

· 综述 ·

虚拟现实技术及其在康复医学中的应用进展

李红玲

虚拟现实技术通过 20 多年的研究探索,于 20 世纪 80 年代末走出实验室,开始进入实用化阶段。目前,世界上发达国家在经济、艺术、教育,乃至军事等领域,已开始广泛应用这种高新技术,并取得了显著的综合效益。虚拟现实技术在康复医学领域的应用,近年也越来越受到关注,现将其应用进展综述如下。

概述

一、定义

虚拟现实的英文为 Virtual Reality, 简称为“VR”(译作灵境、幻真),这一名词是由美国 VPL 公司创始人拉尼尔(Jaron Lanier)在 20 世纪 80 年代初提出的,也称灵境技术或人工环境^[1]。虚拟现实中的“现实”是泛指在物理意义上或功能意义上存在于世界上的任何事物或环境,它可以是可实现,也可以是难以实现的或根本无法实现的。而“虚拟”则是指用计算机生成的意思。因此,虚拟现实是指用计算机生成的一种特殊环境,人可以通过使用各种特殊装置将自己“投射”到这个环境中,并操作和控制环境,实现特殊的目的,即人是这种环境的主宰。

二、VR 技术的构成

VR 技术主要包括 3 种^[2]:①三维计算图形技术;②高清晰度和高更新速度的显示技术;③采用多功能传感器的交互式接口技术。借助这些技术让使用者产生身临其境的感受。

三、VR 的特点

与传统的信息系统相比,VR 系统属于一种新型多维化人机和谐的信息系统。在此种 VR 系统内,人们感受到的最突出的特点是其沉浸性、交互性和构想性^[3]。沉浸性(immersion)是指用户对虚拟世界中的逼真感,此种逼真感将使用户难以觉察、分辨出其自身正处于一个由计算机生成的虚拟环境;交互性(interaction)是指用户对虚拟世界中的物体的可操作性;构想性(imagination)是指用户在虚拟世界的多维信息空间中,依靠自身的感知和认知能力可全方位地获取知识,发挥主观能动性,寻求对问题的完美解决。

虚拟现实技术在康复医学中的应用

可视化虚拟康复疗法由 Wann 和 Turnbull 于 1993 年首次提出^[4],他们通过调查发现,传统的生物反馈方法受到太多的限制,而且不能较好地转换为功能性任务;因此,他们开始使用计算机增强疗法,即为患者提供一个虚拟环境,利用一个计算机生成的世界让患者看见其自身执行功能任务,获得了良好的效果。可视化虚拟康复的概念由此应运而生,也被称为计算机辅助疗法。可视化康复计划可以让患者更清楚地了解治疗过程,并使患者更易于接受治疗,也节约了治疗师的时间,而且虚拟现实技术目前在心血管病、脑血管病、脑外伤等多种疾病康复方面已取

得了一定效果^[5-9]。

一、作用机制及优越性

VR 用于康复治疗的作用机制主要是重复、反馈和动机三个关键环节^[1]。反复练习是学会一项技能的首要因素,但仅仅不断重复练习是不够的,还必须逐步获得成功的反馈和体验。视觉和本体感觉所提供的反馈,可以不断强化练习者在练习过程中的正确行为,维持练习者的动机水平和积极性,并获得愉快的成功体验,促使其不断地练习直至习得该行为。VR 提供了重复练习、成绩反馈和维持动机这 3 个关键要素的技术手段。VR 用于康复训练的优势如下^[8-11]:①可以使患者能以自然方式与具有多种感官刺激的虚拟环境中的对象进行交互;②比教练员更有耐心和一致性,患者可以根据自己的情况反复观察模仿练习;③减少在真实环境中由错误操作导致的危险;④可以提供多种形式的反馈信息,使枯燥单调的运动康复训练过程更轻松、更有趣和更容易;⑤VR 允许用户进行个性化设置,将运动训练、心理治疗及功能测评有机地结合起来,针对患者个人的实际情况制定恰当的康复训练计划;⑥由于虚拟环境与真实世界的高度相似性,在虚拟环境中习得的运动技能能更好地迁移到现实环境中。

