

谢波, 伍蕾, 王兰. 基于自然实验的城市绿道对居民中高强度体力活动的影响研究 [J]. 风景园林, 2021, 28 (5) : 30-35.

基于自然实验的城市绿道对居民中高强度体力活动的影响研究

Exploring the Intervention Effect of Urban Greenways on Moderate-to-Vigorous Physical Activities of Residents: A Study Based on Natural Experiment

谢波 伍蕾 王兰*
XIE Bo, WU Lei, WANG Lan*

开放科学 (资源服务)
标识码 (OSID)



中图分类号: TU985.12
文献标识码: A
文章编号: 1673-1530(2021)05-0030-06
DOI: 10.14085/j.fjyl.2021.05.0030.06
收稿日期: 2020-11-04
修回日期: 2021-03-06

谢波 / 男 / 博士 / 武汉大学城市设计学院副教授 / 研究方向为健康地理与城市规划
XIE Bo, Ph.D., is an associate professor in the School of Urban Design, Wuhan University. His research focuses on health geography and urban planning.

伍蕾 / 女 / 武汉大学城市设计学院在读硕士研究生 / 研究方向为健康城市规划
WU Lei is a master student in the School of Urban Design, Wuhan University. Her research focuses on planning and design for healthy city.

王兰 / 女 / 博士 / 同济大学建筑与城市规划学院副院长、教授、博士生导师 / 健康城市实验室主任 / 研究方向为健康城市规划与设计、城市更新、新城规划与开发
通信作者邮箱 (Corresponding author Email): wanglan@tongji.edu.cn
WANG Lan, Ph.D., is the deputy dean, professor and doctoral supervisor in the College of Architecture and Urban Planning (CAUP), Tongji University, and director of Healthy City WLAN Lab. Her research focuses on planning and design for healthy city, urban renewal, new town planning and development.

摘要: 探讨促进体力活动的建成环境干预措施对改善居民健康水平具有重要意义。基于 2016 和 2019 年开展的武汉东湖绿道周边小区居民的 1 020 份问卷跟踪调查数据, 创新性地采用自然实验方法, 探讨城市绿道与居民体力活动之间的因果关系, 运用混合效应的 logistics 回归模型分析城市绿道干预对居民中高强度体力活动的影响及其剂量关系。研究发现, 东湖绿道在 1 km 范围内显著提高了居民中高强度的体力活动水平, 而且绿道对居民体力活动的影响存在显著的空间距离衰减效应。建议通过改善绿道可达性、完善周边邻里建成环境, 促进居民体力活动和健康水平的提升。

关键词: 风景园林; 城市绿道; 中高强度体力活动; 自然实验; 剂量效应; 健康效应

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (编号 41971179); 教育部人文社会科学研究青年基金项目 (编号 17YJC840045)

Abstract: Improving built environment should be given higher priority in promoting physical activities and health status of the population. Two waves of survey data, before and after the intervention in 2016 and 2019 respectively, were collected from 1,020 participants in the neighborhoods around the East Lake Greenway in Wuhan, China. The natural experimental approach was adopted to explore the causal relationship between urban greenways and people's physical activities. The mixed-effect logistics regression model was also applied to explore the intervention effect and dose-response effect of urban greenways on residents' moderate-to-vigorous physical activities (MVPA). The results showed that greenways could significantly improve the MVPA of residents within one kilometer from the greenway, and a salient distance-decay effect of greenways on promoting physical activities was also observed. Our results suggest that the improvement of greenway accessibility and neighborhood environment deserves to be highlighted in promoting people's physical activities and health status.

Keywords: landscape architecture; urban greenway; moderate-to-vigorous physical activity (MVPA); natural experiment; dose-response effect; health benefits

Fund Items: General Program of the National Natural Science Fund of China (No. 41971179); The Humanity and Social Science Youth Foundation of Ministry of Education of China (No. 17YJC840045)

当前, 体力活动缺乏已成为威胁人类健康的主要因素之一, 增加了心血管疾病、代谢性疾病等非传染性疾病的高患病风险^[1]。公共卫生领域的研究表明, 保持一定强度的体力活动能够显著降低非传染性疾病的患病风险^[2]和 20%~35% 的相对死亡风险^[3]。为此, 世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 推荐每

人每天至少进行 20 min 的中等强度或高强度体力活动。然而, 全球约有 31.1% 的成年人未达到该标准^[4]。近年来, 中国城乡人口每周的体力活动水平下降了 32%^[5], 成年人中仅有 66.3% 达到 WHO 推荐的最低标准, 且城市居民仅有 21.8% 达到该标准^[6]。快速城镇化带来的城市无序蔓延、交通拥堵、职居分离与绿色空间缺

乏等一系列建成环境恶化问题,是导致中国居民体力活动水平下降的主要原因^[7-9]。绿色空间作为城市建成环境中服务于人类健康和自然环境的重要组成部分,为城市居民提供了安全、方便且具有吸引力的休闲娱乐场所,对于改善居民体力活动水平并降低非传染性疾病风险具有重要作用^[10]。

