文章编号：1673-9493（2026）01-0039-10　中图分类号：TU984　文献标识码：A　DOI：10.19830/j.upi.2023.016

基于神经科学的建成环境心理健康效应国际研究进展——由“环境分异”到“人群分异”的思考

International Research Progress on the Mental Health Effects of Urban Built Environments Based on Neuroscience: From “Environmental Differentiation” to “Population Differentiation”

王琳婷 袁媛 仲绍明 王敏
WANG Linting, YUAN Yuan, ZHONG Shaoming, WANG Min

摘要：21 世纪的快速城市化对居民心理健康产生差异化的复杂影响。随着“健康中国”战略在城市建设层面深入推进，优化城市建成环境以提升多元群体心理健康水平成为政府和公众共同追求的目标。神经科学以其显化个体心理感知的理论与技术，为城市环境规划设计提供科学支撑。本文综合计量分析与质性分析，评述基于神经科学的建成环境心理健康效应国际研究进展。以 Web of Science 为来源数据库，检索 2003—2022 年城市研究、神经科学、公共卫生等 7 个领域同时包含“建成环境”“神经科学”“心理健康”三方面关键词的 1 465 篇文献。首先，通过分析高频关键词时序变化，揭示国际研究趋势；其次，从效应主体细化、作用机制深化切入探讨神经科学在建成环境心理健康效应研究中的独特价值，重点阐述效应客体分化研究进展，论证神经科学的引入对“环境分异”向“人群分异”视角转变的推动作用；再次，进一步阐明相应的技术方法；最后，回归我国城市规划实践需求，构建人群分异视角的研究框架。笔者期望本文能对传统规划设计与前沿学科交叉的理论和技术突破有所启发，为具有包容性的健康城市建设提供支撑。

Abstract: Urbanization in the 21st century has complex effects on residents’ mental health. With the advancement of the “Healthy China” strategy in urban development, optimizing the built environment to enhance mental health has become a key objective. Neuroscience offers scientific support to study individual environmental psychological perception. This paper integrates quantitative and qualitative analysis methods to review the progress of neuroscience-based research on the mental health effects of the built environment worldwide. Using the Web of Science database, a total of 1 465 papers from seven relevant fields, including urban studies, neuroscience, and public health, between 2003 and 2022 were retrieved, containing keywords “built environment”, “neuroscience” and “mental health”. High-frequency keyword time-series analysis was conducted to explore the trend of international research. This paper explores the significant role of neuroscience in advancing research on the mental health effects of the built environment, with a focus on refining effect subjects and deepening the understanding of underlying mechanisms. It further discusses the progress of effect object differentiation research, demonstrating the transformative role of neuroscientific integration in shifting from “environmental differentiation” to “population differentiation” perspectives and elucidating relevant technical methods. Additionally, the paper constructs a future research framework from the perspective of population differentiation to meet the needs of urban planning in China. Through fostering interdisciplinary advancements in both traditional planning and emerging fields, this paper seeks to underpin the establishment of health-oriented urban environments that prioritize inclusivity.

关键词：城市规划设计；健康城市；神经科学；心理健康；以人为本；弱势群体

Keywords: urban planning and design; healthy city; neuroscience; mental health; people-oriented; vulnerable group

国家自然科学基金“基于神经科学的社区环境对居民心理健康影响机制和规划调控研究”（52278085），广东省基础与应用基础研究基金自然科学基金“亚热带高密度建成环境对女性居民健康的影响研究”（2023A1515010704）

作者：王琳婷，中山大学地理科学与规划学院，博士研究生。wanglt29@mail2.sysu.edu.cn
袁媛（通信作者），中山大学地理科学与规划学院，教授，博士生导师。yuanyuan@mail.sysu.edu.cn
仲绍明，中山大学地理科学与规划学院，硕士研究生。zhongshm6@mail2.sysu.edu.cn
王敏，华南师范大学地理科学学院，教授。wminmin@m.scnu.edu.cn

0 引言

进入21世纪以来，快速城市化对居民心理健康产生了差异化的复杂影响。首先，不同群体居住、活动、工作空间的分化[1-3]使得其日常经历的环境刺激有所不同；其次，不同群体神经生理基础与生活经验的差异[4-5]导致其感受与认知环境方式分异[6]。二者综合作用，产生了城市环境对人群复杂的心理健康效应。作为居民的基本生活场所和感应空间，城市建成环境的规划设计是从城市建设层面提升居民心理健康水平的重要抓手。探究建成环境的心理健康效应，发掘其对多元居民群体的差异化影响，适时进行规划设计干预，是建设包容性城市与健康城市的关键途径。

心理健康是长期或即时的环境刺激与个体背景交互作用的结果，通常难以被准确量化，神经科学（neuroscience）的引入打破了这一局限。作为脑科学中与心理学、生物学相关的边缘领域融合形成的交叉学科[7]，神经科学旨在寻求解释神智活动的生物学机制，探究人体神经回路如何感受周围世界、实施行为[8]。它帮助理解建成环境对居民心理健康产生影响的神经生物学过程[9-11]，尤其有助于从不同群体脑部结构和生理运行机制层面解释环境对心理健康的影响[12]，从根本上为以人为本的规划设计提供科学支撑[11]，推进规划设计从“见物”向“见人”转变，契合以人民为中心的规划思想。

