

虚拟现实技术在脑卒中步态康复应用

赫万佳¹ 危昔均^{1,2}

1. 阿凡达康复科技（深圳）有限公司
2. 南方医科大学深圳医院康混合现实康复实验室

作者简介：赫万佳，物理治疗师、博士； 危昔均，作业治疗师、博士、博士后

脑卒中是成人残疾最常见的原因之一，其患病率随着人口老龄化而增加，约四成的患者在5年后未能恢复。大多数患者存在不同程度运动功能障碍，严重影响患者生活质量，也给家庭和社会带来巨大经济负担^[1-3]。脑卒中后下肢功能障碍往往影响患者生活质量，其中平衡障碍是脑卒中后最普遍的下肢运动功能障碍，而平衡功能差是导致跌倒风险增加的首要原因^[4]，改善步态也成为脑卒中后康复的首要目标^[5]。传统的康复治疗技术对于脑卒中病人步态康复效果有限，虚拟现实技术作为一种新的康复技术，开始运用于脑卒中病人康复治疗中，步态异常是脑卒中后康复训练的重点和难点，虚拟现实技术 (virtual reality, VR) 作为一种较新的康复训练方法，在解决这一难题上发挥着它独特的优势。

1. 虚拟现实技术在脑卒中康复中应用

可视化虚拟康复疗法由 Wann 和 Turnbull 于 1993 年首次提出^[6]。相比于传统的康复疗法，VR 技术可以让患者直观地看到自己在执行的操作，通过身临其境的虚拟环境体验，加强对训练动作的强化认知。VR 优越性主要体现在重复、反馈和动机三个关键环节上。重复是学习强化过程的必要手段，积极的反馈，包括 VR 技术中的激励条件，可以给患者训练体验带来正向的驱动力量，给患者更强烈的沉浸感。此外，明确的动机可以让患者在长时间的训练过程中，分化所要实现的目标，逐渐营造循序渐进的训练程序。随着虚拟现实技术的不断发展，软件及硬件的逐步完善，其越来越多地应用于医疗事业中。虚拟现实技术被引入脑卒中患者的评估及康复治疗，开创了康复医学治疗的一个新时代。与传统的康复方法相比，虚拟现实技术具有可以创造更真实的场景、可提供特定任务的重复训练、有更强的参与感等优点^[7-8]。虚拟现实在脑卒中康复中的应用主要包括脑卒中患者步态、上肢运动功能、平衡功能及认知功能的康复治疗^[9]。

2. 虚拟现实技术在步态康复中的应用

脑卒中偏瘫患者步态异常，通常表现为步长缩短、不对称，步速缓慢以及步频减小。VR能够模拟现实环境，给患者提供一种行于真实世界的感觉，患者也能够模拟步行于城市道路、公园以及商店等。目前研究表明，VR在改善脑卒中患者步态方面有效^[10-12]。与非VR行走干预相比，基于VR的训练能将步行速度有统计学意义的提高，这证实VR相关步行训练在增加脑卒中后的步行速度方面有显著作用^[13]。研究采用VR结合康复机器人对脑梗死患者进行步态功能训练，训练结束后Fugl-Meyer下肢运动功能评分显示VR的患者的得分提高^[14]。Shema等^[15]使用VR训练患者，5周后，患者2min步行测试以及四方步测试(Four Square Step Test, FSST)成绩均有提高。陈佩顺等^[16]进行随机对照试验，治疗组除给予常规康复训练，还进行VR训练，4周后发现，结合VR训练的患者运动能力、步行功能以及日常生活活动能力均比仅接受传统训练的患者有明显改善。

2.1 基于VR的步态康复训练

VR任务：根据沉浸程度，有不同类型的虚拟环境^[17]。第一类，非沉浸式VR，由计算机生成投影在屏幕上或患者面前墙壁上的环境；第二类，半沉浸式VR或增强现实，将虚拟图像叠加到真实图像上，增加真实图像的信息内容；第三类，身临其境的VR，其中观众是环境的一部分。比如，头戴式显示器(HMD)，这是一种带有头盔的设备，可在计算机内提供图像，作为一种独特的视觉刺激。

训练剂量：大多数研究使用持续40-60分钟的训练时间，也有一些研究采用了较短(20分钟)的训练时间^[18-21]。训练频率从每周2-5次不等，总训练时长持续2-8周。因此，整个VR干预显示出2到22小时之间的广泛变化。典型的训练剂量包括持续40-60分钟的训练，每周3-5次，持续3-6周。

反馈：除了从虚拟环境中感知到的明显的内在视觉反馈外，在一些研究中还操纵了额外的内在听觉、体感或本体感觉信息。冯等人使用六自由度运动平台来模拟虚拟环境中的斜坡，以传递与在倾斜表面上行走一致的本体感受信息^[22]。而Deutsch等人使用触觉输入来模拟湍流或碰撞感觉。这种多感官反馈可以作为任务内在学习的重要促进因素，同时增强与虚拟环境的参与^[23]。