当前,绿色空间已经成为建成环境干预居民体力活动的重要措施。绿色空间干预对居民体力活动的影响,不仅与绿色空间本身密切相关,还受到居民的个体特征、主观感知,可达性以及邻里环境等因素的影响。就个体特征而言,高收入、高教育水平的男性更倾向于使用绿色空间增加体力活动^[11];随着年龄增长,居民使用绿色空间进行体力活动的水平逐渐下降^[12]。就主观感知而言,居民对绿色空间不满意会导致体力活动的下降^[13]。就绿色空间可达性而言^[14],可达性越好,居民更易达到推荐的体力活动水平,从而不易导致超重和肥胖^[15]。邻里环境特征包括社会环境和建成环境2方面:1)社会环境方面,一定的社会支持、家人陪伴对促进绿色空间使用和增加体力活动有益^[16],而社会隔离会导致体力活动水平下降^[17];2)邻里建成环境方面,高密度、土地利用多样性高、公交可达性和目的地可达性较好的街区有利于步行和自行车等主动交通方式出行^[18],不仅增加了居民休闲性体力活动(步行、骑行等)^[19-20],而且更易达到推荐的中高强度体力活动水平^[21]。

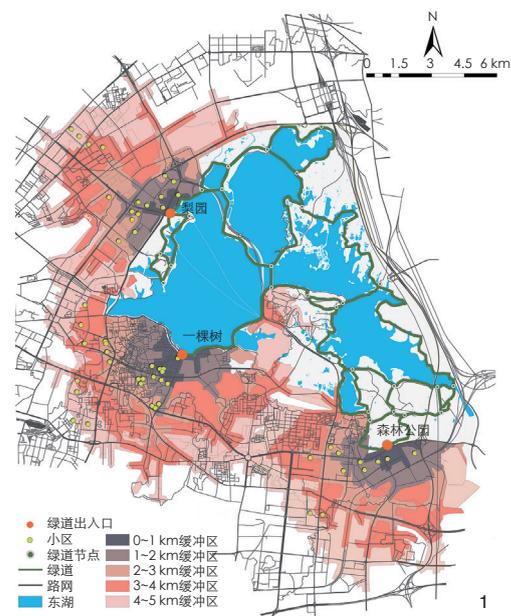
绿道作为一种“沿着河滨、溪谷、山脊、风景带等自然道路和人工廊道建立,供行人和骑行者进入的一种线型绿色空间”^[22],不仅能够增加附近居民的体力活动,还具有持续的公共健康效应^[23]。近年来,建设绿道已成为广泛采取的建成环境干预居民体力活动和健康的措施^[24]。尽管如此,绿道干预对居民体力活动的影响仍存在研究结果不一致的问题。一部分研究认为绿道不仅能够提高使用者的整体体力活动水平^[25],还能够显著增加使用者的休闲性体力活动和中高强度体力活动^[26]。其中,一项纵向研究结果表明,绿道干预存在剂量效应,即随着距离的增加,绿道干预对居民体力活动的影响呈下降趋势^[27]。

然而,部分研究发现绿道干预并未促使居民整体体力活动或中高强度体力活动的显著增加^[28],主要原因在于绿道干预的时间有限,无法提升周边居民体力活动水平^[29]。

现有绿色空间干预居民体力活动的研究大多集中在西方发达国家^[30-31],在中国较少采用纵向研究设计探讨绿色空间干预与居民体力活动的因果关系^[8]:1)中国正开展的大规模绿色空间建设是否能够带来健康效应需要进一步开展实证研究;2)该方面研究较少控制邻里环境因素,忽视了邻里环境的异质性对绿道干预居民体力活动的调节作用^[32];3)绿道对居民体力活动影响的剂量效应尚不明确,导致研究结果对绿道规划的支撑不足。因此,本研究以中国城市中心规模最大的绿道——武汉东湖绿道为例,基于3年(2016—2019年)的问卷跟踪调查数据,创新性地运用自然实验方法和混合效应的logistics回归模型,在控制邻里环境因素的基础上,探讨城市绿道干预对居民中高强度体力活动的影响及其剂量效应,以期完善城市绿色空间与居民体力活动关系的理论框架,并进一步深化自然实验方法在绿色空间研究中的应用。

1 研究方法 with 数据

本研究采用自然实验的方法探究绿道干预对居民体力活动的影响。自然实验是指一些事件和现象不受人为控制,但具备随机控制实验的某些特征,使得研究者能够运用类似于随机实验进行研究的方法^[33],可以客观解释事物发展的规律,因而具有较高的真实性。具体而言,当某一不受人为控制的事件或现象发生后,实验对象(个体、企业或城市等)所面临的环境会发生改变,通过将实验对象随机设置为实验组(受事件影响)和对照组(不受事件影响),比较2组对象在某一方面的差异,探究环境变化与实验对象某一方面的因果关系。绿道的建设可以作为一项自然发生的且不受研究人员控制的建成环境干预措施,在此基础上,将绿道附近和远离绿道而居的居民分别设置为实验组和对照组,通过对比2组居民的体力活动水平在绿道建成前后的变化,判断绿道干预与居民体力活动之



1 东湖绿道主要出入口及小区选点
The main entrances of East Lake Greenway and sampled neighborhoods

