

不同类型步行出行中行人热暴露风险及其影响因素研究动态

杨晰涵

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 选取来自国际学术期刊的论文, 以概述形式对城市交通理论方法、实证分析等学术研究成果进行总结性介绍, 旨在增强城市交通业界和学界对国际学术动向和研究热点的关注, 促进学术交流。《不同类型步行出行中行人热暴露风险及其影响因素——基于南京市GPS的性别实验》一文利用中国南京市GPS步行轨迹数据, 探讨不同性别及不同类型(实用性和休闲性)步行出行中行人热暴露的差异性及其影响因素。研究表明: 男性的步行速度与距离均高于女性, 其平均热暴露水平和单位时间热暴露水平也更高; 实用性步行所处的实时气温与地表温度均高于休闲性步行, 使得单位时间热暴露水平更高, 但由于休闲性步行持续时间更长, 其累计热暴露水平反而更高。自然环境对热暴露的缓解作用在不同类型步行出行中因性别而异: 在实用性步行中, 绿地对男性和女性均具有显著的热暴露缓解作用; 但在休闲性步行中, 该缓解效应仅在女性中显著。

关键词: 实用性步行; 休闲性步行; 热暴露; 建成环境; 南京市

Research on Pedestrian Heat Exposure Risk and Influencing Factors in Different Types of Walking Trips

YANG Xihan

(The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: A review of selected papers from international academic journals is presented to summarize research findings, theoretical approaches, and empirical analyses of urban transportation. The aim is to enhance the communication between industrial and academic fields in urban transportation, highlight international research focuses, and promote academic exchange. The paper titled *Exploring pedestrian thermal risk exposure and its determinants among various types of walking trips: a gendered examination from a GPS-based study in Nanjing* utilizes GPS-based walking trajectory data from Nanjing to examine the disparities in pedestrian heat exposure risk and its influencing factors by gender across different types of walking trip (utilitarian vs. recreational). The results show that male pedestrians walk faster and travel longer distance than female pedestrians, and they therefore experience higher average and per-unit-time heat exposure levels. Compared to recreational walking, utilitarian walking occurs under higher real-time ambient and ground surface temperatures, leading to greater per-unit-time heat exposure. However, because recreational walks are longer, their cumulative heat exposure could be higher. The mitigating effect of the natural environment on heat exposure varies by gender for different trip types: while green spaces significantly mitigate heat exposure for both men and women during utilitarian walking, such mitigating effect for recreational walking is significant only for women.

Keywords: utilitarian walking; recreational walking; heat exposure; built environment; Nanjing

收稿日期: 2025-03-18

作者简介: 杨晰涵(2002—), 女, 吉林通化人, 在读硕士研究生, 研究方向为交通规划, 电子邮箱 dmuyxh@163.com。

研究背景

作为城市综合交通体系的重要组成部分, 步行在促进城市环境可持续发展、提升居民健康水平以及增强社会互动等方面发挥着关键作用。然而, 随着全球气候变暖和城

市热岛效应加剧, 行人在户外活动时面临的热暴露风险不断上升。以往研究表明, 自然环境和建成环境特征对调节环境温度具有重要作用。然而, 这些环境特征与热暴露之间关系的研究主要集中在以社区为主要空间单

位的宏观层面,缺乏在个体层面的相关研究,尤其体现为以下两方面:1)对不同类型步行出行(如休闲性步行和实用性步行)的影响。休闲性步行(如闲逛、健走等)和实用性步行(如通勤、上学或购物等)可能因出行目的、路径选择和出行时间的差异而表现出不同的热暴露机制。2)对不同人群(如男性与女性)的影响。作为最基本的社会化特征,性别可能通过生理差异、行为模式和社会角色等因素影响个体的热暴露程度。