先前学者们充分探讨了神经科学在现有健康支持性环境研究框架中的整合机制，从环境研究入手，解析神经科学如何融入景观研究[12-13]、健康街道[14]研究，并探索神经科学方法在绿色开放空间、街道设计等方面的应用[15-16]，但复杂的城市健康效应还取决于社区和国家层面的许多个体和背景因素，新的实验工作开始剖析更深层次的潜在机制[17]。自党的十九大将“健康中国”上升为国家战略以来，重点人群（老年人、儿童、女性、贫困人群）的健康问题一直受到多方关注[18-19]。在城市规划设计人本转向背景下，规划和管理实践中“基于人”而非“基于地方”的意识也被强化[20]，城市规划研究开始强调面向差异化人群的设计与服务[21-22]，并关注弱势群体的城市生活体验[23-25]。神经科学的引入不仅提供了人本尺度的环境效应测度和神经机理解析方法，还以显化人体内部神经生理过程的独特优势提供了复杂人群背景下的解释机制和研究方法。国内已有学者开始关注环境对不同人群心理健康的影响[26]，但相关研究仍不充足，亟须补充由“环境分异”到“人群分异”视角转变的深入思考，为以人为本的城市规划设计提供支撑。

国际上的相关研究起步较早，不仅在建成环境的丰富性和神经机理的解析深度方面存在优势，还因社会学者对性别、种族和弱势群体等议题的广泛关注，相关研究逐步探讨人群异质性的影响。本文聚焦国际上引入神经科学方法分析建成环境心理健康效应的实证研究，系统梳理当前研究趋势，从效应主体的细化和作用机制的深化切入，探讨神经科学在建成环境心理健康效应研究中的独特价值，重点阐述效应客体的分化，论证神经科学如何推动研究视角从“环境分异”向“人群分异”转变，并解析相关研究方法，进一步阐明神经科学实验如何实现“为人群而设计”。最后，回归我国城市规划研究与实践需求，构建人群分异视角下的未来研究框架。笔者期望本文能对传统规划设计与神经科学、心理学交叉的理论与技术突破有所启发，支撑包容性健康城市建设，促进城市环境与社会的可持续发展。

1 基于神经科学的建成环境心理健康效应研究趋势

1.1 数据来源与方法

本文以Web of Science核心数据库为检索数据源，检索时间跨度设置为2003—2022年，检索规则要求文献同时涉及神经科学、建成环境、心理健康三方面主题。为保证文献全面性，每个主题内设多项替换词（表1）；为强化文献关联性，将研究领域限定为神经科学（neurosciences）、公共卫生、环境与职业健康（public environmental occupational health）、环境科学（environmental sciences）、心理学（psychology）、城市研究（urban studies）、地理学（geography）和建筑学（architecture）。笔者通过以上方法共检索到1 465篇文献。

1.2 趋势分析

笔者运用引文空间（CiteSpace）构建文献数据库，通过高频关键词随时间的变化情况，得出该领域研究的发展变化趋势。可以发现，研究热点从早期来自单一神经科学或公共卫生领域的基础研究，到视角多元化、尺度精细化和学科交叉融合发展，其趋势变化可分为三阶段（图1）。

（1）2003—2006年，研究集中在神经科学和公共卫生领域，神经性疾病（如阿尔兹海默症[Alzheimer’s Disease]、

表1 检索主题和检索词

概念	检索词
神经科学	neuroscience; brain; electroencephalography; EEG; eye-tracking; functional magnetic resonance imaging; fMRI; magnetic resonance imaging; MRI; functional near-infrared spectroscopy; fNIRS; EDA; Skin electrical activity; electrodermal activity; heart rate; heart rate variability
建成环境	community; neighborhood; built environment; urban; city; landscape; street; public space; open space; green space; greenspace; water; architecture; lake; blue space; park; garden
心理健康	mental health; restorative; cognition; well-being; emotion

痴呆 [dementia]、抑郁症 [depression])、健康评估指标（如血压 [blood pressure]、心率变异性 [heart rate variability]）等是研究热点。分群体研究（如青少年 [adolescent]、儿童 [children]）在此阶段有所体现。

（2）2007—2014 年，研究视角趋于多元化，多模态神经科学测度设备（如磁共振成像 [MRI: Magnetic Resonance Imaging]、功能性磁共振成像 [fMRI: Functional Magnetic Resonance Imaging]、脑电 [EEG: Electroencephalogram]）的推广为跨学科研究提供了更多便利。该阶段城市环境（如空气污染 [air pollution]、城市 [urban]）出现并成为热点，同时出现了深入至大脑内部结构（如大脑白质 [White Matter]）的神经机理研究。针对不同群体的研究持续拓展，老年群体（older adult）成为另一个研究热点。

图 1 2003—2022 年基于神经科学的建成环境心理健康效应研究趋势图

（3）2015—2022 年，研究视角和尺度进一步深化、微观化，充分体现出跨学科融合特点。研究热点从早期医学领域对神经性疾病的诊断，转变为新时期对公众心理健康状态（心理健康 [mental health]、紊乱 [disorder]）的关注。对城市环境的研究进一步细化至建成环境要素层面，景观（landscape）、绿色空间（green space）成为研究前沿；机制分析进一步深化，深入至个体大脑功能（functional connectivity）层次，对人群感知（perception）、偏好（preference）、生活质量（quality of life）的关注隐含了更细致的人性化探讨。

纵览整体发展脉络，研究的演进主要体现在对效应主体、作用机制、效应客体三个层面的不断细化挖掘，研究重心则呈现由“环境分异”到“人群分异”的人性化转向（图 2）。在效应主体层面，研究主体从宽泛的城市生活（urban living）体验逐步细化至人本尺度的建成环境场景；在作用机制层面，研究深化至神经机理（neuromechanism）解析，对不同场景中大脑与自主神经系统活动规律的分析成为研究前沿；此外，部分研究开始转向以不同效应客体为主线的分析，拓展人群分异视角下的研究，以揭示更复杂的环境心理健康效应机制。

