

· 综述 ·

沉浸式虚拟现实技术在康复治疗中的应用进展

卞智淮^{1,2} 陈新元¹ 倪国新³ 倪隽¹¹福建医科大学附属第一医院康复医学科,福州 350005; ²厦门大学附属福州第二医院,福州 350007; ³北京体育大学运动医学与康复学院,北京 100084

通信作者:陈新元,Email:drchenxinyuan@163.com

【摘要】 虚拟现实技术是近年来兴起的一种康复治疗手段。其中,沉浸式虚拟现实技术以更多样、更真实的感官知觉体验,受到了广泛关注。目前,沉浸式虚拟现实技术已用于力量、感觉、平衡、认知、视觉、情绪等相关障碍的康复。本文就沉浸式虚拟现实技术在临床常见疾病康复治疗中的应用及局限性作一综述。

【关键词】 沉浸式; 虚拟现实技术; 康复治疗

基金项目:福建省中青年教育科研项目(JT180193)

Funding: Fujian Province Young and Middle-aged Teacher Education Research Project(JT180193)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.03.020

虚拟现实通过计算机技术模拟真实环境,创建出一种可供交互作用的虚拟环境。交互性、沉浸感和构想性是虚拟现实系统的3个重要特征,依据不同特征,又可以将虚拟现实系统分为桌面式虚拟现实系统、增强式虚拟现实系统、沉浸式虚拟现实系统和分布式虚拟现实系统。

目前,虚拟现实技术已被广泛应用于康复治疗中,有研究者将桌面式虚拟现实系统应用于脑卒中后患者的平衡功能训练^[1];也有学者将增强式虚拟现实系统应用于慢性脊髓损伤患者的居家康复训练,并取得了良好效果^[2]。但也有研究提出,在促进脑卒中患者恢复方面,虚拟现实技术的疗效较普通娱乐活动并无差别,指出完全沉浸式虚拟现实系统可能更有益于增强大脑可塑性,增强患者康复动机和激活镜像神经系统^[3]。有研究者认为,沉浸式虚拟现实系统能够让使用者同时体验真实世界和虚拟环境,在系统中获得更丰富的感官知觉体验,较其他类型的虚拟现实技术趣味性更强、患者接受程度更高、康复效果更佳^[4]。近年来,越来越多的研究侧重于沉浸式虚拟现实系统在康复中的应用,本文就此作一综述,旨在为临床应用提供参考。

沉浸式虚拟现实技术的类型及特点

沉浸式虚拟现实技术使用多种交互设备,将用户的视觉、听觉和其他感觉封闭起来,利用这些交互设备操作和控制虚拟环境,使用户沉浸其中,产生一种身临其境的感觉^[5]。根据沉浸感不同,又可将沉浸式虚拟现实分为非沉浸式、半沉浸式和完全沉浸式3类。非沉浸式采用的视觉设备是电脑、电视显示屏,沉浸视觉效果一般;半沉浸式采用的视觉设备是全景电视,沉浸视觉效果较好;完全沉浸式采用的视觉设备是头戴式和洞穴式沉浸式显示器,沉浸视觉效果很好^[6]。沉浸式虚拟现实技术在医疗、影视、游戏、教育、新闻传媒等领域内应用较广^[7]。在医学领域内,因其具备趣味性、安全性和及时反馈等特点,多被应用于康复治疗^[8]、手术模拟^[9]、教学^[10]、远程医疗^[11]、心理治疗^[12]等方面。

