



基于脑电波的城市环境对居民情绪状态影响

冯建喜, 沈心彤

(南京大学 建筑与城市规划学院, 江苏 南京 210023)

摘要 已有关于城市环境对居民情绪及心理健康影响的研究多基于主观评价,较少研究采用客观的生理数据来反应环境对个体的即时影响,缺乏科学的实验设计与因果推断方法,削弱了其在政策制定中的指导价值。作为一项试验性质的研究,该研究使用 Emotiv EPOC + 设备测度不同城市环境(城市繁忙区、城市静谧区和城市绿地区)对个体脑电生理数据的影响,分析城市环境对居民情绪的作用效应,揭示环境作用于个体的机制黑箱。研究结果显示,绿地环境有助于提高脑电波 α 波的活动水平和降低 β 波的活动水平,让个体处于“自下而上”的非随意注意状态,有助于缓减疲劳和恢复注意力;而城市环境则会提高 β 波的活动水平,让个体处于“自上而下”的定向注意状态,长时间会引起疲劳。研究结果表明基于神经科学实验的研究视角和方法,在理论层面,可规避主观评价的不足,有助于深入剖析城市环境对居民情绪及心理健康的影响过程、机制及效应,实现环境作用于个体的因果效应推断;在实践层面,基于实验得出的科学证据作为政策制定的依据,进行循证决策,有助于推动空间干预决策由依靠主观个体经验向客观证据转变、由统计学路径到实验路径转变。

关键词 城市环境;心理活动;脑电波;神经科学实验;循证决策

中图分类号: B842.6 **DOI**: 10.16152/j.cnki.xdxbzr.2023-05-005

The impact of different urban environments on psychological activity based on EEG

FENG Jianxi, SHEN Xintong

(School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract Existing research on the impact of urban environment on residents' mental health is mostly based on subjective evaluation, with few studies using objective physiological data to reflect the immediate impact of the environment on individuals. There is a lack of scientific experimental design and causal inference methods, which weakens its guiding value in policy formulation. As an experimental study, this paper attempts to use Emotiv EPOC + equipment to measure the impact of different urban environments (such as urban busy areas, urban quiet areas and urban green areas) on individual EEG physiological data, analyze the effects of urban environments on residents' psychological activity, and reveal the black box of the mechanisms by which the environment acts on individuals. This study finds that green spaces can help improve alpha waves, decrease beta waves, and put individuals in a "bottom-up" state of involuntary attention, which helps to alleviate

收稿日期: 2023-04-25

基金项目: 国家自然科学基金(41871135)

第一作者: 冯建喜, 男, 博士, 副教授, 从事健康城市、城市及区域规划研究, jxfup@nju.edu.cn。

fatigue and restore attention; and the urban environment will improve beta waves and put individuals in a "top-down" state of directed attention, which can cause fatigue for a long time. The research results indicate that the research perspective and methods based on neuroscience experiments can avoid the shortcomings of subjective evaluation at the theoretical level, which helps to deeply analyze the process, mechanism, and effects of urban environment on residents' mental health, and achieve the inference of causal effects of environmental effects on individuals. At the practical level, decision-making based on scientific evidence can help promote the transition of spatial intervention decision-making from relying on subjective experience to objective evidence, and from a statistical path to an experimental path.

Keywords urban environment; psychological activity; EEG; neuroscience experiments; evidence-based policy

心理健康是人类健康的基本组成,是联合国可持续发展目标及全球发展议程中的重大优先事项^[1]。当前人类面临严峻的心理健康问题,心理疾病已经成为导致残疾和死亡的重要杀手^[2]。随着城市化和社会经济的快速发展,我国民众的心理疾病增速更快、规模更大,成为新的健康问题,造成了重大社会经济负担。2021年中国家庭健康大数据报告指出,近80%的城镇居民处于心理亚健康状态,心理健康人数不足10%。民众的心理健康问题引起广发关注,《全国精神卫生工作规划(2015—2020年)》《关于加强心理健康服务的指导意见》等文件的公布,体现了政府对人民心理健康的重视。党的二十大报告在部署“推进健康中国建设”时提出,把保障人民健康放在优先发展的战略位置。其中,特别强调要“重视心理健康和精神卫生”。如何构建心理友好型城市以减少心理疾病的产生成为热点问题。

情绪是影响心理健康的重要因素^[3-5]。积极、稳定的情绪状态可以增强个体的安全感和控制感,从而增强其心理健康的调适水平。但如果个体的情绪状态出现较大波动或频繁转换时,会产生认知负荷,致使生活无法预期或产生自我矛盾,进而降低心理健康水平^[3]。特别是对于情绪自旋(affect spin)较高的个体,在情绪调节过程中因为需要不断地损耗积极情绪而导致消极情绪增加,无法维持持续的努力状态,更容易产生抑郁、对负性事件恢复能力弱、生活满意度低等心理问题^[4]。已有研究表明,城市环境对情绪有着持续性、广泛性和潜移默化性的影响^[5]。绿地空间对减少人们消极的心理状态有积极作用,具有重要的情感恢复价值^[6]。而人们生活在高楼林立、不易亲近绿地空间的环境中,心理压力难以纾解,容易患上精神方面的疾病^[7],比如,焦虑症对于居

住在土地使用和开发强度高的城市居民中更为普遍^[8]。然而需要指出的是,已有研究在分析“环境”作用于“人体”(环境人)的影响机理时,多通过对各类环境要素以及个体健康表征的选取和测量,利用数理模型(相关分析、回归模型)等方法建立环境要素与个体健康结果之间的关系,以此评估环境对人类健康的影响^[9-10]。这些研究或立足于截面相关性分析,或在研究设计上模糊了要素之间的因果关系,只能回答“环境差异与个体健康是否存在关联性”,而无法回答“环境调整会带来怎样的健康变化”。在某种意义上,现有研究并没有真正揭示环境作用于人体(环境人)的机制黑箱,导致研究结果无法为空间规划和行为引导提供精准的政策建议。且在研究情绪及心理健康时,多通过调研问卷或量表的方式对人的心理变化进行主观评价,无法完全模拟真实环境以及人类对环境当时的反应和适应。问卷的方式极大依赖人的回忆,对以往经历的回溯,难免会产生遗忘和不准确现象,其有效性和可靠性往往存在误差^[9]。

近年来,环境暴露对个体心理健康的影响研究出现了“神经转向”(neural turn)。神经科学与神经科学实验为研究环境与人的相互关系,揭示环境对个体的健康效应提供了新的研究范式与方法^[10-13]。神经科学(neuroscience)是跨科学、心理学、生物学等融合的交叉学科,主要探究人体神经回路如何感受世界、实施行为^[10-11]。而神经科学实验则是通过一系列实验范式,引入神经科学测度仪器,从生理机制层面解释环境对个体情绪及心理健康的影响^[12-13]。其显著优势在于能基于不同群体的生理差异探究其对客观环境的实时感知,从而针对性提升环境,改善群体健康状况。基于神经科学实验,通过多通道(脑电、皮电、血氧

