

虚拟自然的疗愈效益及其应用趋势*

The Healing Benefits and Application of the Virtual Natural Environment

张珍¹, 徐磊青²
ZHANG Zhen, XU Lei-qing

开放科学 (资源服务)

标识码 (OSID)



【本文引用格式】张珍, 徐磊青. 虚拟自然的疗愈效益及其应用趋势 [J]. 南方建筑, 2020 (4): 34-40.

摘要 新冠疫情期间, 长期脱离正常生活与生产秩序的居家生活引发负面情绪与精神压力。虚拟自然为人们在室内条件下获得身心疗愈提供了可能。通过分析并总结既有实证研究文献, 对虚拟自然环境与亲自然设计在恢复性主观评价、认知能力、情绪健康、生理应激恢复等方面的疗愈效益予以评估。研究发现, 静态或运动状态下沉浸于 360° 照片/视频或电脑生成的虚拟自然场景中, 恢复性主观感受均显著提升; 没有充分证据证明虚拟自然能显著影响认知能力, 但研究发现其能有效激发与认知能力相关的创造性思维; 虚拟自然能有效缓解负向情绪, 提升正向情绪, 但这种影响受设备可用性的调节; 虚拟自然对生理应激反应的恢复具有显著影响, 但应当以厘清时间因素干扰为前提。虚拟亲自然设计的疗愈效益大小与自然元素的配置、类型、布局有关; 室内亲自然设计中, 相较于使用亲自然材料、自然窗景等方式, 室内绿化能带来更好的疗愈效益; 虚拟亲自然设计的疗愈效益依赖于良好的场景设计。虚拟自然与亲自然设计均是有潜力的疗愈场景, 虚拟自然可与个体、公共空间、社交网络等相结合, 实现个体、群体、社会等多个层面的疗愈与修复, 为环境营造提供新方向。

关键词 虚拟现实技术; 恢复性环境; 虚拟自然; 虚拟亲自然设计; 疗愈效益; 疗愈环境; 场所营造; 修复性城市设计

ABSTRACT During the COVID-19 epidemic, many people developed negative emotions and stress from staying at home and being separated from normal life for long periods. Virtual reality technology provides the possibility for people to enter into the natural environment and experience physical and mental healing during home isolation. The healing benefits of virtual natural environments and biophilic design, including perceived restorative effects, improved cognitive ability, improved emotional health and physiological stress recovery, were evaluated by analysing and summarising existing empirical research. It was found that both 360° -photo/video and computer-generated virtual nature experiences can significantly improve the perceived restorative effects of these experiences regardless of whether the subject is in motion or resting state. There is insufficient evidence to prove that virtual nature technology can significantly affect cognitive ability. However, some research showed that it could effectively stimulate creative thinking related to cognitive ability. Virtual nature can significantly alleviate negative emotions and improve positive emotions. Such positive effects are regulated by the usability of equipment. Although virtual nature technology can effectively mitigate physiological stress, the influence of time factors must be clarified. The healing benefits of biophilic design are related to the configuration, type and layout of natural elements. For example, indoor greening can generate better healing benefits than biophilic materials and natural window scapes. In conclusion, both virtual nature and biophilic design can be used as potential healing scenarios. The former can be combined with personal, public space and social network scenes to heal both individuals and groups and repair social relations. These findings provide a new direction for environmental construction.

KEY WORDS virtual reality technology; restorative environment; virtual natural environment; virtual biophilic design; healing benefits; healing environment; place making; restorative urban design

* 基金项目: 国家自然科学基金面上基金 (51778422): 基于公共性的公共空间布局效能与关键指标研究。

中图分类号 TU983

文献标志码 A

DOI 10.3969/j.issn.1000-0232.2020.04.034

文章编号 1000-0232 (2020) 04-0034-07

作者简介 ¹ 博士研究生; ² 教授, 通信作者, 电子邮箱: leiqingxu@163.com; ^{1&2} 同济大学建筑与城市规划学院

引言

2019年末,新冠疫情在我国和世界其它地区大规模爆发。为有效控制疫情蔓延,多个国家和地区颁布居家令,长期脱离正常生活与生产秩序的居家生活引发紧张、焦虑、抑郁等负面情绪。如何使人们从这种消极状态中抽离,有效提升心理和生理健康,成为宅家办公、线上教学的共同抗疫之战,也是亟待响应的公共卫生问题。

自然环境具有良好的生理与心理疗愈作用^[1]。在生理健康层面,自然环境有助于预防慢性疾病^[2],提升群体生理健康^[3];在心理健康层面,自然环境可有效修复注意力^[4]、缓解压力^[5],改善不良情绪与精神疲劳^[6]。然而,城市中缺乏恢复性的居住环境使人们在空间上亲近自然的机会十分有限。疫情防控成为常态的当下,人们渴望在居家条件下获得自然体验以实现身心的复愈。近年来,快速发展的虚拟现实技术为此提供了可能。虚拟现实技术(virtual reality)是通过计算机模拟产生数字化三维世界,为使用者带来仿佛身临其境体验的技术^[7]。虚拟现实技术构建的场景在沉浸感、真实感、立体感、景深乃至舒适度上,较照片与视频等媒介均有更好的表现^[8]。该技术为居家隔离期间、繁忙生活间隙,人们知觉逃离当下进入自然环境,享受大自然的疗愈带来了机会。虚拟现实技术已在临床心理学领域获得广泛的应用,被证明可以有效作用于人的知觉与情绪,从而影响心理与生理健康^[9,10]。