为了更好地呈现国际前沿进展，笔者在 1 465 篇文章中筛选最新实证，解析研究前沿，总结技术方法。文献准入原则为：JCR 分区中 Q1 区和 Q2 区期刊文章①；实验性研究；运用神经科学实验手段得到明确的建成环境—心理健康效应结果；可全文获取；具有明确的研究群体（受试者）特性描述。

图 2 2003—2022 年基于神经科学的建成环境心理健康效应研究脉络总结

① “JCR 分区”全称为 Journal Citation Reports 分区，是科睿唯安（Clarivate Analytics）基于《期刊引证报告》(JCR）数据制定的期刊评价体系，主要用于衡量 SCI/SSCI 等收录期刊的学术影响力。其中，Q1 区为学科内影响因子排名前 25%（含 25%）的期刊，Q2 区为排名 25%~50%（含 50%）的期刊。

2 基于神经科学的建成环境心理健康效应研究前沿

2.1 效应主体细化：关注人本尺度下的建成环境场景

早期经典研究侧重对比自然场景与人工场景的健康效应，以注意力恢复理论（ART: Attention Restoration Theory）和压力减轻理论（SRT: Stress Restoration Theory）为基础，结合神经生理指标证明自然场景的恢复性效应[27-29]。大部分研究探索了绿色空间的恢复作用，少量研究探究了不同蓝色空间形式[30]的重要作用。近年的研究对主体的区分不断细化，开始关注自然景观构成、自然暴露剂量等因素，如景观要素（植物的类型、要素、构成等）[31-34]、植被结构[35]、区域、密度[36]、季相①[37]、绿视率[38]，以及超越植物要素本身的天空—叶片—树干（SLT: Sky-leaf-trunk）比率[39]等指标，以探索促进心理健康的设计阈值；同时也关注街道中的人工要素[40-41]，反思了对人工环境影响效应的固有认识[42]，探索自然植物与人工建筑结合的设计形式[43]；进一步的研究关注到多元地理背景下的自然、人工环境对比，赋予环境以更复杂的社会“场景”意义，如工作地压力环境下的花园、广场[44]和高层建筑窗景[45]等。此外，学者们还打破建成环境中自然、人工二元对立的意识，关注微空间的体验[46]，开展要素混合场景的分析，挖掘它们对心理健康的混杂影响，如不同社区中的建成环境[47]、城市公共空间中的复杂要素[48]。然而目前大部分研究缺乏统一的标准化流程，且受实验场地地理背景、个体差异的影响，难以进行横向对比。研究仍然侧重于证明自然环境的恢复性作用，对复杂真实世界影响效应的解释力不足。

2.2 作用机制深化：揭示多维场景中的神经活动机理

神经科学的引入不仅推动了建成环境心理健康效应的更高精度测量，也促使研究得以在多维场景中深入解析复杂的神经活动过程，从而进一步深化对环境心理健康效应机制的理解（图 3）。

在直接视听刺激下，研究揭示了环境调节压力和注意力的神经活动机理。对大脑皮层生理活动的监测显示，环境刺激通过影响大脑前额叶皮质血流量[49]调节注意力与压力；对大脑神经电信号分析显示，环境刺激通过影响前额叶和枕叶的 Alpha 波[45]调节情绪，通过影响 Theta 波和脑功能链接产生恢复作用[50]。对大脑深层结构的解析显示，环境刺激影响大脑腹侧扣带回活跃程度[51]、大脑左右楔状区、后扣带回和左侧楔前叶的活动[38]，调节压力与注意力。对自主神经系统分析显示，环境刺激影响副交感神经活动，进而表现为对情绪、压力[52]和认知功能[27]的调节。

更高生态效度的研究还发现了多维环境场景的复杂影响路径，包括：(1) 自主活动。研究发现在蓝色空间②内自主步行[53]、在自然环境中锻炼[54]，影响副交感神经系统和心理健康状态。不同活动方式产生差异化的健康效应，

注：“影响路径”中“社会交往”的研究还停留于早期阶段，与其他影响路径相比，对该路径的研究尚不成熟、不丰富，故采用虚线框表示。

图 3 基于神经科学的建成环境心理健康效应研究框架

① 指植物在不同季节中表现出的外观特征、生命活动状态、颜色变化等。

② 此处指滨水活动空间。

在城市绿地散步有利于减轻压力，静坐则有利于恢复注意力[55]；(2）环境风险。环境压力源、神经毒性和神经再生变性引起的压力敏感性可能是介导城市化对心理健康影响的神经生物学途径[17]，其中噪声是一种压力因素，在环境与副交感神经活跃情况的关联中起到中介作用[56]，影响情绪健康。此外，尽管流行病学研究还发现了建成环境通过社会交往产生的心理健康影响，但引入神经科学的研究仍处探索阶段，有待进一步挖掘。受限于真实环境下便携式设备的测度能力，研究尚难作出更深入的神经机理解析，生理指标的心理健康解释效力有待在更多维场景中进行实验验证。

2.3 效应客体分化：解析人群分异视角下的健康效应

深层次的神经机制与受试者个体或群体生理心理特性密切相关，涉及其生理基础和生活经验，仅凭对代表性群体的分析难以深入探究复杂机制，也难以与多元群体的健康进行深层链接。神经科学的引入前所未有地显化了建成环境中人的感知过程，并在引入日常“人—环境”互动情境，揭示日常环境心理健康效应的内在神经机理方面展现出巨大潜力。研究初期，学者多聚焦既定的典型人群（如健康的青壮年）探究普遍效应与机制，但受实验环境背景、受试者个体差异的干扰，各类研究得到的结论经常相互冲突，难以横向比较。事实上，在真实的城市生活中，不同群体与环境交互模式、神经生理基础、人格特质、生活经历均有不同，这些因素通过长期的时空生活模式积累反映在神经系统结构中，在某些群体内部形成一致性，在群体之间形成差异性。群体的“生物—心理—社会”背景交织影响，产生建成环境心理健康效应的人群分异。

