



节拍步行与音乐步行对老年前期女性的影响: 一项为期36周的随机对照试验 Effects of Paced Walking and Music-Synchronized Walking Exercise on Presenile Women: A 36-Week Randomized Controlled Trial

汪毅¹, 谢敏豪^{2*}

WANG Yi¹, XIE Minhao^{2*}

摘要:目的:通过为期36周的随机对照实验分析不同形式的节律步行对老年前期女性(55~64岁)心肺适能和心血管代谢生物标志物的影响,探讨体育活动对其身体素质、健康水平、体育活动行为和老年生活质量的影响。方法:78名久坐少动的老年前期女性随机分为正常步行组($n=36$)、节拍步行组($n=15$)、音乐步行组($n=15$)和对照组($n=12$),进行为期24周的步行锻炼及12周停训计划。在基线、干预第12周、第24周和停训12周后进行4次心肺适能和生物标志物的测试。结果:各组步行运动均改善了受试者的高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、步长、最大摄氧量、无氧阈和呼吸代偿点氧化能力。在停训期,高密度脂蛋白胆固醇和最大摄氧量的训练效果保持较好,其他指标变化较大。结论:音乐步行运动可以降低老年前期女性脂肪率,而节拍步行运动可以更好地减轻体重。步行运动能够改善老年前期女性的身体健康和体能水平,长期保持步行习惯对老年前期女性具有更好的健康效益。

关键词:老年前期;心肺适能;心脏生物标志物;节拍步行;音乐步行

Abstract: Objectives: To conduct a 36-week walking training randomized controlled trial and to investigate the effects of different forms of rhythmical walking on cardiorespiratory fitness and cardiometabolic biomarkers in presenile women (55 to 64 years old), and to explore the effects of physical activity on physical fitness, health level, physical activity behavior and quality of life. Methods: 78 sedentary presenile women were randomly divided into normal walking group ($n=36$), paced walking group ($n=15$), music-synchronized walking group ($n=15$), and control group ($n=12$) for 24 weeks of walking exercise and 12 weeks of suspension. Cardiorespiratory fitness and anthropometry measurements were obtained at baseline, 12th week, 24th week of the intervention and 12th weeks after the suspension that resumed to sedentary behaviours. Results: All walking groups improved the high-density lipoprotein-cholesterol (HDL-C), low-density lipoprotein-cholesterol (LDL-C), step length, maximum oxygen consumption ($\dot{V}O_{2max}$) and oxidative capacity at anaerobic threshold. During the suspension period, only the training effects on HDL-C and $\dot{V}O_{2max}$ remained well, while the other indicators changed greatly. Conclusions: Music-synchronized walking can reduce the fat ratio, while paced walking can better reduce the body weight. Walking exercises can improve the physical health and fitness, and maintaining a long-term habit of walking exercises has more benefits towards the presenile women.

Keywords: *presenile; cardiorespiratory fitness; cardiometabolic biomarkers; paced walking; music-synchronized walking*

中图分类号:G806 **文献标识码:**A

基金项目:

国家社会科学基金项目(20BTY029)

第一作者简介:

汪毅(1980-),男,副教授,博士,主要研究方向为运动医学,E-mail: wang-yi@ruc.edu.cn。

*通信作者简介:

谢敏豪(1960-),男,教授,博士,主要研究方向为运动医学,E-mail: xieminhao@sina.com。

作者单位:

1. 中国人民大学,北京 100872;
2. 国家体育总局运动医学研究所,北京 100061
1. Renmin University of China, Beijing 100872, China;
2. National Institute of Sports Medicine, Beijing 100061, China.

老年前期被定义为年龄在50~64岁的发展阶段(Oh et al., 2020)。中华人民共和国国家卫生健康委员会(2022)测算指出2035年左右,60岁及以上老年人口将突破4亿,在总人口中的占比将超过30%。在这一趋势下,我国老年前期人群健康问题已成为公共

健康问题(刘玉, 2021; 汪毅等, 2019)。缺乏体育锻炼是导致过早死亡的主要危险因素之一(Kohl et al., 2012), 可导致老年前期人群严重的健康相关问题, 而提高体力活动水平可以降低患心血管疾病和过早死亡的风险(Owen et al., 2009; Pronk, 2011), 每天身体活动水平增加1个代谢当量(metabolic equivalent, MET)可以降低冠心病风险15%(Kodama et al., 2009)。同时, 体育锻炼参与水平是衡量一个国家社会体育发展的重要指标, 老年前期人群的运动效应亟需受到重视(董传升等, 2018; 张东等, 2022)。

步行是最简单易行的锻炼方式, 成年人每天步行10 000步有利于保持身体健康(Duncan et al., 2014)。世界卫生组织(World Health Organization, WHO)建议, 成年人每周应进行150~300 min中等强度体育锻炼或至少75~150 min高强度体育锻炼(Bull et al., 2020), 但对理想运动的频率、强度、时间和类型仍无定论(尹丽琴等, 2022; Bai et al., 2021)。针对41~60岁的健康成年人, 每天步行2 000~9 000步, 步频110~130步/min, 可启发式产生3~6 MET的“最适运动”(Tudor-Locke et al., 2011)。研究认为, 120~130步/min的步行节奏适用于所有年龄段和性别的人群, 且舒适易行(MacDougall et al., 2005; Styns et al., 2007; Tudor-Locke et al., 2011), 同时符合美国运动医学会(American College of Sports Medicine, ACSM)的运动测试和处方指南推荐的运动强度, 即50%~60%最大摄氧量(maximum oxygen consumption, $\dot{V}O_{2max}$) (Pescatello et al., 2014)。

通常有节奏的步行(或快走)步频>120步/min, 是适合心血管系统的锻炼模式(Pillay et al., 2014)。一项系统性回顾分析研究表明, 节拍步行可以改善成年人的心肺健康、肌肉力量和身体成分(Bai et al., 2021)。音乐步行是指音乐节奏与步行节奏相匹配, 锁定在特定的时期关系(音乐-运动耦合)中并产生规则的运动模式(Smoll et al., 1982)。研究发现, 运动时听音乐能够对身心产生积极效果(Terry et al., 2020), 同时能提高耐力表现(Karageorghis et al., 2012; Terry et al., 2012)。此外, 快节奏的音乐可以刺激运动中呼吸与心率同步(Van Dyck et al., 2021), 分散疲劳和不适, 有助于适应更高的运动强度(Terry et al., 2012)。然而, 目前针对久坐少动老年前期女性身体活动的研究较为缺乏, 特别是鲜见关于音乐与身体活动相互作用的研究。有研究发现, 女性相比男性对听觉-运动耦合更为敏感(Priest et al., 2004; Waterhouse et al., 2010)。规律的体育锻炼会影响老年前期人群的身体素质、健康、身体活动行为和生活质量(Wang et al., 2022)。运动可通过促进心肌细胞外泌体内吞, 抑制心肌细胞凋亡, 从而改善老年前期人群的心梗心功能(吴方南等, 2020)。因此, 保持健康的运动行为及了解老年前期人群运动干预

后遗效应的影响也至关重要。

综上所述, 本研究旨在调查24周步行计划对久坐的老年前期女性的健康效益, 同时比较4种不同的步行节奏干预对心肺耐力、身体成分、步长、血压等身体健康参数影响的差异。据此提出研究假设: 各组步行运动会导致生理参数的显著改善, 节拍步行和音乐步行能产生更持久的健康效益。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