间的因果关系,并以此探索建成环境干预措施对居民健康状况和行为的影响^[34-35]。

本研究团队于2016年4—6月(绿道建成开放前)和2019年4—6月(绿道建成开放后)在武汉市开展了城市绿道周边居民的体力活动和健康效应调查。2016年发放问卷2331份,2019年进行跟踪调查,共收回有效问卷1020份,问卷答复率为43.8%。采取以下方法进行样本数据采集:1)选择东湖绿道的3个主要出入口——一棵树、梨园和森林公园(图1);2)由于东湖绿道是一条规划服务半径为4~5 km的城市级绿道^[36],故本研究使用ArcGIS 10.2对其3个主要出入口开展基于道路网络1~5 km的缓冲区分析,并在每个缓冲区内依据房价选择高、低收入居住小区各2个,共抽样选取52个居住小区;3)通过分层抽样的方法选取个体参与问卷调查,即0~1 km范围内抽取431份,1~2 km抽取335份,2~5 km抽取254份。

依据抽样居住小区到东湖绿道入口的路网距离,使用5个距离阈值(0~1、1~2、2~3、3~4和4~5 km)衡量绿道的暴露情况。根据国内外绿道相关研究(即不同规模的绿道其影响范围从0.5~2 km不等^[26-27,37]),确定了

本次自然实验中的实验组和对照组^[38]。东湖绿道作为城市级绿道，其规模更大、环境品质更优、空间类型更加多样。因此，本研究将 2 km 作为东湖绿道的影响范围，进而确定 0~2 km 内的居民为实验组，2~5 km 内的居民为对照组。

为了测度居民体力活动水平，采取国际体力活动问卷 (IPAQ-SF) 进行调查^[39]。要求参与者以自我报告的形式回忆 7 d 持续性的高强度体力活动、中等强度体力活动，步行时间超过 10 min 的天数，平均每次运动的时间和每天静坐的时间^[40]。其中，中高强度体力活动 (moderate-to-vigorous physical activity, MVPA) 是评估居民健康的重要因素^[41]。因此，将中高强度体力活动达到 20 min/d (140 min/周) 作为本研究的因变量。此外，个体特征、绿道使用、可达性、主观感知、社会凝聚力^[42]以及邻里环境等要素作为本研究的控制变量 (表 1)。

由于 MVPA 在 2016 年 (建成开放前) 和 2019 年 (建成开放后) 2 个时间点的数据均不符合正态分布，需要采用 Pearson 卡方检验，判断 2 个时间点的居民体力活动数据是否存在显著差异。此外，传统的 logistics 回归无法判断绿道暴露对参与者体力活动的影响在不同时间点的差异性。因此，本研究采用交互作用项 (绿道暴露 × 时间) 进行混合效应的 logistics 回归方法，评估绿道干预对居民中高强度体力活动变化的影响及剂量效应。

2 城市绿道干预对居民体力活动的影响

2.1 描述性分析

1) 个体特征方面，实验组男性占样本总量的 44.39%，略少于女性；实验组参与者的平均年龄约为 50 岁，对照组约为 53 岁；实验组 49.48% 的参与者为大学及以上学历，略低于对照组 (52.46%)；实验组超过一半 (58.62%) 的参与者有工作，略高于对照组 (47.54%)；同时，实验组和对照组均有超过 80% 的参与者已婚，且家庭结构以核心家庭为主；实验组的家庭年收入为 20.38 万元，略高于对照组 (19.78 万元)。对于参与者的健康状况，实验组和对照组差别较小。对于

表 1 变量类别及定义
Tab. 1 Classification and definition of variables

变量类别	指标	定义
自变量	绿道暴露	区分实验组与对照组，1=居住在绿道 0~2 km 范围内的居民，0=居住在绿道 2~5 km 范围内的居民
	时间	表示绿道建成开放前后的时间二分类变量，1=绿道建成开放前，2=绿道建成开放后
	绿道暴露 × 时间	交互作用项，评估绿道干预随时间的变化情况
控制变量	个体特征	性别、年龄、受教育程度、职业、婚姻状况、家庭年收入、家庭结构、健康状况、交通方式 (步行、自行车、公共交通和小汽车)
	绿道使用	使用频率 (使用绿道的频率)、使用时间 (每周使用绿道的时间)
	可达性	感知距离 (前往绿道途中花费的时间)、邻近性 (居住地与绿道之间的路网距离)
	主观感知	对绿道生态、设施、维护和安全方面的满意度
因变量	邻里环境	人口密度、建筑密度、土地利用混合度、道路交叉口密度、公园密度、公交站点密度、社会凝聚力
	MVPA	高强度体力活动和中等强度体力活动之和达到 20 min/d (140 min/周) 的高强度体力活动或中等强度体力活动

注：高强度体力活动包括搬运重物 (>10 kg)、上楼梯 / 慢跑、快速游泳、上山爬坡、有氧舞蹈 / 街舞、快速骑自行车、球类运动 (网球、篮球、足球)、跳绳、柔道、攀岩等；中等强度体力活动包括打扫、拖地、手洗衣服、快走、一般速度骑自行车、跳舞 (健身操、迪斯科、广场舞)、球类运动 (羽毛球、桌球、排球、棒球)、踢毽子、太极等。

表 2 居民体力活动水平在绿道建成开放前后的差异性检验
Tab. 2 The difference tests of residents' MVPA at the baseline and follow-up periods