探究建成环境与人群分异的交互机制成为近年新的研究趋势，也是神经科学发挥作用的重点领域。相关研究尤其强调考虑性别、年龄、文化等背景的重要性，特别强调个人背景和生活经历的影响（图 4）。在此基础上，研究基于人群的背景分异，利用神经科学解读大脑活动的优势，考量环境中“人”的生物与社会机制，但是该类研究尚处于发展阶段，有待进一步挖掘。

2.3.1 性别分异

针对性别的研究重点考量女性群体在环境刺激中的压力、情绪反应。研究认为女性情绪感知与建成环境质量密切相关。访问户外环境尤其是公园有利于提升女性的生理、心理、认知健康水平[57]，在室内环境中注视绿色窗景和立面可提升女性心理健康水平[45,58]；而户外交通噪声暴露则增加了女性心率变异性的复杂性[59]，与压力密切相关；基于流动评估的研究探讨了女性在高密度建成环境中步行时的情绪健康状态，发现在自然环境中步行时女性大脑活跃程度较低，较愉悦放松；交通噪声、环境转换节点、空间开合程度的变化等均会对女性情绪产生混杂影响[60]。

2.3.2 年龄分异

针对年龄的研究关注随年龄变化而产生的认知差异。由于儿童的神经系统未发育完全、老年人的神经系统处于退化状态，研究衍生出对儿童和老年人两大弱势群体的关注。其中，针对儿童的研究证据聚焦于生命早期居住环境所造成的累积影响，如贫困社区儿童获得的奖励机会较少，可能形成动机神经回路，有造成精神疾病的风险[61]，有更高的概率出现行为问题[62]，而长期生活在具有一定绿化环境中的儿童大脑发育和认知功能更好[63]；针对老年人的研究关注认知退化问题，探究促进健康的环境要素，研究发现接触更大面积的邻里绿地空间与老年人较低的心室等级和脑萎缩水平有关[63]。

2.3.3 心理健康水平分异

针对心理健康水平分异的研究涉及情绪、认知等。抑郁症、精神分裂患者等人群的大脑可能存在脑区结构或活动的异常改变，其情绪、认知均与健康人有所不同。研究探讨了绿色空间和植物的疗愈作用，发现绿色暴露能显著降低其情绪紊乱水平和压力水平[65-66]，有季相变化的秋叶树会引起精神病患者更积极的情绪[67]。

图 4 基于神经科学的建成环境心理健康效应客体分化

2.3.4 经济水平和文化背景分异

研究还关注了社会因素导致的群体分异，如经济水平和文化背景。例如经济水平可能影响大脑发育[68]，贫困社区居民通常面临较差的外部住宅环境，这会增加心理健康障碍的可能性，尤其是生命早期的贫困问题可带来长远影响，贫困社区儿童有更高的概率出现行为问题[62]。此外，关注文化背景分异的研究揭示了生物与文化过程相互作用的环境感知机制，发现不同文化背景的受试者对园林环境感知有所差别[69]。

综上，国际上相关研究在“环境细化—机制深化—人群分化”三方面相互渗透、交互推进，为规划设计带来从“见物”到“见人”的启示：由关注复杂多样的环境刺激转向考量与“人”有关的多元背景，揭示生物与社会复杂的交互机制。而以上认识的转变与该类研究方法论的独特性密切相关。

3 基于神经科学的建成环境心理健康效应研究方法

流行病学领域的环境健康影响研究通常依赖大样本的统计数据，通过各种计量模型分析环境因素与健康结果之间的关联关系和作用机制。引入神经科学的研究与之不同——此类研究较多依赖实验而非大量调查数据，这种特性也赋予了研究高度的灵活性，使得研究者能根据真实场景、特定人群进行灵活的设计，有利于在生理差异的基础上结合研究对象的纵向生活经历进行深度分析（图 5）。实验通常是通过控制所研究的变量、应用恰当的技术和实验设计来实现对研究目标的探索，而涉及人类行为与环境交互的实验则更加复杂，需要将生活经验的重要性纳入科学讨论，转化成经典实验环境[70]。利用神经科学实验探究建成环境心理健康效应的显著优势在于：（1）神经科学指标可测量不同群体有意识和潜意识的反应，而无须打断或影响受试者，保证了实验程序本身的客观性；（2）可针对不同群体差异，有针对性地设计实验，以更好地聚焦群体问题和需求；（3）相对较少的样本量允许研究者对受试者进行更细致的问卷和访谈，将多元群体的生活经验纳入科学讨论，发展出特色分析方式。

3.1 多元人群心理生理指标获取和测度

受试者的生活经验和感知对于分析城市或自然环境对心理健康的影响至关重要。神经科学实验通常有机整合主观量表、居民访谈和多元神经科学测度方法。其中神经科学测度方法主要包括：（1）视觉感知测度，如眼动追踪（eye-tracking）技术；（2）大脑活动测度，如功能性核磁共振成像（fMRI）、核磁共振成像（MRI）、脑电（EEG）、近红外脑功能成像（fNIRS: Functional Near-infrared Spectroscopy）等技术；（3）自主神经系统活动测度，如皮肤电（EDA: Electrodermal Activity）、心率变异性（HRV: Heart Rate Variability）、心率（HR: Heart Rate）的监测技术等（表 2）。主观量表和访谈广泛适用于不同群体，但客观的神经科学测度技术需根据不同群体的生理特性进行合理配置。对老年人认知的测度一般需要借助 fMRI 深入至大脑深层的检测；对儿童的研究则更多需要采用便携性更强的设备，如 fNIRS、便携式 EEG、移动式眼动仪等。