在神经系统疾病康复中的应用

一、脑卒中康复

脑卒中是一种临床常见病,其发病率、死亡率和致残率较高^[13]。运动功能障碍是脑卒中后常见的功能障碍之一。沉浸式虚拟现实技术因为能提供一个高度仿真且相对安全的治疗环境,可以模拟多种现实场景,提供更加精细化的个体化治疗,提高治疗的安全性,而成为了一种热门的运动功能康复训练方式。有学者对脑卒中患者给予了沉浸式虚拟现实联合传统康复训练的治疗,每日2 h、每周5 d、共4周,结果显示联合组患者的Fugl-Meyer上肢评分和功能独立性评分较对照组改善,提示与传统的康复训练比较,联合沉浸式虚拟现实的康复方案可以更有效地促进患者上肢运动功能及日常生活能力的恢复^[14]。多数研究认为,相较于传统康复治疗,脑卒中患者在虚拟环境中接受训练,表现出了更好的参与感、享受感,积极性较高^[15-16]。但也有研究认为,尽管沉浸式虚拟现实治疗是安全可靠的,但与传统康复方法相比,治疗效果无显著差异^[17-18]。有学者将沉浸式虚拟现实和作业治疗相结合的治疗方案与单纯作业治疗的方案进行比较,发现治疗后两组脑卒中患者的Fugl-Meyer上肢评分和日常生活活动能力评分均有明显改善,但组间差异无统计学意义^[19]。也有学者通过回顾性研究发现,沉浸感的增加与患者的功能改善无显著相关性,对提高任务执行的准确性也无明显影响^[6]。分析认为,造成上述差异的原因可能是治疗设备、疗程、介入时机不同,具体影响还需进一步探讨。

认知功能障碍也是一种脑卒中后常见的并发症,在脑卒中发生后的1年内,有约26%的患者出现认知功能障碍,常表现为注意力、记忆力、计算力、空间定向力、语言能力、逻辑思维能力的损害^[20]。有研究表明,沉浸式虚拟现实作为一种康复技术,对于恢复注意力、记忆力和空间定向力可能有帮助^[21]。研究进一步探讨了虚拟现实对认知功能恢复的影响,认为虚拟现实有助于改善脑卒中后海马区的组织代谢,从而促进记忆功能恢复^[22]。与传统康复手段相比,虚拟现实在认知功能障碍康复

方面的优势在于患者可以重复学习,并对患者的表现提供即时反馈,通过选择适合患者的方案,以达到满足不同个体化需求的治疗目的。

此外,沉浸式虚拟现实也逐步应用于脑卒中后其它各类功能障碍。有研究者对 18 例脑卒中慢性期的失语症患者进行为期 6 个月的沉浸式虚拟现实训练,结果发现虚拟现实训练组在不同语言任务上的成绩均较为优异,心理状况也有显著改善,表明沉浸式虚拟现实技术在促进语言康复和心理社会健康方面均有积极意义^[23]。也有研究表明,沉浸式虚拟现实在改善脑卒中后的单侧空间忽略症状方面较传统疗法更有效^[24]。目前已有越来越多的研究关注沉浸式虚拟现实在脑卒中后功能障碍康复中的应用,并逐步应用脑神经成像技术探讨其中的作用机制,有望在未来取得有效进展^[25]。

二、帕金森病康复

帕金森病是一种常见的神经系统疾病,以动作迟缓、肌肉强直、震颤和协调与平衡障碍表现为主的运动症状和认知功能下降为主的非运动症状是其典型的临床表现^[26]。由于帕金森病患者存在较高的跌倒风险,所以安全性是进行帕金森病康复治疗的重要考量。沉浸式虚拟现实技术以其多元化的感官刺激和反馈,以及能够模拟多种场景及任务的优势,为帕金森病的安全康复治疗提供了较大帮助。Mirelman 等^[27]研究发现,相较于传统康复治疗,沉浸式虚拟现实技术改善帕金森病患者步态的作用更加明显,跌倒的发生率显著降低,治疗费用较低。但也有研究指出,虚拟现实技术对于帕金森病患者运动能力及认知能力的治疗效果,与选择的虚拟现实治疗程序有关,不同治疗程序的效果不同^[28]。如何制订统一的治疗标准,及最大限度排除治疗程序对于结果的影响,成为今后虚拟现实技术在帕金森病应用中值得关注的点。