组别	时间	平均值	标准差	卡方值	P 值
实验组	建成开放前	657.17	676.76	36 489.36	0.000
	建成开放后	719.88	705.96		
对照组	建成开放前	668.52	596.90	6 967.47	0.000
	建成开放后	675.02	604.26		
全样本	建成开放前	660.00	657.52	49 985.90	0.000
	建成开放后	708.71	682.05		

交通方式，实验组 71.54% 的参与者采取步行或骑自行车的交通方式前往绿道，对照组仅为 28.74%；另一方面，对照组乘坐公共交通或小汽车前往绿道的交通方式分别占总量的 20.47% 和 21.72%，实验组仅为 3.39% 和 9.27%。

2) 绿道使用方面，实验组超过 50% 的参与者使用绿道的频率为高频 (即每周至少使用绿道 1 次)，而对照组仅有 18.11%。实验组每周使用绿道的平均时间为 215.45 min，明显高于对照组 (144.52 min)。

3) 可达性方面，实验组前往绿道途中花费的时间平均为 15.02 min，略少于对照组 (17.23 min)；另一方面，实验组参与者居住地与绿道之间的平均距离为 1 085.95 m，对照组为 3 223.23 m。

4) 主观感知方面，实验组和对照组差异较小，与对照组相比，实验组对绿道的生态环境、设施等方面的满意度较高。

5) 邻里环境方面，实验组的居住小区平均人口密度 (217.84 人 / km²) 明显高于对照组 (150.63 人 / km²)；实验组的公交站点密度为 2.98 个 / km²，略高于对照组 (1.69 个 / km²)；实验组公园密度为 0.46 个 / km²，远高于对照组 (0.03 个 / km²)。除此之外，其他邻里环境变量差异较小。

2.2 绿道干预下居民体力活动的变化

Pearson 卡方检验的结果表明，实验组和对照组居民的 MVPA 在绿道建成前后存在显著差异 (表 2)。绿道建成开放之后，距离绿道 0~5 km 范围内全样本居民的 MVPA 显著上升 (P<0.001)。同时，实验组和对照组居

表 3 混合效应 logistics 回归模型
Tab. 3 Mixed effects logistics regression model

变量	MVPA (≥ 140 min/周)		
	未调整 OR (95%CI)	调整 OR (95%CI)	
自变量	绿道暴露	0.525 (0.225, 1.227)	
	时间	1.060 (0.660, 1.701) *	
	绿道暴露 × 时间	1.344 (0.780, 2.317) ***	
个体特征	性别	0.892 (0.677, 1.175)	
	年龄	1.019 (1.009, 1.030) ***	
	受教育程度	0.784 (0.583, 1.054)	
	职业	1.403 (1.046, 1.883) *	
	婚姻状况	1.338 (0.935, 1.913) †	
	收入	1.000 (1.000, 1.000)	
	家庭结构	0.875 (0.751, 1.018)	
	健康状况	1.048 (1.028, 1.069) ***	
	交通方式	1.064 (0.947, 1.195)	
	绿道使用	使用频率	1.053 (0.925, 1.198)
		使用时间	1.001 (1.001, 1.002) **
	控制变量	可达性	
		感知距离	1.007 (0.996, 1.018)
	主观感知	邻近性	1.000 (1.000, 1.000)
绿道生态满意度		1.040 (0.887, 1.219)	
绿道设施满意度		1.127 (0.951, 1.335)	
绿道安全满意度		0.933 (0.781, 1.115)	
邻里环境	绿道维护满意度	0.986 (0.808, 1.203)	
	人口密度	1.000 (0.999, 1.001)	
	建筑密度	1.383 (0.501, 3.820)	
	土地利用混合度	0.592 (0.424, 0.828) **	
	道路交叉口密度	1.001 (0.997, 1.005)	
	公园密度	1.577 (1.246, 1.996) ***	
邻里环境	公交站点密度	1.050 (0.992, 1.111) †	
	社会凝聚力	0.926 (0.699, 1.227)	
	AIC	1 660.639	
n (实验组)	766		
n (对照组)	254		
N (总数)	1 020		

注: 调整模型中的控制变量: 年龄、性别 (男 =1, 女 =0)、职业 (有 =1, 无 =0)、受教育程度 (大学专科、大学本科及以上 =1, 大学以下 =0)、婚姻状况 (在婚 =1, 其他 =0)、收入、家庭结构 (单身 =0, 夫妻 =1, 核心 =2, 联合 / 主干 =3)、交通方式、使用频率 (几乎不去 =0, 低频 =1, 中频 =2, 高频 =3)、使用时间、可达性 (感知距离、邻近性)、主观感知 (绿道生态、设施、安全和维护满意度)、社会凝聚力、人口密度、建筑密度、土地利用混合度、交叉口密度、公园密度、公交站点密度。OR (95%CI)。†: P<0.1; *: P<0.05; **: P<0.01; ***: P<0.001。