浓度、心率、血压等)生物反馈设备和技术等实时测量人的生理变化,可以直接、实时测度环境(要素)暴露对人体的作用效果,揭示环境影响个体健康的深层机理,打开“黑箱”。

已有关于脑电波特征与情绪状态之间的关系研究已经取得了一定成就^[14],脑电信号或脑电图能客观反映大脑的内部状态^[15],让通过客观生理指标定量解析人类行为及心理情绪成为可能。首先,它具有不易伪装、实时性、灵敏性等特点。脑电信号由中枢神经系统支配,不易受主观意识控制,能反映客观真实的情绪状态;高时间分辨率(可达 1 ms)能够记录细微的情绪波动与认知过程^[16],实时监测心理变化;实验环境下的脑电图数据对观察不同环境下的情绪变化非常敏感,为自然环境的恢复效果提供了证据基础^[17]。其次,采用脑电波频谱分析可反映不同的情绪状态,成人脑电波按频率可被分为 δ 波(0.5 ~ 4 Hz)、 θ 波(4 ~ 8 Hz)、 α 波(8 ~ 13 Hz)、 β 波(13 ~ 30 Hz)。其中 α 波和 β 波被广泛应用于心理评估中, α 波反映人体进入放松的状态^[18],主观感觉舒适和轻松; β 波反映人在受到外界刺激后的情绪变化,表明更高的压力或警觉性^[19]。目前已有国外学者将脑电波技术应用到城市环境评价中^[20-22],国内学者则较少将其应用到建成环境对居民健康的影响中。

本研究将使用 Emotiv EPOC+ 设备测度不同城市环境(城市繁忙区、城市静谧区和城市绿地区)对个体脑电生理数据的影响,分析城市环境对居民情绪及心理健康的作用效应,并提出相关的政策建议。作为一项试验性质的研究,本研究的主要目的是验证基于神经科学实验的方法研究环境对个体影响的可行性和可靠性,展示这一研究方式的前景。

1 试验设计

1.1 实验人员招募

由于实验过程较为复杂,耗时较长,考虑到实验的可操作性且本次实验还只是试验阶段,实验招募的学生均为在校大学生。已有研究表明性别对环境变化的生理反应有显著差异^[23],且不同年龄段生理指标可能存在较大差异(比如老年人对刺激的反应速度低于年轻人),从而易导致实验结果不可类比,故参与本次实验的人员均为女性,

年龄在 20 ~ 25 岁之间人员招募方式为网络报名。被测人员来自同一学院但不同专业,实验开展前均通过了资质筛选。根据日常学习生活表现以及自述的疾病史,排除有视力障碍、慢性精神疾病、癫痫或精神病史的人,减少脑电数据采集时的干扰。为了排除大脑半球差异的影响,所有被测者均为右撇子^[24]。由于实验耗时较长,考虑到可操作性,本次实验仅 20 个样本,属于小样本设计,这是实验心理学中常见的研究设计。小样本设计是被试内设计的一种变式($1 \leq \text{被试人数} \leq 30$),由于检测人数较少,需要在高度控制的实验中对每一个被试进行大量观察并记录,通过对自变量的良好控制和因变量的反复测量,小样本设计本身就能强有力地进行实验推论^[25]。

由于实验场景不止一个,为了获取同一个人在不同环境中的实验数据,被测者被要求参与到完整的实验中。考虑到被测者可能并不知道脑电波测量仪器的原理及使用方法,并由此可能产生惧怕或好奇等情绪干扰实验结果,所以在实验开展前对所有被测者进行简短的培训,学习仪器佩戴方法,体验佩戴仪器并告知大致实验原理。

1.2 实验场景

由于设备精度的原因,当实验人员保持静止时,设备数据的联通效率可以稳定保持在 80% 以上(本实验所采用的设备为 Emotiv EPOC+),从而保证获取数据的可靠性和稳定性,所以,本实验采取了观看视频方式替代在真实环境中步行。本实验研究地点位于江苏省南京市玄武区,该区不仅拥有繁华的商业街区,还有丰富的自然资源丰富,居住小区众多,具备多种建成环境便于步行视频的拍摄。根据街景环境差异,选取了 3 个实验区域,如表 1 所示,这 3 个区域分别为城市繁忙区(拥有众多人流量、摩天大厦、各式商店,交通便利)、城市静谧区(道路两侧为居民楼,有众多小区绿化,有私家车停放,有一些生活用品商店)、城市绿地区(有众多树木和草坪连接湖泊和人行道,可欣赏名胜古迹,车辆稀少)。实验前,已分别于 3 个场景拍摄了 5 min 的步行视频。实验采样地客观条件如表 2 所示,其中,噪音、人流量、车流量和路途停留时间指标为多个采样点数据的均值,绿化率和道路宽度指标为估测值,路途停留时间指因道路交叉口避让车流、红绿灯管制、商店参观花费的时间。

表 1 研究区域及线路概况
Tab.1 Map and overview of the walking routes

场景	地点	描述	位置	实景图像
城市 绿地区	前湖公园	道路两侧为高大乔木及灌木,周围绿植茂盛,人流稀少,人为影响少		
				
城市 静溢区	富贵山小区	道路两侧为众多小型商铺,单侧种植香樟树,遮阴效果好,整体较为安静		
城市 繁忙区	珠江路	建筑密度大,建筑高度高,人车流量大,交通状况复杂,色彩变化较多		

表 2 采样点客观条件
Tab.2 Objective conditions of the research area

测量指标	城市繁忙区	城市静溢区	城市绿地区
绿化率/%	20	30	80
噪音/dB	88	37	23
道路宽度/m	20	6	4
人流量/(人·min ⁻¹)	36	12	10
车流量/(辆·min ⁻¹)	38	6	4
路途停留时间/s	45	4.5	2.5

1.3 实验流程

本实验在 2021 年 4 月 1—10 日进行。被测者均参加了 2 次活动(时间间隔大约 1 周),第一次为仪器培训课程,使他们熟悉佩戴仪器,第二次为脑电数据采集实验。由于实验人员数量较多,脑电数据采集实验分为 2 d 进行。为了确保将时间效应保持在最低限度^[26],所有实验都在上午进行(9:00—11:30)。

实验场地为一个安静、较为密闭的房间,以减少外界噪音的影响。实验开始时拉上窗帘以减少室外光线影响,同时帮助被测者将视线集中在电脑屏幕上。为减少视频中客观因素对被测者脑电波的影响,实验场景拍摄选择在天气晴朗、温度湿度适宜的上午时间段进行。实验流程如下。