采用便利抽样方法, 从北京某社区招募久坐少动的健康老年前期(55~64岁)女性。纳入标准包括: 每天步行<2 000步(Tudor-Locke et al., 2011), 且过去3个月没有规律的运动习惯; 无运动时听音乐的习惯, 无前庭及听觉障碍病史, 经耳鼻喉科医师确认听力无异常; 无吸烟史, 无贫血或其他心血管疾病; 未参加过类似实验研究或运动干预。经筛选, 本研究共纳入168名受试者, 使用计算机软件随机分为4组: 正常步行组、节拍步行组、音乐步行组和对照组, 每组42人。所有受试者在预评估和实验前签署知情同意书。分别在完成24周训练计划和停训12周实验结束时给予实物奖励, 鼓励其坚持完成实验。本实验已通过北京体育大学运动科学实验伦理委员会审查(审批号: 2014037)。

最终共78名受试者完成了运动干预(24周)和停训观察(12周)的全程实验(图1), 其中正常步行组36人、节拍步行组15人、音乐步行组15人、对照组12人。受试者中途流失或停止干预的原因有: 疾病(22人)、搬家(16人)、无法适应干预时间表(23人)以及感到乏味(29人)。实验干预组之间在年龄、身高、体质量、瘦体重、BMI和基线时自我报告的身体活动水平无显著差异($P>0.05$; 表1)。

1.2 实验准备

身体活动水平通过每周任务MET×参与时间来衡量, 单位为MET-min/wk(Styns et al., 2007), 采用国际体力活动问卷(international physical activity questionnaire, IPAQ)测量其身体活动水平, 同时通过佩戴wGT3X-BT加速度计(ActiGraph, 美国), 验证IPAQ中每个报告事件的持续时间。要求所有受试者参加关于该实验安排的简报会, 指导受试者使用食物频率问卷(food frequency questionnaire, FFQ)(Waterhouse et al., 2010)记录营养摄入情况。

1.3 实验设计与干预措施

除对照组外, 其他组别均需进行4天/周, 1 h/d的户外步行运动, 运动干预总时长为5 760 min(即每周240 min)。这与ACSM运动处方指南推荐的一致(Pescatello et al., 2014), 也符合久坐人群每天进行不少于60 min中等至剧烈强度的身体活动的建议(林家仕等, 2019)。目标强度相当于50%~60% $\dot{V}O_{2max}$ (最大心率的64%~76%)(Styns

et al., 2007)。干预期间,每个组别安排 2 名教练一前一后伴行(标定每组的低和高步行速度)指导。另外,安排

实验人员在旁观察、鼓励并指导受试者匹配相应的步行速度、节拍和音乐。

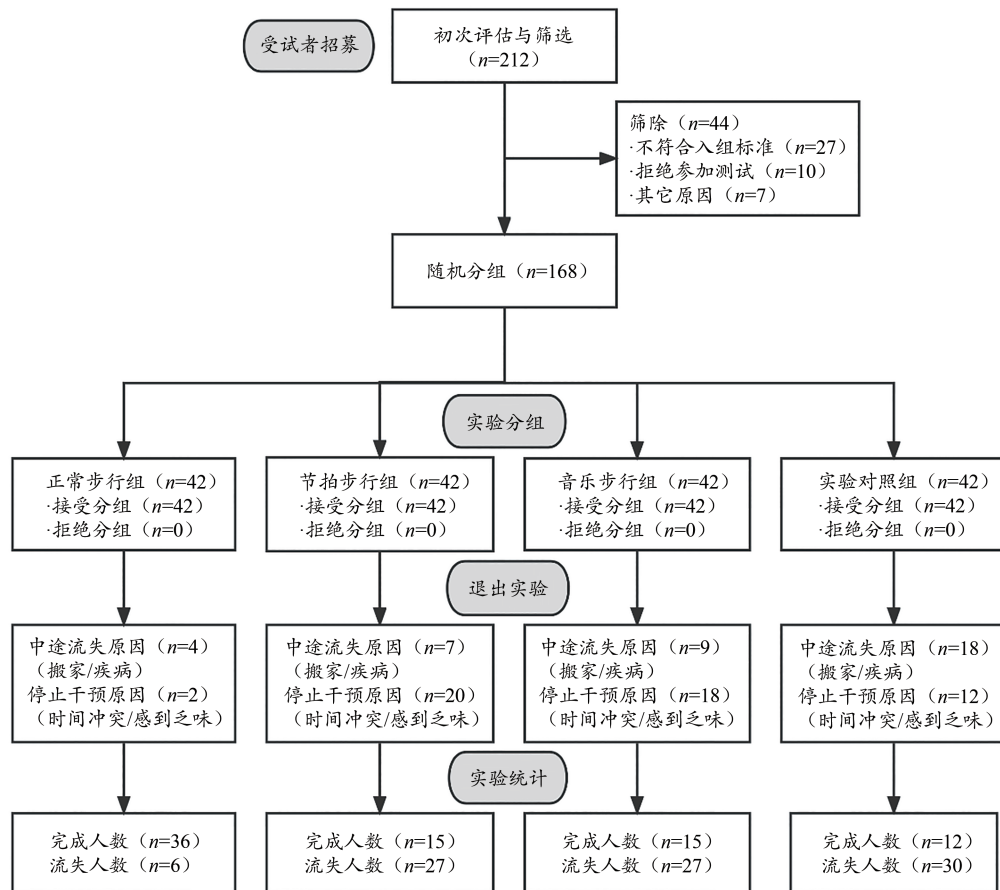


图1 受试者招募和筛选流程图

Figure 1. Flow Chart of Subjects Recruitment and Screening

表1 受试者人口统计学信息

Table 1 Demographic Information of Subjects

变量/组别	NW (n=36)	PW (n=15)	MW (n=15)	C (n=12)	P	η^2
年龄/岁	60.1±2.7	59.0±3.0	60.6±3.4	60.8±3.4	0.626	0.041
身高/cm	157.9±6.0	160.2±6.1	159.5±5.2	157.6±3.5	0.898	0.035
体质量/kg	57.7±8.1	59.0±4.6	60.6±5.3	59.3±4.7	0.712	0.030
瘦体重/kg	21.8±3.2	22.5±2.9	21.9±2.7	20.7±1.1	0.634	0.039
身体质量指数/(kg·m ⁻²)	23.1±2.6	23.0±2.0	23.8±1.6	23.9±1.4	0.881	0.027
身体活动水平/(MET·min·wk ⁻¹)	1 490.7±313.8	1 447.7±371.2	1 531.0±279.7	1 350.6±305.5	0.113	0.032

注: NW. 正常步行组, PW. 节拍步行组, MW. 音乐步行组, C. 对照组; 下同。

运动干预方案: 预先确定在受试者居住社区附近的步行路线。运动干预从 18:00 开始, 包括 20 min 的热身活动, 步频为 120~130 步/min (MacDougall et al., 2005; Tudor-Locke et al., 2011), 根据步行条件进行调整。出于安全考虑, 当运动心率超过 76%×(220-受试者年龄) 时, 可穿戴式心率监测器会发出提示音。正常步行组以约 120 步/min 的步频自由步行。节拍步行组根据 125 步/min 的节拍进行步行运动, 该节拍通过 Dr Beat DB 90 节拍器进行计数