二、临床应用及疗效

VR 技术已经被广泛应用于康复治疗的各个方面,如在注意力缺陷、空间感知障碍、记忆障碍等认知功能障碍的康复治疗,焦虑、抑郁、恐怖等情绪障碍和其他精神疾患的康复治疗,以及运动不能、平衡协调性差和舞蹈症等运动障碍的康复治疗等方面都取得了很好的疗效^[7]。

(一)运动康复训练

1. 平衡和协调训练:最早用于平衡训练的 VR 系统,是由一辆固定的自行车和提供 VR 环境的 VR 平面显示器组成。研究发现在虚拟视觉空间里,经过一段时间的骑行训练后,患者保持姿势平衡的控制水平明显提高^[12]。虽然该训练技术相对安全,但还存在一些问题,如自行车运动和视觉、听觉等线索信息不匹配。近年来采用 Vivid Group 的 GX 或 IREX 系统视频俘获技术的虚拟现实平面显示器和头盔显示器(helmet-mounted displays, HMD),也被广泛用于呈现三维的动态视觉环境。Kizony 等^[13]运用该技术对 13 例脊髓损伤的截瘫患者进行平衡训练,通过对患者反应的正确率和反应时进行测定,发现患者协调能力有所提高;该系统能同时呈现用户影像和虚拟环境的视觉信息,允许用户和虚拟环境中的物体进行交互,使患者获得高度的沉浸感和参与体验。

Cikajlo 等^[14]应用 VR 为基础的任务对动态站立架支撑平衡训练进行了初步研究,同时,也研究对比了临床环境中平衡训练与物理治疗师和康复医师能够追踪随访到的远程方法治疗的疗效。研究提示,远程 VR 支持的平衡训练方法可以改善脑卒中患者的平衡功能,而且与常规临床环境中的平衡训练效果类似。如果在家中继续这种平衡训练不仅可以减少患者复诊的次

数,降低有关费用,而且能够使更多的患者受益。

2. 行走及步态训练:脑卒中偏瘫患者常出现身体的前倾运动感,从而导致站立姿势和步态的不协调。虚拟现实设备 Gait-Master2(GM2)通过提供各种虚拟地形环境的视觉空间^[15],可明显改善患者的行走速度、步幅长度、持续行走的距离、单腿支撑时间和步态协调性等,并可提高腿部肌肉活性^[15]。

VR 技术不仅可以增强亚急性脑卒中患者在机器人辅助步态训练中的主动参与控制能力^[16],还有助于帕金森病患者借助外部视觉线索训练,达到改善其持续行走能力的目的^[17]。

3. 上下肢运动康复训练:Holden 等^[18]最先成功运用 VR 对脑卒中后的患者进行运动康复训练,他们开发了一套虚拟康复系统(大约有 20 个虚拟的训练场景,每个场景又包含多种难度水平),通过模仿学习虚拟老师的动作,使患者有意识地习得各种肢体运动,从而加快康复进程。

Crosbie 等^[19]的前瞻性随机对照研究结果证实,VR 辅助治疗与常规治疗方法相比是可行的,在功能恢复和结果评估上都有改善,而且治疗中不良反应很少。

虚拟环境强化反馈(Reinforced feedback in virtual environment, RFVR)疗法是康复中的创新方法,对脑卒中后上肢功能恢复治疗很有益处。Kiper 等^[20]将 RFVR 技术与传统神经运动康复(Traditional neuromotor rehabilitation, TNR)疗法进行比较,结果显示,RFVE 疗法结合 TNR 较单用 TNR 疗法能更好地改善脑卒中后患者的上肢功能。

颅脑损伤会导致上肢和姿势(躯干和下肢)之间的中枢执行机制的协调性紊乱。Ustinova 等^[21]开发了 3D 沉浸式可视游戏——“章鱼”,研究结果显示,参与者在游戏完成、上肢运动时间和精确度上都有改善,支持使用定制的 3D 游戏再训练对颅脑损伤后上肢姿势协调紊乱的可行性。Burdea 等^[22]开发的脚踝关节运动控制康复训练程序,即在虚拟飞行任务中,患者将脚放在与设备(6 个自由度活动与反馈)相连的踏板上,训练利用脚驾驶虚拟飞机的运动控制能力。他们的几项研究都发现,利用 VR 技术能提高患者脚踝运动功能的康复速度。