三、阿尔茨海默病康复

阿尔茨海默病是常见的老年性疾病之一,发病率在全球范围内呈上升趋势,临床表现为记忆力和日常生活活动能力的渐进性减退^[29-30]。研究表明,基于虚拟现实技术的康复治疗不仅可以改善阿尔茨海默病患者的长期空间记忆能力,还能提高健康老年患者的行为执行能力^[31]。Doniger 等^[32]研究发现,通过基于虚拟现实技术的认知训练,可以增强阿尔茨海默病高危人群的认知功能和行为能力,有助于延迟甚至预防阿尔茨海默病的发生。除治疗外,虚拟现实技术对阿尔茨海默病的评估也有一定意义。Skouras 等^[33]借助功能性核磁共振技术,发现阿尔茨海默病高危人群与晚期阿尔茨海默病患者在虚拟环境中有类似的神经反馈现象,提示将虚拟现实技术与功能性核磁共振相结合,可以为阿尔茨海默病的早期诊断提供依据。

在脑外伤康复中的应用

我国脑外伤发生率和致残率呈现逐年增高的趋势。尽管近年来脑外伤康复取得了较大进展,但脑外伤后出现的平衡功能、姿势控制能力及认知功能等障碍,仍然是影响患者回归家庭及社会的重要因素^[34-35]。虚拟现实技术训练可以提供多种任务导向性训练和反馈,让患者在完成任务的同时,通过视觉、触觉等接受虚拟环境刺激,进而反馈给大脑中枢,对信息进行整合和重组,优化大脑神经网络和运动程序,促使运动模式不断调整,最终改善运动障碍^[36]。Biffi 等^[37]研究认为,采用沉浸

式虚拟现实结合跑步机的训练方式,可显著改善脑外伤儿童的步态及平衡功能。有研究者利用沉浸式虚拟现实技术对 1 例脑震荡现役军人进行康复训练,3 周后患者的脑震荡伴随症状减轻,平衡功能和任务执行能力明显提高^[38]。

也有部分学者将沉浸式虚拟现实技术用于治疗脑外伤后认知功能障碍。Dahdah 等^[39]研究发现,沉浸式虚拟现实技术在改善脑外伤患者亚急性期的执行功能和信息处理速度方面是有效的。还有研究报道,利用虚拟现实技术可以提升脑外伤患者的记忆力和注意力^[40]。目前,尽管现有的多数研究认为沉浸式虚拟现实技术对于脑外伤患者的康复治疗是有效的,但文献证据质量较低,多数属于病例报告和无对照的非随机试验,今后尚需更多的高质量研究予以证实。

在骨关节疾病康复中的应用

目前,骨关节疾病的康复治疗主要通过物理因子、运动疗法等。传统的训练模式较枯燥、单一,患者的治疗依从性差,影响康复治疗效果^[41]。沉浸式虚拟现实通过设置不同趣味场景,使患者身临其境,在虚拟游戏中体验治疗带来的乐趣,有助于消除患者的消极情绪,增加治疗积极性。有学者应用沉浸式虚拟现实训练对患有慢性下背痛的患者进行康复训练,治疗时通过分散患者对疼痛的恐惧心理,达到改善腰椎屈曲度的目的^[42]。

沉浸式虚拟现实训练还能配合动作捕捉系统,在患者训练时予以实时反馈,分析动作模式,为评估康复的训练效果提供帮助^[43]。有学者提出“沉浸式虚拟现实+动作捕捉系统+远程康复”的骨科康复模式,医生可以监测居家患者的肌力、肌张力、关节活动度,从而提供指导与帮助,促使患者进行有效的康复治疗^[44]。目前,这种康复模式已开始应用于临床,如 Cabana 等^[45]开发了一种可在肱骨骨折康复中应用的远程穿戴平台。在治疗效果上,利用沉浸式虚拟现实技术进行康复训练的患者,在关节活动度、肌肉力量、生活自理能力等方面的表现也优于传统康复^[46]。沉浸式虚拟现实在骨关节疾病康复中的应用前景较广阔,但研究还需深入。

