

虚拟现实技术对脑卒中偏瘫患者上肢运动功能恢复的影响的 Meta 分析

钟灿 何红晨 黄双霜 马睿 王静静 何成奇

四川大学华西医院康复医学中心, 成都 610000

通信作者: 何成奇, Email: hxkfhcq2015@126.com

【摘要】 目的 采用 Meta 分析软件评价虚拟现实技术对脑卒中偏瘫患者上肢功能康复的临床疗效。**方法** 检索并选取公开发表的关于虚拟现实技术治疗偏瘫患者上肢功能障碍的临床随机对照试验文献, 对符合纳入标准的, 采用 RevMan5.3 版统计学软件进行分析。**结果** 本研究共纳入 19 篇文献, 共计 879 例患者。经 Meta 分析发现, 治疗后, 虚拟现实组的上肢 Fugl-Meyer 运动功能评定量表 (FMA-UE) 评分优于常规组, 差异有统计学意义 ($P < 0.01$); 但虚拟现实技术并不能显著改善功能独立性评定量表 (FIM) 评分和积木盒障碍测试 (BBT), 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。**结论** 与常规康复训练相比, 虚拟现实技术可促进脑卒中偏瘫患者上肢运动的恢复。

【关键词】 脑卒中; 偏瘫; 虚拟现实; 上肢功能; Meta 分析

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.06.017

The effectiveness of virtual reality therapy in relieving upper limb hemiparesis after stroke: A meta-analysis of randomized and controlled trials

Zhong Can, He Hongchen, Huang Shuangshuang, Ma Rui, Wang Jingjing, He Chengqi

Rehabilitation Medical Center, West China Hospital of Sichuan University, Chengdu 610000, China

Corresponding author: He Chengqi, Email: hxkfhcq2015@126.com

【Abstract】 Objective To analyze the clinical efficacy of using virtual reality (VR) to improve the upper limb function of hemiplegic persons. **Methods** A search was conducted in the PubMed, Cochrane Library, EMBASE, CNKI and Wanfang Data as well as VIP for reports of randomized and controlled studies of using VR in training upper limb function after stroke. A meta-analysis was then performed using version 5.3 of the Review Manager software. **Results** Ninety studies involving 879 patients were found and analyzed. The data showed that VR was significantly more effective than conventional training in improving Fugl-Meyer assessment scores. It was not superior, however, in improving average Functional Independence Measure scores or performance in the box and blocks test. **Conclusion** VR is superior to conventional training in promoting the recovery of upper limb function after a stroke.

【Key words】 Stroke; Hemiplegia; Virtual reality; Upper extremities; Meta-analyses

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.06.017

脑卒中的发病率、致残率均高, 其中上肢功能障碍是其遗留的最为常见的功能障碍之一^[1-2], 主要表现为肌张力增高、肌力下降、运动模式异常等, 患者的日常生活活动能力和生活质量均受到影响^[3]。虚拟现实 (virtual reality, VR) 技术是运用计算机和相应软、硬件相结合, 构建视、听、触等方面一体化的虚拟环境, 使用者如同身临其境般地在虚拟环境中完成各种功能性运动及操作^[4], 虚拟现实系统包括一些定制的游戏设备, 比如任天堂 wii (NW) 和 Xbox Kinect^[5]。尽管虚拟现实技术并不是专门用于偏瘫患者的上肢康复, 但很多研究证明, 有目的性的任务游戏模式可使高强度重复性的运动变得更加容易且有趣^[6-7], 有益于脑卒中患者上肢功能的恢复^[8-9]。研究证明, 虚拟现实技术的机

制可能是提供了重复的、密集的、以目标为导向的训练, 也可能与其对神经重塑作用有关^[10]。

梁明等^[11]通过 Meta 分析证明, 虚拟现实技术对于脑卒中偏瘫患者 Fugl-Meyer 运动功能评分上肢部分 (Fugl-Meyer assessment-upper extremity, FMA-UE) 有积极的影响。本研究希望纳入更多的随机对照试验, 除 Fugl-Meyer 运动功能评分量表外, 同时采用其他评估方式, 旨在为脑卒中偏瘫患者上肢功能的康复治疗提供可靠的循证医学证据。