3.2 多元人群分异视角的实验设计

针对不同群体的实验设计略有差异，这是神经科学实验相对于传统大样本研究的优势之一。实验一般分别在实验室与户外两种场景开展：（1）户外实验体验感较强，生理信

图 5 人群分异视角下建成环境心理健康效应研究的神经科学实验体系

表 2 神经科学测度方法和指标

测度类别	测度方法	指标	含义	优缺点	规划设计适用性
视觉感知	眼动追踪	·量化指标：首次进入时间、注视时间、注视点数量、瞳孔直径等 ·非量化指标：注视点轨迹、热点图	视觉行为，包括表征感知度、注意度、理解度等	无明显优缺点	有助于锁定环境中的健康影响要素
大脑活动	功能性核磁共振成像	·量化指标：体素（voxel） ·非量化指标：大脑图像	不同脑区的活跃情况，包括表征情绪、认知、注意力等	优点：大脑信号的探测深度深 缺点：不便携，对实验室条件要求高	有助于从神经机制角度解析环境影响
	核磁共振成像				
	脑电	不同脑区的脑电波		优点：便携 缺点：大脑信号的探测深度较浅，易受运动影响	
	功能性近红外脑成像	大脑皮层氧合血红蛋白含量		优点：便携，受运动影响小 缺点：大脑信号的探测深度较浅	
自主神经系统及其他指标	生物传感器、E4 腕带式生理信号监测手环等	HRV	心率变异性，表征压力和情绪反应	优点：便携 缺点：易受运动影响	有助于捕捉环境中的情绪唤醒点
		EDA	皮肤电，表征压力和情绪反应		
		HR	心率		

号反应更加真实强烈，可直接解析对居民生理心理指标造成正负向影响的关键空间或要素[34]，便于进一步研究或改造；（2）实验室实验可自行控制温度、湿度、噪声等变量，仪器设备采集的信号更清晰准确，实验材料灵活，可进行多种干预方案比较，适用于细化分析多种视听刺激（图片[37]、音视频[71]、VR[50]等）对居民的影响。针对不同群体的研究可依据研究问题灵活选择实验场景、时长、监测设备、刺激媒介。针对老年人的实验设计重点关注认知层面，尤其关注环境对阿尔兹海默症的影响[64]，实验时长一般较短，多采用静坐、短时步行等交互方式；针对女性的实验设计关注女性情绪健康、职场女性的压力问题，主要采用高密度建成环境或办公窗景作为刺激材料，结合 EEG、fNIRS、E4 手环辅助收集情绪信息[45,60]；针对儿童的研究则宜采用更适合儿童多动特性的、对运动不敏感的设备进行实验；针对抑郁症患者，设计了基于面部表情识别的实验，以便更好地收集其情绪信息[66]。

3.3 结合多元人群背景的数据分析

面向不同群体的神经科学实验的最大优势是将纵向生活经验和群体特性纳入考量，结合被试的行为和神经生理表现，共同判断建成环境的影响。如针对老年人群体的分析可涉及对不同生命阶段生活经历的询问，针对女性群体的研究可涉及对个人安全感、家庭分工、子女养育等问题的讨论等。在此基础上，实验数据的基本分析逻辑分为以环境为主导、以生物传感为主导、以主题为主导的分析[72]。进一步的量化研究可将数据集两两关联，通过方差分析（ANOVA: Analysis of Variance）、混合线性模型（LME: Linear Mixed Model）、关联性分析（Correlation Analysis）等方式确定多元数据的相关性，从而建立建成环境指标与健康指标的数理关系。

4 未来研究框架与展望

笔者通过梳理基于神经科学的建成环境心理健康效应研究现状，指出人群分异视角在未来学科交叉研究中的重要性，建构该视角下促进心理健康的规划设计研究体系。研究发现，2003—2022 年相关研究的研究趋势从集中于神经科学和医学领域的基础研究，向研究视角多元化、尺度精细化和学科交叉融合发展；前沿实证呈现效应主体细化、作用机制深化、效应客体分化的交互发展趋势；形成建成环境经由直接刺激、自主活动、环境风险等路径作用于中枢神经系统和周围神经系统，进而对多元人群产生复杂心理健康效应的研究图景。特别地，神经科学在聚焦人群的研究中展现出了巨大潜力，通过灵活的神经科学实验，可对环境与人群分异的交互机制进行深度解析。

随着我国城市进入高质量发展阶段，未来更加需要关注在经济、性别、年龄、健康状况等单方面或多领域叠加的相对弱势群体（如贫困女性、贫困老年人、贫困儿童、女性老年人、女童等），此类人群更有可能生活在负向影响的环境中，受到不同程度的健康剥夺。《柳叶刀》于 2017 年呼吁识别那些没有平等机会获得城市优势、更容易受到社会孤立等压力源影响的高风险人群[73]，但是目前尚难以建构基于神经科学的、促进人群心理健康的规划设计理论，也未能进一步实现传统规划设计与前沿学科交叉的关键技术突破。

立足于我国的城市规划设计需求，未来研究应充分发挥规划设计、神经科学、心理学等多学科交叉优势，深入揭示建成环境对多元人群心理健康的影响效应与作用机制，为更

具包容性和精准性的空间干预策略提供科学支撑。为此，本文尝试基于人群分异视角构建研究框架，系统串联由理论到应用转化的过程：在理论交叉研究的基础上作出科学合理的机制假设，以此为依据设计实验，并通过灵活的实验设计衔接研究与规划设计实践（图 6）。（1）理论交叉，即交叉多学科理论揭示环境对不同背景人群的复杂作用规律；（2）机制探索，即基于多学科领域知识，作出研究假设，从脑部结构和生理运行机制层面解释建成环境的心理健康效应；（3）实验方法探索，即基于神经科学实验方法，根据环境规划设计需求和群体特性探索灵活的实验设计；（4）实践应用转化，即探索多元人群健康影响的评估指标体系、技术方法体系，构建模型库、数据库、多模态测度方法流程库等。