(Boss, 日本), 并由 Malone M-8622 扬声器 (Malone, 美国) 播放, 音量为 55 dB。音乐步行组跟随音乐节奏进行步行运动, 音乐播放音量为 55 dB; 音乐播放列表由 16 首 (表 2) 被认为可为行走带来更多乐趣并提高运动动机的乐曲组成 (Wang et al., 2022), 乐曲节拍为 120~128 bpm (脚步最适节奏) (Londeree et al., 1976; Priest et al., 2004)。对照组不分配任何锻炼计划, 并要求保持正常的体育活动和饮食行为。

表2 音乐的播放列表和相关节奏

序号	语言种类	节奏/bpm
1	俄语	125
2	中文	128
3	中文	120
4	中文	125
5	中文	120
6	英语	120
7	中文	120
8	英语	128
9	英语	125
10	英语	128
11	英语	127
12	英语	127
13	英语	122
14	中文	127
15	中文	127
16	中文	127

24周的运动干预后,安排12周的停训期,期间要求受试者恢复至实验前的生活方式。每周通过电话提醒受试者不改变身体活动和饮食行为。

1.4 测量和评估

在基线(T_0)、干预12周(T_{12})、干预24周(T_{24})以及停训12周(R_{12})4个时间点进行测量和评估。在每个测量时间点,邀请受试者一对一完成FFQ和IPAQ问卷调查、心肺适能测试、步态分析和血液测试。提前告知受试者在测量和评估前48 h内不得服用任何药物、饮酒和进行剧烈的身体活动。

心肺适能测试采用Bruce方案,通过分级跑台进行递增负荷测试(Janata et al., 2012),使用Metalyzer-III气体代谢测量设备(Coretx,德国)评估30 s间隔的 $\dot{V}O_{2max}$ 、最大有氧速度(maximum aerobic speed, \dot{V}_{max}),以及峰值心率和血压。进行心肺运动试验(cardiopulmonary exercise testing, CPET)时,通过气体交换系统描计出的通气曲线上通常表示为2个拐点:通气阈值(the ventilatory threshold, VO_{2AT})和呼吸补偿点(the respiratory compensation point, VO_{2RCP})。当达到50%~60% $\dot{V}O_{2max}$ 或接近 $\dot{V}O_{2max}$ 时,要求受试者使用Borg量表指示感知劳累率(Styns et al., 2007)。50%~60% $\dot{V}O_{2max}$ 被认为是中等体力活动强度,适用于没有长期体育锻炼习惯的受试者。

静息心率和血压分别由Polar 5 Pulse可穿戴式胸带监测器(Polar,芬兰)和SunTec Tango+电子血压计(SunTec,美国)进行测量。在测量前,受试者需要静坐10 min,然后以仰卧姿势平躺5 min。

心功能测量指标使用GE Vivid 7超声仪器(Diagnostx,美国)进行测量。在仰卧位姿态下,要求受试者以60圈/min

的速度蹬Angio Imaging 967930动力卧式运动自行车(Lode,荷兰)监测心功能,并在50% $\dot{V}O_{2max}$ 负荷状态下测量心输出量(cardiac output, CO)、每搏输出量(stroke volume, SV)和射血分数(ejection fraction, EF)。

进行血液样本采集前,要求受试者在前一天的20:00后开始禁食,第2天早晨7:00—8:00点进行静脉穿刺抽取5 mL血样,用于甘油三酯(triglyceride, TG)、糖化血红蛋白(glycated hemoglobin, HbA1c)、高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein-cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein-cholesterol, LDL-C)、空腹血糖(fasting blood glucose, FBG)等代谢指标的测量和评估。

步态分析在20 m的实验室压力步道上进行,通过6个连续的Zebris medical压力板(Weitnau,德国)进行测量。压力板的采样频率为100 Hz,分辨率为每 cm^2 分布1个传感器。在实验过程中,受试者以个人速度步行,取3个连续步长数据的平均值进行分析。

1.5 数据统计分析

采用R统计软件包(Vienna,澳大利亚)进行统计分析,以 $P<0.05$ 为显著性水平。各组变量数据正态性分布采用Kolmogorov-Smirnov检验,采用Cook's distance检验是否存在显著异常值。采用单因素方差分析检验受试者的基线(T_0)特征,以确定组间差异。如果违背方差齐性的假设,则采用Alexander-Govern进行调整。

采用4×4双因素方差分析混合设计评估步行组别和干预时间的主效应。采用Mauchly的球形检验,必要时采用Greenhouse-Geisser进行调整。如果存在统计学上显著的双向交互作用,则进一步进行简单效应分析。

2 结果

2.1 人体测量特征与步长特征

体质量($P<0.001$)、脂肪率($P<0.001$)、腰围($P=0.011$)、步长($P<0.001$)在组别和时间之间存在显著的交互作用(图2,表3)。音乐步行组在 T_{12} 时脂肪率显著下降($P=0.03$),在 T_{24} ($P=0.007$)和 R_{12} ($P=0.003$)时脂肪率下降非常显著。节拍步行组体质量($P<0.001$)显著下降,尽管在停训期 R_{12} 时有“反弹”现象($P<0.001$),但仍显著低于基线水平($P<0.001$)。此外,运动干预有效增大了受试者的步长,正常步行组甚至在停训后(R_{12})维持较大的步长。

2.2 身体活动水平与营养摄入水平

身体活动水平和营养摄入水平在组别和时间之间无显著交互作用($P>0.05$;表3)。此外,各组别及各时间的主效应均不显著($P>0.05$)。各步行组均未引起身体活动水平和营养摄入水平的显著变化。

2.3 血压与血液成分

收缩压($P=0.036$)、舒张压($P=0.036$)、HDL-C($P<$

0.001)、LDL-C($P<0.001$)和糖化血红蛋白($P=0.001$)在组别和时间之间均存在显著的交互作用(图2,表4)。正常步行组停训后舒张压依然显著低于其他时间($P<0.05$)。尽管节拍步行组在运动干预期间HDL-C水平显著提高,

但在停训后显著回落($P=0.03$)。音乐步行组和正常步行组在 R_{12} 时HDL-C水平最高($P<0.05$)。各实验干预组LDL-C均显著降低($P<0.05$),但均在停训期时显著回升($P<0.05$)。