基于以上背景,虚拟现实呈现的自然场景的疗愈表现如何,是否能获得与真实自然相当的疗愈效益成为人们关注的重要问题。本研究对短期沉浸虚拟自然对人们身心健康影响的相关文献进行搜集,对其实证研究结果进行总结与分析,试图以更全面、更完整的视角评估虚拟自然体验所产生的疗愈效益,为其未来发展与应用提供理论依据。

1 自然环境的疗愈效益

人们对自然环境疗愈效益的探索由来已久。哈佛大学生物学家E.O. Wilson于1984年提出的“亲生物假说”(Biophilia Hypothesis)认为,人类与自然之间存在一种天然的生物学联系,人类长时期生活于自然环境中,其机体能够更好的适应自然环境,城市疾病的广泛蔓延源自短暂的城市居住史使人类的机体尚不足以完全适应城市环境,人类需要亲近自然以缓解城市环境所带来的身心损伤^[11]。其后,“注意力恢复理论”(Attention Restoration Theory)(ART)和“减压理论”(Stress Reduction Theory)(SRT)两大恢复性环境(restorative environment)核心经典理论相继出现。其中,由卡普兰夫妇所提出的

“注意力恢复理论”以认知心理学为视角,将直接注意力(direct attention)作为环境认知的媒介,过度消耗直接注意力将导致精神疲劳(mental fatigue),置身自然环境可以有效修复注意力这一认知资源^[12],Harting等依据该理论发展出主观恢复性评价量表,用以测量人们的恢复性主观感受。由乌尔里希(Roger Ulrich)所提出的“减压理论”基于心理进化的视角,认为日常生活中人们受各种社会与环境因素的刺激,会产生不同程度的心理与生理应激反应,长时间的刺激使人产生压力、焦虑、紧张等负面情绪,诱发精神疲劳,自然环境可以促进生理恢复和心理放松,而大部分城市环境,则会阻碍人们从压力中缓解^[13]。

两大修复环境核心理论基于不同的研究视角,深入阐释了自然环境恢复性作用的机制,将自然环境对人的疗愈效益界定在主观恢复性评价、认知能力、情绪健康、生理应激恢复等四个方面,为后续实证研究提供了基础构架。

2 考察方法与指标

基于基本理论构架,实证研究往往同时采用多种测量方法对自然环境的疗愈效益进行综合考察。考察方法融合了恢复性环境理论自身、心理学、神经科学等多个研究领域经典研究范式与方法。

2.1 主观恢复性评价

由恢复性环境理论自身发展形成主观恢复性评价量表(PRS: Perceived Restorative Scale)是主观恢复性感受的主要考察方法,主要针对远离(Being Away)、迷人(Fascination)、延展/和谐(Extent/Coherence)和兼容(Compatibility)四大恢复性环境特质进行环境体验的主观评价。

2.2 认知能力

对认知能力的考察手段以认知心理学的经典认知实验为主,包括正序和倒序的数字广度测试(DSF/DSB: Digital Span Forward/ Backward)、注意维持任务测试(SART: Sustained Attention to Response Task)、内克尔立方体双向稳态图形测试(NCPCT: Necker Cube Pattern Control Task),数字标示测试(SDMT: Symbol Digit Modalities Test)等等;也可使用脑电能量图谱(EEG)、磁共振成像技术(MRI)等认知神经科学测量方法。

2.3 情绪健康

自然环境对情绪健康的测量手段以量表为主,如POMS情绪状态量表(Profile Of Mood States)、PANAS正负情绪量表(Positive And Negative Affect Scale)、状态焦虑量表(SAI: State-Anxiety Inventory);扎克曼感官

寻求量表 (ZIPERS: Zuckerman Inventory of Personal Reactions), 成就情感形容词表 (AEAL : Achievement Emotions Adjective List) 等。

2.4 生理应激恢复

20 世纪 90 年代神经科学快速崛起, 该技术测量手段能够更客观准确地测量环境体验。采用生理测量手段考察环境刺激下人体的生理应激反应, 具体指标包括, 皮肤导电率 (SCL)、应激激素水平、心率 (HR)、心率变异性 (HRV)、呼吸速率、舒张压 (DBP)、收缩压 (SBP) 等。

3 虚拟自然环境的疗愈效益

既有研究中, 虚拟自然环境 (森林、海滩等) 被作为一种有潜力的疗愈工具被讨论。研究对比了真实与虚拟自然场景、虚拟自然与城市场景的疗愈效益, 以验证虚拟自然作为疗愈工具的有效性; 对比了照片、视频、VR 场景等不同沉浸程度自然媒介, 以验证虚拟自然疗愈的优越性; 探索将虚拟自然与运动场景 (走路、骑行) 相结合所产生的附加疗愈效益, 以拓展其应用场景; 验证虚拟自然是否适用于特殊人群的疗愈, 如认知能力或身体不同程度损伤的老人、癌症病人、具有抑郁倾向的老人等, 以扩展其应用人群。虚拟自然场景素材以实地拍摄的 360 度照片或视频为主, 其获取方式简单且更接近自然原貌, 且以森林场景应用最为广泛。为了更清晰的分析虚拟自然的疗愈效益, 将既有实证研究成果按照理论构架整合为恢复性主观评价、认知能力、情绪健康、生理应激恢复等四个方面进行分析。

