

虚拟现实技术用于脑损伤后记忆障碍的研究进展

孟繁媛¹ 敖丽娟^{1,2}

记忆(memory)为大脑处理各种信息的一部分,包括了对视觉、听觉、触觉等信息进行编码、存储、提取的能力,具有可重复性的特点^[1]。脑损伤后记忆障碍是指脑损伤后会有一段时间失去意识,同时伴有失定向、意识混乱,以及情节记忆损伤等症状^[2]。脑损伤后记忆障碍是其后遗症中最常见的认知障碍之一,影响着康复全进程和患者的日常生活活动能力^[3]。主要的训练方法为直接训练和补偿方法,近年来随着电脑的普及与网络的发展,虚拟现实技术因为具有安全性和有趣性,能提供丰富的刺激,个性化设计,及时信息反馈,为记忆障碍的康复治疗提供了新的途径。在神经康复中,虚拟现实技术促进了患者从虚拟到现实的转换,提高了患者在现实生活中的记忆能力^[4-6]。

1 虚拟现实技术

1.1 虚拟现实的定义

虚拟现实(virtual reality, VR)是一种拥有多种感知觉(视觉、触觉、运动觉等)相互作用的3D体验界面,通过计算机产生一个类似现实的环境,让患者沉浸其中,有一种“身临其境”的感觉^[7-9]。

1.2 虚拟现实的特征

虚拟现实系统具有“3I”的特征,即Immersion、Interaction和Imagination(沉浸、交互和想象)。^①沉浸:是VR系统的核心,表示用户投入到由计算机生成的虚拟场景中,用户在虚拟场景中有身临其境之感。^②交互:表示用户与虚拟场景中各种对象相互作用,它是人机和谐的关键性因素。^③想象:VR不仅仅是一个用户与终端的接口,而且可使用户沉浸于此环境中获取新的知识,提高感性和理性认识,从而产生新的想象。

1.3 虚拟现实的分类

虚拟现实技术通常为3D的环境,可以根据沉浸的程度将其分为两种类型,分别为“沉浸式”和“非沉浸式”^[8]。在沉浸式的环境中,患者有强烈“身临其境”的感觉,他们可以通过头盔式或者大屏幕式的设备,观察在屏幕上显示的自己或者虚拟的化身。其装置为空间球、位置跟踪器、数据手套、立体眼镜等虚拟外设。然而,在非沉浸式的环境中,患者只能

和呈现在有或没有触屏装置的电脑显示屏上的环境,进行交互作用。其装置为键盘、鼠标、触摸屏等普通外设。“沉浸式”与“非沉浸式”相比沉浸性更好,患者“身临其境”的感觉更加强烈。但是,Price^[10]已经报告高达61%的参与者在沉浸式虚拟环境中会有不良反应,比如恶心、头痛、定向障碍,影响测试者在虚拟环境中的表现,并且“沉浸式”设备更加昂贵。所以根据具体条件,选择合适的设备是至关重要的。

2 虚拟现实技术在记忆评估中的运用

现在有许多标准的评估工具,评测记忆的不同方面。最常用的量表包括Wechsler记忆量表-改良版(Wechsler memory scale-revised),Rivermead行为记忆量表(Rivermead behavioral memory test, RBMT),成年人记忆和信息加工测试(the adult memory and information processing),识别记忆测试(the recognition memory test),门和人的测试(the doors and people test)。但是,这些传统的“纸和笔”的认知功能神经测试,常常被认为缺乏“生态效度”。而在虚拟的环境中,可以针对记忆的评估呈现一系列的认知任务,在这方面是超越了现在使用的传统评估方法^[11-13]。通过对虚拟的感知环境更好的控制,更多持续的刺激,以及更加精确的分数,增加了在虚拟环境中,记忆评估的可靠性。也可以通过在虚拟环境中更多离散的行为反应的量化,来增加其评估的有效性。患者可以沉浸在与现实环境相似的环境中,进行记忆评估。

