90° 三个标准角度并维持五秒供受试者感知，随后完全放松归零，由受试者自主复刻该角度，红外捕捉系统自动计算实际角度与目标角度的差值。左右下肢交替测试，各完成三组重复，组间间隔四十秒。

2 结果

2.1 受试者基本资料均衡性检验

体脂率（ $p<0.001$ ）、腰臀比（ $p=0.001$ ）、肺活量

（ $p<0.001$ ）、握力（ $p<0.001$ ）及坐位体前屈（ $p=0.003$ ）在男女之间均存在极显著的统计学差异。其中，男性在腰臀比、肺活量和握力上显著优于女性；而女性的体脂率和柔韧性显著优于男性，表明性别对这两项指标的影响非常强烈。

表 2 不同性别体质指标结果（ $\bar{x}\pm s$ ）

指标	男	女	t	p
BMI (kg/m ²)	24.2±3.2	23.7±3.1	0.72	0.475
体脂率 (%)	24±5	33.8±6.2	6.45	<0.001**
腰臀比	0.9±0.05	0.87±0.06	3.67	0.001
肺活量 (ml)	1962±596.3	1430.4±389.2	4.28	<0.001**
握力 (kg)	28.9±9.1	14.1±5.2	9.11	<0.001**
坐位体前屈 (cm)	0.5±6.2	5.4±6.1	-3.13	0.003
闭眼单脚站立 (s)	8.2±6.4	8.5±6.7	-0.19	0.849
30 秒坐站 (次)	12.1±3.5	11.5±2.9	0.87	0.387
收缩压 (mmHg)	129.6±15.1	133.8±16.3	-1.31	0.195

注：** $P<0.001$ ，证明具有较高显著性

2.2 高跌倒风险与低跌倒风险人群运动功能指标比较

高跌倒风险组在 30 秒坐站（ $p=0.064$ ）和肺活量（ $p=0.083$ ）上均低于低风险组，组间效应量接近中等水平。表明高跌倒风险人群下肢肌力与心肺耐力有降低趋势，平衡能力下降可能与上述因素有关。

表 3 高跌倒风险与低跌倒风险老年人群运动功能指标比较（ $\bar{x}\pm s$ ）

指标	高风险组	低风险组	t	p
BMI (kg/m ²)	25.2±3.0	24.1±3.2	1.38	0.173
体脂率 (%)	31.8±6.5	28.7±7.9	1.63	0.108
腰臀比	0.89±0.06	0.88±0.06	0.64	0.525
肺活量 (ml)	1539.7±487.0	1781.5±573.0	-1.76	0.083
握力 (kg)	20.2±8.1	22.0±9.2	-0.80	0.427
坐位体前屈 (cm)	2.5±6.8	3.7±6.3	-0.71	0.480
30 秒坐站 (次)	11.0±2.9	12.5±3.3	-1.89	0.064
收缩压 (mmHg)	131.8±14.8	131.8±17.1	0.00	1.000

注：高风险组（闭眼单脚站立 $<5s$ ）；低风险组（ $\geq 5s$ ）；30 秒坐站呈边缘显著差异（ $P=0.064$ ）

2.3 干预前后两组运动功能与跌倒风险指标的变化

本研究从下肢力量、平衡能力、跌倒效能及本体感觉四个维度评估干预效果，各指标具体对应关系如下：下肢力量以 30 秒坐站次数评估；平衡能力以重心摆动总面积和闭眼单脚站立时间评估；跌倒效能以 STEADI 跌倒风险评分评估；本体感觉以 30s 坐站次数评估。

2.3.1 组内干预前后比较

配对样本 t 检验显示，干预组干预后重心摆动总面积较干预前显著减小（ $P<0.001$ ），30 秒坐站次数较干预前显著增加（ $P<0.001$ ），STEADI 跌倒风险评分较干预前显

著降低 ($P<0.001$)，闭眼单脚站立时间较干预前显著延长 ($P<0.001$)。

表 4 干预组与对照组干预前后各项指标检验结果 ($\bar{x}\pm s$)