在精神疾病康复中的应用

在精神病学中,传统的治疗手段主要局限于人际心理治疗和药物治疗。心理治疗是指通过与患者建立治疗与互动关系,积极影响患者,以达到减轻痛苦、消除或减轻症状的目的,帮助患者健全人格、适应社会、促进康复^[47]。沉浸式虚拟现实可作为心理治疗的优良媒介。

Rothbaum 等^[48]应用虚拟现实技术治疗精神疾病,结果发现虚拟现实技术对恐高症有很好的治疗效果。针对不同的精神疾病,可采用相应的心理治疗理论与沉浸式虚拟现实技术相结合,如将沉浸式虚拟现实交互疗法用于治疗精神分裂症患者,患者通过在情境中积极参与,改善其社交技能^[49]。有学者将沉浸式虚拟现实交互疗法应用于自闭症患儿,以提高其社交技能,结果发现患儿与社会理解相关的大脑区域活动度有所增强^[50]。另外,有学者采用功能近红外光谱技术,对沉浸式虚拟现实暴露疗法干预的恐高症患者大脑活动进行监测,发现干预后患者背外侧前额叶皮质和内侧前额叶皮质活动恢复到了正

常水平,且恐高症状得到了极大的缓解^[51]。

有研究报道,在退伍军人创伤后应激障碍的治疗上,采用沉浸式虚拟现实的习惯疗法或暴露疗法,可以减轻其心理创伤、减少自杀意念、缓解抑郁和愤怒情绪^[52]。沉浸式虚拟现实技术在认知心理学的评估上也具有一定优势,Davison 等^[53]发现沉浸式虚拟现实技术在预测心理年龄和与年龄相关的认知衰退上,较传统心理学评估手段更加有效。

应用的局限性

尽管沉浸式虚拟现实技术在康复治疗中具备一定优势,为疾病的康复提供了新的治疗手段和思路。但作为一项新型技术,在其应用和推广过程中也存在着一些问题,需要在今后的研究中重视并解决。

一、沉浸感对治疗效果的影响

随着沉浸式虚拟现实技术的开发及应用,很多研究着眼于其对治疗效果的影响,如沉浸感是否会提高疗效。将疗效细分为主观体验(患者的情绪、治疗依从性等)和客观评估(实际的治疗效果评估),结果发现沉浸感对疗效的影响并不确切。有研究表明,沉浸感不仅可以改善患者的主观体验,其客观评估结果也有所改善^[54]。但也有研究表明,尽管沉浸感给患者带来了更好的主观体验,但客观评估并没有明显改善^[55]。目前,关于沉浸感和治疗效果的关系并未达成共识,但多数研究都支持较高的沉浸感可以使用户更容易接受利用虚拟现实技术进行训练,增加了依从性和乐趣。而对于治疗效果的客观评估表现出不一致性,可能与体验项目以及评估方式有关,需要更多的对照研究进行验证^[6]。

二、复杂的程序设计和高成本

沉浸式虚拟现实技术的复杂程序设计和高成本是限制其推广的重要因素。如使用者需要根据康复需求,在治疗前对参数和变量进行个性化的界定和设置,导致需要耗费大量的时间和精力进行虚拟现实系统的调整,影响使用效率^[56]。

不良反应

沉浸式虚拟现实技术因其沉浸感,使得患者在训练中部分或完全脱离现实世界,但过度的沉浸感会引起头晕头痛、恶心呕吐、共济失调、失稳、定向力障碍、视觉障碍、心率和血压上升等不良反应,甚至会导致某些精神障碍患者分不清现实世界和虚拟世界,或逃避现实世界而沉迷于虚拟世界的严重后果^[57]。因此,有研究者建议对有晕车史的患者,应谨慎使用沉浸式虚拟现实系统^[17]。

结语

随着科技的发展和技术的革新,沉浸式虚拟现实技术为更多疾病的康复治疗带来了新的模式,并展现出良好的疗效。沉浸式虚拟现实技术较传统康复训练更富趣味性,但在其应用中也存在一定的局限性与不足。目前,沉浸式虚拟现实技术的应用与推广,还需开展大样本、多中心的高质量随机、对照、双盲研究。

参考文献

[1] 谢笑. 应用虚拟现实平衡训练技术对脑卒中后平衡功能改善的临

床疗效观察研究[J]. 康复医学与理疗学, 2015, 20(3): 78-79. DOI: 10.7666/d.Y2910660.