Thomas等^[14]对虚拟现实认知评估测试(virtual reality cognitive performance assessment test, VRCPAT)和传统的神经心理评估测试的相关性进行了研究,通过运用多元分析方法后发现,在学习和记忆方面的分数,两者之间具有一致性,并且证实了VRCPAT在学习和记忆方面的评估具有聚合和区分效度。但是,在认知的其他领域(如:注意,执行功能,处理速度等),两者之间没有一致性。总结认为VRCPA是一个有效的测试,在虚拟的环境中提供了一个研究记忆功能可靠并有效的独特方法。

现在有许多关于如何通过综合神经心理测试到虚拟环境中,来评估患者的认知功能(例如:记忆、执行功能、注意)的研究^[15]。研究结果表明在虚拟环境中的测试表现和现实

DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2015.07.024

1 昆明医科大学第二附属医院康复医学科,653001; 2 通讯作者
作者简介:孟繁媛,女,硕士研究生; 收稿日期:2014-03-15

生活中的表现,有很强的一致性。另外,虚拟现实的评估能可靠地区分有认知功能损伤的患者和健康人,并和标准测试的准确性相似。在其中的一项研究中,Robert等^[11]对20个脑外伤患者(实验组)和20个健康人(对照组),让他们在虚拟办公室的环境中,通过学习和回忆16个目标项目,来评估他们的学习和记忆能力。结果显示,虚拟现实记忆测试可以准确地区分脑外伤患者和健康人,并且在脑外伤组中,没有记忆损伤的患者和健康组的人有相似的分值。现在的研究证明虚拟现实,对评估脑外伤患者的记忆和学习能力是有效的,并且证明了相比传统的标准神经测试,其有更好的生态效度。虽然一些研究支持标准的神经心理测试有预测价值,但是准确的预测功能可能因为低的生态效度而降低。标准神经心理测试具有较低的生态效度,主要由于传统临床测试不能给予测试者现实环境的丰富刺激,这影响了测试者的表现^[16]。为了加强神经心理测试的生态效度,其中的一种方法就是运用虚拟现实技术。虚拟现实技术使测试者沉浸和交互在一个类似现实的3D虚拟环境中,其测试结果会具有更好的生态效度。

目前,在康复环境中还没有一个综合的前瞻性记忆评估量表。相关性最强的量表是Rivermead行为记忆量表(RBMT),该量表评估了日常生活的记忆问题,但是只有大概两到三项跟前瞻性记忆相关。根据Shum和Valentine理论,一个综合性前瞻性记忆量表需要包括不同的三个部分:基于时间(time-based)、事件(event-based)、活动(activity-based)的前瞻性记忆内容。运用虚拟现实技术为评估前暂性记忆提供了新的媒介。Brooks等^[17]对脑卒中患者和年龄相仿的健康人,进行前瞻性记忆任务融入虚拟环境中的评估。虚拟的环境是四间平房,在测试中参与者需要完成搬家的任务,其中包括了基于时间、事件、活动的前瞻性记忆任务。研究结果显示相比对照组,脑卒中患者在基于事件和活动的前瞻性任务有严重的损伤,但是基于时间的前瞻性任务只有轻度损伤。这结果和Maylor的预测相反,根据Craig^[18]记忆随着年龄逐渐衰退的理论,Maylor^[19]认为前瞻性记忆会受年龄的影响,与年龄相关的损伤在基于时间的任务比事件任务损伤会更严重。在研究中发现,脑卒中组在RBMT评估中相比对照组前瞻性记忆没有损伤。但是,在基于虚拟现实的前瞻性任务评估中,脑卒中组显示了损伤。这说明了相比RBMT评估量表在前瞻性记忆中的评估,虚拟现实评估工具有更好的敏感性。近来更多的有关虚拟现实评估前瞻性记忆的研究,都证实了虚拟现实技术可以作为前瞻性记忆评估的工具^[20-21]。脑外伤TBI患者在虚拟现实中对对照组健康人完成前瞻性记忆任务需要更多时间,在完成过程中会有更多错误^[21]。虚拟现实技术补偿了传统神经测试的不足,可以敏感监测到患者在日常生活中的记忆问题。