未来研究重点应聚焦于以下两方面。

一是从人群分异视角深化理论交叉与机制解析。关注涉及负向影响的多学科理论，如破窗理论、瞭望—庇护理论等，并将其与不同群体的脆弱性理论、生命发展理论结合。可将建成环境建设与儿童发展理论、女性环境需求结合思考，从而形成更加贴近不同人群的理论体系。进一步聚焦弱势群体与深层健康机制研究，关注女性、儿童安全感问题，老年人认知退化问题，贫困社区群体认知发展问题等。

二是根据人群分异细化实验方法并促进实践转化。根据不同群体的生活活动需求和神经生理差异设计适宜的实验方案，与地理学领域不同群体时空行为、社会学领域群体差异等的丰富研究结合，将研究对象的生活体验融入实验设计，提高实验设计的针对性、适用性。进一步结合实验方法探索推进应用转化，形成立足于中国的、基于神经科学的建成环境心理健康效应评估指标体系、技术方法体系，实现针对不同人群的环境健康影响评估、循证规划设计、虚拟疗愈环境构建等技术的转化和应用推广。UPI

注：文中图表均为作者绘制。

感谢中山大学地理科学与规划学院硕士研究生陈哲、何灏宇为本文文献收集、数据分析所做的工作；感谢匿名评审专家在论文评审中提出的宝贵意见，作者受益匪浅。

参考文献

[1] 杨俊宴，金探花，史宜，等．基于大数据的城市人群数字画像：技术与实证 [J]. 城市规划，2023, 47(4): 45-54.
[2] 黄建中，吴萌．特大城市老年人出行特征及相关因素分析：以上海市中心城为例 [J]. 城市规划学刊，2015(2): 93-101.
[3] 秦红岭．走向空间包容：将性别敏感视角纳入城市设计 [J]. 城市发展研究，2019, 26(7): 90-95.
[4] KIESOW H, DUNBAR R I M, KABLE J W, et al. 10,000 social brains: sex differentiation in human brain anatomy[J]. Science advances, 2020, 6(12): eaaz1170.
[5] COLE J H, MARIONI R E, HARRIS S E, et al. Brain age and other bodily “ages”: implications for neuropsychiatry[J]. Molecular psychiatry, 2019, 24(2): 266-281.
[6] RAMÍREZ T, HURTUBIA R, LOBEL H, et al. Measuring heterogeneous perception of urban space with massive data and machine learning: an application to safety[J]. Landscape and urban planning, 2021, 208: 104002.
[7] KANDEL E R, SQUIRE L R. Neuroscience: breaking down scientific barriers to the study of brain and mind[J]. Science, 2000, 290(5494): 1113-1120.

注：本图中的虚线箭头指表示不同层级之间的概念关联、作用机制与理论推演关系，实线箭头表示研究的具体实施路径与实证推进流程。
图 6 人群分异视角下的未来研究框架构建