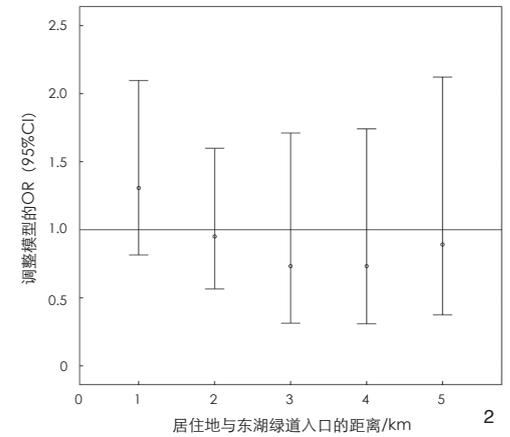
民的 MVPA 在绿道建成前后均存在显著差异 (P<0.001)。

体力活动方面, 实验组平均每周的 MVPA 时间为 657.17 min, 绿道建成开放后, 参与者平均每周的 MVPA 时间为 719.88 min, 增长了 9.54%; MVPA 达到每周 140 min 的人数从 80.81% 增长到 85.64%。对照组平均每周的

MVPA 时间从 668.52 min 增长到 675.02 min, 增长幅度较小 (0.97%); MVPA 达到 140 min/ 周的人数从 85.83% 增长到 86.22%。与对照组相比, 实验组的增长幅度更大。

2.3 城市绿道对居民体力活动影响的剂量关系

对中高强度体力活动的混合效应 logistics



2 MVPA 的距离衰减效应
The distance-decay effect of MVPA

模型结果进行分析 (表 3)。东湖绿道建成开放后, 参与者 MVPA 达到 140 min/ 周的概率增加了 35.2% [1.352; 95%CI= (0.781, 2.337)]。在控制变量中, 参与者的年龄、职业、婚姻状况以及邻里环境的人口密度和公园密度对体力活动具有正向作用。根据 MVPA 的剂量效应来看, MVPA 整体呈现出随距离的增加而降低的趋势 (图 2)。东湖绿道建成开放后, 观察到最大的效应值在 1 km (1.306; 95%CI=0.814, 2.096), 距离东湖绿道入口 3 km 和 4 km 的参与者效应值最低, 为 0.732 [95%CI= (0.313, 1.710)] 和 0.732 [95%CI= (0.308, 1.741)], 即绿道干预对促进居民中高强度体力活动的影响范围在 1 km 以内。

3 结论与讨论

本研究基于 2016—2019 年武汉市东湖绿道周边居民的体力活动和健康效应调查, 运用混合效应的 logistics 模型分析了城市绿道干预对居民中高强度体力活动的影响及其剂量效应, 得出以下主要结论。

1) 城市绿道的建设促进了达到健康标准的中高强度体力活动水平的提升, 有助于降低居民患慢性疾病的风险。

2) 绿道干预对居民中高强度体力活动的影响存在距离衰减效应, 距离绿道 1 km 范围内居民中高强度体力活动增加的效果更显著, 中高强度体力活动达到 140 min/ 周的概率增加了 35.2%。

3) 控制变量中, 年龄、婚姻状况、职业、健康状况以及绿道使用时间等因素对居民中高强度体力活动具有正向影响。此外, 邻里环境中的公交站点密度和公园密度对高强度体力活动具有显著的正向作用; 而周边小区的土地利用混合度与中高强度体力活动呈负相关, 原因可能在于: 在土地利用混合度高的中心城区, 居民以步行为主的交通型体力活动增加, 而在绿道开展的休闲型体力活动与中高强度体力活动降低, 因此, 居民整体的中高强度体力活动减少。

综上所述, 探究城市绿道与居民体力活动的因果关系, 意义在于从体力活动视角揭示了我国快速城镇化背景下绿色空间干预居民健康的重要作用, 为提高居民体力活动水平并降低日益严峻的慢性疾病风险提供了理论依据。为了促进居民使用绿道并改善健康状况, 不仅需要关注绿道环境的优化, 也需要改善绿道周边的邻里环境。一方面, 在建设绿道时, 应优先考虑绿道与居民区的邻近性, 通过优化绿道出入口和公共交通设施布局, 提高城市绿道的交通可达性以提升其服务范围, 同时弥补因空间可达性不均等造成的绿道公共性缺失的问题^[51]; 另一方面, 需要完善绿道使用者居住地周边的邻里建成环境。充分利用多种类型的绿地空间, 增加绿道与周边公园、绿地和其他设施(医院、学校等)的街道连通性, 规划和建设支持多种类型体力活动、服务于不同年龄段人群的绿道网络, 形成完善的城市绿地系统, 促进居民之间的社交互动^[52], 进而增加绿道的使用和改善居民健康。此外, 通过适度的开发提高周边邻里的公共交通网络密度, 提高居民绿道使用频率, 对于提升居民体力活动水平具有重要作用。

本研究也存在一定的局限性。首先, 本研究对大城市绿道健康效益的研究侧重于从体力活动的视角进行考察, 但由于数据的限制, 未能从详细的体力活动类别进行分析; 其次, 由于体力活动测度均为自评数据, 不如直接测量准确^[53], 存在回忆偏差、统计不准确等问题, 将在后续的研究中加以改进。