- [2] Villiger M, Liviero J, Awai L, et al. Home-based virtual reality-augmented training improves lower limb muscle strength, balance, and functional mobility following chronic incomplete spinal cord injury[J]. Front Neurol, 2017, 8:635. DOI: 10.3389/fneur.2017.00635.
- [3] Fyfe I. Stroke: virtual reality no better than simple recreational activity in stroke recovery[J]. Nat Rev Neurol, 2016, 12(8):432. DOI: 10.1038/nrneurol.2016.108.
- [4] 危昔均, 韦亦茜, 秦萍, 等. 基于沉浸式虚拟现实脑卒中偏瘫上肢功能康复系统构建及临床可行性研究[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2021, 19(11): 1949-1952. DOI: 10.12102/j.issn.1672-1349.2021.11.042.
- [5] 谢兴, 农青芳, 农冬晖, 等. 沉浸式虚拟现实技术在老年痴呆患者认知训练中的应用[J]. 广西医学, 2020, 42(20): 2717-2720. DOI: 10.11675/j.issn.0253-4304.2020.20.24.
- [6] Rose T, Nam CS, Chen KB. Immersion of virtual reality for rehabilitation - review[J]. Appl Ergon, 2018, 69: 153-161. DOI: 10.1016/j.apergo.2018.01.009.
- [7] 孟美, 马克. 沉浸式虚拟现实在医学中的发展与应用[J]. 通讯世界, 2016, 10(2): 132. DOI: 10.3969/j.issn.1006-4222.2016.02.132
- [8] 康海燕, 许光旭. 虚拟现实技术对脑卒中患者平衡及步行能力康复效果的 meta 分析[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(5): 554-557. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2016.05.013.
- [9] 张勇, 岑坚正, 温树生, 等. 虚拟现实技术与混合现实技术在复杂先心病外科手术中的应用初步探讨[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2019, 35(1): 22-24. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-4497.2019.01.006.
- [10] 钟世镇. 医用生物力学参数的数字化与数字医学[J]. 医用生物力学, 2006, 21(3): 169-171. DOI:
- [11] 窦祖林. 远程康复及其在香港的发展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2003, 25(12): 59-60.
- [12] 丁欣放, 李岱. 虚拟现实暴露疗法治疗焦虑障碍的随机对照试验 meta 分析[J]. 中国心理卫生杂志, 2018, 32(3): 191-199. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6729.2018.03.003.
- [13] 付亏杰, 孙丽楠, 范飞, 等. 虚拟现实训练对脑梗死恢复期患者认知功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(9): 682-684. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.09.010.
- [14] Turola A, Dam M, Ventura L, et al. Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2013, 10:85. DOI: 10.1186/1743-0003-10-85.
- [15] 韩晓晓, 柯将琼, 蒋松鹤, 张丹迎. 虚拟现实游戏训练对脑卒中患者偏瘫上肢功能恢复的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2016, 38(6): 401-405. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.06.001.
- [16] 张明, 张秀芳, 张玉明, 等. 核心稳定性训练结合虚拟现实技术对脑卒中后偏瘫患者上肢运动功能、平衡功能和日常生活活动能力的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(11): 844-846. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.11.010.
- [17] Aida J, Chau B, Dunn J. Immersive virtual reality in traumatic brain injury rehabilitation: a literature review[J]. NeuroRehabilitation, 2018, 42(4): 441-448. DOI: 10.3233/NRE-172361.
- [18] Vogt S, Skjæret-Maroni N, Neuhaus D, et al. Virtual reality interventions for balance prevention and rehabilitation after musculoskeletal lower limb impairments in young up to middle-aged adults: a comprehensive review on used technology, balance outcome measures and ob-