2.2 步态虚拟现实康复系统

罗格斯踝关节康复系统是具有6个自由度的斯图尔特平台力反馈康复系统^[24]。这一系统由显示器、传感器、计算机及控制器组成。患者通过在虚拟环境中飞行训练下肢运动，以躲避各处出现的障碍物。设备可以减轻患肢运动时的负重，从而使患者更

易于适应训练。患者踝关节运动的位置和方位由踝关节上的传感器感知，可以将踝关节运动信号传递给计算机，通过患者踝关节的运动而控制虚拟环境中物体的运动。系统中有力反馈装置，它可以根据患者训练时的用力情况提供相应的阻力或动力，协助患者更好地完成康复训练。

主被动虚拟康复训练系统可实现患者主动及被动的协同刺激^[25]。虚拟现实系统给患者提供城市生活街道的虚拟场景，患者在虚拟环境中进行行走、与人交谈等动作，通过传感器实时反馈患者的运动信息。通过这个系统的训练，能在患者康复的过程中形成信息传递的封闭回路，从而完成对受损神经的主动被动协同刺激，能促进神经的重塑，以实现患者步态的康复。

运动平板训练系统是一种把虚拟现实技术和减重平板步行训练相结合的虚拟现实减重平衡训练系统^[26]。该系统由减重平板、大屏幕电视、计算机和传感器组成。减重平板提供重力补偿防止患者跌倒，可以承载 163 kg 体质量。大屏幕电视安装在平板的前面以展示虚拟环境。。追踪装置可以监测患者是否维持正确姿势，并进行实时反馈。当患者姿势不正确时，会有听觉反馈，提示患者纠正姿势。治疗师也可以及时发现患者步态的异常，并给予纠正，更好地促进患者步态的康复。Paolini 等把微软的三维体感摄影机与虚拟现实运动平板系统相结合，可以在步态训练时实时追踪足部位置与方向，而不需要在脚上佩戴传感器^[27]。

姿势控制系统是基于虚拟现实的姿势控制系统对患者进行康复训练。此系统可以让患者通过观看他们实时运动的视觉反馈来进行姿势控制。它由视觉反馈程序及头盔显示器组成，患者通过头盔显示器的输出，可以观看到他们的实时动作，从而可以及时调整姿势。同时电脑端会记录患者的姿势数据，供康复治疗师分析。研究证实脑卒中后遗症患者接受基于虚拟现实的姿势控制训练可以更好地提高步态能力。用实时信息的虚拟现实姿势控制训练，是增加脑卒中后遗症患者步态控制的有效方法^[28]。

3.展望

虚拟现实技术的出现和发展，为脑卒中患者的步态康复提供了全新的治疗手段。它可以增加患者治疗的积极性，根据患者的训练情况提供实时的反馈，可根据患者的个人条件制定训练任务，有着传统的康复方法难以比拟的优势。但是目前对于虚拟现实在步态康复中的研究还有很多需要解决的问题，虚拟现实技术患者入选条件、训练的时间及强度、选择何种虚拟现实模式等，都需要进一步的研究。虚拟现实步态康复训练对患者脑功能重组的影响机制，也需要进一步采用分子生物学、生理学等方法进

行探讨。患者康复的长期疗效也需要进一步证实。虚拟现实步态康复技术的设备较昂贵，较难在临床上广泛推广使用。研制出费用较低，体积小巧的虚拟现实步态康复系统，让患者可以进行社区甚至家庭康复也是今后研究的方向。相信随着科技发展，基于虚拟现实的步态康复训练系统会更进一步完善，并且在脑卒中患者的康复治疗过程中得到广泛的应用。