国内将 VR 技术应用于运动康复也进入了实践阶段^[23-25],如河北工业大学自主研制了利用 VR 和外骨骼技术进行手臂外骨骼康复治疗方案的方案,清华大学研制的虚拟健身车能以自行车骑行方式训练和恢复受损的下肢运动功能,上海大学机器人实验室研制的上肢虚拟训练平台等。

(二) 日常生活行为康复训练

VR 技术在模拟真实生活场景,提供日常生活技能训练方面具有不可比拟的优越性^[26]。Guidali 等^[27]提出一种能够结合机器人辅助支持 ADL 的康复系统,在虚拟环境中跟随计算机程序学习诸如倒茶、烹饪、打扫、购物等日常行为,不仅可以保证训练指导的一致性,并能降低错误操作导致的危险。

Lee 等^[28]开发的虚拟超市以及 Tam 等^[29]开发的虚拟超市中购物的程序等,均可提高患者按照清单采购商品的能力。Fong 等^[30]研制的非沉浸式 VR 模拟自动柜员机(automatic teller machine, ATM)可以作为一种有效地评价和训练获得性脑损伤患者在真实生活中学习使用 ATM 的工具。新近设计的基于社区生活技巧的 VR 技术^[31]对获得性脑损伤患者同样实用和有效。

(三) 认知功能训练

应用 3D 电子游戏在记忆康复方面的开发应用很少。虚拟

航行是一种允许参与者编码环境的空间安排,并能激活记忆程序区域。Caglio 等^[32]利用此技术进行研究,结果提示,强化航行训练可以改善成人脑损伤患者的记忆功能。

Larson 等^[33]要求急性住院康复期颅脑损伤患者(18 例,19~73 岁),连续 2 d 在虚拟环境中完成 3D 删除训练,此环境可以将干扰降低到最小,并将视觉和触觉刺激整合在一起。研究提示,应用虚拟环境进行注意训练有较好的耐受性和迷人性,对严重颅脑损伤的患者有益。

Bart 等^[34]和 Sveistrup 等^[35]研究显示,视觉捕获 VR 技术对儿童脑瘫、老年颅脑损伤患者的康复过程有促进作用。VR 训练不仅可以改善脑卒中偏瘫患者的空间忽略和空间感知记忆功能,而且还有益于创伤性脑损伤患者的康复^[36-38]。

(四) 轮椅使用

开发和验证轮椅虚拟驱动环境可以提供定量评测驾驶能力、提供驾驶员训练以及评测选择性控制。Spaeth 等^[39]设计虚拟驱动环境,将轮椅图标显示在一台 2 寸的鸟瞰显示器中,配有一逼真的转向器和惯性,结果显示,带有仪表的真实轮椅试验能证实虚拟驾驶环境和虚拟驾驶技术能替代真实的驾驶。

(五) 评定作用

创伤性脑损伤(trumatic brain injuries, TBI)经常会影响到真实环境下的导航功能。这些探路缺陷似乎是由于基本导航认知过程中断或破坏(依次是海马和额叶损伤)所致。Livingstone 等^[40]对 TBI 后的导向定位问题通过水迷宫(morris water maze)虚拟刺激来进行研究。标准的海马功能实验:在一个虚拟大房间中放置一个大的平台,房间四壁是自然风景。结果显示,由于其能够形成、记忆或使用认知地图,从而对评定 TBI 后导航能力损伤提供更多的证据。但轻度 TBI 没有明显的外部特征,因此需要一种创新性评测技术。这种技术超越了传统的纸和笔检测,而是使用自动化认知评测以增加精确度和有效性。虚拟环境技术的应用可以提高生态学上有效性和功能评估。VR 斯特鲁普效应任务(virtual reality stroop task, VRST),即受试者专注于一台虚拟的悍马牌车辆,任务刺激显示在挡风玻璃上。Parsons 等^[41]的研究显示,最初作为评价神经认知功能的 VR 任务,当与纸和笔的测试以及自动化神经心理评估任务指标版本对比时,VRST 可更好地显示出参与者沉浸于某种军事模拟训练时控制优势反应的能力和反应的时间。