- served effects[J]. *Int J Med Inform*, 2019,126:46-58. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2019.03.009.
- [19] Shin JH, Ryu H, Jang S. A task-specific interactive game-based virtual reality rehabilitation system for patients with stroke; a usability test and two clinical experiments[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2014,11:32. DOI: 10.1186/1743-0003-11-32.
 - [20] Kim BR, Chun MH, Kim LS, et al. Effect of virtual reality on cognition in stroke patients[J]. *Ann Rehabil Med*, 2011,35(4):450-459. DOI: 10.5535/arm.2011.35.4.450.
 - [21] Kim BR, Chun MH, Kim LS, et al. Effect of virtual reality on cognition in stroke patients[J]. *Ann Rehabil Med*, 2011,35(4):450-459. DOI: 10.5535/arm.2011.35.4.450.
 - [22] 温鸿源, 李力强, 龙洁珍, 等. 3D 虚拟现实技术对脑卒中记忆功能障碍患者疗效及 ~1H-MRS 的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2017, 37(1):100-102. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2017.01.043.
 - [23] Giachero A, Calati M, Pia L, et al. Conversational therapy through semi-immersive virtual reality environments for language recovery and psychological well-being in post stroke aphasia[J]. *Behav Neurol*, 2020,2020:2846046. DOI: 10.1155/2020/2846046.
 - [24] Ogourtsova T, Souza Silva W, Archambault PS, et al. Virtual reality treatment and assessments for post-stroke unilateral spatial neglect: a systematic literature review[J]. *Neuropsychol Rehabil*, 2017,27(3):409-454. DOI: 10.1080/09602011.2015.1113187.
 - [25] Huang Q, Wu W, Chen X, et al. Evaluating the effect and mechanism of upper limb motor function recovery induced by immersive virtual-reality-based rehabilitation for subacute stroke subjects: study protocol for a randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2019,20(1):104. DOI: 10.1186/s13063-019-3177-y.
 - [26] 刘亚平, 李阳华, 马文彬, 等. 快速眼动睡眠行为障碍与帕金森病发病及防治的关系[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(29):2299-2302. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.29.002.
 - [27] Mirelman A, Rochester L, Maidan I, et al. Addition of a non-immersive virtual reality component to treadmill training to reduce fall risk in older adults (V-TIME): a randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2016,388(10050):1170-1182. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31325-3.
 - [28] Mendes FA, Pompeu JE, Lobo AM, et al. Motor learning, retention and transfer after virtual-reality-based training in Parkinson's disease—effect of motor and cognitive demands of games: a longitudinal, controlled clinical study[J]. *Physiotherapy*, 2012,98(3):217-223. DOI: 10.1016/j.physio.2012.06.001.
 - [29] Coughlan G, Laczó J, Hort J, et al. Spatial navigation deficits - overlooked cognitive marker for preclinical Alzheimer disease[J]. *Nat Rev Neurol*, 2018,14(8):496-506. DOI: 10.1038/s41582-018-0031-x.
 - [30] 牛铁瑄, 谭纪平, 管锦群, 等. 认知训练治疗阿尔茨海默病的疗效观察[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2011, 33(1):52-55. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2011.01.016.
 - [31] Serino S, Pedrolì E, Tuena C, et al. A novel virtual reality-based training protocol for the enhancement of the "mental frame syncing" in individuals with Alzheimer's disease: a development-of-concept trial[J]. *Front Aging Neurosci*, 2017,9:240. DOI: 10.3389/fnagi.2017.00240.
 - [32] Doniger GM, Beerì 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]. *Alzheimers Dement (N Y)*, 2018,4:118-129. DOI: 10.1016/j.trci.2018.02.005.
 - [33] Skouras S, Torner J, Andersson P, et al. Earliest amyloid and tau deposition modulate the influence of limbic networks during closed-loop hippocampal downregulation[J]. *Brain*, 2020,143(3):976-992. DOI: 10.1093/brain/awaa011.
 - [34] 徐英, 邹志浩. 脑外伤恢复期患者接受基于虚拟现实技术康复训练后平衡功能和姿势控制能力的变化观察[J]. *神经损伤与功能重建*, 2017,12(06):563-564,571. DOI: 10.16780/j.cnki.sjssgncj.2017.06.030.
 - [35] Maggio MG, De Luca R, Molonia F, et al. Cognitive rehabilitation in patients with traumatic brain injury: a narrative review on the emerging use of virtual reality[J]. *J Clin Neurosci*, 2019,61:1-4. DOI: 10.1016/j.jocn.2018.12.020.
 - [36] 金星, 许光旭, 孟兆祥, 等. 基于虚拟现实技术的康复训练对脑外伤恢复期患者平衡功能的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2016,38(6):406-408. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.06.002.
 - [37] Biffi E, Beretta E, Diella E, et al. Gait rehabilitation with a high tech platform based on virtual reality conveys improvements in walking ability of children suffering from acquired brain injury[J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2015,2015:7406-7409. DOI: 10.1109/EMBC.2015.7320103.
 - [38] Rábago CA, Wilken JM. Application of a mild traumatic brain injury rehabilitation program in a virtual reality environment: a case study[J]. *J Neurol Phys Ther*, 2011,35(4):185-193. DOI: 10.1097/NPT.0b013e318235d7e6.
 - [39] 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. DOI: 10.3233/NRE-172183.
 - [40] 江山, 杨光, 王一鸣, 等. 虚拟现实治疗技术对创伤性脑损伤患者上肢功能和血清胰岛素样生长因子-1 的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2019,41(7):517-519. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.07.009.
 - [41] 李长树, 唐雷. 虚拟现实技术在骨外科领域的应用与展望[J]. *中国数字医学*, 2013,8(1):6-8,12. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7571.2013.01.001.
 - [42] France CR, Thomas JS. Virtual immersive gaming to optimize recovery (VIGOR) in low back pain: a phase II randomized controlled trial[J]. *Contemp Clin Trials*, 2018,69:83-91. DOI: 10.1016/j.cct.2018.05.001.
 - [43] Gokeler A, Bisschop M, Myer GD, et al. Immersive virtual reality improves movement patterns in patients after ACL reconstruction: implications for enhanced criteria-based return-to-sport rehabilitation[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016,24(7):2280-2286. DOI: 10.1007/s00167-014-3374-x.
 - [44] Negrillo-Cárdenas J, Jiménez-Pérez J, Feito FR. The role of virtual and augmented reality in orthopedic trauma surgery: from diagnosis to rehabilitation[J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2020,191:105407. DOI: 10.1016/j.cmpb.2020.105407.
 - [45] Cabana F, Pagé C, Svoltelis A, et al. Is an in-home telerehabilitation program for people with proximal humerus fracture as effective as a conventional face-to face rehabilitation program? A study protocol for a noninferiority randomized clinical trial[J]. *BMC Sports Sci Med Rehabil*, 2016,8(1):27. DOI: 10.1186/s13102-016-0051-z.