1) 调试设备。确保实验仪器阻抗显示为绿

色,各电极连接通畅,当连接率 80% 以上时视为连接率良好,可以进行实验。

2) 对照实验。被测者首先闭眼听一段约 3.5 min 的舒缓音乐,帮助自己放松身心,达到冥想的状态。同时记录下冥想时的情绪状态,作为平静组,便于对照分析。

3) 观看视频。被测者采用坐姿通过电脑屏幕观看街景路线的漫步视频,视频大约 3~5 min,期间实时记录下脑电波数据并完成收集。

4) 简要访谈。观看完成视频后,与每名被测者进行简短访谈,了解他们的情绪变化以及可能的原因。

5) 短暂休息。在观看下一段视频之间,要求被测者闭目休息 60 s,放松身心,以免对接下来的测试产生影响。之后重复实验流程 3 和 5 直至完

成 3 个场景的实验。

1.4 脑电数据获取及处理

本实验采用 Emotiv EPOC + 无线便携式脑电仪设备,从头皮处非侵入性地获取脑电活动。它是美国神经科技公司(Emotiv Systems)开发的一种无线蓝牙脑电 EEG 记录仪,通过快速且易于使用的设计提供对专业级大脑数据的读取。该设备可以采集 14 通道脑电信号,对应国际 10 ~ 20 位系统(AF3、F7、F3、FC5、T7、P7、O1、O2、P8、T8、FC6、F4、F8、AF4),通过浸润盐水的毡垫将电极与被测者的皮肤相接,从而实时监测脑电波数据,并将获取的数据通过蓝牙实时传输至电脑。

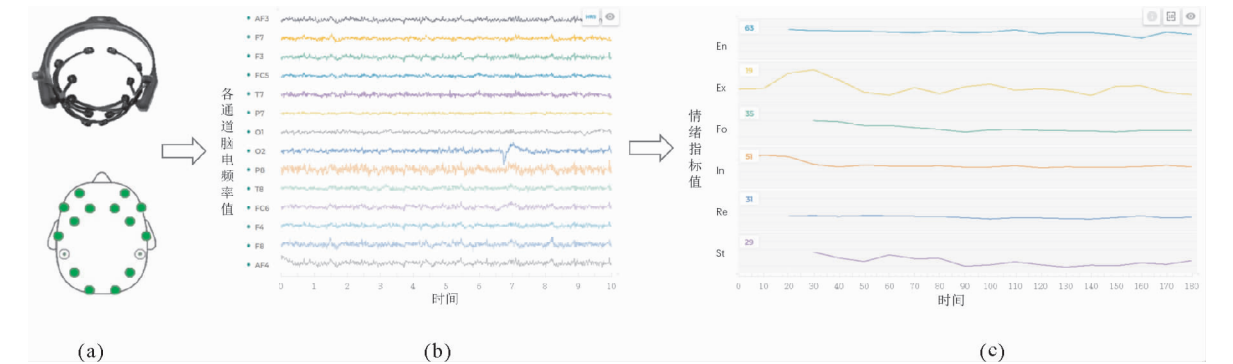
在脑电波的分析中,本实验采用了 Emotiv 开

发的专有软件 EmotivPro 来处理脑电波数据。EmotivPro 软件为每个被测者创建了一个分析环境,以解释神经水平上的潜在差异,进而将 EEG 活动解释为 6 个情绪指标:“参与度”(engagement)、“兴奋度”(excitement)、“注意力集中度”(focus)、“兴趣度”(interest)、“放松度”(relaxation)和“压力程度”(stress)。EmotivPro 软件每 10 s 更新一次各情绪指标瞬时变化情况。综合该软件对情绪指标的官方定义以及已有研究对这些指标的解释,这 6 项情绪指标的含义如表 3 所示。脑电从设备中被采集传输到软件中进行分析的情况如图 1 所示。

表 3 情绪指标的含义

Tab. 3 Meaning of emotional indicators

指标	含义
兴奋度	一种具有积极价值的生理唤醒意识或感觉。伴随一系列生理反应,包括瞳孔扩张、眼睛睁大、汗腺刺激、心率和肌肉张力增加等。一般来说,生理唤醒的增加越大,检测的输出分数越高。可以表现短至几秒的时间段内的情绪变化
注意力集中度	衡量对一项特定任务的固定注意力。注意力分值低表明一个人的注意力程度低或注意力在任务间转换频繁
参与度	衡量的是当下的情感投入或沉浸程度,与注意力集中度和兴趣度有关,表现为生理唤醒和 β 波的增加,同时 α 波减弱。得分越高意味着兴趣和定向注意力越高
兴趣度	衡量对当前环境/刺激的吸引或厌恶程度。分数低表示对某项任务有强烈的厌恶,分数高表示对该任务有强烈的好感,分数中等表示对该任务漠不关心
放松度	衡量一个人保持冷静或从高度集中状态下处理压力的能力,与低唤醒和休息状态有关
压力程度	衡量一个人的精神紧张、沮丧的状态,以及面对当前挑战的舒适程度。一般来说,低到中等水平的压力可以提高生产力,而较高水平的压力往往具有破坏性,并可能对健康和幸福产生长期影响



(a) Emotiv EPOC + 设备以及 14 个传感器点位图;(b)EmotivPro 软件获取到的 14 个通道中的原始脑电数据;
(c)EmotivPro 软件将脑电信号通过处理输出的情绪指标数据。

图 1 实验设备及软件界面示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental equipment and software interface

获取脑电数据之后需要进一步处理数据以便进行分析。首先,进行原始数据提取。在 3 个实验场景获得的数据中,分别在实验过程的中段

(去除实验前后 30 s 数据)每 10 s 抽样提取 1 次情绪指标数据,并通过计算均方根值的方法得出该样本在 3 个场景中的 6 项情绪指标数据。接

着,进行数据标准化处理。将实验场景两两分为一组,将每个样本的原始均方根值减去组间均方根值,然后除以组间均方根值的标准偏差来进行标准化。使用 $z = 2.5$ 的标准识别和修正异常值(即将可能产生过度影响的高差异异常值恢复到 2.5 标准差内)^[27]。

2 数据处理与结果

2.1 观看不同环境视频后生理数据变化

为反映实验后的情绪指标数值与实验前对照组数据之间的变化情况,需要依次进行配对检验。根据数据的分布特征以及统计理论,使用两相关样本非参数检验方法中的威尔科克森(Wilcoxon)符号秩检验法。

2.1.1 城市繁忙区与平静组(对照组)生理数据对比

观看城市繁忙区视频后的情绪指标数据与实验前对照组数据对比情况如图 2 所示。可以看出,所有的 6 个维度均发生显著变化,除“放松度”指标显著下降外,其余 5 项情绪指标均显著上升。

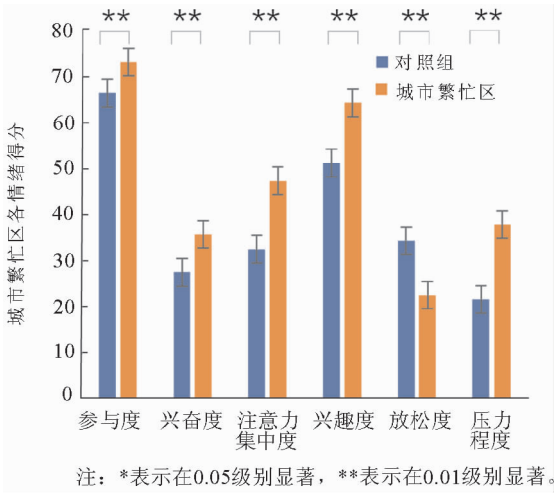


图 2 城市繁忙区中情绪指标数值与对照组对比
Fig. 2 Comparison of emotional indicators with the control group in urban busy area