[8] 刘鸣，谢鹏，崔丽英，等．神经内科学[M]．北京：人民卫生出版社，2008.
[9] COSTA E SILVA J A, STEFFEN R E. Urban environment and psychiatric disorders: a review of the neuroscience and biology[J]. Metabolism: clinical and experimental, 2019, 100(supplement): 153940.
[10] BUTTAZZONI A, PARKER A, MINAKER L. Investigating the mental health implications of urban environments with neuroscientific methods and mobile technologies: a systematic literature review[J]. Health & place, 2021, 70: 102597.
[11] BERMAN M G, KARDAN O, KOTABE H P, et al. The promise of environmental neuroscience[J]. Nature human behaviour, 2019, 3(5): 414-417.
[12] 刘博新，李树华．基于神经科学研究的康复景观设计探析[J]．中国园林，2012, 28(11): 47-51.
[13] 彭慧蕴，杨婷婷，谭少华．神经都市主义视角下城市健康支持性环境研究：范式创新与研究框架[J]．中国园林，2022, 38(4): 62-67.
[14] 杨婷婷，彭慧蕴，谭少华，等．从城市压力到神经都市化：跨学科视野下健康街道研究述评与框架建构[J/OL]．国际城市规划，2022[2023-09-08]. DOI:10.19830/j.upi.2022.261.
[15] 陈筝．高密高异质性城市街区景观对心理健康影响评价及循证优化设计[J]．风景园林，2018, 25(1): 106-111.
[16] 陈筝，赵双睿．提升心理健康的城市绿色开放空间规划设计[J]．城市建筑，2018(24): 51-56.
[17] KRABBENDAM L, VAN VUGT M, CONUS P, et al. Understanding urbanicity: how interdisciplinary methods help to unravel the effects of the city on mental health[J]. Psychological medicine, 2021, 51(7): 1099-1110.
[18] 习近平．决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利：在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告[R]．北京：人民出版社，2017.
[19] 赵新正，张得康，高玮，等．健康社区研究与规划建设综述[J]．人文地理，2023, 38(2): 1-9.
[20] 许伟麟，柴彦威．移动性地理学视角下时空间行为研究创新[J]．地理学报，2023, 78(4): 1015-1027.
[21] 李曼雪，肖扬．上海新移民居住、就业和活动空间分异比较研究[J]．城市规划，2023, 47(4): 72-78.
[22] 武钰林，董卫华，张文佳．街区建成环境感知影响因素研究：基于行为实验的证据[J]．城市规划，2022, 46(12): 99-109.
[23] 黄子秋，董晨露，刘文平．不同尺度弱势群体对公园绿地潜在供给与实际游憩服务获得的响应差异及其影响因素[J]．中国园林，2023, 39(6): 101-106.
[24] 王嘉欣，朱玮．孤独症人群友好的公共服务设施配置策略[J]．城市规划，2022, 46(12): 75-86.
[25] 蔡晓梅，张丹宁，范雅迪，等．城市职业女性产后的身体康复与空间实践：广州案例[J]．人文地理，2023, 38(2): 51-58.
[26] 刘博新，徐越．不同园林景观类型对老年人身心健康影响研究[J]．风景园林，2016(7): 113-120.
[27] GIDLOW C J, JONES M V, HURST G, et al. Where to put your best foot forward: psycho-physiological responses to walking in natural and urban environments[J]. Journal of environmental psychology, 2016, 45: 22-29.
[28] TSUNETSUGU Y, LEE J, PARK B J, et al. Physiological and psychological effects of viewing urban forest landscapes assessed by multiple measurements[J]. Landscape and urban planning, 2013, 113: 90-93.
[29] JONES M V, GIDLOW C J, HURST G, et al. Psycho-physiological responses of repeated exposure to natural and urban environments[J]. Landscape and urban planning, 2021, 209: 104061.
[30] LUO L, YU P, JIANG B. Differentiating mental health promotion effects of various bluespaces: an electroencephalography study[J]. Journal of environmental psychology, 2023, 88: 102010.
[31] LI J, ZHANG Z, JING F, et al. An evaluation of urban green space in Shanghai, China, using eye tracking[J]. Urban forestry & urban greening, 2020, 56: 126903.
[32] LIU L, QU H, MA Y, et al. Restorative benefits of urban green space: physiological, psychological restoration and eye movement analysis[J]. Journal of environmental management, 2022, 301: 113930.
[33] DENG L, LI X, LUO H, et al. Empirical study of landscape types, landscape elements and landscape components of the urban park promoting physiological and psychological restoration[J]. Urban forestry & urban greening, 2020, 48: 126488.
[34] COTTET M, VAUDOR L, TRONCHÈRE H, et al. Using gaze behavior to gain insights into the impacts of naturalness on city dwellers' perceptions and valuation of a landscape[J]. Journal of environmental psychology, 2018, 60: 9-20.
[35] ZHU H, YANG F, BAO Z, et al. A study on the impact of Visible Green Index and vegetation structures on brain wave change in residential landscape[J]. Urban forestry & urban greening, 2021, 64: 127299.
[36] CHIANG Y C, LI D, JANE H A. Wild or tended nature? the effects of landscape location and vegetation density on physiological and psychological responses[J]. Landscape and urban planning, 2017, 167: 72-83.
[37] FRANĚK M, PETRUŽÁLEK J, ŠEFARA D. Eye movements in viewing urban images and natural images in diverse vegetation periods[J]. Urban forestry & urban greening, 2019, 46: 126477.
[38] TANG I-C, TSAI Y P, LIN Y-J, et al. Using functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) to analyze brain region activity when viewing landscapes[J]. Landscape and urban planning, 2017, 162: 137-144.
[39] LIN W, ZENG C, BAO Z, et al. The therapeutic look up: Stress reduction and attention restoration vary according to the sky-leaf-trunk (SLT) ratio in canopy landscapes[J]. Landscape and urban planning, 2023, 234: 104730.
[40] MOSTAJERAN F, KRZIKAWSKI J, STEINICKE F, et al. Effects of exposure to immersive videos and photo slideshows of forest and urban environments[J/OL]. Scientific reports, 2021[2023-09-08]. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33597577/.
[41] HOLLANDER J B, SUSSMAN A, PURDY LEVERING A, et al. Using eye-tracking to understand human responses to traditional neighborhood designs[J]. Planning practice & research, 2020, 35(5): 485-509.
[42] STIGSDOTTER U K, CORAZON S S, SIDENIUS U, et al. It is not all bad for the grey city – a crossover study on physiological and psychological restoration in a forest and an urban environment[J]. Health & place, 2017, 46: 145-154.
[43] ZOU Z, ERGAN S, FISHER-GEWIRTZMAN D, et al. Quantifying the impact of urban form on human experience: experiment using virtual environments and electroencephalogram[J/OL]. .Journal of computing in civil engineering, 2021[2023-09-08]. https://www.semanticscholar.org/paper/Quantifying-the-Impact-of-Urban-Form-on-Human-Using-Zou-Ergan/fb17f832bc262f149be3ef3080f000f1b6c95d6f.
[44] SOUTER-BROWN G, HINCKSON E, DUNCAN S. Effects of a sensory garden on workplace wellbeing: a randomised control trial[J]. Landscape and urban planning, 2021, 207: 103997.
[45] ELSADEK M, LIU B, XIE J. Window view and relaxation: viewing green space from a high-rise estate improves urban dwellers' wellbeing[J]. Urban forestry & urban greening, 2020, 55: 126846.
[46] OSBORNE T. Restorative and afflicting qualities of the microspace encounter: psychophysiological reactions to the spaces of the city[J]. Annals of the American Association of Geographers, 2022, 112(5): 1461-1483.
[47] CHO H R, KIM S, LEE J S. Spaces eliciting negative and positive emotions in shrinking neighbourhoods: a study in Seoul, South Korea, using EEG (Electroencephalography)[J]. Journal of urban health: bulletin of the New York Academy of Medicine, 2022, 99(2): 245-259.
[48] ZHANG Z, AMEGBOR P M, SIGSGAARD T, et al. Assessing the association between urban features and human physiological stress response using wearable sensors in different urban contexts[J]. Health & place, 2022, 78: 102924.
[49] YAMASHITA R, CHEN C, MATSUBARA T, et al. The mood-improving