- [46] 冯永建, 金驰, 倪永健, 等. 虚拟现实技术对全膝关节置换术后功能恢复及心理改善的作用[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2018, 11(2): 127-132. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2018.02.010.
- [47] 陈发展, 赵旭东. 心理治疗的不良反应[J]. 中国心理卫生杂志, 2017, 31(1): 72-76. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6729.2017.01.013.
- [48] Rothbaum BO, Hodges LF, Kooper R, et al. Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia[J]. Am J Psychiatry, 1995, 152(4): 626-628. DOI: 10.1176/ajp.152.4.626.
- [49] Freeman D. Studying and treating schizophrenia using virtual reality: a new paradigm[J]. Schizophr Bull, 2008, 34(4): 605-610. DOI: 10.1093/schbul/sbn020.
- [50] Kandalaft MR, Didehbandi N, Krawczyk DC, et al. Virtual reality social cognition training for young adults with high-functioning autism[J]. J Autism Dev Disord, 2013, 43(1): 34-44. DOI: 10.1007/s10803-012-1544-6.
- [51] Landowska A, Roberts D, Eachus P, et al. Within- and between-session prefrontal cortex response to virtual reality exposure therapy for acrophobia[J]. Front Hum Neurosci, 2018, 12: 362. DOI: 10.3389/fnhum.2018.00362.
- [52] Park MJ, Kim DJ, Lee U, et al. A literature overview of virtual reality (VR) in treatment of psychiatric disorders: recent advances and limitations[J]. Front Psychiatry, 2019, 10: 505. DOI: 10.3389/fpsyt.2019.00505.
- [53] Davison S, Deeprose C, Terbeck S. A comparison of immersive virtual reality with traditional neuropsychological measures in the assessment of executive functions[J]. Acta Neuropsychiatr, 2018, 30(2): 79-89. DOI: 10.1017/neu.2017.14.
- [54] Slobounov SM, Ray W, Johnson B, et al. Modulation of cortical activity in 2D versus 3D virtual reality environments: an EEG study[J]. Int J Psychophysiol, 2015, 95(3): 254-260. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2014.11.003.
- [55] Laver KE, Lange B, George S, et al. Virtual reality for stroke rehabilitation[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2017, 11(11): CD008349. DOI: 10.1002/14651858.CD008349.pub4.
- [56] 魏楚光, 韩锦. 虚拟现实技术在临床心理学中的应用[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2016, 11(10): 1024-1028. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6966.2016.10.036.
- [57] Massetti T, da Silva TD, Crocetta TB, et al. The clinical utility of virtual reality in neurorehabilitation: a systematic review[J]. J Cent Nerv Syst Dis, 2018, 10: 1179573518813541. DOI: 10.1177/1179573518813541.