资料与方法

一、文献纳入标准

1. 研究类型: 所有涉及 VR 应用于偏瘫患者上肢

功能康复的临床随机对照试验,仅限中英文。

2.研究对象:符合 1995 年中华医学会第 4 次全国脑血管病学术会议修订的各类脑血管疾病诊断要点^[12],经 CT 或 MRI 证实为脑梗死或脑出血的患者,并且遗留有一侧肢体活动障碍。

3.干预措施:治疗组采用 VR 上肢康复训练,对照组采用常规康复治疗,其余治疗两组基本相同。

二、文献排除标准

①重复多次发表;②未提供主要结局指标及所提供数据不全面,且索取无果;③仅有摘要而索取全文无果;④源文献的试验设计不严密(如受试者资料交代不全或不清等)。

三、结局指标

运动功能采用 FMA-UE 量表^[13],由涉及肩-肘-前臂的 15 个项目组成,总分 66 分。上肢敏捷性和粗大运动协调能力评估采用积木盒障碍测试(Box and Block Test, BBT)^[14],日常生活活动能力评估使用功能独立性量表(functional independence measure, FIM)^[15]。

四、检索策略

检索数据库包括 PubMed、Cochrane Library、EMBASE 以及中国期刊全文数据库(CNKI)、万方数据知识服务平台、维普中文期刊全文数据库(VIP),检索时间为各数据库建库至 2018 年 4 月。英文检索词:“Virtual Reality Immersion Therapy” or “Virtual Reality Therapy” or “Virtual Reality Exposure Therapy” and “Upper Extremity” or “Upper Limbs” or “Membrum superius” and “hemiparesis” or “hemiplegic” or “stroke”。中文检索词:“卒中”或“中风”或“脑血管意外”和“虚拟现实”或“虚拟环境”和“上肢功能”。根据每个数据库的特点制订相应的检索式,为避免漏查文献,对已纳入文献及相关综述的参考文献进行二次检索。

五、文献筛选和资料提取

两名独立评价员依上述纳入排除标准仔细阅读文献、摘要以及全文,去除不符的文章,如遇分歧,则通过与第 3 位研究人员讨论决定。筛选后由一人单独进行文献资料提取,提取内容包括:纳入研究的基本情况(作者、发表年限)、样本量、基线情况、研究设计方法、干预措施、干预时间、结局指标。最后由另一名研究人员进行核实。

六、文献质量评价

采用 Cochrane 系统评价手册 5.0.1 评价标准^[16]对纳入文献进行质量评价。具体内容包括:随机序列的产生、分配隐藏、是否对研究者和受试者施盲、研究结果盲法评价、结果数据的完整性、选择性报告研究结果和其他偏倚来源。采用“风险偏倚低”、“风险偏倚高”或“不清楚”(缺乏相关信息或偏倚情况不确定)评价结果。2

位研究者独立评价文献质量后,将评价结果进行比对,意见不一致时通过与第三位研究者讨论决定。

七、统计学分析

采用 RevMan 5.3 版统计学软件进行数据的处理和评估:①通过 χ^2 检验进行异质性分析,若 $P>0.1$, $I^2<50\%$,认为纳入研究间具有同质性,采用固定效应模型,反之则分析异质性来源,通过检查数据提取方法、分析临床干预措施及实验设计,采用敏感性分析等方法来寻找异质性原因,若最终无法解释异质性,采用随机效应模型分析;②若异质性过大,则行描述性分析;③连续变量采用加权均数差(weighted mean difference, WMD)或标准化均数差(standardized mean difference, SMD)表示,并计算 95% 的可信区间(confidence interval, CI),以 $P<0.05$ 为有统计学意义;④当纳入研究数量 ≥ 10 时,采用漏斗图评价纳入研究的发表偏倚。

结 果

一、文献检索

初步检索相关文献 345 篇,其他途径未补充相关文献。去除重复文献 96 篇;排除题目和摘要不符合的文献后,经阅读初筛文献的题目及摘要,去除 27 篇,经仔细阅读全文,去除不符合纳入标准的文献,最终纳入 19 篇^[17-35],研究对象共 879 例,其中实验组 448 例,对照组 431 例。文献筛选流程和结果见图 1。