3.1 恢复性主观评价

综合各项研究结果发现, 静态沉浸于 360 度照片 / 视频 [14,15] 或电脑生成 [16] 的虚拟自然场景都能使被试的恢复性主观感受显著提升, 且以 360 度视频为素材的虚拟自然环境被证实能够获得与真实自然环境相当的恢复性主观评价 [15]。在运动状态下, 虽然虚拟自然沉浸后恢复性主观评价也显著提升, 但开放性问题的结果显示该体验并不愉悦, 而模拟器晕动症 (simulator sickness) 与图像质量不佳是造成体验不佳的重要原因 [17]。虚拟自然与运动相结合需要进一步提升画面质量与稳定性。

3.2 认知能力

认知能力 (主要是注意力), 是自然疗愈效益的重要表征之一。经过对既有研究成果的分析发现, 绝大部分研究未能证明短期的虚拟自然沉浸对被试的认知能力有显著影响。Herman L M 等人 [14] 以内克尔立方体双向稳态图形测试 (NCPCT)、倒序的数字广度测试 (DSB)、远距离联想测试 (RAT) 等测试为考察手段, Valtchanov D [16] 等人以心算测试的得分与所用的时间为考察方法及

指标, Menardo E 等人 [18] 以注意维持任务测试 (SART) 为考察手段的研究, 均未发现虚拟自然沉浸前后被试的认知水平具有显著差异。AUT (Alternate Uses Test) 被用于测量认知功能相关的创造性思维, 以 AUT 作为考察方法的研究表明真实的自然与城市场景均能够激发被试的创造性思维, 虚拟环境中只有自然场景能够激发创造性思维 [19]。虚拟自然体验对以注意力为主的认知能力的影响并不显著, 但是能够显著激发创造性思维。

3.3 情绪健康

虚拟自然对情绪健康的影响有效且显著。虚拟自然沉浸能够有效缓解负面情绪, 研究发现虚拟自然沉浸前后, 被试自我报告的焦虑水平 [14] 与压力水平 [16] 均显著下降; 相较于虚拟城市环境, 虚拟自然环境能够显著缓解困惑、疲劳、愤怒、敌意、紧张和抑郁等负向情绪 [20]; 与真实自然环境相比, 虚拟自然在缓解负面情绪方面的表现并不逊色 [15]。在正面情绪的提升方面, 经过虚拟自然沉浸, 被试对 ZIPERS 情感寻求量表 [16], AEAL 成就情感形容词表 [18] 中积极情绪的评分显著上升; 在虚拟自然环境进行正念练习后, 正念状态和积极情绪都显著提升 [21]; 与虚拟城市环境相比, 虚拟自然能够有效提升活力等正向情绪; 然而与真实自然相比, 虚拟自然并不能如真实自然一般使正向情绪显著增加 [15], 虚拟自然的情绪疗愈效益较真实自然依然存在差距。虚拟自然不仅仅对健康人群具备情绪疗愈效益, 对老人、病人等特殊人群也同样有效。经过虚拟自然沉浸, 认知能力或身体具有不同程度的损伤的老人大部分感觉更放松, 更具有冒险精神 [22]; 癌症病人经过以虚拟自然为处方的干预治疗后, 压力减少, 积极情绪与幸福感显著提升 [23,24]。

另外研究发现, 设备可用性是影响虚拟自然情绪疗愈效益的重要因素, 只有感知到高可用性的被试在沉浸虚拟自然前后情绪才具有显著差异 [18]。虚拟头部显示器太重所引发的不舒适感, 视觉偏差、场景刷新率低而导致模拟器晕动症 [25] 等设备可用性会致使负面情绪与疲劳程度显著上升, 正面情绪显著下降 [26, 17]。

3.4 生理应激恢复

皮肤导电活动 (EDA/SCL)、心率、心率变异性 (HRV)、呼吸速率、血压、唾液 α 淀粉酶等被作为生理指标以表征虚拟自然对压力刺激的生理恢复作用。经过虚拟自然沉浸, 被试的皮肤导电率较基线显著下降 [16, 27], 与真实自然环境的影响基本相同 [20]。与虚拟城市场景或二维自然媒介 (PPT 图片、视频) 相比, 经过虚拟自然沉浸, 被试的心率 [28, 16] 与呼吸速率 [28] 均显著下降; 描述性统计表明被试的舒张压、收缩压、唾液 α 淀粉酶均有下降 [20], 但是这种下降并不具有统计学意义 [20, 28]。另外, 分析发

