

·综述·

虚拟现实技术在认知康复中的研究进展*

黄 慧¹ 贾艳滨^{2,3} 沈拾亦¹

脑外伤、脑卒中及各类精神障碍患者如抑郁症、双相障碍、精神分裂症等,均存在不同程度的认知功能损伤^[1-3]。认知功能损伤严重影响患者的心理社会功能,患者生存质量下降,给家人和社会造成巨大负担。因此,促进认知功能的康复和预防认知功能障碍具有十分重要的意义。目前认知康复训练主要方式治疗师指导下的行为训练和计算机化认知矫正治疗^[4]。传统的认知康复往往是长疗程治疗,需要花费大量的时间和人力,且价格不菲,患者在短时间内无法达到最佳的改善。而计算机化认知矫正治疗无法复制日常生活场景,患者缺乏真实的交互性和沉浸感,从而限制了训练结果在日常生活中的推广。虚拟现实技术(virtual reality, VR)能够较好地解决上述问题。

虚拟现实技术是20世纪末逐渐兴起的一门综合性人工智能技术,它采用以计算机技术为核心的现代科技手段和特殊输入/输出设备创造出一个三维的虚拟世界。虚拟现实系统允许用户和虚拟现实世界进行自然交互,通过视觉、听觉、触觉、嗅觉等多种感觉通道的反馈令用户产生身临其境的感受,VR典型的特征被概括为“3I”,即沉浸感(immersion)、交互性(interaction)和想象力(imagination)^[5]。与传统的认知康复相比,VR康复有着更高的生态效度,主要优点在于:①能够模拟真实世界的体验;②增强了趣味性,有利于改善患者的治疗依从性;③更易于监测和记录患者行为、生理反应(心率,呼吸,皮肤电导,皮肤温度,肌电图)^[6]。随着VR技术的迅速发展和成本的不断降低,VR已经广泛应用到医疗卫生领域。尤其在认知康复中取得了重要突破,主要包括注意力、记忆力和执行功能等认知模块。以下将对VR在认知康复中的应用及其新进展进行概述。

1 VR在认知康复中的应用

1.1 注意力康复

注意过程是个体实现高层次认知功能的必备条件,能使个体在执行不同任务时分配其认知资源、并保持对所选择任

务的加工和处理^[7]。既往研究表明精神分裂症患者在注意警觉和持续注意方面较正常对照组更差^[8]。有研究者针对精神分裂症患者的注意缺陷开发了一套VR认知训练系统,包括一系列注意力模块的训练:公园接足球(持续注意)、郊外采花(选择性注意)、海滩拾瓶(选择性注意和注意转移)以改善患者的注意力。研究发现VR训练组在持续注意和注意转移中均有所改善,结果证实了VR认知训练改善精神分裂症患者注意力的可行性和有效性^[9]。脑-计算机接口(brain-computer interface, BCI)是将大脑电信号与外部设备直接连接的一种接口方式。研究人员将BCI和VR相结合,从而形成BCI-VR新技术。BCI-VR新技术能兼取BCI与VR各自所长,极大地促进了康复治疗的发展。2015年, Rohani等首次提出了基于虚拟场景的P300-BCI注意力训练系统。P300是一种特定的大脑信号,在使用基于P300-BCI系统中,用户必须将注意力集中在目标刺激上,每个刺激对应一个输出。Rohani等将P300-BCI系统嵌入VR教室中,对注意缺陷多动障碍(attention deficit hyperactivity disorder, ADHD)成年人进行视觉持续注意力和注意力转移的训练,研究结果显示训练过后所有被试的测验错误率均低于0.3,推荐以此作为改善ADHD患者注意力的康复治疗^[10]。近年来ADHD患者的VR注意力训练也开始与基于功能性近红外光谱成像技术(fNIRS)的神经反馈相结合,患者需带上脑电帽进行VR教室注意训练,研究结果显示ADHD儿童的多动症状得到了显著改善,并且促进了ADHD儿童心理行为的自我调节技能及学习和迁移能力,进而改善其认知功能和生活质量^[11]。