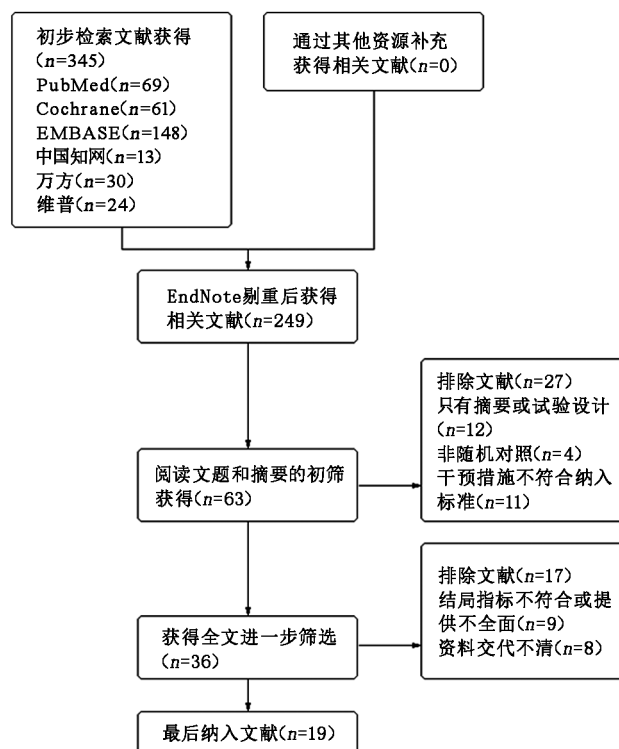


图 1 文献筛选流程及结果

二、纳入文献的基本特征及质量评价

纳入的 19 篇文献^[17-35] 均为 RCT, 其中英文 17 篇^[17-33], 中文 2 篇^[34-35], 所有研究均提及“随机分组”, 但有 5 项研究^[17-18, 21-22, 32] 未报道具体随机方法, 所有研究均交代了基线情况且具有可比性, 数据完整, 且报告了预先设计的全部指标, 不存在测量性偏倚。由于康复干预的性质, 几乎所有文章都不能避免实施偏倚, 有 2 篇文献^[21, 23] 没有报道结局评估的盲法, 10 篇文献^[20, 22, 25-26, 29-34] 对受试者失访原因进行了描述, 其中 4 份^[20, 29-31] 做了意向性分析(intention-to-treat analysis, ITT 分析)。纳入研究的基本特征见表 1, 质量评价结果见图 2。