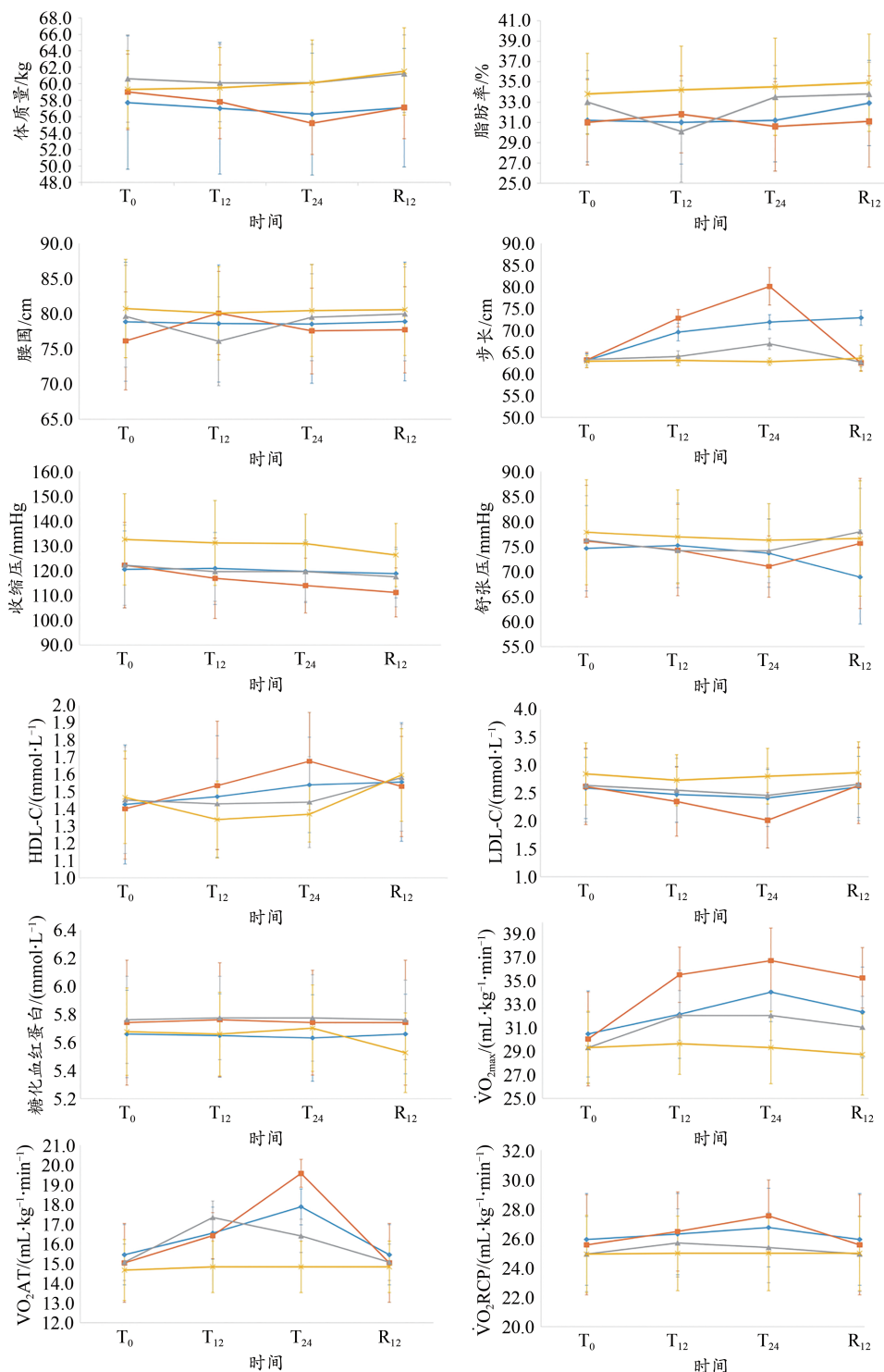


图2 实验干预组和对照组在 T_0 、 T_{12} 、 T_{24} 和 R_{12} 时的心肺适能和健康水平

Figure 2. Cardiorespiratory Fitness and Health Levels of the Experimental Intervention Groups and Control Group at T_0 , T_{12} , T_{24} and R_{12}

2.4 心肺适能

$\dot{V}O_{2max}$ ($P=0.001$)、 VO_2AT ($P<0.001$)和 VO_2RCP ($P<$

0.001)在组别和时间之间均存在显著交互作用(图2,表4)。所有实验干预组 $\dot{V}O_{2max}$ 和 VO_2AT 水平均显著提高

($P<0.05$),但在停训期 R_{12} 时各组 VO_2AT 氧化能力均显著退步($P<0.05$)。

表3 实验干预组和对照组在 T_0 、 T_{12} 、 T_{24} 和 R_{12} 时的人体测量特征、身体活动水平和营养摄入数据

Table 3 Anthropometric Characteristics, Physical Activity Levels, and Nutrient Intake Data of the Experimental Intervention