现时间是干扰生理应激恢复效益的重要因素。将时间作为因素进行分析发现,无论场景如何,被试的收缩压^[20]与心率^[29, 20]均随时间而显著下降。综上,虚拟自然具有显著的生理恢复疗愈效益,但是效益的成立应当以厘清时间因素对虚拟自然生理恢复效益的影响为前提。

4 亲自然设计的疗愈效益

4.1 城市亲自然设计

不同于自然环境,城市自然大多是为人为设计与构建的。如何能在城市中利用有限的空间使人们获得最佳的健康疗愈效益,是环境设计领域的核心议题之一。公园、广场、绿地、街道等公共空间是环境设计人员关注的重点对象。

城市公共空间中自然元素配置、布局、类型等均对疗愈效益产生影响。对于虚拟公园,绿化围合的边数越多,每个边界的绿化越密,被试的恢复性评价和安全性感知反而越低^[30],公园增加水景后,恢复性主观感受中“迷人”和“远离”的评价显著提高^[31]。对于虚拟广场,其周边绿化围合的边数越多,被试的恢复性主观评价越高^[30]。任何形式的虚拟城市绿地对注意疲劳和消极情绪有显著恢复作用,其中半开放绿地疗愈效益最佳,其对消极情绪缓解作用最大且休闲偏好评分最高,而封闭绿地疗愈效益最差^[32]。虚拟环境中将街道绿视率控制在25%以下,发现街道绿视率与“迷人”、“兼容”两个维度的恢复性主观评价呈正相关,即随着绿视率增大,街道的恢复潜能增大^[33](图1)。相较于混凝土铺地,草坪和树阵两种庭院空间均更有利于被试生理压力的恢复和积极情绪的的提升,且草坪的疗愈效益更佳^[34]。