该论文旨在回答以下问题:1)男性步行和女性步行的热暴露差异及不同类型步行出行的热暴露差异;2)环境特征对男性步行和女性步行的热暴露缓解作用,及其在不同类型步行出行中的差异。为此,该论文利用南京市的GPS步行轨迹数据,开展步行热暴露水平测度,揭示热暴露在不同性别群体与不同类型步行出行中的差异,并使用广义线性混合模型(Generalized Linear Mixed Model, GLMM)探讨环境特征在不同类型步行出行中热暴露的作用机制,以及该机制在性别维度上的差异。

研究思路

1) 数据采集与融合。

该论文于2019年4—6月在南京市开展研究,与当地调查公司Better Consulting合作,按行政区人口比例分层抽样,招募300名20岁及以上居民(男女人数相等)。参与者佩戴GPS记录仪(型号:图强GT 310)一周,每30 s记录1次位置数据,通过出行日志补充出行信息,包括出发地、目的地、出行时间、出行方式和出行目的。利用ArcGIS 10.5将GPS点连接成轨迹,根据出行方式筛选出2 304条步行轨迹,并进一步划分为实用性步行和休闲性步行。最终分析了182名参与者的2 084条步行轨迹(通过数据质量控制后获得实用性步行轨迹898条,休闲性步行轨迹321条),结合参与者的问卷调查数据探讨男性和女性的热暴露差异,以及热暴露影响因素在实用性步行和休闲性步行中的不同作用。

2) 步行热暴露测度方法。

传统热暴露评估主要关注宏观环境和社会经济因素,而忽略出行行为的异质性。因此,该论文基于E. R. Kuras等提出的体感温度(Individually Experienced Temperatures, IET)的概念,改进了个体热暴露水平评估方法。具体方法为:1)将步行轨迹映射至

100 m*100 m栅格;2)计算每个栅格内行人的热暴露水平,累计热暴露水平为给定区域内所有栅格热暴露水平的总和;3)单个栅格的热暴露水平通过实时气温、地表温度和暴露时间综合计算得出,计算公式为:

$$R = A_t \times T_s \times T,$$

式中: R 为单个栅格的热暴露水平; A_t 为实时气温,来源于欧洲中期天气预报中心的第五代全球气候和天气再分析数据集(ERA 5); T_s 为地表温度,通过Landsat 8 OLI/TIRS影像反演获得; T 为暴露时间,为栅格单元长度与行人行走速度的比值。

3) 环境特征和社会经济特征对步行热暴露的影响。

该论文利用GLMM模型探究自然环境和建成环境特征及社会经济特征影响步行热暴露的作用机制,重点分析绿地、水体等降温效应以及不透水表面、建筑形态等升温效应。环境特征方面,选取建筑密度、土地利用混合度、人口密度、不透水表面、水体、天空视域因子(Sky View Factor, SVF)、道路宽度指数(Road Width Index, RWI)和归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)8个指标作为自变量,构建100 m栅格网络,选取与GPS轨迹相交的栅格并取其环境属性平均值量化步行全程中的自然环境和建成环境特征。社会经济特征方面,除年龄外,纳入健康状况、社交频率、主动出行意愿3项变量,依据问卷调查结果进行评价。最终通过GLMM模型构建分层与嵌套结构,以控制个体偏好与行为习惯对热暴露的潜在干扰,系统分析热暴露与环境特征和社会经济特征之间的关联性。

研究结论

1) 实用性步行和休闲性步行的热暴露差异。

男性和女性受试者在休闲性步行中的实时气温、地表温度和单位时间热暴露水平均低于实用性步行,这一差异主要归因于活动时段和步行环境特征的不同。具体而言,休闲性步行多集中于气温较低的早晚时段,且通常发生在绿化覆盖率高、水体比例较大的区域。然而,由于休闲性步行的持续时间相对较长,其累计热暴露水平反而高于实用性步行。