本研究也发现绿道的干预效应发生在一定的空间范围, 即居住在绿道 1 km 范围内的居民, 中高强度体力活动水平的提升十分显著^[45], 该结论与部分西方国家的绿道研究结果一致^[46]。中国正开展的 15 min 生活圈规划提出, 1~1.5 km (15 min 步行时间) 是居民使用公共设施与绿色空间的适宜范围^[47]。因此, 距离绿道 1 km 范围的居民使用绿道并开展体力活动的频率更高。此外, 由于绿道周边的居住小区普遍房价较高、居住条件较好, 该范围的小区居民可能拥有更好的健康状况和生活质量^[48], 能够更好地使用绿色空间并开展有益于身体健康的体力活动。在控制变量中, 就居民的个体特征而言, 年龄较大的成年人相比于年轻人更倾向于在绿道上进行锻炼, 而且对于遭受健康风险的中、老年人, 绿道具有重要的健康效益; 此外, 受教育程度较高、年收入高且健康状况良好的居民使用绿道的频率更高^[49], 因而更有可能通过使用绿道促进体力活动水平的提升。对于邻里环境而言, 居住地周边公交站点数量越多, 公共交通可达性越好, 更利于促进居民的积极出行并使用绿色空间进行体力活动; 同时, 当

居住地周围拥有更多的公园能够促进居民形成良好的绿色空间使用习惯, 其体力活动水平更高^[50]。然而, 周边小区的土地利用混合度与中高强度体力活动呈负相关, 原因可能在于: 在土地利用混合度高的中心城区, 居民以步行为主的交通型体力活动增加, 而在绿道开展的休闲型体力活动与中高强度体力活动降低, 因此, 居民整体的中高强度体力活动减少。

综上所述, 探究城市绿道与居民体力活动的因果关系, 意义在于从体力活动视角揭示了我国快速城镇化背景下绿色空间干预居民健康的重要作用, 为提高居民体力活动水平并降低日益严峻的慢性疾病风险提供了理论依据。为了促进居民使用绿道并改善健康状况, 不仅需要关注绿道环境的优化, 也需要改善绿道周边的邻里环境。一方面, 在建设绿道时, 应优先考虑绿道与居民区的邻近性, 通过优化绿道出入口和公共交通设施布局, 提高城市绿道的交通可达性以提升其服务范围, 同时弥补因空间可达性不均等造成的绿道公共性缺失的问题^[51]; 另一方面, 需要完善绿道使用者居住地周边的邻里建成环境。充分利用多种类型的绿地空间, 增加绿道与周边公园、绿地和其他设施(医院、学校等)的街道连通性, 规划和建设支持多种类型体力活动、服务于不同年龄段人群的绿道网络, 形成完善的城市绿地系统, 促进居民之间的社交互动^[52], 进而增加绿道的使用和改善居民健康。此外, 通过适度的开发提高周边邻里的公共交通网络密度, 提高居民绿道使用频率, 对于提升居民体力活动水平具有重要作用。

本研究也发现绿道的干预效应发生在一定的空间范围, 即居住在绿道 1 km 范围内的居民, 中高强度体力活动水平的提升十分显著^[45], 该结论与部分西方国家的绿道研究结果一致^[46]。中国正开展的 15 min 生活圈规划提出, 1~1.5 km (15 min 步行时间) 是居民使用公共设施与绿色空间的适宜范围^[47]。因此, 距离绿道 1 km 范围的居民使用绿道并开展体力活动的频率更高。此外, 由于绿道周边的居住小区普遍房价较高、居住条件较好, 该范围的小区居民可能拥有更好的健康状况和生活质量^[48], 能够更好地使用绿色空间并开展有益于身体健康的体力活动。在控制变量中, 就居民的个体特征而言, 年龄较大的成年人相比于年轻人更倾向于在绿道上进行锻炼, 而且对于遭受健康风险的中、老年人, 绿道具有重要的健康效益; 此外, 受教育程度较高、年收入高且健康状况良好的居民使用绿道的频率更高^[49], 因而更有可能通过使用绿道促进体力活动水平的提升。对于邻里环境而言, 居住地周边公交站点数量越多, 公共交通可达性越好, 更利于促进居民的积极出行并使用绿色空间进行体力活动; 同时, 当

参考文献 (References):

[1] EKELUND U, BRAGE S, FRANKS P W, et al. Physical

Activity Energy Expenditure Predicts Progression Toward the Metabolic Syndrome Independently of Aerobic Fitness in Middle-Aged Healthy Caucasians: The Medical Research Council Ely Study[J]. *Diabetes Care*, 2005, 28(5): 1195-1200.

[2] GRADIDGE P J L, GOLELE P N. Walking as a Feasible Means of Effecting Positive Changes in BMI, Waist, and Blood Pressure in Black South African Women[J]. *African Health Sciences*, 2018, 18(4): 917-921.

[3] MACERA C A, HOOTMAN J M, SNIEZEK J E. Major Public Health Benefits of Physical Activity[J]. *Arthritis and Rheumatism*, 2003, 49 (1): 122-128.

[4] HALLAL P C, ANDERSEN L B, BULL F C, et al. Global Physical Activity Levels: Surveillance Progress, Pitfalls, and Prospects[J]. *The Lancet*, 2012, 380(9838): 247-257.

[5] NG S W, NORTON E C, POPKIN B M. Why Have Physical Activity Levels Declined Among Chinese Adults? Findings from the 1991-2006 China Health and Nutrition Surveys[J]. *Social Science and Medicine*, 2009, 68 (7): 1305-1314.