2.1.2 城市静谧区与平静组(对照组)生理数据对比

观看城市静谧区视频后的情绪指标数据与实验前对照组数据对比情况如图 3 所示。可以看出,在城市静谧区“注意力集中度”“压力程度”指标显著上升,“放松度”指标显著下降,而“参与度”“兴奋度”“兴趣度”指标变化不显著。

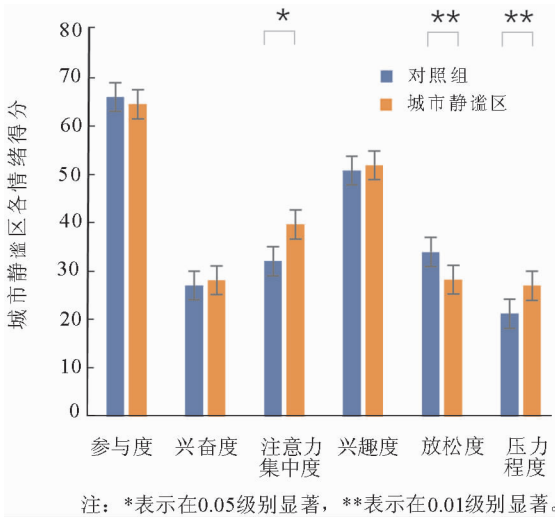


图 3 城市静谧区中情绪指标数值与对照组对比
Fig. 3 Comparison of emotional indicators with the control group in urban quiet area

2.1.3 城市绿地区与平静组(对照组)生理数据对比

观看城市绿地区视频后的情绪指标数据与实验前对照组数据对比情况如图 4 所示。可以看出,在城市绿地区除了“参与度”和“兴趣度”指标有显著上升外,其余指标变化均不显著。

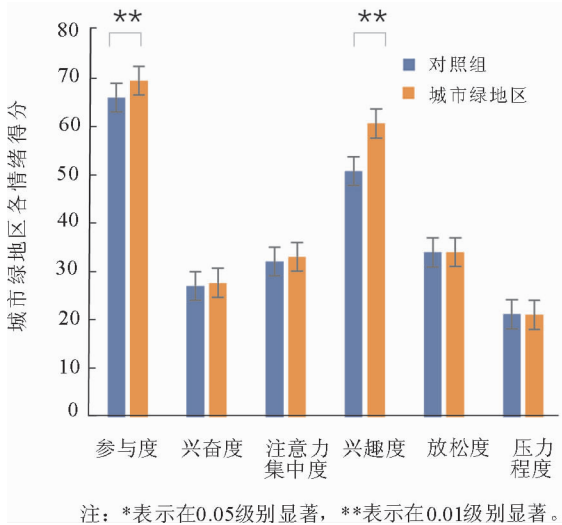


图 4 城市绿地区中情绪指标数值与对照组对比
Fig. 4 Comparison of emotional indicators with the control group in urban green area

2.2 回归模型分析

为进一步比较不同场景下情绪指标的主要影响因素,本研究将实验场景两两组合,以组间综合情绪值的差值作为因变量,以 6 项情绪指标的组间差值作为自变量,进行最小二乘线性回归(OLS)分析,以模型调整后的 R^2 作为判断模型拟

合优度的标准。以城市繁忙区和城市绿地区组合为例,回归模型计算公式为

$$Y_{\text{繁}} - Y_{\text{绿}} = a_{\text{En}}(X_{\text{繁En}} - X_{\text{绿En}}) + a_{\text{Ex}}(X_{\text{繁Ex}} - X_{\text{绿Ex}}) + a_{\text{Fo}}(X_{\text{繁Fo}} - X_{\text{绿Fo}}) + a_{\text{In}}(X_{\text{繁In}} - X_{\text{绿In}}) + a_{\text{Re}}(X_{\text{繁Re}} - X_{\text{绿Re}}) + a_{\text{St}}(X_{\text{繁St}} - X_{\text{绿St}}) + C \quad (1)$$

式中: $Y_{\text{繁}}$ 与 $Y_{\text{绿}}$ 为城市繁忙区和城市绿地区主成分分析结果; $X_{\text{繁En}}$ 为城市繁忙区“参与度”指标数值,其余以此类推; a_{En} 至 a_{St} 为系数; C 为常数项。

2.2.1 城市繁忙区与城市绿地区比较

经过 OLS 模型分析,表 4 显示了在城市繁忙区与城市绿地区中,“参与度”“兴奋度”“兴趣度”“放松度”“压力程度”指标出现显著差异($P \leq 0.05$), R^2 为 0.99 体现了较高的拟合优度。

图 5 显示了指标在不同环境中的标准化均方根值,通过对比不同环境中的情绪指标“正”和“负”情况,可以分析出环境对情绪的影响效果。“参与度”“兴奋度”“兴趣度”“压力程度”指标在城市繁忙区为“正”,在城市绿地区为“负”,说明这些情绪在城市繁忙区更加明显,人们的情绪相对更强烈。而“放松度”指标则在城市静谧区为

“负”,在城市绿地区为“正”,说明其在城市绿地区的数值更高,相对而言更能起到放松的效果。

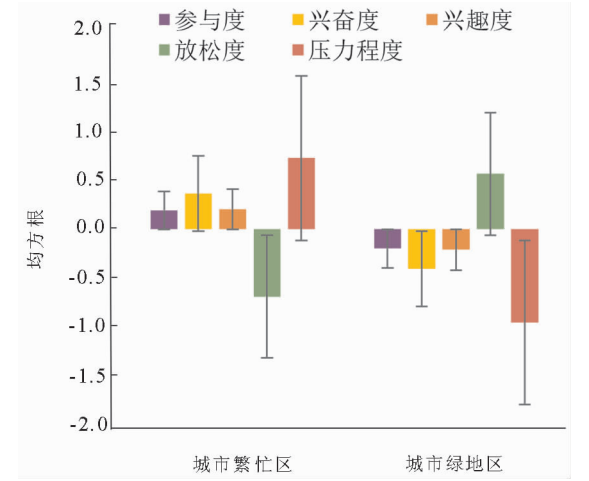


图 5 城市繁忙区与城市绿地区中“参与度”“兴奋度”“兴趣度”“放松度”“压力程度”指标的标准化均方根值

Fig. 5 Difference scores of "engagement" "excitement" "interest" "relaxation" and "stress" in urban busy and urban green area

表 4 OLS 分析结果(城市繁忙区与城市绿地区)

Tab. 4 OLS analysis results (urban busy area vs urban green area)