总的来说,VR注意力训练现已进入快速发展阶段,尤其是在ADHD注意力训练上还结合电生理技术监测,使得训练效果和评估更具客观性。但目前VR注意力训练的场景还较为单一,多设置为虚拟教室,使得其趣味性和适用范围受到限制,因此未来应开发多样化的VR场景来进一步拓展适合不同年龄需要的注意力训练项目。

1.2 执行功能康复

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2020.02.026

*基金项目:广东省科技计划项目(2017B020227011);国家自然科学基金项目(81671351,81801347);广州市科技计划项目(201607010204; 201604020184);

1 暨南大学管理学院,广东省广州市,510632; 2 暨南大学附属第一医院精神医学科; 3 通讯作者

第一作者简介:黄慧,女,硕士研究生;收稿日期:2018-10-10

执行功能是为了达到特定目标并排除干扰的认知加工过程,包括计划、抑制控制、问题解决、监督控制、认知适应性和错误纠正等。以往研究表明,自闭症患者在计划和问题解决能力上存在缺陷^[12],而过去多数VR训练都集中于自闭症患者的社交技能,对执行功能的训练较为不足^[13-14]。因此,有研究者开发了以学校、教室为场景的一系列VR训练,并增加了训练师指导系统。研究表明对自闭症患者进行10个月高度结构化和重复性的VR训练,可以有效提高自闭症患者的执行功能^[15]。近期有研究者将Stroop任务测验设置在虚拟公寓电视屏幕和虚拟教室黑板上^[16-17]。Dahdah等^[18]对脑损伤患者进行虚拟公寓和虚拟教室两个场景下的VR训练,在接受每周2次,共4周的训练后,脑损伤患者的注意力、认知灵活性、抑制和信息处理速度等特定执行功能均有所改善,初步证明VR化的Stroop任务可以改善执行功能。另外,研究发现获得性脑损伤(acquired brain injury, ABI)亦存在严重的执行功能障碍。由于康复疗程长、成本高,ABI患者通常在出院后没能再接受康复治疗。VR技术的产生实现了将康复训练便携化,能够让患者在家里做康复训练。Shochat等开发了一项旨在提升执行功能的VR认知训练系统,该系统包括抑制反应、持续注意、认知灵活性、计划等8项VR训练模块,患者每次需完成4个不同模块的训练。研究发现在15—20次训练后,患者执行功能和日常生活功能均有所改善,实现了把康复治疗带回家的愿望^[19]。

上述研究表明,基于VR的执行功能训练还待进一步发展,执行功能包含内容较多,因此设计训练系统时应倾向于多场景,多模块。另外上述研究的对象多为脑损伤患者,而对其他精神障碍患者的研究较为不足,未来可进一步进行针对其他患者的设计和研究。

1.3 记忆康复

记忆是人脑对经历过事物的识记、保持、再现或再认,它是进行思维、想象等高级心理活动的基础,是人们学习、工作和生活的基本机能^[20]。记忆损伤是精神障碍患者认知功能损害的核心特征,阿尔茨海默病(AD)和帕金森病(PD)也存在记忆受损,因此记忆的康复训练显得尤为重要。Miller等人曾开发一项VR记忆测试,旨在评估帕金森患者的空间记忆和情景记忆^[21]。有研究者指出,老年人情景记忆的衰退与其运动减少有关^[22]。因此,Repetto等^[23]认为应将该VR记忆测试与自主运动和导航任务相结合改善情景记忆。空间导航受损是影响老年人独立生活的重要原因,VR技术能够有效观测被试者在虚拟场景中的导航性能。有研究者设计了城市街道、商场走廊和公园小径三个虚拟场景以改善空间记忆。研究发现在各场景的导航训练中,被试者视觉空间能力和探索路线的认知能力有所提升,因此空间记忆有效改善。并且被试者主动编码的记忆增强效果优于被动编码,这可以