2) 男性步行和女性步行的热暴露差异。

男性和女性受试者在步行时间、步行距离及热暴露水平上表现出显著差异。总体而

言,男性的步行距离更长、步行速度更快,且男性的平均热暴露水平和单位时间热暴露水平均高于女性。男性步行时所处的环境温度普遍更高,而女性步行过程中所处位置的地表温度更高。

3) 热暴露和环境特征之间的关联。

环境属性与热暴露的关联强度及方向存在差异,水体和NDVI与热暴露呈负相关,显示出降温效应;而大多数建成环境特征,例如土地利用混合度、人口密度、SVF和RWI,则与热暴露呈正相关,显示出升温效应。参与者的步行环境选择存在性别差异,其中水体、NDVI和RWI的差异最为显著,男性步行环境中的水体比例和NDVI均高于女性,而RWI则低于女性。性别差异显著影响了自然环境对休闲性步行的热缓解效应:水体只对男性具有热暴露缓解作用,而绿地则仅对女性有效。

研究总结

该论文将热暴露的研究从宏观层面扩展

至个体层面,以南京市GPS步行轨迹数据为基础,探讨了实用性步行和休闲性步行、男性和女性的热暴露差异,以及环境特征在实用性步行和休闲性步行热暴露中的不同作用机制。

未来可考虑从以下方向开展进一步研究:

1) 进一步探讨热暴露模式及其影响因素在不同出行类型(如跑步、骑自行车)中的差异;

2) 将不同人群的性别差异扩展至具有不同社会经济属性(如教育水平、收入水平、年龄等)人群的差异分析;

3) 结合可穿戴设备(如温度传感器、加速度计等)实现个体出行热暴露的动态监测。

资料来源:GE Y F, HU Y, HE Z Y, et al. Exploring pedestrian thermal risk exposure and its determinants among various types of walking trips: a gendered examination from a GPS-based study in Nanjing[J]. Travel behaviour and society, 2024, 37: 100841.

(上接第50页)

[48] GALBUSERA L, GIANNOPOULOS G, ARGYROUDIS S, et al. A boolean networks approach to modeling and resilience analysis of interdependent critical infrastructures: a boolean networks approach to critical infrastructure modeling[J]. Computer-aided civil and infrastructure engineering, 2018, 33(12): 1041-1055.

[49] CASTILLO A. Risk analysis and management in power outage and restoration: a literature survey[J]. Electric power systems research, 2014, 107: 9-15.

[50] DECÒ A, BOCCHINI P, FRANGOPOL D M. A probabilistic approach for the prediction of seismic resilience of bridges[J]. Earthquake engineering & structural dynamics, 2013, 42(10): 1469-1487.

[51] KARAMLOU A, MA L Y, SUN W J, et al. Generalized probabilistic restoration prediction[C]//Christian Bucher. Proceedings of the 12th international conference on structural safety & reliability (ICOSSAR 2017). Vienna: TU-Verlag Vienna, 2017: 3249-3258.

[52] 马书红, 杨磊, 陈西芳. 风险扩散下城市

群多模式交通网络的韧性演化[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2023, 51(6): 42-51.

MA S H, YANG L, CHEN X F. Resilience evolution of multi-mode transportation network in urban agglomeration based on risk diffusion[J]. Journal of South China University of Technology (natural science edition), 2023, 51(6): 42-51.

[53] ZHANG J H, WANG Z Q, WANG S L, et al. Vulnerability assessments of weighted urban rail transit networks with integrated coupled map lattices[J]. Reliability engineering & system safety, 2021, 214: 107707.

[54] QIN Y F, GUO J K, LIANG M X, et al. Resilience characteristics of port nodes from the perspective of shipping network: empirical evidence from China[J]. Ocean & coastal management, 2023, 237: 106531.

[55] SUN W J, BOCCHINI P, DAVISON B D. Resilience metrics and measurement methods for transportation infrastructure: the state of the art[J]. Sustainable and resilient infrastructure, 2020, 5(3): 168-199.