变量	系数	标准差	T 值	P 值	
C	-1.116 41	0.091 269	-12.232 04	<0.000 1	
兴奋度	0.523 103	0.080 626	6.487 988	<0.000 1	
注意力集中度	-0.056 207	0.038 193	-1.471 636	0.164 9	
参与度	0.267 403	0.027 414	9.754 173	<0.000 1	
兴趣度	0.392 306	0.038 732	10.128 78	<0.000 1	
放松度	0.725 405	0.034 382	21.098 34	<0.000 1	
压力程度	0.723 272	0.0580 95	12.449 91	<0.000 1	
R^2	0.993 581	调和 R^2	0.990 619	AIC 值 -1.325 312	F 值 335.380 7

2.2.2 城市繁忙区与城市静谧区比较

经过 OLS 模型分析,表 5 显示了在城市繁忙区与城市静谧区中,“注意力集中度”与“放松度”

指标出现显著差异($P \leq 0.05$), R^2 为 0.94 体现了较高的拟合优度。

表 5 OLS 分析结果(城市繁忙区与城市静谧区)

Tab. 5 OLS analysis results (urban busy area vs urban quiet area)

变量	系数	标准差	<i>T</i> 值	<i>P</i> 值			
<i>C</i>	0.610 782	0.403 247	1.514 661	0.153 8			
兴奋度	0.111 374	0.115 945	0.960 575	0.354 3			
注意力集中度	0.427 563	0.092 839	4.605 412	0.000 5			
参与度	−0.057 58	0.115 521	−0.498 477	0.626 5			
兴趣度	−0.174 38	0.185 776	−0.938 638	0.365			
放松度	0.304 112	0.034 893	8.715 481	<0.000 1			
压力程度	0.114 421	0.110 405	1.036 375	0.318 9			
<i>R</i> ²	0.943 35	调和 <i>R</i> ²	0.917 204	AIC 值	−0.505 44	<i>F</i> 值	36.080 07

图6显示了“注意力集中度”“放松度”指标在不同环境中的标准化均方根值。“注意力集中度”指标在城市繁忙区为“正”,在城市静谧区为“负”,说明城市静谧区有分散注意力的效果。而“放松度”指标在城市繁忙区为“负”,在城市静谧区为“正”,说明城市静谧区有令人放松的效果。

2.2.3 城市静谧区与城市绿地区比较

经过 OLS 模型分析,表6显示了在城市静谧区与城市绿地区中,“兴奋度”“兴趣度”指标出现显著差异($P\leq 0.05$), R^2 为 0.94 体现了较高的拟合优度。

图7显示了“兴奋度”与“兴趣度”指标在不同环境中的标准化均方根值。“兴奋度”指标在城市静谧区为“正”,在城市绿地区为“负”,说明城市绿地区给人的兴奋感相对较弱。而“兴趣度”指标则在城市静谧区为“负”,在城市绿地区为“正”,说明城市绿地区相对而言更能提起人们的兴趣。

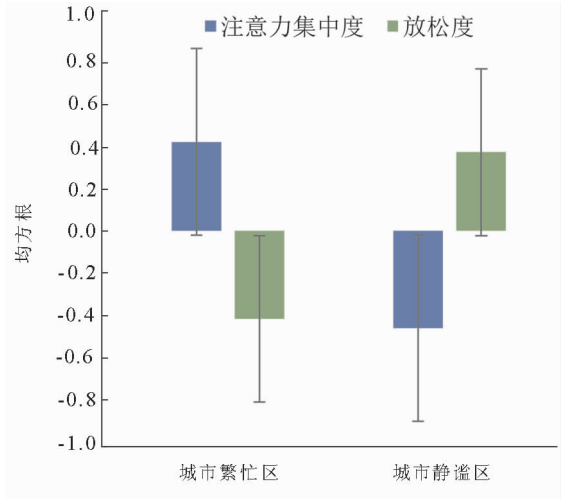


图6 城市繁忙区与城市静谧区中“注意力集中度”与“放松度”指标的标准化均方根值
Fig.6 Difference scores of "focus" and "relaxation" in urban busy and urban quiet area

表6 OLS 分析结果(城市静谧区与城市绿地区)

Tab.6 OLS analysis results (urban quiet area vs urban green area)

变量	系数	标准差	T 值	P 值			
C	0.169 081	0.227 84	0.742 105	0.471 2			
兴奋度	0.259 05	0.081 353	3.184 257	0.007 2			
注意力集中度	0.088 673	0.142 12	0.623 931	0.543 5			
参与度	-0.333 59	0.461 869	-0.722 262	0.482 9			
兴趣度	0.723 957	0.133 909	5.406 341	0.000 1			
放松度	0.383 417	0.179 169	2.139 969	0.051 9			
压力程度	-0.049 88	0.204 638	-0.243 724	0.811 2			
R ²	0.936 152	调和 R ²	0.906 684	AIC 值	0.226 983	F 值	31.768 32

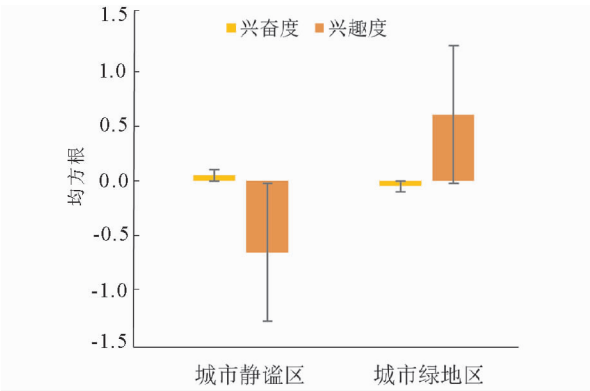


图7 城市静谧区与城市绿地区中“兴奋度”与“兴趣度”指标的标准化均方根值
Fig.7 Difference scores of "excitement" and "interest" in urban quiet and urban green area

3 讨论

EmotivPro 软件将脑电波数据解析为 6 项情绪,相较于同公司的早期产品将情绪解析为 4 项情绪(“frustration”“engagement”“LT excitement”和“meditation”),细化了对情绪的划分,能更准确地体现被测者丰富的心理情绪,同时在进行数据分析时可以获得更多元的数据。通过对 6 项情绪指标统计分析,可以揭示青年人在不同的城市环境中情绪的不同反应。总的来说,当城市繁忙区与城市绿地区进行对比时,产生显著变化的指标最多,大脑活动的差异性更加明显;城市静谧区和另外 2 个实验地点之间的大部分情绪指标没有显著差异。这表明,城市繁忙区(以商业环境为主且人车稠密的城

环境为主且人车稀疏的城市环境)中有一些独特的建成要素在影响情绪方面发挥着重要作用。

3.1 城市繁忙区与城市绿地区对比分析

实验结果表明,被试者的脑电活动在观看城市繁忙区和城市绿地区2种视频差异最大,6个情绪指标中有5个呈现出显著差异。城市繁忙区中的“兴奋度”“参与度”“兴趣度”“压力程度”显著高于城市绿地区,“放松度”则在城市绿地中的数值更高。