减少与年龄相关的空间记忆受损^[24]。Yip和Man以虚拟便利店为场景开发针对前瞻记忆的训练,在场景中设置了基于事件的任务(购买折扣价格的饮料或在看到礼品兑换柜台时回电话)和基于时间的任务(5min后从微波炉中取出食物)以及额外任务(购买购物清单上的物品)。ABI患者被随机分配到VR训练组或参加阅读和桌面游戏活动的非VR训练组。结果发现ABI患者VR训练后的前瞻记忆有显著提高,并且在真实生活中的表现也显著优于对照组^[25]。

从当前研究来看,基于VR的记忆训练多为情景记忆和前瞻记忆训练,对工作记忆康复的研究较为不足,工作记忆障碍在脑损伤患者和各类精神障碍患者中的表现也有不同,因此未来还应针对不同程度的工作记忆损害开发相应的VR康复训练。

1.4 整体认知康复

目前已有证据表明不同的认知领域可能具有共同的神经元损伤基础,认知损伤并不是独立存在的,但目前多数认知训练都是针对某个独立的认知领域所开发的,对于整体认知损伤的研究和康复较为不足^[26]。因此,有研究者以虚拟城市为背景,将记忆、注意力、视觉空间能力和执行功能任务融合到日常生活中,如让患者准备晚餐、患者必须想好菜单、撰写购物清单、购买食材、最后准备膳食。通过小样本随机对照研究,发现在12次的训练后,干预组的执行功能、注意力、整体认知功能都显著优于对照组,整体认知功能的训练更加贴近真实生活,显著提升了患者的日常生活质量^[27]。研究显示脑卒中患者最常存在以下4个认知领域的损伤:空间意识(包括忽视),执行功能,记忆和注意力,且已有研究确认这些领域之间存在联系^[28]。因此Maier等^[29]建立了一个VR康复系统,可以联合训练脑卒中患者认知受损的领域,并根据患者每个领域的受损程度调整任务难度。研究初步结果表明,不同领域的认知缺陷是相关的,并且可以通过适应性综合训练最佳地改善患者的认知功能。

在上述整体认知功能的研究中,可以看到相对于某个独立认知功能训练,整体认知功能训练更加贴近真实生活。然而目前VR整体认知康复训练主要利用视觉和听觉刺激,交互动作需要借助操纵杆来完成,交互手段较为单一,从而影响用户的真实体验。因此整合触觉系统的适应性综合训练是未来VR康复研发的一大趋势。

1.5 其他

认知功能障碍影响肢体运动和日常生活能力,给患者重返社会造成困难。一项研究将VR认知训练和跑步机相结合,从而通过提高生态效度和患者的认知需求来增强训练效果。研究者对阿尔茨海默病患者进行干预,试验组在跑步机上完成虚拟超市的VR认知训练。在为期12周的训练后,研究结果显示试验组认知改善效果优于其他对照组,表明VR

认知运动训练可能比单独的VR认知训练或运动训练更有效^[30]。另一项研究将手臂伸展训练和认知训练相结合,将患者的手臂动作映射到VR环境中的虚拟手臂上,从而让患者通过手臂运动完成VR场景中的一系列认知训练。该研究结果同样支持认知与运动相结合的VR康复训练更具有优势^[31]。有研究假设认知运动训练效果会随着认知需求的增加而增强,将64例老人随机分为低认知需求任务组(在虚拟自行车上踩踏板)和高认知需求任务组(踩踏板同时完成认知训练任务),训练后两组老人的日常功能均得到改善,且高认知需求组执行功能的改善效果优于低认知需求组。更有研究者利用MRI成像技术探究神经可塑性与认知和运动功能恢复的关联,影像学资料显示高认知需求组的背外侧前额皮质在VR训练后活动增加,可能与记忆改善有关。研究者认为,认知训练与物理运动相结合可以激活额外的神经机制,患者在执行双重任务时会形成协同效应,达到认知功能增强的效果,并且认知需求任务越高,认知增强效果越好^[32]。

从当前研究看来,VR认知运动训练具有更大的优势。但目前的VR认知运动训练中,认知任务与运动训练的结合度较低,降低了训练的趣味性和患者的真实体验。认知与运动在生活中紧密联系,因此设计更具生活化的VR认知运动训练将更有助于发挥其协同效应。