4.2 室内亲自然设计

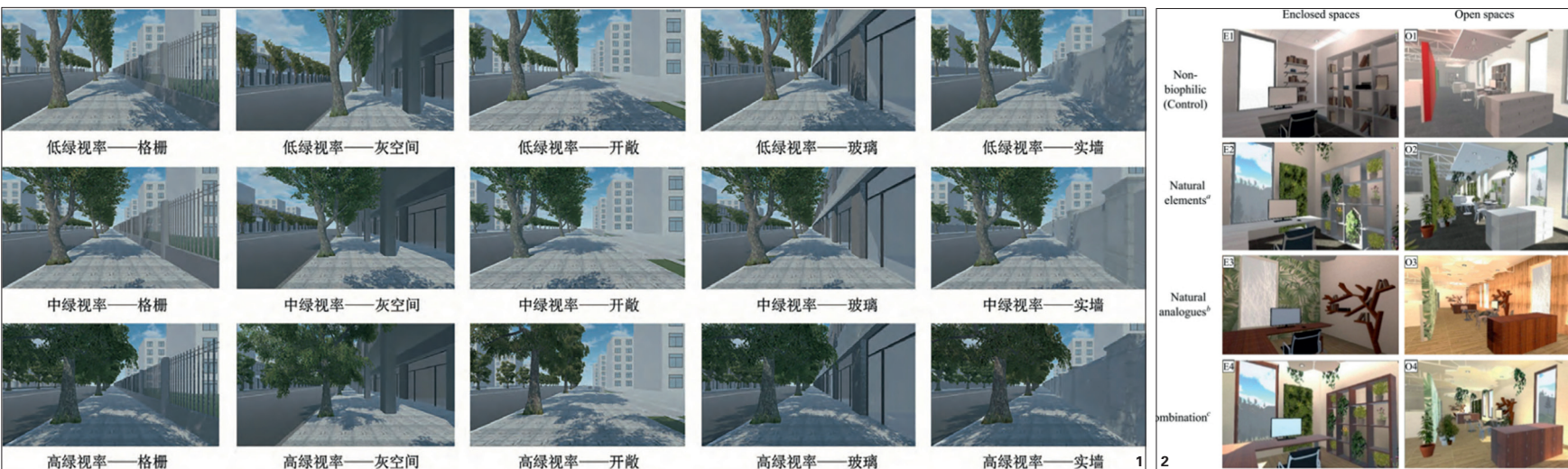
室内亲自然设计是将自然引入室内,包括在室内布

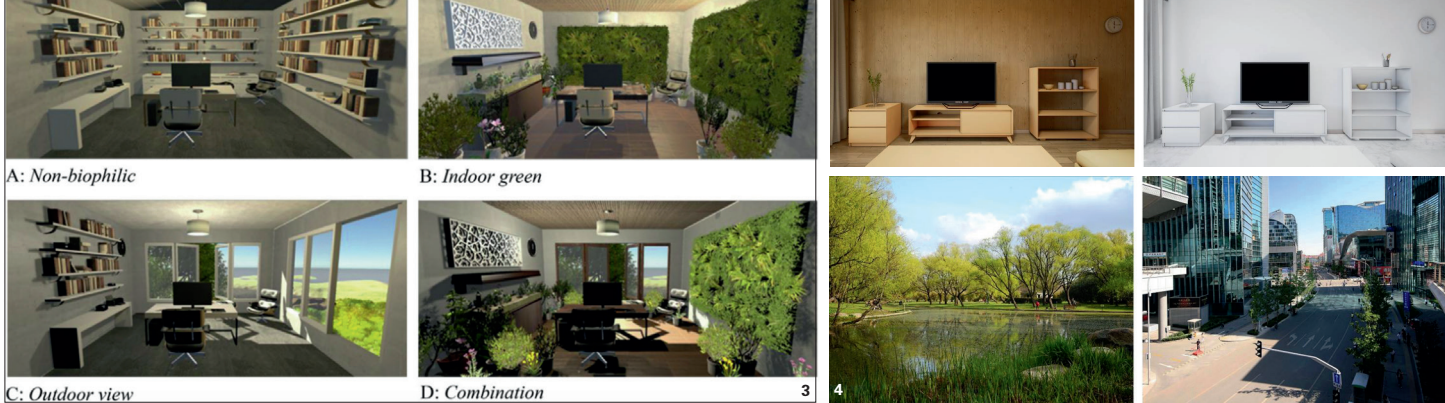
置植被、水景等自然元素,采用自然材质,引入自然光、自然窗景等。真实室内亲自然设计的疗愈效益已经被广泛证实^[35,36]。在虚拟环境中,来自哈佛大学的Yin Jie等人与来自同济大学的徐磊青等人通过系列实验对虚拟室内亲自然设计的疗愈效益进行探究。

Yin Jie等先后对比了虚拟与真实亲自然设计的疗愈效益,虚拟办公空间内不同程度亲自然设计与不同形式亲自然设计的疗愈效益。虚拟与真实亲自然设计疗愈效益的对比研究证实,短期沉浸真实或虚拟亲自然的办公环境,被试在生理、认知、情绪等方面的表现相似,相较于无亲自然设计环境,体验亲自然设计环境被试的舒张压、收缩压、皮肤导电均下降地更加明显,且短期记忆提高,负面情绪减少,正面情绪提升^[37]。此研究为虚拟室内亲自然设计环境能够获得与真实环境相当的疗愈效益提供有力的证明。不同程度亲自然设计疗愈效益的对比研究显示,与无亲自然设计的控制组相比,运用亲自然材料(木材与植物图案墙纸)、引入自然元素(自然光与绿色植物)、综合使用前两者等三组实验组被试的血压、心率、心率变异性、皮肤导电水平等生理指标数值均更低,创造性思维测试得分更高;三个实验组中,运用亲自然材料在生理恢复(舒张压、心率)、认知能力(Stroop color word test 反应时间与 Alternative Uses test 测试分数)以及自我报告与自然的联系等方面疗愈表现均最差^[38](图2)。对比不同形式亲自然设计疗愈效益的研究表明,与无亲自然的控制组相比,自然窗景、室内绿化、前两者结合等三种室内亲自然设计均能有效减轻生理压力与焦虑水平;三种亲自然设计中,室内绿化对生理压力的恢复作用最佳,自然窗景与室内绿化结合对焦虑状态的恢复作用最大^[39](图3)。

在国内,徐磊青等对比了由木质设计和白色设计两

图1 不同绿视率街道 VR 场景
图2 不同程度亲自然设计





种室内设计变量与公园景观和城市景观两种室外窗景水平所组合形成的四种起居室环境的疗愈效益,结果显示,室内木质设计与自然窗景均具有疗愈效益,室内木质设计对被试的焦虑情绪具有缓解作用,而白色设计甚至会引发更高的焦虑水平^[40](图4)。

综上所述,虚拟环境中城市与室内亲自然设计均具有疗愈效益,且它们疗愈效益与自然元素的类型、配置、布局有关。室内亲自然设计中,相较于使用亲自然材料、自然窗景等方式,室内绿化能带来更好的疗愈效益。良好的空间设计是保证人们在虚拟亲自然设计中获得身心疗愈的前提。

5 虚拟自然疗愈的应用趋势

5.1 虚拟自然与个体

即将投入使用的5G移动通信技术使个体仅通过手机、电脑等移动端便能获得画质清晰播放流畅的VR视频产品,为长期生活在封闭且孤立环境中的人们(如北极、南极、潜艇等)、由于身体原因不能外出的人们(如行动不便的老人、病人)、以及重大公共卫生危机时处于居家隔离的人们(如新冠疫情期间)提供接触自然,获得身心疗愈的机会。为了预防长时间沉浸于虚拟自然环境中所引发眩晕、眼疲劳等不良反应,建议每次沉浸以5~10min为宜。利用虚拟自然场景进行疗愈的研究发现,经过4~5min自然沉浸,被试生理压力大幅下降,已接近基线水平^[34, 39],绿色运动的调查研究也表明,5min自然暴露最有利于改善情绪和自尊^[41]。短时间的虚拟自然暴露已经足以获得良好的疗愈效益。

5.2 虚拟自然与公共空间

虚拟自然的呈现并不仅局限于VR头盔、VR眼镜等个人媒介,数字媒体技术与沉浸式屏显技术的迅速发展,使裸眼VR变成现实。韩国D'strict公司利用高20m,长80m巨型LED曲面屏幕,在建筑外立面呈现3D的、极具沉浸感海浪汹涌的动态画面,犹如漂浮在空中的巨型