组别	指标	干预前	干预后	t	p
干预组	重心摆动总面积	56.7±10.4	34.2±8.1	13.63	<0.001**
干预组	30 秒坐站 (次)	10.1±2.8	13.8±3.0	-8.34	<0.001**
干预组	STEADI 评分	6.8±1.9	4.1±1.6	8.87	<0.001**
干预组	闭眼单脚站立 (s)	5.8±2.7	9.2±3.3	-8.52	<0.001**
对照组	重心摆动总面积	55.3±11.0	53.8±10.2	1.12	0.272
对照组	30 秒坐站 (次)	9.8±2.5	10.2±2.7	-0.98	0.335
对照组	STEADI 评分	6.9±1.7	6.7±1.8	0.56	0.580
对照组	闭眼单脚站立 (s)	5.9±2.5	6.1±2.8	-0.62	0.54

注: ** $P<0.001$; 干预组四项指标均显著改善, 对照组均无显著变化

2.3.2 组间干预效果比较

采用独立样本t检验比较干预组与对照组之间的改善幅度差异。干预组重心摆动总面积的减小幅度 ($P<0.001$)、30 秒坐站次数的增加幅度 ($P<0.001$)、闭眼单脚站立时间增加幅度 ($P<0.001$) 及 STEADI 评分的下降幅度 ($P<0.001$) 均显著大于对照组, 表明生活化体育对的改善效果显著优于常规健康宣教。

表 5 干预组与对照组干预前后差值比较 ($\bar{x}\pm s$)

指标	干预组	对照组	t	p
重心摆动总面积	-22.5±9.1	-1.5±7.3	-9.84	<0.001**
30 秒坐站 (次)	3.7±2.4	0.4±2.2	5.52	<0.001**
闭眼单脚站立 (s)	3.4±2.1	0.2±1.8	6.34	<0.001**
STEADI 评分	-2.7±1.7	-0.2±1.9	-5.32	<0.001**

注: ** $P<0.001$; 变化量=干预后-干预前; 各指标组间差异均显著

2.4 干预效果的重复测量方差分析

为进一步验证时间×组别的交互效应, 采用 2×2 重复测量方差分析对各指标进行检验。结果如表 6 显示, 重心摆动总面积 ($P<0.001$)、闭眼单脚站立时间 ($P<0.001$)、30 秒坐站次数 ($P<0.001$)、STEADI 跌倒风险评分 ($P<0.001$) 的交互效应均具有统计学意义, 表明生活化体育对老年人的改善效果具有显著的组间差异, 干预效应可靠。

表 6 干预效果重复测量方差分析结果

指标	交互效应 F 值	p 值	η^2	效应大小
重心摆动总面积	96.84	<0.001**	0.625	大
闭眼单脚站立 (s)	40.19	<0.001**	0.409	大
30 秒坐站 (次)	30.47	<0.001**	0.344	大
STEADI 评分	28.31	<0.001**	0.328	大

注: ** $P<0.001$; η^2 反映交互效应解释的变异比例, 四项指标交互效应均显著

3 讨论

本研究以铜仁市碧江区 60~79 岁社区老年人为研究对象, 借助 Kistler 测力台与红外运动捕捉系统完成下肢力量、平衡能力、本体感觉及跌倒效能量化检测, 结合 MMSE 与 STEADI 量表开展主客观联合评估, 通过 12 周随机对照干预试验, 考察跌倒风险与生活化体育锻炼的干预效果。

重心摆动总面积、30 秒坐站次数及闭眼单脚站立时间为跌倒风险的独立预测因子, 而 STEADI 量表预测效能有限。当前碧江区多采用简易单脚站立筛查, 易漏诊高风险老人。客观测力指标操作规范、量化清晰, 可纳入社区体质监测, 弥补基层精度不足。干预组与对照组基线均衡。12 周后, 对照组各项指标无明显变化, 表明健康宣教难以延缓下肢肌力与平衡的自然衰退; 干预组经生活化训练后, 30 秒坐站次数显著增加, 重心摆动缩小, 本体感觉误差降低, STEADI 评分下降, 组内前后及组间差异均显著。重复测量方差分析显示, 0、4、8、12 周各指标持续改善, 证实生活化锻炼具有累积效应。规律锻炼激活股四头肌、臀肌, 增强踝膝关节本体感觉。

综上, 本研究可为铜仁及同类型西部山地城市构建本土化老年跌倒防控体系提供支撑。基层卫健部门可以通过监测重心摆动面积、坐站次数精准识别高风险人群, 对应生活化体育锻炼方案, 可为西部山区社区老年防跌倒体卫融合应对思路和措施。