2 VR促进认知康复的可能机制

VR训练的特点之一就是沉浸感,一项研究通过观察被试者在体验虚拟卧室时的脑电图和心率,发现沉浸感增加被试者的心率和脑网络额中线θ的功能,其中包括额叶、眶额、左颞区,这可能与被试者注意力增强和积极情绪体验有关,表明沉浸感能够激活大脑的感觉运动整合,并调节注意力的相关脑网络^[33]。因此,不同程度的沉浸感显著影响VR的认知训练效果,以及将训练迁移至真实世界的疗效^[34]。VR认知康复训练的另一个关键因素是交互性,它允许被试者与VR场景(包括虚拟角色、物体和环境)进行交互。因为日常生活中的大部分活动都是多任务处理,不仅需要认知活动参与,还需要运动参与。因此从这个角度来看,VR结合运动设备似乎有更大的优势,并可能在认知康复中发挥新的重要作用。

然而国内外关于VR认知康复训练有效性的循证医学证据仍然较少,对于VR认知训练的可能机制仍待未来进一步研究证实。

参考文献

[1] Afridi MI, Hina M, Qureshi IS, et al. Cognitive disturbance comparison among drug-naïve depressed cases and healthy controls[J]. J Coll Physicians Surg Pak, 2011, 21(6):351—

355.
[2] Torres IJ, Boudreau VG, Yatham LN. Neuropsychological functioning in euthymic bipolar disorder: a meta-analysis[J]. Acta Psychiatrica Scandinavica, 2010, 116(s434):17—26.
[3] Gallhofer S, Paisey C, Roberts C, et al. Preferences, constraints and work-lifestyle choices: The case of female Scottish chartered accountants[J]. Accounting, Auditing & Accountability Journal, 2011, 24(4): 440—470.
[4] 姜财, 杨珊莉, 黄佳, 等. 计算机辅助认知训练对脑卒中患者认知功能恢复的影响及其机制的fMRI研究[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(9):911—914.
[5] Burdea GC, Coiffet P. Virtual reality technology[M]. New York: John Wiley & Sons Publication, 2003.
[6] Cipresso P, Serino S. Virtual reality: Technologies, medical applications and challenges[M]. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2014.
[7] 郑霞, Sauzeon H(e)(e)ne, 周明全, 等. 虚拟现实技术应用于神经心理评估的研究概述[J]. 心理科学进展, 2010, 18(3):511—521.
[8] Spaulding WD, ReedD, Sullivan M, et al. Effects of cognitive treatment in psychiatric rehabilitation[J]. Schizophr Bull, 1999, 25(4): 657—676.
[9] Paglia FL, Cascia CL, Rizzo R, et al. Virtual reality environments to rehabilitation attention deficits in schizophrenic patients[J]. Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine, 2016, 14:143—148.
[10] Rohani DA, Puthusserypady S. BCI inside a virtual reality classroom: a potential training tool for attention[J]. Epj Nonlinear Biomedical Physics, 2015, 3(1):1—14.
[11] Blume F, Hudak J, Dresler T, et al. NIRS-based neurofeedback training in a virtual reality classroom for children with attention-deficit/hyperactivity disorder: study protocol for a randomized controlled trial[J]. Trials, 2017, 18(1):41.
[12] Chan AS, Cheung MC, Han YM, et al. Executive function deficits and neural discordance in children with Autism Spectrum Disorders[J]. Clin Neurophysiol, 2009, 120(6): 1107—1115.
[13] Lahiri U, Bekele E, Dohrmann E, et al. A physiologically informed virtual reality based Social communication system for individuals with autism[J]. J Autism Dev Disord, 2015, 45(4):919—931.
[14] Lahiri U, Warren Z, Sarkar N. Design of a gaze-sensitive virtual social interactive system for children with autism[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2011, 19(4):443—452.
[15] Lorenzo G, Pomares J. Inclusion of immersive virtual learning environments and visual control systems to support the learning of students with Asperger syndrome[J]. Computers