VR 应用于感知运动康复的优势和展望

实验研究和临床资料显示,利用 VR 进行各种康复训练具有现实世界的真实环境所不具备的优势,还可以有效地解决传统康复训练方法的局限性。目前,VR 还是一门崭新的科学技术,尚存在不少有待解决的问题,随着 VR 技术本身的不断进步以及该技术在康复治疗领域的不断推广和深入,它必将带来一场影响深远的康复训练革命,并推动康复训练技术日臻完善。

参 考 文 献

- [1] 杨颂,贾敏锐. 基于虚拟现实的现场监控系统的实现. 自动化仪表, 2000, 21: 7-9.
- [2] 赵春霞,王树国,蔡鹤皋,等. 虚拟现实的发展及其在机器人系统中的应用. 机器人, 1999, 5: 395-398.
- [3] Holden M. Virtual environments for motor rehabilitation: review. Cyber-

- psychol Behav, 2005, 8:187-211.
- [4] Wann JP, Turnbull JD. 大脑性瘫痪中的运动技能学习:运动、行动和计算机增强疗法. 万方数据神经学期刊, 1993, 2:15-28.
 - [5] Voelker W, Maier S, Lengenfelder B, et al. Improved quality of coronary diagnostics and interventions by virtual reality simulation. Herz, 2011, 36:430-435.
 - [6] 徐丽丽, 吴毅. 虚拟现实技术在脑卒中患者手功能康复中的应用. 中华物理医学与康复杂志, 2007, 29:136-137.
 - [7] Rizzo AA, Schultheis M, Kems KA, et al. Analysis of assets for virtual reality applications in neuropsychology. Neuropsychol Rehabil, 2004, 14:207-309.
 - [8] Lange BS, Requejo P, Flynn SM, et al. The potential of virtual reality and gaming to assist successful aging with disability. Phys Med Rehabil Clin N Am, 2010, 21:339-356.
 - [9] 周柳, 王英华, 刘强, 等. 虚拟现实技术在运动康复中的应用. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11:957-960.
 - [10] Myer RL, Laenger CJ, Myers RL, et al. Virtual reality in rehabilitation. Disabil Rehabil, 1998, 20:111-112.
 - [11] Rose FD, Attree EA, Brooks BM, et al. Training in virtual reality environments: transfer to real world tasks and equivalence to real task training. Ergonomics, 2000, 43:494-511.
 - [12] Kim NG, Yoo CK, Im JJ. A new rehabilitation training system for postural balance control using virtual technology. IEEE Trans Rehabil Eng, 1999, 7:482-485.
 - [13] Kizony R, Raz L, Katz N, et al. Video-capture virtual reality system for patients with paraplegic spinal cord injury. J Rehabil Res Dev, 2005, 42:595-608.
 - [14] Caglio M, Latini-Corazzini L, D'Agata F, et al. Virtual navigation for memory rehabilitation in a traumatic brain injured patient. Neurocase, 2012, 18:123-131.
 - [15] Yano H, Kasai K, Saitou H, et al. Development of a gait rehabilitation system using a locomotion interface. J Visual Comput Animat, 2003, 14:243-252.
 - [16] Bergmann J, Krewer C, Müller F, et al. Virtual Reality to control active participation in a subacute stroke patient during robot-assisted gait training. IEEE Int Conf Rehabil Robot, 2011:5975407.
 - [17] Albani G, Pignatti R, Bertella L, et al. Common daily activities in the environment: a preliminary study in Parkinson patients. Neurol Sci, 2002, 23:49-50.
 - [18] Holden M, Dyar T. Virtual environment training: a new tool for rehabilitation. Neurology Report, 2002, 26:62-71.
 - [19] Crosbie JH, Lennon S, McGoldrick MC, et al. Virtual reality in the rehabilitation of the arm after hemiplegic stroke: a randomized controlled pilot study. Clin Rehabil, 2012, 26:798-806.
 - [20] Kiper P, Piron L, Turolla A, et al. The effectiveness of reinforced feedback in virtual environment in the first 12 months after stroke. Neurol Neurochir Pol, 2011, 45:436-444.
 - [21] Ustinova KI, Leonard WA, Cassavaugh ND, et al. Development of a 3D immersive videogame to improve arm-postural coordination in patients with TBI. J Neuroeng Rehabil, 2011, 8:61.