effect of viewing images of nature and its neural substrate[J]. International journal of environmental research and public health, 2021, 18(10): 5500.
[50] ZHANG G, WU G, YANG J. The restorative effects of short-term exposure to nature in immersive virtual environments (IVEs) as evidenced by participants' brain activities[J]. Journal of environmental management, 2023, 326: 116830.
[51] CHANG D H F, JIANG B, WONG N H L, et al. The human posterior cingulate and the stress-response benefits of viewing green urban landscapes[J]. NeuroImage, 2021, 226: 117555.
[52] TRIGUERO-MAS M, GIDLOW C J, MARTÍNEZ D, et al. The effect of randomised exposure to different types of natural outdoor environments compared to exposure to an urban environment on people with indications of psychological distress in Catalonia[J]. PLOS One, 2017, 12(3): e0172200.
[53] VERT C, GASCON M, RANZANI O, et al. Physical and mental health effects of repeated short walks in a blue space environment: a randomised crossover study[J]. Environmental research, 2020, 188: 109812.
[54] WHITE M P, PAHL S, ASHBULLBY K J, et al. The effects of exercising in different natural environments on psycho-physiological outcomes in post-menopausal women: a simulation study[J]. International journal of environmental research and public health, 2015, 12(9): 11929-11953.
[55] LIN W, CHEN Q, JIANG M, et al. Sitting or walking? analyzing the neural emotional indicators of urban green space behavior with mobile EEG[J]. Journal of urban health: bulletin of the New York Academy of Medicine, 2020, 97(2): 191-203.
[56] TRIGUERO-MAS M, GIDLOW C J, MARTÍNEZ D, et al. The effect of randomised exposure to different types of natural outdoor environments compared to exposure to an urban environment on people with indications of psychological distress in Catalonia[J]. PLOS One, 2017, 12(3): e0172200.
[57] SAADI D, SCHNELL I, TIROSH E, et al. There's no place like home? the psychological, physiological, and cognitive effects of short visits to outdoor urban environments compared to staying in the indoor home environment, a field experiment on women from two ethnic groups[J]. Environmental research, 2020, 187: 109687.
[58] ELSADEK M, LIU B, LIAN Z. Green façades: their contribution to stress recovery and well-being in high-density cities[J]. Urban forestry & urban greening, 2019, 46: 126446.
[59] ALVES M, GARNER D M, FONTES A M G G, et al. Linear and complex measures of heart rate variability during exposure to traffic noise in healthy women[J/OL]. Complexity, 2018[2023-09-08]. http://dx.doi.org/10.1155/2018/2158391.
[60] ZHONG S, YUAN Y, WANG L, et al. Impacts of urban environment on women's emotional health and planning improving strategies: an empirical study of Guangzhou based on neuroscience experiments[J]. China city planning review, 2023, 32(1): 17-27.
[61] MULLINS T S, CAMPBELL E M, HOGEVEEN J. Neighborhood deprivation shapes motivational-neurocircuit recruitment in children[J]. Psychological science, 2020, 31(7): 881-889.
[62] DRABICK D, JAKUBOVIC R, EVERETT V, et al. Conduct problems among children in low-income, urban neighborhoods: a developmental psychopathology- and RDoC-informed approach[J]. Development and psychopathology, 2021, 33: 1-18.
[63] DADVAND P, PUJOL J, MACIÀ D, et al. The association between lifelong greenspace exposure and 3-dimensional brain magnetic resonance imaging in Barcelona schoolchildren[J]. Environmental health perspectives, 2018, 126(2): 027012.
[64] KÜHN S, DÜZEL S, MASCHEREK A, et al. Urban green is more than the absence of city: structural and functional neural basis of urbanicity and green space in the neighbourhood of older adults[J]. Landscape and urban planning, 2021, 214: 104196.
[65] TRIGUERO-MAS M, GIDLOW C J, MARTÍNEZ D, et al. The effect of randomised exposure to different types of natural outdoor environments compared to exposure to an urban environment on people with indications of psychological distress in Catalonia[J]. PLOS One, 2017, 12(3): e0172200.
[66] SONNTAG-ÖSTRÖM E, NORDIN M, LUNDELL Y, et al. Restorative effects of visits to urban and forest environments in patients with exhaustion disorder[J]. Urban forestry & urban greening, 2014, 13(2): 344-354.
[67] PARASKEVOPOULOU A T, KAMPERI E, DEMIRIS N, et al. The impact of seasonal colour change in planting on patients with psychotic disorders using biosensors[J]. Urban forestry & urban greening, 2018, 36: 50-56.
[68] TOMLINSON R C, BURT S A, WALLER R, et al. Neighborhood poverty predicts altered neural and behavioral response inhibition[J]. Neuroimage, 2020, 209: 116536.
[69] ELSADEK M, SUN M, 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.
[70] ROEPSTORFF A, FRITH C. Neuroanthropology or simply anthropology? going experimental as method, as object of study, and as research aesthetic[J]. Anthropological theory, 2012, 12(1): 101-111.
[71] LI Z, KANG J. Sensitivity analysis of changes in human physiological indicators observed in soundscapes[J]. Landscape and urban planning, 2019, 190: 103593.
[72] OSBORNE T, JONES P I. Biosensing and geography: a mixed methods approach[J]. Applied geography, 2017, 87: 160-169.
[73] ADLI M, BERGER M, BRAKEMEIER E L, et al. Neurourbanism: towards a new discipline[J]. The lancet psychiatry, 2017, 4(3): 183-185.

（本文编辑：顾春雪）

本文更多增强内容扫码进入