瀑布(图5)。数字媒体技术与强大的设计创意能力的结合使自然场景以十分逼真和超自然的状态呈现的城市中。将虚拟自然与城市公共空间相结合,有利于提升公共空间意向性,激发公共空间活力,增加人们的公共交往,有效扩展和促进新的环境感知、情感和健康的体验,实现城市公共空间中群体的疗愈。

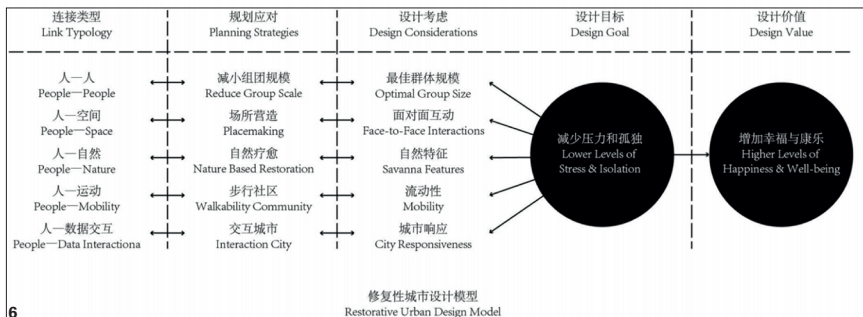
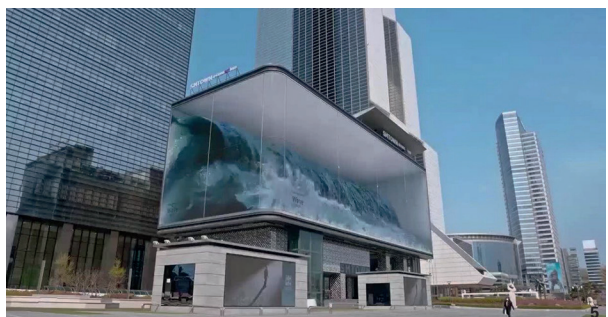
5.3 虚拟自然与社会修复

“赛博空间”(Cyber Space)是用数字化手段打造的乌托邦式的虚构空间,人类通过化身的方式居住其中,重组不同于现实的社会关系。Facebook和Sansar等公司正在投入大量精力,为他们的虚拟世界带来社交维度,这使得赛博空间有望从文字表述的虚构梦想,变成真实感的虚拟构架世界。研究发现,人们在缺乏绿色空间的居住环境中感到孤独和缺乏社会支持(social support)^[42],城市绿色空间和水体空间的数量和质量是影响社会交往的重要因素^[43],社会孤独引发心理与身体健康问题^[44,45]。虚拟自然与社交网络的融合将有利于抵抗社会孤独,修复由于城市隔离产生的社会隔离与不平等。徐磊青和言语于2019年将连接网络还原为社会联结和空间修复,提出了增进心理健康和社会复愈的城市设计模型,该模型包括人-人、人-空间、人-自然、人-运动、人-数据交互五个连接类型^[46](图6)。依据该模型,将虚拟自然体验与社交网络相结合,将有助于打破空间隔离与社会分化所形成的实体城市结构,促进社会融合,减少孤独感,促进整个社会的复愈。

结语

全球化进程快速推进与网络技术快速发展的时代背景下,高压、快节奏、高负荷、多任务成为现代城市生活的典型特征,虚拟自然有潜力成为人们在繁忙工作与生活动间隙获取自然疗愈效益的有效场景工具,为环境营造提供新方向。此次疫情推动了虚拟疗愈的发展,虚拟现实技术与自然场景的结合衍生出一种公共危机下的

图3 不同形式亲自然设计
图4 室内设计两个水平:木色VS白色与窗景两个水平:自然VS城市
图5 韩国D'strict公司所设计空中瀑布
图6 修复城市设计模型



疗愈新环境, 虚拟疗愈可以成为应对公共卫生危机的疗愈新时尚。环境健康领域研究人员与环境设计师应当将更多的注意力投入虚拟疗愈场景的设计与开发, 为人们提供更加个性化、人性化和情感化的自然疗愈环境与体验, 以满足和适应人们意识上的变化和精神的需求。☞

图、表来源

图1: 徐磊青, 孟若希, 黄舒晴, 等. 疗愈导向的街道设计: 基于VR实验的探索 [J]. 国际城市规划, 2019, 34(1):38-45;

图2: Yin J, Arfaei N, Macnaughton P, et al. Effects of Biophilic Interventions in Office on Stress Reaction and Cognitive Function: A Randomized Crossover Study in Virtual Reality[J]. Indoor Air, 2019.

图3: Yin J, Yuan J, Arfaei N, et al. Effects of biophilic indoor environment on stress and anxiety recovery: A between-subjects experiment in virtual reality[J]. Environment International, 2019, 136.

图4: 黄舒晴, 徐磊青, 陈箐. 起居室的疗愈景观——室内及窗景健康效益VR研究 [J]. 新建筑, 2019(5):23-27.

图5: 韩国知名数字艺术创意公司 D' strict 网站.