[6] 孙晓东, 吕筠, 李立明. 慢性病的主要危险因素流行水平及其预防策略的发展[J]. *中国慢性病预防与控制*, 2008, 16 (5) : 538-540.

[7] 戴颖宜, 朱战强, 周素红. 绿色空间对休闲性体力活动影响的社区分异: 以广州市为例[J]. *热带地理*, 2019, 39 (2) : 237-246.

[8] 张冉, 舒平. 基于休闲性体力活动的城市绿色空间研究综述[J]. *风景园林*, 2020, 27 (4) : 106-113.

[9] EWING R, MEAKINS G, HAMIDI S, et al. Relationship Between Urban Sprawl and Physical Activity, Obesity, and Morbidity-Update and Refinement[J]. *Health and Place*, 2014, 26: 118-126.

[10] SCHIPPERIJN J, EKHOLM O, STIGSDOTTER U K, et al. Factors Influencing the Use of Green Space: Results from a Danish National Representative Survey[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 95(3): 130-137.

[11] SALMON J, OWEN N, BAUMAN A, et al. Leisure-Time, Occupational, and Household Physical Activity Among Professional, Skilled, and Less-Skilled Workers and Homemakers[J]. *Preventive Medicine*, 2000, 30(3): 191-199.

[12] OGILVIE D, FOSTER C E, ROTHNIE H, et al. Interventions to Promote Walking: Systematic Review[J]. *British Medical Journal*, 2007, 334(7605): 1204-1207.

[13] MACDOUGALL C, COOKE R, OWEN N, et al. Relating Physical Activity to Health Status, Social Connections and Community Facilities[J]. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 1997, 21(6): 631-637.

[14] LABIB S M, SHUVO F K, BROWNING M H E M, et al. Noncommunicable Diseases, Park Prescriptions, and Urban Green Space Use Patterns in a Global South Context: The Case of Dhaka, Bangladesh[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(11): 1-23.

[15] COOMBES E, JONES A P, HILLSDON M. The Relationship of Physical Activity and Overweight to Objectively Measured Green Space Accessibility and Use[J]. *Social Science and Medicine*, 2010, 70(6): 816-822.

[16] AYOTTE B J, MARGRETT J A, HICKS-PATRICK J. Physical Activity in Middle-Aged and Young-Old Adults: the Roles of Self-Efficacy, Barriers, Outcome Expectancies, Self-Regulatory Behaviors and Social Support[J]. *Journal of Health Psychology*, 2010, 15(2): 173-185.