参考文献

- [1] Thrane G, Friberg O, Anke A, et al. A meta-analysis of constraint-induced movement therapy after stroke[J]. *J Rehabil Med*, 2014, 46(9): 833-842.
- [2] [2] 王陇德, 王金环, 彭斌, 等. 《中国脑卒中防治报告 2016》概要[J]. *中国脑血管病杂志*, 2017, 14(4): 217-224.
- [3] [3] Thrane G, Friberg O, Anke A, et al. A meta-analysis of constraint-induced movement therapy after stroke[J]. *J Rehabil Med*, 2014, 46(9): 833-842.
- [4] Nyberg L, Gustafson Y. Fall prediction index for patients in-stroke rehabilitation [J]. *Stroke*, 1997, 28(4): 716-721.
- [5] Mirelman A, Patrissi BL, Bonato P, et al. Effects of virtual reality training on gait biomechanics of individuals post-stroke [J]. *Gait Posture*, 2016, 31(4): 433-437.
- [6] Wann JP, Turnbull JD. Motor skill learning in cerebral palsy: movement, action and computer-enhanced therapy[J]. *Baillieres Clin Neurol*, 1993, 2(1): 15-2
- [7] Luque MC, Oliva PV, Kiper P, et al. Virtual Reality to assess and treat lower extremity disorders in post-stroke patients [J]. *Methods Inf Med*, 2016, 55(1): 89-92
- [8] Kizony R, Levin MF, Hughey L, et al. Cognitive load and dual-task performance during locomotion poststroke: a feasibility study using a functional virtual environment [J]. *Phys Ther*, 2017, 90(2): 252-260.
- [9] Vinas DS, Sobrido PM. Virtual reality for therapeutic purposes in stroke: A systematic review [J]. *Neurologia*, 2015, 4853(15): 163-164.
- [10] Corbetta D, Imeri F, Gatti R. Rehabilitation that incorporates virtual reality is more effective than standard rehabilitation for improving walking speed, balance and mobility after stroke: a systematic review [J]. *J Physiother*, 2015, 61(3): 117-124.
- [11] 肖湘, 毛玉蓉, 赵江莉, 等. 虚拟现实同步减重训练脑梗死患者可改善下肢运动功能[J]. *中国组织工程研究*, 2014, 18(7): 1143-1148.
- [12] 赵一瑾, 黄国志, 谢笑, 等. 虚拟现实技术对脑卒中患者偏瘫步态训练的临床研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2014, 29(5): 442-445.
- [13] Rodrigues-Baroni JM, Nascimento LR, Ada L, et al. Walking training associated with virtual reality-based training increases walking speed of individuals with chronic stroke: systematic review with meta-analysis [J]. *Braz J Phys Ther*, 2014, 18(6): 502-512.
- [14] 赵雅宁, 杨芳, 郝正玮, 等. 虚拟现实技术联合康复机器人训练对脑梗死偏瘫患者运动功能及事件相关电位的影响研究[J]. *中国全科医学*, 2015, 18(24): 2907-2910.
- [15] Shema SR, Brozgov M, Dorfman M, et al. Clinical experience using a 5-week treadmill training program with virtual reality to enhance gait in an ambulatory physical therapy service [J]. *Phys Ther*, 2014, 94(9): 1319-1326.



- [16] 陈佩顺,黄臻,李豪,等. 虚拟现实技术结合活动平板训练对脑卒中患者步行功能的影响[J]. 神经损伤与功能重建, 2015, 10(4): 360-361.
- [17] Keshner Emily A, Virtual reality and physical rehabilitation: a new toy or a new research and rehabilitation tool?[J]. J Neuroeng Rehabil, 2004, 1: 8.
- [18] Yang Saiwei, Hwang Wei-Hsung, Tsai Yi-Ching et al. Improving balance skills in patients who had stroke through virtual reality treadmill training [J]. Am J Phys Med Rehabil, 2011, 90: 969-78.
- [19] Yang Yea-Ru, Tsai Meng-Pin, Chuang Tien-Yow et al. Virtual reality-based training improves community ambulation in individuals with stroke: a randomized controlled trial [J]. Gait Posture, 2008, 28: 201-6.
- [20] Feasel J, Whitton MC, Kassler R, Brooks FP, Lewek MD. The integrated virtual environment rehabilitation treadmill system [J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2011;19:290-7.
- [21] Lewek MD, Feasel J, Wentz E, Brooks FP, Whitton MC. Use of visual and proprioceptive feedback to improve gait speed and spatiotemporal symmetry following chronic stroke: A case series [J]. Phys Ther. 2012;92:748-56.
- [22] Fung Joyce, Richards Carol L, Malouin Francine et al. A treadmill and motion coupled virtual reality system for gait training post-stroke[J]. Cyberpsychol Behav, 2006, 9: 157-62.
- [23] Deutsch Judith E, Merians Alma S, Adamovich Serge et al. Development and application of virtual reality technology to improve hand use and gait of individuals post-stroke[J]. Restor Neurol Neurosci, 2004, 22: 371-86.
- [24] Mirelman A, Patrilli BL, Bonato P, et al. Effects of virtual reality training on gait biomechanics of individuals post-stroke [J]. Gait Posture, 2010, 31(4): 433-437.
- [25] 郭晓辉,王晶,杨扬,等. 基于虚拟现实的下肢主被动康复训练系统的研究[J]. 西安交通大学学报, 2016, 50(2): 2-8.
- [26] Walker ML, Ringleb SI, Maihafer GC, et al. Virtual reality-enhanced partial body weight-supported treadmill training post-stroke: feasibility and effectiveness in 6 subjects [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2013, 91(1): 115-122.
- [27] Paolini G, Peruzzi A, Mirelman A, et al. Validation of a method for real time foot position and orientation tracking with Microsoft Kinect technology for use in virtual reality and treadmill based gait training programs [J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2014, 22(5): 997-1002.
- [28] Park YH, Lee CH, Lee BH. Clinical usefulness of the virtual reality-based postural control training on the gait ability in patients with stroke [J]. J Exerc Rehabil, 2013, 9(5): 489-494.