3 虚拟现实技术对记忆障碍的康复机制和训练

3.1 虚拟现实对记忆障碍康复的机制

虚拟现实对记忆障碍患者的记忆功能的提高,分析其原因,可能是由于在丰富的环境刺激中,患者的大脑皮质增厚,树突分支增加,产生大量轴突和细胞体,使记忆功能逐渐恢复。Kim等^[22]报告认为,如果患者被VR丰富的环境刺激,多巴胺和胆碱能系统的神经递质激活被增加,最后提高了其注意和记忆的功能。Bo Ryun Kim等^[23]认为虚拟现实有趣的游戏和丰富的刺激,可以增加患者的积极性,导致程序性记忆能力的提高和大脑神经递质激活的增加,而程序记忆又可以帮助视空间记忆的提高。已有研究证明虚拟现实技术可以对人体的中枢神经系统产生影响,并且得到了功能性磁共振(fMRI)研究的进一步支持^[24]。

3.2 虚拟现实技术对记忆障碍的训练

目前,运用3D的虚拟现实技术,对记忆障碍训练的研究正在积极进行^[22,25-26]。注意障碍是认知障碍的基础,在进行记忆障碍训练之前,对同时具有注意障碍的患者进行注意训练是很重要的。Bo Ryun Kim等^[23]对28个脑卒中后认知障碍的患者,分为实验组和对照组进行研究,实验组接受虚拟现实和计算机认知治疗,对照组只接受计算机认知治疗,进行4周的训练,对治疗前后进行认知功能评估,结果发现实验组相比对照组在视觉注意和短期的视空间记忆有显著的提高。Ben-Yishay等^[27]认为注意功能是认知功能的基础,换言之,注意功能受损,会影响其他认知功能,如:记忆、执行功能等的康复,因此在认知功能康复中,需要把注意障碍的康复作为基础和优先的训练。而Kim的研究结果,证明了虚拟现实技术对注意和记忆障碍的康复有着双重的效果,在该情况下具有重要意义,对于脑卒中后同时具有注意和记忆障碍的患者,VR是全面、有效、更具经济效应的训练方法。

记忆根据时间可以分为回顾性记忆(retrospective memory, RM)和前瞻性记忆(prospective memory, PM),虽然回顾性记忆已经得到了广泛的研究,但是对于前瞻性记忆的报道还是较少。许多的研究者已经指出了前瞻性记忆在日常生活中的重要性^[28]。Fish^[29]和他同事运用提醒装置来补偿患者认知功能损伤,但是对前瞻性记忆的治疗中失败了。Wilson^[30]也已经指出对于脑损伤患者前瞻性记忆训练,运用补偿措施是困难的。所以,对于脑损伤患者PM的训练需要提供一个具有经济效益和生态效度,与现实环境相融的训练方法,而VR是一种可以达到以上所有要求的训练方法。PM包括了前瞻性和回顾性部分,回顾性部分可以帮助在未来执行任务之前意图的储存和检索^[31]。RM是认知过程的一部分对PM具有重要性,并且通过对脑外伤患者认知功能测试,发现RM和PM之间有明显的相关性。PM还和执行功能相关,因为执行功能会影响PM中活动任务的完成^[32]。香港理工大学

进行了基于虚拟现实的前瞻性记忆训练对脑损伤患者康复效果的研究^[33],训练内容还包括了前瞻性记忆、回顾性记忆和执行功能的训练。最后结果显示基于虚拟现实技术进行前瞻性训练的患者,不仅在虚拟环境中,而且在现实环境里前瞻性记忆结果评估都具有明显的改善。PM已经被广泛认为是依赖大脑额叶的功能^[34]。Kalpouzos等^[35]结合fMRI,虚拟现实(VR),眼球捕捉,口头报告等技术,研究测试者在虚拟现实环境中进行前瞻性任务时,呈现在大脑不同神经认知区域的动态变化。研究者把前瞻性记忆任务(例如,购买热狗肠)分为5个循环期进行研究,最后建立了一个前瞻性记忆动态模型(PRSpective MEMy DYnamic, PROMEDY),该模型显示了大脑在不同循环阶段活跃区的动态改变和不同神经认知网络的相互作用。该模型可以在未来对正常和受损的前瞻性记忆的研究提供基础。