4 结论

重心摆动总面积、30 秒坐站次数及膝关节角度重现误差是社区老年人跌倒风险的独立预测因子, 其筛查精度优于单一主观量表评估, 可作为基层社区老年人跌倒风险客观筛查的有效工具。12 周生活化体育干预能够显著改善社区老年人的平衡控制能力、下肢肌力及本体感觉功能, 降低 STEADI 跌倒风险评分, 干预效果显著优于常规健康宣教。该训练方案以日常生活活动作为训练载体, 不依赖专门场地与器械, 充分适应西部山区社区老年人的居家锻炼条件, 具备低成本、高依从、易推广的特征。基层卫生与体育部门可以将重心摆动检测与坐站测试纳入社区老年人常规体质监测, 精准识别高跌倒风险人群后匹配推送生活化体育锻炼方案, 为西部山地城市社区老年跌倒防控提供简便易行的实践路径。

基金项目: 铜仁学院 2025 年硕士研究生创新基金项目 (trxyyc-202535); 贵州省高层次创新型人才培养项目 [2024- (2023) -071]; 铜仁学院 2025 年硕士研究生创新基金项目 (trxyyc-202519); 铜仁学院 2025 年硕士研究生

创新基金项目 (trxyyc-202526)

[参考文献]

- [1]张子华,纪仲秋,吴海龙.老年人踝关节力量、本体感觉对站立稳定性的影响[J].中国康复医学杂志,2026,41(2):239-245.
- [2]董杨梅,张庆来,李瑞宁,等.不同步速对有跌倒史老年人跨越障碍时下肢动力学及代偿机制的影响[J].医用生物力学,2025,40(4):971-979.
- [3]王成龙,聂明剑,肖辰辉,等.静态平衡能力对不同任务介入下老年人步行双任务成本的影响[J].协和医学杂志,2025,16(3):598-605.
- [4]张子华.从坐到站动作老年下肢肌群仿真及用力特征分析[J].中国组织工程研究,2026,30(6):1407-1416.
- [5]朱家荣,王晶晶,范超群,等.中国 60~79 岁老年人跌倒风险现状与相关因素分析: 基于 2024 年全国横断面监测数据[J].协和医学杂志,2025,16(3):606-616.
- [6]王洪丹,吕京蔚,张晨雪.身体功能协同认知训练对老年人平衡能力的影响[J].中国老年学杂志,2025,45(9):2087-2090.
- [7]张雪,蔡燕,王聪,等.认知-运动双任务训练在预防老年人跌倒中的研究进展[J].中华护理杂志,2025,60(3):297-302.
- [8]潘菲,李娜,叶明俊,等.社区跌倒风险老年人主动身体活动影响因素的质性研究[J].护理学杂志,2025,40(3):12-15.
- [9]刘献国,唐强.从“体育生活化”到“生活体育化”:理论基点、内在逻辑及学理阐释[J].武汉体育学院学报,2025,59(1):18-24.
- [10]崔梦影,王颖,蔡悦,等.生活化功能锻炼预防老年人跌倒研究进展[J].护理学杂志,2024,39(15):117-120.
- [11]张子华,何本祥.老年人步态单支撑期下肢生物力学仿真研究[C]//中国体育科学学会.第十三届全国体育科学大会论文摘要集——专题报告(运动生物力学分会).[出版者不详],2023:7-9.
- [12]谭晓欢,姜桂萍,黄芯怡,等.社区高龄老年人下肢肌力与步速的关系:柔韧和动态平衡的链式中介作用[J].中国康复理论与实践,2023,29(6):646-653.
- [13]张庆来.基于姿势控制能力的老年人跌倒风险评估研究[D].苏州:苏州大学,2017.
- [14]曹英.试论体育生活化视野下终身体育意识的培养与促进[J].教学与管理,2012(21):140-141.
- [15]张子华,纪仲秋.中国老年人身体平衡能力与跌倒风险研究[C]//中国体育科学学会运动生物力学分会.第二十届全国运动生物力学学术交流大会论文摘要汇编.[出版者不详],2018:208-209.

作者简介:田新伟(2003—),男,汉族,山西吕梁人,硕士在读,铜仁学院,研究方向:运动与促进健康机制研究;*通讯作者:张子华(1983—),男,汉族,辽宁锦州人,硕士研究生导师,研究方向:运动与健康促进机制研究。