		Groups and Control Group at T_0 , T_{12} , T_{24} and R_{12}				$M \pm SD$		
变量	时间	NW ($n=36$)	PW ($n=15$)	MW ($n=15$)	C ($n=12$)	P		
						组别 \times 时间	组别	时间
体质量/kg	T_0	57.7 \pm 8.1	59.0 \pm 4.6	60.6 \pm 5.3	59.3 \pm 4.7	<0.001	0.204	<0.010
	T_{12}	57.0 \pm 8.0	57.8 \pm 4.5	60.1 \pm 4.7	59.5 \pm 4.9			
	T_{24}	56.3 \pm 7.4	55.2 \pm 3.8	60.1 \pm 4.7	60.1 \pm 5.2			
	R_{12}	57.1 \pm 7.2	57.1 \pm 3.8	61.2 \pm 4.7	61.5 \pm 5.3			
瘦体重/kg	T_0	21.8 \pm 3.2	22.5 \pm 2.9	21.9 \pm 2.7	20.7 \pm 1.1	0.095	0.193	0.337
	T_{12}	21.9 \pm 3.3	21.9 \pm 2.7	22.0 \pm 3.4	20.8 \pm 1.2			
	T_{24}	21.8 \pm 3.2	23.7 \pm 3.1	22.3 \pm 2.3	20.8 \pm 1.2			
	R_{12}	21.8 \pm 3.2	23.6 \pm 3.0	21.9 \pm 2.2	20.8 \pm 1.1			
脂肪率/%	T_0	31.2 \pm 4.1	31.0 \pm 4.2	33.0 \pm 3.1	33.8 \pm 4.0	<0.001	0.102	<0.001
	T_{12}	31.0 \pm 4.1	31.8 \pm 3.8	30.1 \pm 5.0	34.2 \pm 4.3			
	T_{24}	31.2 \pm 4.1	30.6 \pm 4.4	33.5 \pm 3.1	34.5 \pm 4.8			
	R_{12}	32.9 \pm 4.2	31.1 \pm 4.5	33.8 \pm 3.1	34.9 \pm 4.8			
腰围/cm	T_0	78.9 \pm 8.5	76.2 \pm 7.0	79.6 \pm 7.2	80.8 \pm 7.0	0.011	0.818	0.589
	T_{12}	78.6 \pm 8.3	80.1 \pm 5.9	76.1 \pm 6.3	80.1 \pm 6.6			
	T_{24}	78.5 \pm 8.4	77.6 \pm 6.1	79.5 \pm 6.2	80.5 \pm 6.5			
	R_{12}	78.9 \pm 8.4	77.7 \pm 6.1	80.0 \pm 6.7	80.6 \pm 6.5			
臀围/cm	T_0	93.7 \pm 5.4	93.2 \pm 3.4	95.8 \pm 4.3	95.9 \pm 5.7	0.058	0.564	0.589
	T_{12}	93.9 \pm 5.1	95.3 \pm 4.8	93.2 \pm 5.1	96.0 \pm 5.6			
	T_{24}	93.9 \pm 4.9	94.1 \pm 5.1	95.2 \pm 3.8	96.2 \pm 5.5			
	R_{12}	94.5 \pm 5.1	94.3 \pm 4.8	94.6 \pm 4.4	96.5 \pm 5.6			
步长/cm	T_0	63.1 \pm 1.6	63.2 \pm 1.8	63.3 \pm 1.3	62.9 \pm 1.4	<0.001	<0.001	<0.001
	T_{12}	69.6 \pm 2.0	72.8 \pm 2.0	64.0 \pm 1.3	63.1 \pm 1.2			
	T_{24}	71.9 \pm 1.7	80.1 \pm 4.3	66.9 \pm 1.3	62.8 \pm 0.8			
	R_{12}	72.9 \pm 1.7	62.5 \pm 1.7	62.7 \pm 1.1	63.6 \pm 3.0			
身体活动水平/(MET \cdot min \cdot wk $^{-1}$)	T_0	1 491 \pm 314	1 448 \pm 371	1 531 \pm 280	1 351 \pm 306	0.710	0.890	0.980
	T_{12}	1 425 \pm 314	1 541 \pm 278	1 514 \pm 242	1 437 \pm 411			
	T_{24}	1 453 \pm 347	1 545 \pm 278	1 492 \pm 238	1 491 \pm 378			
	R_{12}	1 484 \pm 312	1 406 \pm 327	1 444 \pm 338	1 544 \pm 313			
营养摄入总量/kJ	T_0	11 142 \pm 163	11 209 \pm 146	11 171 \pm 92	11 155 \pm 167	0.150	0.514	0.250
	T_{12}	11 171 \pm 159	11 234 \pm 113	11 175 \pm 101	11 167 \pm 71			
	T_{24}	11 184 \pm 146	11 163 \pm 117	11 117 \pm 134	11 142 \pm 130			
	R_{12}	11 171 \pm 147	11 226 \pm 172	11 142 \pm 105	11 125 \pm 121			
碳水化合物摄入量/(g \cdot d $^{-1}$)	T_0	361.3 \pm 6.9	363.1 \pm 6.1	361.2 \pm 6.5	363.1 \pm 6.5	0.843	0.816	0.496
	T_{12}	361.8 \pm 7.0	363.6 \pm 6.3	361.7 \pm 6.5	363.1 \pm 6.4			
	T_{24}	361.9 \pm 7.0	362.8 \pm 6.9	361.8 \pm 6.9	362.8 \pm 7.4			
	R_{12}	361.8 \pm 6.6	363.9 \pm 7.4	361.6 \pm 6.9	362.7 \pm 6.5			
脂肪摄入量/(g \cdot d $^{-1}$)	T_0	95.1 \pm 2.9	96.0 \pm 2.3	95.6 \pm 2.0	95.1 \pm 2.3	0.240	0.336	0.225
	T_{12}	95.6 \pm 2.3	96.6 \pm 1.5	95.8 \pm 1.6	95.2 \pm 2.1			
	T_{24}	95.7 \pm 2.4	94.7 \pm 1.3	94.5 \pm 1.3	94.6 \pm 1.5			
	R_{12}	95.5 \pm 2.4	96.0 \pm 2.4	95.2 \pm 2.6	94.3 \pm 1.3			
蛋白质摄入量/(g \cdot d $^{-1}$)	T_0	90.5 \pm 2.6	90.8 \pm 2.4	91.0 \pm 2.2	89.2 \pm 3.4	0.441	0.401	0.964
	T_{12}	90.8 \pm 2.2	90.3 \pm 2.7	90.6 \pm 2.5	90.1 \pm 2.4			
	T_{24}	90.8 \pm 1.4	91.0 \pm 1.2	89.8 \pm 2.1	90.2 \pm 2.7			
	R_{12}	76.0 \pm 2.2	78.1 \pm 1.1	76.2 \pm 1.5	76.1 \pm 1.6			

3 分析与讨论

本研究探讨了不同的步行运动对老年前期女性心肺适能和心血管代谢生物标志物的影响,并进行了停训

12周的后续监测,以评估受试者恢复久坐行为时的后遗症。研究表明,整个研究期间身体活动水平和饮食营养摄入水平无显著变化,混杂因素得到了控制。所

有步行干预对老年前期女性的体质量、脂肪率、步长、血压、生物标志物和心肺适能均有一定积极作用。步长能够体现人体的行走功能 (Edworthy et al., 2006; Bruce et al., 1973), 随着年龄增加步长逐渐缩短 (Murphy et al.,

2002)。而所有步行组在训练后 (即 T_{24} 时) 步长显著大于对照组。步长增加指向下肢肌肉力量和平衡能力的改善 (汪毅, 2016; Tully et al., 2005)。

表 4 实验干预组和对照组在 T_0 、 T_{12} 、 T_{24} 和 R_{12} 时的血压、血液成分和心肺适能数据

Table 4 Blood Pressure, Blood Composition and Cardiovascular Fitness Data of the Experimental Intervention Groups and Control Group at T_0 , T_{12} , T_{24} and R_{12}

变量	时间	NW (n=36)	PW (n=15)	MW (n=15)	C (n=12)	P		
						组别×时间	组别	时间
收缩压/mmHg	T_0	120.4±15.5	122.1±17.3	122.1±16.1	122.5±18.4	0.036	0.040	<0.001
	T_{12}	120.8±14.5	116.8±16.2	119.5±12.0	121.1±17.1			
	T_{24}	119.6±12.6	113.9±11.0	119.5±12.0	120.8±11.9			
	R_{12}	118.7±9.8	111.1±9.9	117.4±12.0	122.2±12.7			
舒张压/mmHg	T_0	74.6±8.5	76.1±11.2	76.3±8.9	77.8±8.9	0.036	0.358	0.077
	T_{12}	75.2±8.4	74.3±8.4	74.3±9.1	74.1±6.4			
	T_{24}	73.6±6.8	71.0±6.8	71.0±6.1	74.1±6.4			
	R_{12}	68.9±9.4	75.6±9.4	75.6±13.0	77.9±8.7			
TG/(mmol·L ⁻¹)	T_0	1.5±0.7	1.5±0.4	1.5±0.6	1.5±0.5	0.388	0.975	<0.001
	T_{12}	1.5±0.7	1.3±0.3	1.4±0.5	1.5±0.5			
	T_{24}	1.4±0.4	1.2±0.3	1.4±0.5	1.4±0.3			
	R_{12}	1.2±0.6	1.3±0.4	1.1±0.3	1.2±0.5			
HDL-C/(mmol·L ⁻¹)	T_0	1.4±0.3	1.4±0.3	1.5±0.3	1.5±0.3	<0.001	0.860	<0.001
	T_{12}	1.5±0.4	1.5±0.4	1.4±0.3	1.3±0.2			
	T_{24}	1.5±0.3	1.7±0.3	1.4±0.3	1.4±0.2			
	R_{12}	1.6±0.3	1.5±0.3	1.6±0.3	1.6±0.3			
LDL-C/(mmol·L ⁻¹)	T_0	2.6±0.5	2.6±0.7	2.6±0.7	2.8±0.6	<0.001	0.268	<0.001
	T_{12}	2.5±0.5	2.4±0.6	2.6±0.6	2.7±0.5			
	T_{24}	2.4±0.5	2.0±0.5	2.5±0.5	2.8±0.5			
	R_{12}	2.6±0.5	2.6±0.7	2.7±0.7	2.9±0.6			
HbA1c/(mmol·L ⁻¹)	T_0	5.7±0.3	5.7±0.4	5.8±0.3	5.7±0.3	0.001	0.487	0.233
	T_{12}	5.6±0.3	5.8±0.4	5.8±0.3	5.7±0.3			
	T_{24}	5.6±0.3	5.7±0.4	5.8±0.3	5.7±0.3			
	R_{12}	5.7±0.3	5.7±0.4	5.8±0.3	5.5±0.3			
FBG/(mmol·L ⁻¹)	T_0	5.2±0.4	5.4±0.6	5.5±0.6	5.5±0.5	0.611	0.325	0.286
	T_{12}	5.6±1.5	5.4±0.2	5.4±0.4	5.6±0.5			
	T_{24}	5.3±0.3	5.3±0.4	5.4±0.4	5.6±0.4			
	R_{12}	5.2±0.4	5.4±0.6	5.5±0.6	5.6±0.5			
相对 CO/(L·min ⁻¹)	T_0	0.8±0.1	0.6±1.3	1.1±1.1	0.8±0.2	0.928	0.349	<0.001
	T_{12}	0.7±0.3	0.4±1.3	1.0±1.1	0.6±0.1			
	T_{24}	0.5±0.7	0.4±1.3	0.9±1.1	0.4±0.1			
	R_{12}	1.0±0.1	0.8±1.3	1.2±1.1	0.8±0.6			
相对 SV/mL	T_0	3.8±9.5	5.6±12.8	5.7±12.6	6.3±8.8	0.528	0.840	0.005
	T_{12}	5.0±8.6	7.2±8.9	6.6±11.4	5.9±9.9			
	T_{24}	8.2±10.6	7.2±11.1	11.5±10.2	6.0±9.1			
	R_{12}	3.3±10.6	5.5±9.6	6.5±12.6	5.8±11.1			
相对 EF/%	T_0	6.3±9.5	9.4±12.7	8.7±5.7	3.7±10.8	0.275	0.578	0.276
	T_{12}	6.8±9.2	5.1±11.8	9.5±5.1	3.7±10.5			
	T_{24}	6.0±4.9	6.4±7.9	5.0±7.2	3.6±10.6			
	R_{12}	6.2±9.5	9.3±12.7	8.7±5.7	3.7±10.2			
$\dot{V}O_{2max}$ /(mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	T_0	30.5±3.7	30.1±4.0	30.3±3.0	29.9±3.9	0.001	<0.001	<0.001
	T_{12}	32.2±3.8	35.5±2.4	32.1±2.1	29.7±2.6			
	T_{24}	34.1±2.5	36.7±2.8	32.1±2.1	29.3±3.1			
	R_{12}	32.4±3.8	35.3±2.6	31.1±2.6	29.3±3.4			