虚拟现实技术也运用于情节性记忆的训练,Plancher等^[36]通过运用虚拟现实技术,来研究是否环境因素可以影响轻度遗忘症和阿尔茨海默病患者情景记忆的编码过程。之前的研究已经证实,在虚拟环境中积极的探索可以增强年轻测试者空间信息的回忆能力。在该项研究中的数据也表明对轻度遗忘症和阿尔茨海默病的患者,在积极的环境探索后,也更加能够检索中心和非自我空间的信息。通过模拟开车来进行空间信息的编码,加强参与者的空间检索。这种通过活动获取信息的记忆好处是它可以在活动中进行编码。研究人员表示这个好处主要是由于启动了程序性记忆^[37]。研究表明阿尔茨海默病患者通过内隐和程序性方法进行学习时表现会更好^[38]。在虚拟环境中积极探索后,空间环境的记忆轨迹被加强,所以有关的信息更加容易检索。其他研究也证实了海马是巩固了不同信息相互联系的结构^[39]。在情节记忆训练中进行积极的信息编码是非常重要的,应该鼓励患者在日常生活中通过活动进行积极的信息编码。而虚拟现实技术为患者进行活动编码,提供了一个多种感知觉刺激和自我沉浸的环境。

脑损伤的患者具有空间认知障碍,他们的空间记忆能力下降,影响了日常生活,但是目前还缺少明确的导航技术或者空间能力训练的方法^[40]。运用虚拟导航任务可以为空间障碍的患者,提供一个有效和具有生态效度的康复方法^[41-42]。其中Caglio等^[41]运用3D的虚拟游戏对脑损伤患者进行导航训练,对训练前后进行神经认知功能评估,并运用功能性磁共振(fMRI)观察大脑区域激活的改变。结果发现通过虚拟导航训练,患者的空间记忆能力在训练后有提高,并维持了1年的随访期。fMRI显示了虚拟导航记忆训练,在记忆过程中增加了海马和海马旁回区域的激活。在虚拟环境中进行导航训练,导航的路线更容易实现,实验者可以监控测试者的操作过程,可以对其错误及时纠正,进行无错性学习。患

者可以不因身体障碍的限制,而不能进行导航任务。在训练过程也可以不被现实中的意外事情而打扰患者进行导航训练。

4 讨论及展望

虚拟现实技术在记忆康复中的运用相比传统的方法具有明显的优点,它可以模拟许多现实的环境或者假想的情节,因此可以提供更具生态效度、准确性、动态性的评估和治疗。然而,VR在记忆障碍领域的运用还处于初级阶段,较好的虚拟现实设备还较昂贵,系统的交互性还不是很好,运用不够广泛,这些都是未来需要突破的难题。将来还要加强结合功能性磁共振fMRI,对虚拟环境记忆训练时参与者大脑激活的研究,从而进行更加直接的训练。不久的将来虚拟现实技术会成为在记忆障碍各个方面运用广泛的技术。