已有研究表明,脑电波中 β 波的活跃程度与使用Emotiv开发的Affectiv suite软件测量时显示的“兴奋度”“参与度”正向相关^[22],而 β 波越活跃,被试者的认知负荷(cognitive load)越大。繁忙区中复杂的环境(交通拥挤、人流密集等)增加了大脑的警觉,而其精心布置的橱窗、明亮多彩的广告,也让个体的情绪呈现出一个相对亢奋的状态。与环境相对简单、静谧的城市绿地区相比,城市繁忙区给被试者带来的认知负荷更大,需要更多定向注意力(directed attention,自上而下的神经活动,包括所有需要脑力劳动的任务,一段时间后会让人精神疲劳)自上而下地处理各种信息。

“压力程度”“放松度”是一对含义相反的指标,在城市绿地区“压力程度”指标更低,“放松度”指标更高,说明在城市绿地中步行具有明显的恢复性效果。已有研究表明,暴露于自然环境有助于人们将定向注意力转变为非随意注意(involuntary attention,放松的、无意识的注意力),这种效应在环境心理学中被描述为软魅力(soft-fascination)^[28]。这一过程与恢复性健康效应有关,有助于缓解疲劳、压力和情绪低落。与之相反,暴露在城市嘈杂纷乱环境中的个体,压力恢复程度较低^[29-30]。

对参与实验人员进行访谈的结果也与脑电实验结果一致,认为城市绿地远离喧嚣,空气质量好,风景秀丽,对放下工作或学习上的压力达到放松愉悦的效果更有益。在谈及闲暇时间更愿意前往哪种环境中时,90%的受访者选择了噪音较少、绿植丰富的城市绿地。她们普遍认为过多的噪音会影响步行者的心情,让人心生烦躁。丰富的绿植可以适当调节局部地区微气候,为行人遮阳挡雨美化环境。而选择城市繁忙区的受访者表示这与平常生活习惯有关,有逛街购物习惯的人选择城市繁忙区的可能性越高。总的来说,本实验结果进一步佐证了绿地区对情绪的恢复性作用。

3.2 城市繁忙区与城市静谧区对比分析

实验结果表明,在观看城市繁忙区与城市静谧区视频时,脑电波活动的差异没有繁忙区与绿地区差异那么大,只有“注意力集中度”和“放松度”指标发生了显著变化,其中“注意力集中度”指标在城市繁忙区的数值更高,“放松度”指标在城市静谧区的数值更高。

“注意力集中度”指标在城市繁忙区数值高,说明建成要素复杂的环境会使人产生更高的专注度。脑电波中的 β 波段与警惕性和视觉上的注意力有关^[31-32],Kacha的一项实验表明,当在实验室环境中观看不同复杂性的街景时,环境越复杂, β 波活动越显著,注意力的唤醒程度越高^[33]。由此可以推测,“注意力集中度”指标与脑电波的 β 波段具有一定相关性,可以通过“注意力集中度”指标的高低衡量环境的复杂程度对一个人的定向注意力的影响。此外,根据访谈结果,实验人员表示步行在城市繁忙区时,环境中背景音量较大,建筑类型多样,人车密集,不同的环境要素交织在一起传递到大脑中时,需要被测者分散一部分注意力来分解和处理这些信息。商业环境相比静谧的小区,无疑会让大脑提高负荷,呈现出兴奋活跃的状态,访谈结果从侧面佐证了实验结果。

“放松度”指标在城市静谧区更高,说明城市静谧区与城市绿地区一样具有恢复性功能。可能的原因有两个。一是本实验选取的城市静谧区位于居住小区,在自然环境中具有与城市绿地区相似的一些特点,如道路两侧栽有阔叶行道树,在遮阴的同时也给人绿色的视觉体验;并且在人为环境上与城市繁忙区有一定区别,如主要建筑物为凉亭、棋牌桌、居民楼,仅有的一些商铺也多为卤菜、水果、文具店,很少产生噪音,远不及城市繁忙区的商铺种类繁多、色彩鲜丽。二是在“熟悉”的城市环境更容易诱发与放松状态相关的情绪活动。已有研究表明,环境的熟悉程度与脑电波中 α 波段的数值高低具有相关性,对街景图像的熟悉程度越高, α 功率增加,反映一个人的放松程度越高^[32]。本研究选取的居住小区并非高档小区,具有一般性,被测者看到居住环境中普遍性的布局与街景,可能会产生熟悉感,从而诱发其进入放松状态。根据访谈结果,当实验人员看到城市静谧区环境时,多数表示“居住小区的环境与学校宿舍区很相似”“并没有什么特别值得注意的地方”“静谧区的环境比繁忙区安静得多”,在一定

程度上为研究结论提供了支撑。

3.3 城市静谧区与城市绿地区对比分析

实验结果表明,在观看城市静谧区与城市绿地区视频时,“兴奋度”“兴趣度”指标发生了显著变化,其中“兴奋度”指标在城市静谧区数值更高,而“兴趣度”指标在城市绿地区数值更高。

“兴奋度”指标受 β 波段影响,当 β 波段表现较为强烈的时候,“兴奋度”指标越高,表明在情绪上越不利于恢复平静。城市静谧区与城市绿地区均有恢复性功能,但城市绿地的恢复性功能更优。“兴趣度”指标在城市绿地区数值更高,说明城市绿地区对人们的吸引力更大。兴趣是一种评价性条件反射活动,反映了人们对当前刺激的吸引力或厌恶程度^[34]。Zhang 研究发现,与通常被认为与“基本”的生理活动有关的兴奋等自主条件反射不同,兴趣是一种评价性的条件反射,更多地与人的“高级”心理活动有关,比如审美^[35]。城市绿地作为城市中的景区,不仅在景观特色、游览趣味性等方面具有对居民的吸引力,还在植被的选择、色彩的搭配上具有美学的考量,因而相较于城市静谧区相对单一的景观,兴趣值更高。城市静谧区中大同小异的布局、单调的街道不会让人产生好奇心,多数受访者表示他们对城市静谧区中的景观漠不关心,并没有值得注意的美景引起兴趣,而观看城市绿地区视频时,更容易沉浸在对环境的欣赏中。另外,部分受访者提出她们并未去过实验场景所在的前湖公园。出于好奇心理,人总是对未知事物更容易产生兴趣,因而觉得前湖公园的环境比城市静谧区更容易吸引她们。

3.4 3个场景情绪指标综合分析

在3组观看视频之后的情绪数据与各自对照组的对比中可以看出,城市环境越复杂,其情绪发生显著变化的维度越多。城市繁忙区、城市静谧区和城市绿地区与对照组相比,产生显著变化的情绪指标数量依次递减,城市绿地区的情绪与对照组的情绪数值最为接近。激励理论及超负荷理论的支持者认为由植物和水组成的自然环境相对于建筑物环境具有认知的低度复杂性,可以减少压力,更有助于恢复健康^[2,21]。本文的研究结果与这一论断相符。