变量	时间	NW (n=36)	PW (n=15)	MW (n=15)	C (n=12)	P		
						组别×时间	组别	时间
VO ₂ AT/(mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	T ₀	14.4±1.5	14.4±2.0	14.7±0.9	14.7±1.5	<0.001	<0.001	<0.001
	T ₁₂	16.5±1.3	16.4±1.2	16.4±0.8	14.8±1.3			
	T ₂₄	17.9±0.9	19.6±0.7	17.3±0.8	14.7±1.5			
	R ₁₂	15.4±1.5	15.0±2.0	15.1±0.9	14.4±1.7			
VO ₂ RCP/(mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	T ₀	25.9±3.1	25.6±3.4	24.9±2.5	24.9±2.6	<0.001	0.376	<0.001
	T ₁₂	26.3±2.8	26.5±2.7	25.4±2.4	25.0±2.5			
	T ₂₄	26.7±2.7	27.5±2.4	25.7±2.3	24.9±2.5			
	R ₁₂	25.9±3.1	25.6±3.4	24.9±2.5	24.7±2.8			

体质量、脂肪率、腰围和血脂成分是心肺疾病的预警指标(高思垚等,2021; Wong et al., 2015)。本研究中,步行组上述指标的改善趋势表明步行干预提升了老年前期女性总体健康状况。同时,3个步行组 $\dot{V}O_{2max}$ 和 VO_2AT 均显著改善,表明每周4天,每天1h,步频为120~130步/min的步行锻炼可以提高久坐人群的有氧能力,提高运动水平。通常,久坐老年人的 VO_2AT 仅为50%~60% $\dot{V}O_{2max}$,且因年龄、性别、运动方式不同而不同(Wong et al., 2020)。停训12周后,各步行组 VO_2AT 回落,表明50%~60% $\dot{V}O_{2max}$ 强度的步行运动可以调控久坐少动老年前期女性的 VO_2AT 。作为有氧运动与无氧运动的临界点, VO_2AT 与心功能分级密切相关, VO_2AT 降低会导致人体运动长时间处于超出有氧代谢为主的状态,造成大量乳酸堆积、氢离子增加所导致的电解质紊乱以及身体恢复周期加长和运动能力下降,同时也会因为心脏长时间超负荷工作诱发心肌受损,且心肌损伤是不逆转的,进而引发循环系统障碍,严重者甚至出现猝死等。因此,规律的步行锻炼,维持较高的 VO_2AT 水平以及在进行身体活动时控制超过 VO_2AT 的时间非常重要。同时,各运动干预组均可改善久坐少动老年前期女性的 VO_2RCP ,表明其无氧效率也获得了提升。另外,在运动干预方案结束时(T₂₄)相对CO和相对SV较高,表明运动干预改善了老年前期女性的心功能。综上,心功能的改善可以提高有氧和无氧效率。

尽管停训期LDL-C出现“反弹”现象,但各实验干预组HDL-C均提高且LDL-C均降低。值得注意的是,血液成分改变需要更长时间的运动来诱导适应。有研究认为,这种改善表明控制步速的步行运动的健康效益优于促进肌肉弹性的快节奏步行运动(Crisafulli et al., 2005; Huxley et al., 2010)。

本研究中引入了节拍步行和音乐同步步行,听觉节拍和音乐会影响中枢神经系统之间的凝聚力,分散对身体疲劳的注意力并增加体育锻炼期间的肌肉力量输出(Bacon et al., 2012; Karageorghis et al., 2008)。音乐在许多方面对运动具有积极影响,如改变情绪状态(Edworthy et al., 2006; Shaulov et al., 2009)、改善动机(Casuso

et al., 2014)、改善唤醒水平(Lim et al., 2014)、缓解压力(Särkämö et al., 2008)、产生力量感(Hsu et al., 2018)、诱发有节奏的运动(Atkinson et al., 2004),以及延长耐力运动时间并提高运动强度(Casuso et al., 2014; Maddigan et al., 2019)等。然而本研究中,音乐步行组未表现出与节拍步行相似的益处。这可能是由于只有当音乐与运动之间存在特定的耦合时,即运动速度和音乐速度之间的周期性差异在一定范围内,音乐对运动的积极影响才最为有效(Karageorghis et al., 2009)。本研究选取的音乐节奏(120~128 bpm)接近最适合心血管系统的锻炼模式(>120步/min)(Pillay et al., 2014),但由于音乐节奏相对较快,要实现运动节奏耦合音乐中的节奏变化(如快步、慢步、滑步和跃步等),需要受试者注意力高度集中(Lim et al., 2014)。音乐节奏和运动节奏的契合会产生特定的运动模式,即夹带效应(entrainment)(Karageorghis et al., 2009)。夹带效应能在有意识指导或自发条件下发生,通过增加神经肌肉协调性或代谢效率来降低运动的代谢成本(Thaut et al., 2003)。与自发条件夹带(音乐步行)相比,有意识指导的教学夹带(节拍步行)更容易发生(Leow et al., 2018),并能够提高唤醒水平(Lim et al., 2014),诱导更大的运动强度(Terry et al., 2012),实现更稳定的运动模式(Mendonca et al., 2014)。此外,有意识指导的教学夹带节奏与运动节奏之间的速度差异为±10%(Moumdjian et al., 2019),而自发夹带节奏与运动节奏的速度差异为±2%(Moumdjian et al., 2019)或±3%(Van Dyck et al., 2015)。因此,有意识指导的教学夹带(节拍步行)可能适应范围更广,产生更稳定的健康效益。同时,节奏为120 bpm的音乐最有可能诱发夹带节奏(Leman, 2013; MacDougall et al., 2005; Styns et al., 2007)。因此,推测本研究中老年前期女性在音乐节奏较快时,较难在自发条件下把握音乐曲中的动作节奏的变化,削弱了音乐对运动的积极影响;而节拍步行组根据清晰的节拍,在有意识的夹带指引下,可以固定的步行速度和步长进行运动,动作幅度更容易与节拍节奏契合(节拍和运动节奏之间的速度差异为±10%),动作效率更高。开发能够减少与衰