参考文献

- [1] Velayudhan L, Ryu SH, Raczek M, et al. Review of brief cognitive tests for patients with suspected dementia[J]. Int Psychogeriatr, 2014, 3:1—16.
- [2] Vandborg SK, Hartmann TB, Bennedsen BE, et al. Memory and executive functions in patients with obsessive-compulsive disorder[J]. Cogn Behav Neurol, 2014, 3:8—16.
- [3] Cernich AN, Kurtz SM, Mordecai KL, et al. Cognitive rehabilitation in traumatic brain injury[J]. Current Treatment Options in Neurology, 2010, 12:412—423.
- [4] Okahashi S, Seki K, Nagano A, et al. A virtual shopping test for realistic assessment of cognitive function[J]. Neuroeng Rehabil, 2013, 10(1):59.
- [5] Kelly JW, Avraamides MN, Loomis JM. Sensorimotor alignment effects in the learning environment and in novel environments[J]. Exp Psychol Learn Mem Cogn, 2007, 33:1092—1107.
- [6] Subramanian S, Knaut LA, Beaudoin C, et al. Enhanced feedback during training in virtual versus real world environments[J]. Virtual Rehabilitation 2007. Available at: 1-4244-1204-8/07/\$25.00@2007 IEEE: 8—13.
- [7] Broeren J, Claesson L, Goude D, et al. Virtual rehabilitation in an activity centre for community-dwelling persons with stroke: The possibilities of 3-dimensional computer games[J]. Cerebrovasc Dis, 2008, 26:289—296.
- [8] Henderson A, Korner-Bitensky N, Levin M. Virtual reality in stroke rehabilitation: A systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery[J]. Top Stroke Rehabilitation, 2007, 14(2):52—61.
- [9] Crosbie JH, Lennon S, Basford JR, et al. Virtual reality in stroke rehabilitation: Still more virtual than real[J]. Disabil Rehabilitation, 2007, 29(14):1139—1146.
- [10] Regan EC, Price KR. The frequency of occurrence and severity of side-effects of immersion virtual reality. Aviation[J]. Space and Environmental Medicine, 1994, 65, 527—530.
- [11] Matheis RJ, Schultheis MT, Tiersky LA, et al. Is learning and memory different in a virtual environment[J]? Clin Neuropsychol, 2007, 21: 146—161.