但是3个场景与对照组相比,情绪产生变化后的数值高低并不是完全按照城市繁忙区、城市静谧区、城市绿地区的顺序递增或递减排列,城市绿地区的“兴趣度”和“参与度”2个指标均高于

城市静谧区。正如前文所述,兴趣涉及到人对环境的评价,与人的高级心理活动有关,“参与度”指标也与注意力和兴趣有关,是一种需要对环境投入情感的情绪。这说明绿地区环境更符合人们认知中某些有趣的意象,可以引起他们的关注和兴趣,表明该环境对人体获得更高层级的精神体验具有帮助。3个场景在各组情绪度量维度的数值表明,环境对个体情绪的影响不是简单的压力-放松或者定向注意力-非随意注意二元影响和解释机制可以概括,其中还涉及到更多维、更高级的情绪反应和心理活动及影响机制。

3.5 小结

从以上分析可知,城市繁忙区、静谧区和绿地区对个体的生理指标的影响有显著差异,城市繁忙区与绿地区之间的差异最大,静谧区的影响处于两者之间。繁忙区复杂的环境、较大的人流和噪声会使身处其中的人产生更多兴奋、紧张等情绪,需要个体投入更多的定向注意力,长时间暴露在这种环境下会引致疲劳、焦躁等负面情绪,从而会对居民的心理健康产生不利影响。城市绿地区具有最优的情绪恢复功能,可以显著降低消极情感,提升居民的放松感。自然环境可以引起自下而上的神经活动,从而减少大脑的负荷,起到良好的舒缓心情、降压解闷作用。在承担居住功能的城市静谧区中,该环境由于构成要素与城市绿地相近,环境比较安静,可能产生熟悉感从而具备一定恢复性功能。不同城市环境对脑电波的影响实际上体现了个体在信息处理过程中(information-processing)对不同城市环境所带来刺激的不同处理机制。城市繁忙区复杂的环境需要个体提高警觉,投入更多的定向注意力,是一种自上而下的、内生的神经活动。这种信息处理方式代表的是控制,需要投入更多的有意识的“努力”,会产生较大的认知负担,时间久了会产生认知疲劳。而城市绿地区则通常与非随意注意相关,是一种自下而上、外生的神经活动。这种信息处理方式不需要付出过多的心理“努力”,从而有助于缓解疲劳、压力和情绪低落,产生恢复性健康效应,有利于心理健康。

4 结论

作为一次试验(pilot study)性质的研究尝试,本文使用 Emotiv Epoc + 设备采集脑电数据,通过

Emotiv Pro 软件将脑电波 6 项情绪指标进行分析,同时及时进行回顾性访谈,对南京市玄武区的城市繁忙区、城市静谧区和城市绿地区这 3 种类型的建成环境中人们心理情绪变化的情况进行了研究。研究发现,通过脑电数据可以直接测度个体在不同环境中生理数据的变化,反映了环境对个体生理指标及情绪的影响,揭示了环境作用于个体的生理机制。相比于通过问卷调查或者量表方式获取的个体对环境的主观评价,客观数据确实可以更直接、更准确地反应环境对于个体的影响程度,有利于精准揭示不同环境(要素)对于个体的影响效应及机制,实现环境作用于个体的因果效应推断。

在实践层面,研究发现相对于城市繁忙区,城市绿地区具有更好的情绪恢复功能,可以显著消除疲劳,降低消极情感,提升居民的心理健康水平,这与以往的研究一致。本研究还发现城市静谧区,特别是具有一定绿化水平和安静的居住区空间也可以对个体情绪和心理有一定的恢复性效果。对于很多居住在老城区的居民而言,由于公园绿地的稀缺性以及个人时间的有限性,很难规律地接近城市绿地去放松自我。但是其居住区却是每天都要接触的环境,如果通过研究发现某些环境(要素)可以产生较好的恢复性效果,就可以在老旧小区改造的过程中进行循证设计,从而以较低的成本提高居民的心理健康水平和福祉。遗憾的是由于本文只是初步的研究,没有通过实验设计来严格判别到底是静谧区中的哪些环境要素产生这样的疗愈效果。但从 3 个不同城市环境的要素对比来看,较高的绿化水平、较小的噪音和人流可能是关键因素。因此,在旧城更新的过程中,通过各种方式(水平绿化和垂直绿化)提高绿化水平,对道路功能的分类和纯化设计及管理(如社区道路就应以交往性功能为主,交通性功能设置在周边主干道)将是提高居民生活福祉的重要方式。需要注意的是,本研究选择的样本为年轻女性,研究结论对其他人群的适用性有待进一步的考证。研究表明基于科学实验得出的结果可为政策制定及空间设计提供更直接的证据,实现循证决策和设计,有助于推动空间干预决策由依靠主观个体经验向客观证据转变,由统计学路径到实验路径转变。

本实验只是一次初步的尝试,存在一些局限性。首先,本实验选择在室内进行,通过观看视频

的方式进行虚拟暴露,并非在真实环境中进行的实验。真实环境中的温度、气味、光照等各个因素都可能会对个体的生理指标产生影响,从而会造成研究结果的偏差。但另一方面,通过观看视频的方式进行实验实际上可以更好地控制相关因素的影响,更利于精准辨析不同环境因素的影响作用。未来将同时进行真实暴露和虚拟暴露,并对结果进行对比,深化环境对个体生理影响的研究。其次,本研究在实验设计上存在改进空间。实验人员数量上可以招募更多志愿者,让实验结果更具有普遍性。在研究人员选择上被测者大都是本专业学生,具备一定专业知识,相较于一般人看待城市建成环境的感受可能受专业影响存在一定差异。且被试者均为女性,研究结果具有一定局限性,后续研究应该扩大研究对象的多样性,以获取更具普遍意义的研究结果。在实验周期上,可进行长期跟踪式实验,综合分析长时间序列下个体的心理变化对健康产生的影响,从而更加科学准确地评估心理健康状态。

总体而言,作为一种新的研究范式和方法,基于神经科学实验研究不同环境(自然环境、建成环境、社会环境)对个体心理指标的影响效应和机制,虽然在实验设计、仪器的稳定性等方面存在一些局限,但其的确可以实时、精准地分析环境对个体造成的影响,深化地理学对微观人地关系的理解,代表着人类认知、解析环境与自我关系的新的进步。随着各种便携式、低成本的生理指标测度仪器的不断出现,这一方向将获得越来越多的关注,推动人文地理和城市规划学科从观察(经验)研究走向实验研究,并丰富学科科学化发展内涵,为地理学的发展注入新的活力。

参考文献

- [1] MILLS C. From invisible problem' to global priority: The inclusion of mental health in the sustainable development goals [J]. Development and Change, 2018, 49 (3): 843-866.
- [2] 陈箴,翟雪倩,叶诗韵,等. 恢复性自然环境对城市居民心智健康影响的荟萃分析及规划启示[J]. 国际城市规划, 2016, 31(4): 16-26.
- CHEN Z, ZHAI X Q, YE S Y, et al. A meta-analysis of restorative nature landscapes and mental health benefits on urban residents and its planning implication [J]. Urban Planning International, 2016, 31(4): 16-26.