图6: 徐磊青, 言语. 抵抗孤独、隔离和不平等的恢复性空间规划实践 [J]. 景观设计学, 2019, 7(6):24-37.

参考文献

[1]XU Lei-qing. Restorative Environment, Health and Green Urbanism[J]. South Architecture, 2016(3):101-107.

徐磊青. 恢复性环境、健康和绿色城市主义 [J]. 南方建筑, 2016(3):101-107.

[2]Bowler D E, Buyung-Ali L M, Knight T M, et al. A Systematic Review of Evidence for the Added Benefits to Health of Exposure to Natural Environments[J]. Bmc Public Health, 2010, 10(18):1961-1961.

[3]Qin J, Zhou X, Sun C, et al. Influence of Green Spaces on Environmental Satisfaction and Physiological Status of Urban Residents[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2013, 12(4): 490-497.

[4]Bratman G N, Daily G C, Levy B J, et al. The Benefits of Nature Experience: Improved Affect and Cognition[J]. Landscape & Urban Planning, 2015, 138:41-50.

[5]Patrik Grahn, Ulrika K. Stigsdotter. The Relation Between Perceived Sensory Dimensions of Urban Green Space and Stress Restoration[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 94(3-4): 264-275.

[6]Tost H, Champagne F A, Meyerlindenberg A. Environmental Influence in the Brain, Human Welfare and Mental Health[J]. Nature Neuroscience, 2015, 18(10): 1421-31.

[7]Steuer J. Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence[J]. Journal of Communication, 1992, 42(4):73-79.

[8]Cheng Y, Cui Z. AN EXPERIMENTAL METHODOLOGY STUDY ON HEALTHY LIGHTING FOR THE ELDERLY WITH AD BASED ON VR TECHNOLOGY[C]. 9th CJK Lighting Conference.

[9]Felnhofer A, Kothgassner O D, Schmidt M, et al. Is virtual reality emotionally arousing? Investigating five

emotion inducing virtual park scenarios[J]. International journal of human-computer studies, 2015, 82: 48-56.

[10] Brenda Wiederhold. 15 years of virtual reality for training and therapy: a brief review with an emphasis on PTSD and SIT[C]. European Conference on Cognitive Ergonomics. ACM, 2010.

[11]E. O. Wilson, Biophilia, Harvard University Press, Cambridge, Mass, 1984.

[12]Kaplan S. The restorative environment: Nature and human experience[M]. Timber Press, 1992.

[13]Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., Zelson, M. Stress recovery during exposure to natural and urban environments[J]. Environ Psychol. 1991, 11(3):201-230.

[14]Herman L M, Sherman J. Virtual Nature: A Psychologically Beneficial Experience[C]//International Conference on Human-Computer Interaction. Springer, Cham, 2019:441-449.

[15]Browning MHEM, Mimnaugh KJ, van Riper CJ, Laurent HK, LaValle SM. Can Simulated Nature Support Mental Health? Comparing Short, Single-Doses of 360-Degree Nature Videos in Virtual Reality With the Outdoors. [J] Front Psychol. 2020;10:2667. Published 2020 Jan 15. doi:10.3389/fpsyg.2019.02667

[16]Valtchanov D, Barton K R, Ellard C. Restorative effects of virtual nature settings[J]. Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 2010, 13(5): 503-512.

[17]Calogiuri G, Litleskare S, Fagerheim K A, et al. Experiencing nature through immersive virtual environments: environmental perceptions, physical engagement, and affective responses during a simulated nature walk[J]. Frontiers in psychology, 2018, 8: 2321.

[18]Menardo E, Scarpanti D, Pasini M, et al. Usability of Virtual Environment for Emotional Well-Being[C]//International Conference in Methodologies and intelligent Systems for Technology Enhanced Learning. Springer, Cham, 2019: 45-52.

[19]Palanica A, Lyons A, Cooper M, et al. A Comparison of nature and urban environments on creative thinking across different levels of reality[J]. Journal of Environmental Psychology, 2019, 63: 44-51.

[20]Chia-Pin Y, Hsiao-Yun L, Xiang-Yi L. The effect of virtual reality forest and urban environments on physiological and psychological responses[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2018, 35:106-114.

[21]Seabrook E, Kelly R, Foley F, et al. Understanding How Virtual Reality Can Support Mindfulness Practice: Mixed Methods Study[J]. Journal of Medical Internet Research, 2020, 22(3): e16106.

[22]Appel L, Appel E, Bogler O, et al. Older adults with cognitive and/or physical impairments can benefit from immersive virtual reality experiences: a feasibility study[J]. Frontiers in medicine, 2020, 6: 329.