(修回日期: 2021-12-28)

(本文编辑: 凌 琛)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

中华医学会杂志社对一稿两投问题处理的声明

为维护中华医学会系列杂志的声誉和广大读者的利益,现将中华医学会系列杂志对一稿两投和一稿两用问题的处理声明如下:

1. 本声明中所涉及的文稿均指原始研究的报告或尽管 2 篇文稿在文字的表述和讨论的叙述上可能存在某些不同之处,但这些文稿的主要数据和图表是相同的。所指文稿不包括重要会议的纪要、疾病的诊断标准和防治指南、有关组织达成的共识性文件、新闻报道类文稿及在一种刊物发表过摘要或初步报道而将全文投向另一种期刊的文稿。上述各类文稿如作者要重复投稿,应向有关期刊编辑部做出说明。

2. 如 1 篇文稿已以全文方式在某刊物发表,除非文种不同,否则不可再将该文投寄给他刊。

3. 请作者所在单位在来稿介绍信中注明文稿有无一稿两投问题。

4. 凡来稿在接到编辑部回执后满 3 个月未接到退稿,则表明稿件仍在处理中,作者欲投他刊,应事先与该刊编辑部联系并申述理由。

5. 编辑部认为文稿有一稿两投嫌疑时,应认真收集有关资料并仔细核实后再通知作者,同时立即进行退稿处理,在做出处理决定前请作者就此问题做出解释。期刊编辑部与作者双方意见发生分歧时,应由上级主管部门或有关权威机构进行最后仲裁。

6. 一稿两用一经证实,期刊编辑部将择期在杂志中刊出其作者姓名和单位及撤销该论文的通告;对该作者作为第一作者所撰写的一切文稿,中华医学会系列杂志 2 年内将拒绝其发表;并就此事件向作者所在单位和该领域内的其他科技期刊进行通报。

中华医学会杂志社