- [3] 张珊珊,王婧怡,李昱汝. 情绪自旋及其心理健康功能[J]. 心理科学进展,2021, 29(8): 1430-1437.
ZHANG S S, WANG J Y, LI Y R. Affect spin and its impact on mental health[J]. *Advances in Psychological Science*, 2021, 29(8): 1430-1437.
- [4] KUPPENS P, VAN MECHELEN I, NEZLEK J B, et al. Individual differences in core affect variability and their relationship to personality and psychological adjustment[J]. *Emotion*, 2007, 7(2): 262-274.
- [5] VAN LOON J, FRANK L. Urban form relationships with youth physical activity: Implications for research and practice[J]. *Journal of Planning Literature*, 2011, 26(3): 280-308.
- [6] ELSADEK M, SUN M K, SUGIYAMA R, et al. Cross-cultural comparison of physiological and psychological responses to different garden styles[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, 38: 74-83.
- [7] 许秋瑾,董雅文. 人群健康对城市化的响应[J]. 城市问题,2002(6):49-51.
XU Q J, DONG Y W. The response of population health to urbanization [J]. *Urban Problems*, 2002(6):49-51.
- [8] PEEN J, SCHOEVERS R A, BEEKMAN A T, et al. The current status of urban-rural differences in psychiatric disorders [J]. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 2010, 121(2): 84-93.
- [9] KIM K H, BANG S W, KIM S R. Emotion recognition system using short-term monitoring of physiological signals[J]. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 2004, 42(3): 419-427.
- [10] ADALI M, BERGER M, BRAKEMEIER E L, et al. Neurourbanism: Towards a new discipline [J]. *The Lancet Psychiatry*, 2017, 4(3): 183-185.
- [11] KÜÇÜK S G, YÜCEER H. Neuroscience and the cities: Neurourbanism[J]. *Journal of Science*, 2022, 10(3): 287-301.
- [12] PYKETT J, OSBORNE T, RESCH B. From urban stress to neurourbanism: How should we research city well-being? [J]. *Annals of the American Association of Geographers*, 2020, 110(6): 1936-1951.
- [13] BROWNING M H E M, SAEIDI-RIZI F, MCANIRLIN O, et al. The role of methodological choices in the effects of experimental exposure to simulated natural landscapes on human health and cognitive performance: A systematic review[J]. *Environment and Behavior*, 2021, 53(7): 687-731.
- [14] YASUI Y. A brainwave signal measurement and data processing technique for daily life applications [J]. *Journal of Physiological Anthropology*, 2009, 28(3): 145-150.
- [15] 周霖,韦晓燕,陈秋源,等. 脑电数据处理与分析技术研究进展[J]. 中国数字医学,2018,13(5):12-15.
ZHOU L, WEI X Y, CHEN Q Y, et al. The review of techniques for EEG processing and analysis [J]. *China Digital Medicine*,2018,13(5):12-15.
- [16] 胡飞,李伟哲. 基于脑电技术的设计学研究进展:维度与方法[J]. 装饰,2018(2):102-105.
HU F, LI W Z. Research development of design science based on EEG technology: Fields and methods [J]. *Decoration*, 2018(2):102-105.
- [17] ROE J J, ASPINALL P A, MAVROS P, et al. Engaging the brain: The impact of natural versus urban scenes using novel EEG methods in an experimental setting[J]. *Environmental Science*, 2013, 1(2): 93-104.
- [18] KUBITZ K A, POTHAKOS K. Does aerobic exercise decrease brain activation? [J]. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1997, 19(3): 291-301.
- [19] BONNET M H, ARAND D L. Impact of activity and arousal upon spectral EEG parameters[J]. *Physiology & Behavior*, 2001, 74(3): 291-298.
- [20] TILLEY S, NEALE C, PATUANO A, et al. Older people's experiences of mobility and mood in an urban environment: A mixed methods approach using electroencephalography (EEG) and interviews[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017, 14(2): 151.
- [21] ASPINALL P, MAVROS P, COYNE R, et al. The urban brain: Analysing outdoor physical activity with mobile EEG [J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2015, 49(4): 272-276.
- [22] NEALE C, ASPINALL P, ROE J, et al. The impact of walking in different urban environments on brain activity in older people[J]. *Cities & Health*, 2020, 4(1): 94-106.
- [23] TYRVAINEN L, OJALA A, KORPELA K, et al. The influence of urban green environments on stress relief measures: A field experiment[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2014, 38: 1-9.
- [24] SPERRY R W. Hemisphere disconnection and unity in conscious awareness [J]. *American Psychologist*, 1968, 23(10): 723-733.
- [25] 李同予,薛滨夏,杨秀贤,等. 基于无线生理传感器与虚拟现实技术的复愈性环境注意力恢复作用研究[J]. 中国园林,2020,36(12):62-67.

- LI T Y, XUE B X, YANG X X, et al. Research on attention recovery in restorative environment based on wireless physiological sensor and virtual reality technology[J]. Chinese Landscape Architecture, 2020, 36(12): 62-67.
- [26] CUMMINGS L, DANE A, RHODES J, et al. Diurnal variation in the quantitative EEG in healthy adult volunteers[J]. British Journal of Clinical Pharmacology, 2000, 50(1): 21-26.
- [27] OSBOME J W, OVERBAY A. The power of outliers (and why researchers should always check for them) [J]. Practical Assessment, Research, and Evaluation, 2004, 9(1): 6.
- [28] KAPLAN S. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework[J]. Journal of Environmental Psychology, 1995, 15(3): 169-182.
- [29] HARTIG T, EVANS G W, JAMNER L D, et al. Tracking restoration in natural and urban field settings [J]. Journal of Environmental Psychology, 2003, 23(2): 109-123.
- [30] ROE J, ASPINALL P. The restorative benefits of walking in urban and rural settings in adults with good and poor mental health[J]. Health & Place, 2011, 17(1): 103-113.
- [31] NEALE C, ASPINALL P, ROE J, et al. The aging urban brain: Analyzing outdoor physical activity using the emotivaffectiv suite in older people[J]. Journal of Urban Health, 2017, 94(6): 869-880.
- [32] DEHZANGI O, WILLIAMS C. Towards multi-modal wearable driver monitoring: Impact of road condition on driver distraction [C] // 2015 IEEE International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN). Cambridge: IEEE, 2015: 1-6.
- [33] KACHA L, MATSUMOTO N, MANSOURI A. Electrophysiological evaluation of perceived complexity in streetscapes[J]. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2015, 14(3): 585-592.
- [34] SMITH E E, KOSSLYN S M. Cognitive psychology: Mind and brain [M]. Delhi: Scientific Research, 2008.
- [35] ZHANG Z, ZHUO K F, WEI W H, et al. Emotional responses to the visual patterns of urban streets: Evidence from physiological and subjective indicators[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(18): 9677.

(编辑 李波)