- [12] Grewe P, Lahr D, Kohsik A, et al. Real-life memory and spatial navigation in patients with focal epilepsy: ecological validity of a virtual reality supermarket task[J]. *Epilepsy Behav*, 2014,2(31):57—66.
- [13] Dores AR, Barbosa F, Marques A, et al. Virtual reality and rehabilitation: why or why not? A systematic literature review[J]. *Acta Med port*, 2012,25(6):414—421.
- [14] Parsons TD, Rizzo AA. Initial validation of a virtual environment for assessment of memory functioning: virtual reality cognitive performance assessment test[J]. *Cyber Psychology & Behavior*, 2008,11:17—25.
- [15] Canty AL, Fleming J, Patterson F, et al. Evaluation of a virtual reality prospective memory task use with individuals with severe traumatic brain injury[J]. *Neuropsychol Rehabil*, 2014,24(2):238—265.
- [16] De Leo G, Diggs LA, Radici E, et al. Measuring sense of presence and user characteristics to predict effective training in an online simulated virtual environment[J]. *Simul Health*, 2014,9(1):1—6.
- [17] Brooks BM, Rose FD, Potter J, et al. Assessing stroke patients prospective memory using virtual reality[J]. *Brain Injury*, 2004, 18(4): 391—401.
- [18] Craik FI. A functional account of age differences in memory. In: F. Klix and H. Hagendorf (editors) *Human Memory and Cognitive Capabilities*[J]. Mechanisms and Performances(Amsterdam: Elsevier), 1986.409—422.
- [19] Maylor EA: Does prospective memory decline with age? In: Brandimonte M, Einstein GO and McDaniel MA (editors) *Prospective Memory: Theory and Applications*(Hillsdale: Lawrence Erlbaum), 1996.173—197.
- [20] Sweeney S, Kersel D, Morris RG, et al. The sensitivity of a virtual reality task to planning and prospective memory impairments: Group differences and the efficacy of periodic alerts on performance[J]. *Neuropsychological Rehabilitation*, 2010, 20(2): 239—263.
- [21] Banville F, Nolin P, Lalonde S, et al. Multitasking and prospective memory: Can virtual reality be useful for diagnosis [J]? *Behavioural Neurology*, 2010, 23:209—211.
- [22] Kim MY, Lee KS, Choi JS, et al. Effectiveness of cognitive training based on virtual reality for the elderly[J]. *Korean Acad Rehab Med*, 2005,29: 424—433.
- [23] Kim BR, Chun MH, Kim LS, et al. Effect of virtual reality on cognition in stroke patients[J]. *Ann Rehabil Med*, 2011, 35:450—459.
- [24] You SH, Jang SH, Kim YH, et al. Virtual Reality-induced cortical reorganization and associated locomotor recovery in chronic stroke: An experimenter-blind randomized study[J]. *Stroke*, 2005,36, 1166—1171.
- [25] Plancher G, Tirard A, Gyselinck V, et al. Using virtual reality to characterize episodic memory profiles in amnesic mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: influence of active and passive encoding[J]. *Neuropsychologia*, 2012,50(5):592—602.
- [26] Saidel-Goley IN, Albiero EE, Flannery KA. An evaluation of nonclinical dissociation utilizing a virtual environment shows enhanced working memory[J]. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, 2012,15(2):112—116.
- [27] Ben-Yishay Y, Piasetsky EB, Rattock J. A systematic method for ameliorating disorders in basic attention. In: Meier MJ, Benton AL, Diller L, Editors. *Neuropsychological rehabilitation*, 1st ed. New York: Churchill Livingstone, 1987.165—181.
- [28] Huang J, Fleming J, Pomery NL, et al. Perceived importance of prospective memory failures in adults with traumatic brain injury[J]. *Neuropsychol Rehabil*, 2014,24(1):61—70.
- [29] Fish J, Evans JJ, Nimmo M, et al. Rehabilitation of executive dysfunction following brain injury: Content-free cueing improves everyday prospective memory performance[J]. *Neuropsychologia*, 2007,45, 1318—1330.
- [30] Wilson BA, Watson PC. A practical framework for understanding compensatory behavior in people with organic memory impairment[J]. *Memory*, 1996,4:465—486.
- [31] Foster ER, Rose NS, McDaniel MA, et al. Prospective memory in Parkinson disease during a virtual week: effects of both prospective and retrospective demands[J]. *Neuropsychology*, 2013, 27 (2):170—181.
- [32] Bonazzaoui B, Angel L, Fay S, et al. Does the greater involvement of executive control in memory with age act as a compensatory mechanism[J]? *Exp Psychol*, 2014,68(1): 59—66.
- [33] Yip BC, Man DW. Virtual reality-based prospective memory training program for people with acquired brain injury [J]. *Neuro Rehabilitation*, 2013,32,103—115.
- [34] Cheng HD, Wang K, Xi CH, et al. Prefrontal cortex involvement in the event-based prospective memory: Evidence from patients with lesions in the prefrontal cortex[J]. *Brain Injury*, 2008, 22, 697—704.
- [35] Kalpouzos G, Eriksson J, Sjolie D, et al. Neurocognitive systems related to real-world prospective memory[J]. *Plos One*, 2010, 5(10):e13304.
- [36] Plancher G, Tirard A, Gyselinck V, et al. Using virtual reality to characterize episodic memory profiles in amnesic mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: influence of active and passive encoding[J]. *Neuropsychologia*, 2012,50:592—602.
- [37] Pennartz CM, Ito R, Verschure PF, et al. The hippocampal-striatal axis in learning, prediction and goal-directed behavior[J]. *Trends in Neurosciences*, 2011, 34: 548—559.
- [38] Beaunieux H, Eustache F, Busson P, et al. Cognitive procedural learning in early Alzheimer's disease: impaired processes and compensatory mechanisms[J]. *Neuropsychol*, 2012,6(1):31—42.
- [39] Atienza M, Atalaia-Silva KC, Gonzalez-Escamilla G, et al. Associative memory deficits in mild cognitive impairment: The role of hippocampal formation[J]. *NeuroImage*, 2011, 57:1331—1342.
- [40] Koenig ST, Crucian GP, Dalrymple-Alford JC, et al. Virtual reality rehabilitation of spatial abilities after brain damage [J]. *Stud Health Technol Inform*, 2009,144:105—107.
- [41] Caglio M, Latini-Corazzini L, D'Agata F, et al. Virtual navigation for memory rehabilitation in a traumatic brain injured patient[J]. *Neurocase*, 2012, 18(2) : 123—131.
- [42] Kober SE, Wood G, Hofer D, et al. Virtual reality in neurologic rehabilitation of spatial disorientation[J]. *Neuro Engineering and Rehabilitation*, 2013, 10: 17.