- [17] SIMONSICK E M, GURALNIK J M, FRIED L P. Who Walks? Factors Associated with Walking Behavior in Disabled Older Women with and without Self-reported Walking Difficulty[J]. *Journal of the American Geriatrics Society*, 1999, 47(6): 672-680.
- [18] CHURANGSARIT S, CHONGSUJIVATWONG V. Spatial and Social Factors Associated with Transportation and Recreational Physical Activity Among Adults in Hat Yai City, Songkhla, Thailand[J]. *Journal of Physical Activity and Health*, 2011, 8(6): 758-765.
- [19] PENEDO F J, DAHN J R. Exercise and Well-Being: A Review of Mental and Physical Health Benefits Associated with Physical Activity[J]. *Current Opinion in Psychiatry*, 2005, 18(2): 189-193.
- [20] KACZYNSKI A T, KOOHSARI M J, STANIS S A W, et al. Association of Street Connectivity and Road Traffic Speed with Park Usage and Park-Based Physical Activity[J]. *American Journal of Health Promotion*, 2014, 28(3): 197-203.
- [21] MATISZIW T C, NILON C H, STANIS S A W, et al. The Right Space at the Right Time: The Relationship Between Children's Physical Activity and Land Use/Land Cover[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 151: 21-32.
- [22] LAPP F. *Greenways for America*: Little, CE[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1991, 57(3): 387-388.
- [23] DALLAT M A T, SOERJOMATARAM I, HUNTER R F, et al. Urban Greenways Have the Potential to Increase Physical Activity Levels Cost-Effectively[J]. *European Journal of Public Health*, 2014, 24(2): 190-195.
- [24] WEST S T, SHORES K A. The Impacts of Building a Greenway on Proximate Residents' Physical Activity[J]. *Journal of Physical Activity and Health*, 2011, 8(8): 1092-1097.
- [25] TESTER J, BAKER R. Making the Playfields Even: Evaluating the Impact of an Environmental Intervention on Park Use and Physical Activity[J]. *Preventive Medicine*, 2009, 48(4): 316-320.
- [26] MEROM D, BAUMAN A, VITA P, et al. An Environmental Intervention to Promote Walking and Cycling: The Impact of a Newly Constructed Rail Trail in Western Sydney[J]. *Preventive Medicine*, 2003, 36(2): 235-242.
- [27] FRANK L D, HONG A, NGO V D. Causal Evaluation of Urban Greenway Retrofit: A Longitudinal Study on Physical Activity and Sedentary Behavior[J]. *Preventive Medicine*, 2019, 123: 109-116.
- [28] WEST S T, SHORES K A. Does Building a Greenway Promote Physical Activity Among Proximate Residents?[J]. *Journal of Physical Activity and Health*, 2015, 12(1): 52-57.
- [29] EVENSON K R, HERRING A H, HUSTON S L. Evaluating Change in Physical Activity with the Building of a Multi-Use Trail[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2005, 28(S2): 177-185.
- [30] FITZHUGH E C, BASSETT D R, EVANS M F. Urban Trails and Physical Activity a Natural Experiment[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2010, 39(3): 259-262.
- [31] BURBIDGE S K, GOULIAS K G. Evaluating the Impact of Neighborhood Trail Development on Active Travel Behavior and Overall Physical Activity of Suburban Residents[J]. *Transportation Research Record*, 2009, 2135(1): 78-86.
- [32] PAZIN J, GARCIA L M T, FLORINDO A A, et al. Effects of a New Walking and Cycling Route On Leisure-Time Physical Activity of Brazilian Adults: A Longitudinal Quasi-Experiment[J]. *Health and Place*, 2016, 39: 18-25.
- [33] 王俊杰. 实证经济学方法研究的进展与困境 [J]. *统计与决策*, 2016 (9) : 18-22.
- [34] CRAIG P, KATIKIREDDI S V, LEYLAND A, et al. Natural Experiments: An Overview of Methods, Approaches, and Contributions to Public Health Intervention Research[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2017, 38: 39-56.
- [35] PETER C, CYRUS C, DAVID G, et al. Using Natural Experiments to Evaluate Population Health Interventions: New Medical Research Council Guidance[J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2012, 66(12): 1182-1186.
- [36] LIU K, SIU K W M, GONG X Y, et al. Where Do Networks Really Work? The Effects of the Shenzhen Greenway Network On Supporting Physical Activities[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 152: 49-58.
- [37] XIE B, AN Z H, ZHENG Y L, et al. Healthy Aging with Parks: Association Between Park Accessibility and the Health Status of Older Adults in Urban China[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2018, 43: 476-486.
- [38] BENTON J S, ANDERSON J, HUNTER R F, et al. The Effect of Changing the Built Environment on Physical Activity: A Quantitative Review of the Risk of Bias in Natural Experiments[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2016, 13: 1-18.
- [39] CRAIG C L, MARSHALL A L, SJOSTROM M, et al. International Physical Activity Questionnaire: 12-Country Reliability and Validity[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2003, 35(8): 1381-1395.
- [40] DE ALENCAR R R F R, GALVAO T F, ANTONIO B V R, et al. Prevalence of Self-reported Chronic Diseases and Health Services Utilization by Ethnic Minorities in Manaus Metropolitan Region[J]. *Ethnicity and Disease*, 2018, 28(1): 49-54.
- [41] World Health Organization. *Global Recommendation On Physical Activity for Health*[R]. Geneva: WHO, 2018.
- [42] MAAS J, VAN DILLEN S M E, VERHEIJ R A, et al. Social Contacts as a Possible Mechanism Behind the Relation Between Green Space and Health[J]. *Health and Place*, 2009, 15(2): 586-595.
- [43] EKKELE E D, DE VRIES S. Nearby Green Space and Human Health: Evaluating Accessibility Metrics[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 157: 214-220.
- [44] DONY C C, DELMELLE E M, DELMELLE E C. Reconceptualizing Accessibility to Parks in Multi-Modal Cities: A Variable-Width Floating Catchment Area (VFCA) Method[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 143: 90-99.
- [45] SCHIPPERIJN J, CERIN E, ADAMS M A, et al. Access to Parks and Physical Activity: An Eight Country Comparison[J]. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2017, 27: 253-263.
- [46] COUTTS C. Greenway Accessibility and Physical-Activity Behavior[J]. *Environment and Planning B-Planning and Design*, 2008, 35(3): 552-563.
- [47] 傅行行, 申悦. 面向社区生活圈构建的郊区居民社区依赖性研究: 以上海市为例 [J]. *地理科学进展*, 2019, 38 (6) : 818-828.
- [48] STIGSDOTTER U K, EKHOLM O, SCHIPPERIJN J, et al. Health Promoting Outdoor Environments: Associations Between Green Space, and Health, Health-Related Quality of Life and Stress Based on a Danish National Representative Survey[J]. *Scandinavian Journal of Public Health*, 2010, 38(4): 411-417.
- [49] PRICE A E, REED J A. Use and Nonuse of a Rail Trail Conversion for Physical Activity: Implications for Promoting Trail Use[J]. *American Journal of Health Education*, 2014, 45(4): 249-256.
- [50] XIAO Y, WANG D, FANG J. Exploring the Disparities in Park Access Through Mobile Phone Data: Evidence from Shanghai, China[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 181: 80-91.
- [51] CHANG Z, CHEN J Y, LI W F, et al. Public Transportation and the Spatial Inequality of Urban Park Accessibility: New Evidence from Hong Kong[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2019, 76: 111-122.
- [52] KEITH S J, LARSON L R, SHAFER C S, et al. Greenway Use and Preferences in Diverse Urban Communities: Implications for Trail Design and Management[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 172: 47-59.
- [53] PRINCE S A, ADAMO K B, HAMEL M E, et al. A Comparison of Direct Versus Self-report Measures for Assessing Physical Activity in Adults: A Systematic Review[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2008, 5(56): 1-24.

图表来源 (Sources of Figures and Tables):

文中图表均由作者绘制。

(编辑 / 刘玉霞 王一兰)