- & Education, 2013, 62(2):88—101.
- [16] Henry M, Joyal CC, Nolin P. Development and initial assessment of a new paradigm for assessing cognitive and motor inhibition: the bimodal virtual-reality Stroop[J]. *J Neurosci Methods*, 2012, 210(2):125—131.
- [17] Parsons TD, Courtney CG, Dawson ME. Virtual reality stroop task for assessment of supervisory attentional processing[J]. *J Clin Exp Neuropsychol*, 2013, 35(8):812—826.
- [18] Dahdah MN, Bennett M, Prajapati P, et al. Application of virtual environments in a multi-disciplinary day neurorehabilitation program to improve executive functioning using the Stroop task[J]. *Neurorehabilitation*, 2017, 41(4):721—734.
- [19] Shochat G, Maoz S, Stark-Inbar A, et al. Motion-based virtual reality cognitive training targeting executive functions in acquired brain injury community-dwelling individuals: A feasibility and initial efficacy pilot[C]//2017 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR). IEEE, 2017: 1—8.
- [20] 杨治良. 漫谈人类记忆的研究[J]. *心理科学*, 2011(1):249—250.
- [21] Miller JF, Neufang M, Solway A, et al. Neural activity in human hippocampal formation reveals the spatial context of retrieved memories[J]. *Science*, 2013, 342(6162): 1111—1114.
- [22] Glenberg AM, Hayes J. Contribution of embodiment to solving the riddle of infantile amnesia[J]. *Frontiers in psychology*, 2016, 7: 10.
- [23] Repetto C, Serino S, Macedonia M, et al. Virtual reality as an embodied tool to enhance episodic memory in elderly[J]. *Front Psychol*, 2016, 7(7):1839.
- [24] Meade ME, Meade JG, Sauzeon H, et al. Active navigation in virtual environments benefits spatial memory in older adults[J]. *Brain Sciences*, 2019, 9(3). pii: E47.
- [25] Yip BC, Man DW. Virtual reality-based prospective memory training program for people with acquired brain injury[J]. *Neurorehabilitation*, 2013, 32(1):103—115.
- [26] Corbetta M, Ramsey L, Callejas A, et al. Common behavioral clusters and subcortical anatomy in stroke[J]. *Neuron*, 2015, 85(5):927—941.
- [27] Faria AL, Andrade A, Soares L, et al. Benefits of virtual reality based cognitive rehabilitation through simulated activities of daily living: a randomized controlled trial with stroke patients[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2016, 13(1):96.
- [28] Malhotra P, Mannan S, Driver J, et al. Impaired spatial working memory: one component of the visual neglect syndrome?[J]. *Cortex*, 2004, 40(4):667—676.
- [29] Maier M, Bañuelos NL, Ballester BR, et al. Conjunctive rehabilitation of multiple cognitive domains for chronic stroke patients in virtual reality[C]//2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR). IEEE, 2017: 947—952.
- [30] Doniger GM, Beer MS, Bahar-Fuchs A, et al. Virtual reality-based cognitive-motor training for middle-aged adults at high Alzheimer's disease risk: A randomized controlled trial[J]. *Alzheimer's Dementia(NY)*, 2018, 4: 118—129.
- [31] Faria AL, Cameirão MS, Couras JF, et al. Combined cognitive-motor rehabilitation in virtual reality improves motor outcomes in chronic stroke-A pilot study[J]. *Front Psychol*, 2018, 9:854.
- [32] Anderson-Hanley C, Barcelos NM, Zimmerman EA, et al. The Aerobic and Cognitive Exercise Study (ACES) for community-dwelling older adults with or at-risk for mild cognitive impairment (MCI): neuropsychological, neurobiological and neuroimaging outcomes of a randomized clinical trial[J]. *Front Aging Neurosci*, 2018, 10:76.
- [33] Vecchiato G, Tieri G, Jelic A, et al. Electroencephalographic correlates of sensorimotor integration and embodiment during the appreciation of virtual architectural environments[J]. *Front Psychol*, 2015, 6:1944.
- [34] Persky S, Blascovich J. Immersive virtual video game play and presence: influences on aggressive feelings and behavior[J]. *Presence Teleoperators & Virtual Environments*, 2008, 17(1):57—72.