[23]Chirico A, Lucidi F, de Laurentiis M, Milanese C,

- Napoli A, Giordano A. Virtual reality in health system: beyond entertainment. A mini-review on the efficacy of VR during cancer treatment[J]. *Cell Physiol*. 2016; 231(2):275-287.
- [24] Schneider S M, Ellis M, Coombs W T, et al. Virtual reality intervention for older women with breast cancer[J]. *CyberPsychology & Behavior*, 2003, 6(3):301-307.
- [25] Dennison M S, Wisti A Z, D' Zmura M. Use of physiological signals to predict cybersickness[J]. *Displays*, 2016, 44: 42-52.
- [26] Litleskare S, Calogiuri G. Camera Stabilization in 360° Videos and Its Impact on Cyber Sickness, Environmental Perceptions, and Psychophysiological Responses to a Simulated Nature Walk: A Single-Blinded Randomized Trial[J]. *Frontiers in Psychology*, 2019, 10: 2436.
- [27] Anderson A P, Mayer M D, Fellows A M, et al. Relaxation with Immersive Natural Scenes Presented Using Virtual Reality[J]. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 2017, 88(6):520-526.
- [28] Gerber S M, Jeitziner M M, Sängler S D, et al. Comparing the relaxing effects of different virtual reality environments in the intensive care unit: observational study[J]. *JMIR perioperative medicine*, 2019, 2(2): e15579.
- [29] Naylor M, Morrison B, Ridout B, et al. Augmented experiences: investigating the feasibility of virtual reality as part of a workplace wellbeing intervention[J]. *Interacting with Computers*, 2019, 31(5):507-523.
- [30] Tabrizian P, Baran P K, Smith W R, et al. Exploring perceived restoration potential of urban green enclosure through immersive virtual environments[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2018, 55: 99-109.
- [31] Senese V P, Pascale A, Maffei L, et al. The influence of personality traits on the measure of restorativeness in an urban park: A Multisensory Immersive Virtual Reality study[M]// *Neural Approaches to Dynamics of Signal Exchanges*. Springer, Singapore, 2020: 347-357.
- [32] Gao T, Zhang T, Zhu L, et al. Exploring psychophysiological restoration and individual preference in the different environments based on virtual reality[J]. *International journal of environmental research and public health*, 2019, 16(17): 3102.
- [33] XU Lei-qing, MENG Ruo-xi, HUANG Shu-qing, et al. Healing Oriented Street Design: Experimental Explorations via Virtual Reality[J]. *Urban Planning International*, 2019, 34(1):38-45
徐磊青, 孟若希, 黄舒晴, 等. 疗愈导向的街道设计: 基于VR实验的探索 [J]. *国际城市规划*, 2019, 34(1):38-45
- [34] Huang Q, Yang M, Jane H, et al. Trees, grass, or concrete? The effects of different types of environments on stress reduction[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2020, 193: 103654.
- [35] Kaitlyn G, Birgitta G. A review of psychological literature on the health and wellbeing benefits of biophilic design. *Buildings*[J]. 2015;5(3):948-963
- [36] Newman P, Soderlund J. Biophilic architecture: a review of the rationale and outcomes. *AIMS Environ Sci*. 2015;2(4):950-969.
- [37] Yin J, Zhu S, Macnaughton P, et al. Physiological and cognitive performance of exposure to biophilic indoor environment[J]. *Building and Environment*, 2018, 132(MAR.):255-262.
- [38] Yin J, Arfaei N, MacNaughton P, et al. Effects of biophilic interventions in office on stress reaction and cognitive function: A randomized crossover study in virtual reality[J]. *Indoor air*, 2019, 29(6): 1028-1039.
- [39] Yin J, Yuan J, Arfaei N, et al. Effects of biophilic indoor environment on stress and anxiety recovery: A between-subjects experiment in virtual reality[J]. *Environment International*, 2020, 136: 105427.
- [40] HUANG Shu-qing, XU Lei-qing, CHEN Zheng. The Healing Landscape of the Living Room: A Study of the Health Benefits of Interior Design and Windowscape through Virtual Reality Technology[J]. *New Architecture*, 2019(5):23-27.
黄舒晴, 徐磊青, 陈箐. 起居室的疗愈景观——室内及窗景健康效益VR研究 [J]. *新建筑*, 2019(5):23-27.
- [41] Barton J, Pretty J. What is the best dose of nature and green exercise for improving mental health? A multi-study analysis[J]. *Environmental science & technology*, 2010, 44(10): 3947-3955.
- [42] Orban E, Sutcliffe R, Dragano N, et al. Residential surrounding greenness, self-rated health and interrelations with aspects of neighborhood environment and social relations[J]. *Journal of Urban Health*, 2017, 94(2): 158-169.
- [43] Ward Thompson C, Aspinall P, Roe J, et al. Mitigating stress and supporting health in deprived urban communities: the importance of green space and the social environment[J]. *International journal of environmental research and public health*, 2016, 13(4):440.
- [44] Pantell M, Rehkopf D, Jutte D, et al. Social isolation: a predictor of mortality comparable to traditional clinical risk factors[J]. *American journal of public health*, 2013, 103(11): 2056-2062.
- [45] Yang Y C, Boen C, Gerken K, et al. Social relationships and physiological determinants of longevity across the human life span[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2016, 113(3): 578-583.
- [46] XU Lei-qing, YAN Yu. Restorative Spatial Planning Practice to Isolation, Segregation, and Inequality[J]. *Landscape Architecture Frontiers*, 2019, 7(6):24-37.
徐磊青, 言语. 抵抗孤独、隔离和不平等的恢复性空间规划实践 [J]. *景观设计学*, 2019, 7(6):24-37n