老相关疾病发生的运动干预措施已成为当务之急(董云峰等, 2021), 音乐同步行走的运动会模式可以增加感官享受, 促进久坐人群的参与。

值得注意的是, 本研究调查了运动干预后 12 周时干预效果的保留效应, 所有受试者均恢复久坐状态, 发现停训 12 周后只有 HDL-C 和 $\dot{V}O_{2max}$ 得以维持。此外, 只有正常步行组能够保持步长, 而其他步行干预组则不能。这可能与节拍步行和音乐步行组中前期训练(呈现节拍/音乐)和后期评估(不呈现节拍/音乐)的任务差异有关, 尽管受试者可以“依赖”节拍/音乐反馈走得更快或更远, 但停训后运动干预组体质量和脂肪率恢复到运动干预前水平, 原因可能是这些变量对运动干预相对敏感。提示, 久坐的老年前期女性应形成和保持规律的锻炼习惯。

4 结论与展望

不同的步行锻炼计划可以改善久坐的老年前期女性的健康状况。值得注意的是, 所有步行条件均改善了 HDL-C、LDL-C、 $\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ 、 $\dot{V}O_{2RCP}$ 水平和步长, 且 HDL-C 和 $\dot{V}O_{2max}$ 的训练效果保留效应较好。在训练期间, 采用节拍步行/音乐同步行走可能比正常步行带来更多的额外健康益处。

本研究为探索性的音乐同步运动的纵向研究, 未来研究可考虑利用并行任务范式评估听觉-运动耦合过程对运动强度和认知/注意力的影响, 以进一步阐明音乐/节拍与运动生理反应之间的潜在作用机制。但研究存在以下局限: 1) 本研究仅对久坐少动的老年前期女性进行了测试, 可继续进行剂量-效应实验, 以探究研究结果在不同群体中的可推广性。2) 不同生理参数可能具有不同的响应时间, 可通过佩戴可穿戴式生物传感器装置, 延长对受试者的生理监测, 准确捕捉到响应时间。3) 受试者退出率高, 可能导致研究结果偏倚。对久坐行为的运动干预需要制定合理的监督计划与激励措施, 加强同伴支持, 确保运动干预方案的顺利实施, 提升受试者坚持完成实验的信心。

参考文献:

董传升, 汪毅, 郑松波, 2018. 体育融入大健康: 健康中国治理的“双轨并行”战略模式[J]. 北京体育大学学报, 41(2): 7-16.

董云峰, 邱俊强, 2021. 运动抗衰老: 端粒机制的研究进展[J]. 中国体育科技, 57(2): 49-57.

高思垚, 吕万刚, 聂应军, 2021. 不同运动方式对中国超重或肥胖人群代谢指标影响的元分析[J]. 中国体育科技, 57(10): 46-54, 69.

林家仕, 杨小月, 谢敏豪, 2019. 静坐少动和体力活动与健康的剂量-效应关系研究进展[J]. 中国运动医学杂志, 38(4): 305-311.

刘玉, 2021. 我国社区老年智慧体育服务系统构建与推进策略研究[J]. 体育科学, 41(1): 51-64.

汪毅, 2016. 55~65 岁静坐少动女性运动干预的时效性研究[D]. 北京: 北京体育大学.

汪毅, 郭娴, 周宇颖, 2019. 我国人口老龄化背景下“体护融合”保障机制研究[J]. 北京体育大学学报, 42(8): 110-119.

魏梦娴, 黄洁洁, 2020. 腰痛与久坐行为为关联性的研究进展[J]. 中国体育科技, 56(3): 32-41, 74.

吴方南, 李卓, 田振军, 2020. 有氧运动通过心肌细胞吞运内皮细胞来源外泌体抑制细胞凋亡[J]. 体育科学, 40(10): 82-90.

尹丽琴, 汤长发, 罗伟强, 等, 2022. 多模式运动对轻度认知功能障碍老年人认知功能和神经可塑性的影响[J]. 体育科学, 42(1): 78-87, 97.

张东, 徐金福, 2022. 社区环境与体育锻炼: 基于 CLDS2018 的实证分析[J]. 体育科学, 42(1): 88-97.

中华人民共和国国家卫生健康委员会, 2022. 国家卫生健康委员会 2022 年 9 月 20 日新闻发布会介绍党的十八大以来老龄工作进展与成效[EB/OL]. [2023-05-27]. <http://www.nhc.gov.cn/xwzb/web-controller.do?titleSeq=11480&gcstype=1>.

ATKINSON G, WILSON D, EUBANK M, 2004. Effects of music on work-rate distribution during a cycling time trial[J]. Int J Sports Med, 25(8): 611-615.

BACON C J, MYERS T, KARAGEORGHIS C I, 2012. Effect of music-movement synchrony on exercise oxygen consumption[J]. J Sports Med Phys Fitness, 52(4): 359-365.

BAI X, SOH K G, OMAR DEV RD, et al., 2021. Effect of brisk walking on health-related physical fitness balance and life satisfaction among the elderly: A systematic review[J]. Front Public Health, 9: 829367.

BRUCE R A, KUSUMI F, HOSMER D, 1973. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease[J]. Am Heart J, 85(4): 546-562.

BULL F C, AL-ANSARI S S, BIDDLE S, et al., 2020. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behavior[J]. Br J Sports Med, 54(24): 1451-1462.

CASUSO R A, MARTÍNEZ-LÓPEZ E, HITA-CONTRERAS F, et al., 2014. Effects of in-water passive recovery on sprint swimming performance and heart rate in adolescent swimmers [J]. J Sports Sci Med, 13(4): 958-963.

CRISAFULLI A, MELIS F, TOCCO F, et al., 2005. Anaerobic threshold and the oxygen consumption: Cardiac output relationship during exercise[J]. Sport Sci Health, 1(2): 75-80.

DUNCAN M J, KLINE C E, VANDELANOTTE C, et al., 2014. Cross-sectional associations between multiple lifestyle behaviors and health-related quality of life in the 10 000 Steps cohort [J]. PLoS One, doi: 10.1371/journal.pone.0094184.