 - [22] Deutsch JE, Latonio J, Burdea GC, et al. Post-stroke rehabilitation with the Rutgers Ankle System: a case study. Presence, 2001, 10:416-430.
 - [23] 岳红, 王小龙, 张娟. 虚拟现实在手臂骨骼康复系统中的应用. 科技通报, 2006, 22:112-114.
 - [24] 黄靖远, 刘宏增, 李海燕, 等. “虚拟现实”康复工程前景初探. 生物医学工程学杂志, 1999, 16:203-208.
 - [25] 李成梁, 赵翠莲, 胡世东, 等. 一种支持代偿运动识别的上肢虚拟现实实训练方法. 中国康复医学杂志, 2012, 27:732-737.
 - [26] Standen PJ, Brown DL. Virtual reality in the rehabilitation of people with intellectual disabilities: review. Cyberpsychol Behav, 2005, 8:272-282.
 - [27] Guidali M, Duschau-Wicke A, Broggi S, et al. A robotic system to train activities of daily living in a virtual environment. Med Biol Eng Comput, 2011, 49:1213-1223.
 - [28] Lee JH, Ku J, Cho W, et al. A virtual reality system for the assessment and rehabilitation of the activities of daily living. Cyberpsychol Behav, 2003, 6:383-388.
 - [29] Tam ST, Man DW, Chan YP, et al. Evaluation of a computer-assisted, 2-D virtual reality system for training people with intellectual disabilities on how to shop. Rehabil Psychol, 2005, 50:285-291.
 - [30] Fong KN, Chow KY, Chan BC, et al. Usability of a virtual reality environment simulating an automated teller machine for assessing and training persons with acquired brain injury. J Neuroeng Rehabil, 2010, 7:19.
 - [31] Yip BC, Man DW. Virtual reality (VR)-based community living skills training for people with acquired brain injury: a pilot study. Brain Inj, 2009, 23:1017-26.
 - [32] Caglio M, Latini-Corazzini L, D'Agata F, et al. Virtual navigation for memory rehabilitation in a traumatic brain injured patient. Neurocase, 2012, 18:123-131.
 - [33] Larson EB, Ramaiya M, Zollman FS, et al. Tolerance of a virtual reality intervention for attention remediation in persons with severe TBI. Brain Inj, 2011, 25:274-281.
 - [34] Bart O, Agam T, Weiss PL, et al. Using video-capture virtual reality for children with acquired brain injury. Disabil Rehabil, 2011, 33:1579-1586.
 - [35] Sveistrup H, Thornton M, Bryanton C, et al. Outcomes of intervention programs using flatscreen virtual reality. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2004, 7:4856-4858.
 - [36] Kim YM, Chun MH, Yun GJ, et al. The effect of virtual reality training on unilateral spatial neglect in stroke patients. Ann Rehabil Med, 2011, 35:309-15.
 - [37] Rose FD, Brooks BM, Attree EA, et al. A preliminary investigation into the use of virtual environments in memory retraining after vascular brain injury: indications for future strategy. Disabil Rehabil, 1999, 21:548-554.
 - [38] Rábago CA, Wilken JM. Application of a mild traumatic brain injury rehabilitation program in a virtual reality environment: a case study. J Neurol Phys Ther, 2011, 35:185-193.
 - [39] Spaeth DM, Mahajan H, Karmarkar A, et al. Development of a wheelchair virtual driving environment: trials with subjects with traumatic brain injury. Arch Phys Med Rehabil, 2008, 89:996-1003.
 - [40] Livingstone SA, Skelton RW. Virtual environment navigation tasks and the assessment of cognitive deficits in individuals with brain injury. Behav Brain Res, 2007, 11:185-21-31.
 - [41] Parsons TD, Courtney CG, Arizmendi B, et al. Virtual reality stroop task for neurocognitive assessment. Stud Health Technol Inform, 2011, 163:433-439.

(修回日期:2013-03-26)

(本文编辑:汪玲)