EDWORTHY J, WARING H, 2006. The effects of music tempo and loudness level on treadmill exercise [J]. Ergonomics, 49(15): 1597-610.

HSU M S H, HARPER C, GIBSON A A, et al., 2018. Recruitment strategies for a randomised controlled trial comparing fast versus slow weight loss in postmenopausal women with obesity-the TEMPO diet trial. Healthcare (Basel), 6(3): 76.

HUXLEY R, MENDIS S, ZHELEZNYAKOV E, et al., 2010. Body mass index, waist circumference and waist: Hip ratio as predictors of cardiovascular risk: A review of the literature[J]. Eur J Clin Nutr, 64(1): 16-22.

JANATA P, TOMIC S T, HABERMAN J M, 2012. Sensorimotor coupling in music and the psychology of the groove[J]. J Exp Psy-

- chol Gen, 141(1):54-75.
- KARAGEORGHIS C I, JONES L, STUART D P, 2008. Psychological effects of music tempi during exercise[J]. *Int J Sports Med*, 29(7):613-619.
- KARAGEORGHIS C I, MOUZOURIDES D A, PRIEST D L, et al., 2009. Psychophysical and ergogenic effects of synchronous music during treadmill walking[J]. *J Sport Exerc Psychol*, 31(1): 18-36.
- KARAGEORGHIS C I, PRIEST D L, 2012. Music in the exercise domain: A review and synthesis (Part I)[J]. *Int Rev Sport Exerc Psychol*, 5(1):44-66.
- KODAMA S, SAITO K, TANAKA S, et al., 2009. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: A Meta-analysis[J]. *JAMA*, 301(19):2024-2035.
- KOHL HW 3RD, CRAIG C L, LAMBERT E V, et al., 2012. The pandemic of physical inactivity: Global action for public health[J]. *Lancet*, 380(9838):294-305.
- LEMAN M, MOELANTS D, VAREWYCK M, et al., 2013. Activating and relaxing music entrains the speed of beat synchronized walking[J]. *PLoS One*, 8(7):e67932.
- LEOW L A, WACLAWIK K, GRAHN J A, 2018. The role of attention and intention in synchronization to music: Effects on gait[J]. *Experimental Brain Research*, 236(1): 99-115.
- LIM H B, KARAGEORGHIS C I, ROMER L M, et al., 2014. Psychophysiological effects of synchronous versus asynchronous music during cycling[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 46(2):407-413.
- LONDEREE B R, AMES S A, 1976. Trend analysis of the % $\dot{V}O_{2max}$ -HR regression[J]. *Med Sci Sports*, 8(2):123-125.
- MACDOUGALL H G, MOORE S T, 2005. Marching to the beat of the same drummer: The spontaneous tempo of human locomotion[J]. *J Appl Physiol*, 99(3): 1164-1173.
- MADDIGAN M E, SULLIVAN K M, HALPERIN I, et al., 2019. High tempo music prolongs high intensity exercise[J]. *PeerJ*, 6:e6164.
- MENDONCA C, OLIVEIRA M, FONTES L, et al., 2014. The effect of instruction to synchronize over step frequency while walking with auditory cues on a treadmill[J]. *Hum Mov Sci*, 33:33-42.
- MURPHY M H, NEVILL A M, NEVILLE C, et al., 2002. Accumulating brisk walking for fitness, cardiovascular risk, and psychological health[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 34(9):1468-1474.
- OH A, KIM J, YI E, et al., 2020. Verification of the mediating effect of social support on physical activity and aging anxiety of Korean pre-older adults[J]. *Int J Environ Res Public Health*, doi: 10.3390/ijerph17218069.
- OWEN N, BAUMAN A, BROWN W, 2009. Too much sitting: A novel and important predictor of chronic disease risk? [J]. *Br J Sports Med*, 43(2):81-83.
- PESCATELLO L S, RIEBE D, THOMPSON P D, 2014. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription[M]. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- PRIEST D L, KARAGEORGHIS C I, SHARP N C C, 2004. The characteristics and effects of motivational music in exercise settings: The possible influence of gender, age, frequency of attendance, and time of attendance[J]. *Sports Med Phys Fitness*, 44(1):77-86.
- PRONK N, 2011. The problem with too much sitting: A workplace conundrum[J]. *ACSMs Health Fit J*, 15(1):41-43.
- PILLAY J D, KOLBE-ALEXANDER T L, PROPER K I, et al., 2014. Steps that count: Physical activity recommendations, brisk walking, and steps per minute: How do they relate?[J]. *J Phys Act Health*, 11(3):502-508.
- SÄRKÄMÖ T, TERVANIEMI M, LAITINEN S, et al., 2008. Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery stroke[J]. *Brain*, 131(Pt3):866-876.
- SMOLL F L, SCHULTZ R W, 1982. Accuracy of motor behavior in response to preferred and nonpreferred tempos [J]. *J Hum Mov Stud*, 8:123-138.
- STYNS F, VAN NOORDEN L, MOELANTS D, et al., 2007. Walking on music[J]. *Hum Mov Sci*, 6(5): 769-785.
- TERRY P C, KARAGEORGHIS C I, CURRAN M L, et al., 2020. Effects of music in exercise and sport: A Meta-analytic review[J]. *Psychol Bull*, 146(2):91-117.
- TERRY P C, KARAGEORGHIS C I, SAHA A M, et al., 2012. Effects of synchronous music on treadmill running among elite triathletes[J]. *J Sci Med Sport*, 15(1):52-57.
- THAUT M H, KENYON G P, 2003. Rapid motor adaptations to subliminal frequency shifts during syncopated rhythmic sensorimotor synchronization[J]. *Hum Mov Sci*, 22(3):321-338.
- TUDOR-LOCKE C, CRAIG C L, AOYAGI Y, et al., 2011. How many steps days are enough? For older adults and special populations[J]. *Int J Behav Nutr Phys Act*, doi: 10.1186/1479-5868-8-80.
- TULLY M A, CUPPLES M E, CHAN W S, et al., 2005. Brisk walking, fitness, and cardiovascular risk: A randomized controlled trial in primary care[J]. *Prev Med*, 41(2):622-628.
- VAN DYCK E, BUHMANN J, LORENZONI V, 2021. Instructed versus spontaneous entrainment of running cadence to music tempo[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 1489(1):91-102.
- VAN DYCK E, MOENS B, BUHMANN J, et al., 2015. Spontaneous Entrainment of Running Cadence to Music Tempo[J]. *Sports Med Open*, 1(1): 15.
- WANG Y, GUO X, LIU L, et al., 2022. Effects of Tai-Chi and running exercises on cardiorespiratory fitness and biomarkers in sedentary middle-aged males: A 24-week supervised training study[J]. *Biology*, doi: 10.3390/biology11030375.
- WATERHOUSE J, HUDSON P, EDWARDS B, 2010. Effects of music tempo upon submaximal cycling performance[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 20(4):662-669.
- WONG D W C, LAM W K, YEUNG L, et al., 2015. Does long-distance walking improve or deteriorate walking stability of transtibial amputees?[J]. *Clin Biomech*, 30(8):867-873.
- WONG D W C, LAM W K, LEE W C C, 2020. Gait asymmetry and variability in older adults during long-distance walking: Implications for gait instability[J]. *Clin Biomech*, 72(1):37-43.

(收稿日期:2022-06-21; 修订日期:2023-05-26; 编辑:高天艾)