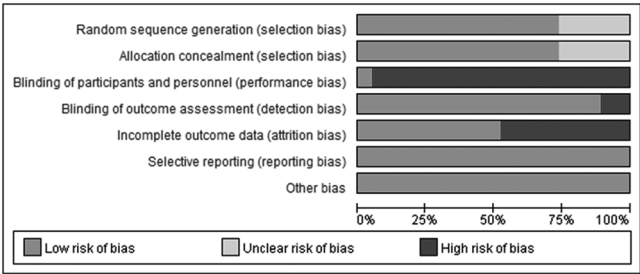


图 2 纳入文献质量评价

三、Meta 分析

(一) 虚拟现实技术对 FMA-UE 的影响

17 项研究进行了 FMA-UE 评分, Meta 分析结果为

表 1 纳入文献基本特征

作者及时间	例数		干预措施		VR 训练时间	评估时间	更结局指标改
	实验组	对照组	实验组	对照组			
Turolla A 2007 ^[17]	15	15	RFVE	常规	1 h/次, 5 次/周, 共 4 周	干预前、后	FIM、FMA-UE
Cameirão MS 2008 ^[18]	7	7	RGS	常规	20 min/次, 3 次/周, 共 12 周	干预前及干预 5 周后	FIM、FMA-UE
Piron L 2009 ^[19]	18	18	RFVE	常规	1 h/次, 5 次/周, 共 4 周	干预前 1 月, 干预前、后及干预后 1 月	FMA-UE、Ashworth
Piron L 2010 ^[20]	27	23	RFVE	常规	1 h/次, 5 次/周, 共 4 周	干预前、后	FMA-UE、FIM、Kinematics
Kiper P 2011 ^[21]	40	40	RFVE	常规	1 h/次, 5 次/周, 共 4 周	干预前、后	FMA-UE、FIM、Ashworth
Cameirão MS 2011 ^[22]	10	9	RGS	常规	20 min/次, 3 次/周, 共 12 周	干预前、后及干预后 3 个月	BI、MRC、MI、FMA-UE、CAHAI
In TS 2012 ^[23]	11	8	Virtual Reality Reflection Therapy	常规	30 min/次, 5 次/周, 共 4 周	干预前、后	FMA-UE、MAS、BBT、JTHFT、MFT
Sin H 2013 ^[24]	18	17	Xbox Kinect	常规	30 min+30 min/次, 3 次/周, 共 6 周	干预前、后	ROM、FMA-UE、BBT
Kiper P 2014 ^[25]	23	23	RFVE	常规	1 h/次, 5 次/周, 共 4 周	干预前、后	FMA-UE、FIM、Kinematics
Thielbar KO 2014 ^[26]	7	7	virtual keypad (AVK) system	常规	1 h/次, 3 次/周, 共 6 周	干预前、后及干预后 1 个月	FMA-UE、FMH、ARAT、JTHFT、GS、LPS、PPS
Choi JH 2014 ^[27]	10	10	VR Wii	常规	30 min/次, 5 次/周, 共 4 周	干预前、后	FMA-UE、MFT、BBT、GS、K-MMSE、K-MBI
Lee M 2016 ^[28]	13	13	VR (KINECT)	常规	30 min/次, 3 次/周, 共 8 周	干预前、后	FMA-UE、MFT、BBT、MBI、SF-12
Shin JH 2016 ^[29]	24	22	The RAPAEI Smart Glove	常规	30 min/次, 5 次/周, 共 4 周	干预前、后及干预后 1 个月	FMA-UE、JTHFT
Saposnik G 2016 ^[30]	71	70	VR Wii	常规	1 h/次, 5 次/周, 共 2 周	干预前、后及干预后 1 个月	WMFT、BBT、BI、FIM、SIS、GS
Kong KH 2016 ^[31]	35	35	Nintendo wii	常规	1 h/次, 4 次以上/周, 共 3 周	干预前、后及干预后 1、3 个月	FMA-UE、ARAT、SIS-UL、FIM
Ballester BR 2016 ^[32]	12	11	RGS	常规	30 min/次, 5 次/周, 共 6 周	干预前、后及干预后 3 个月	FMA-UE、CAHAI、BI、Hamilton
Brunner I 2017 ^[33]	62	58	VR (YouGrabber system)	常规	60 min/次, 4 ~ 5 次/周, 共 4 周	干预前、后及干预后 3 个月	ARAT、BBT、FIM、PGIC
韩晓晓 2016 ^[34]	15	15	VR Wii	常规	30 min/次, 5 次/周, 共 2 周	干预前、后	FMA-UE、Brunnstrom 评分
柏敏 2017 ^[35]	30	30	魔迅虚拟现实康复训练系统	常规	20 min/次, 5 次/周, 共 4 周	干预前、后	FMA-UE、BI

注: RFVE 为虚拟现实强化反馈康复训练(reinforced feedback in virtual-environment), RGS 为虚拟康复游戏系统(rehabilitation gaming system), BI 为巴氏量表(Barthel Index), MRC 为徒手肌力检查法(medical research council grade), MI 为运动力指数(motricity index), CAHAI 为手和手臂的活动清单(Chedoke arm and hand activity inventory), MAS 为改良 Ashworth 量表(modified Ashworth scale), FMH 为手部子组成(hand subcomponent), ARAT 为上肢动作研究量表(action research arm test), JTHFT 为杰布森-泰勒手部功能测试(Jebesen-Taylor hand function test), GS 为握力(grip strength), LPS 为侧捏力量(lateral pinch strength), PPS 为三点夹击力(量(3-point pinch strength), MFT 为手动功能测试(manual function test), WMFT 为 Wolf 运动功能测试(Wolf motor function test)

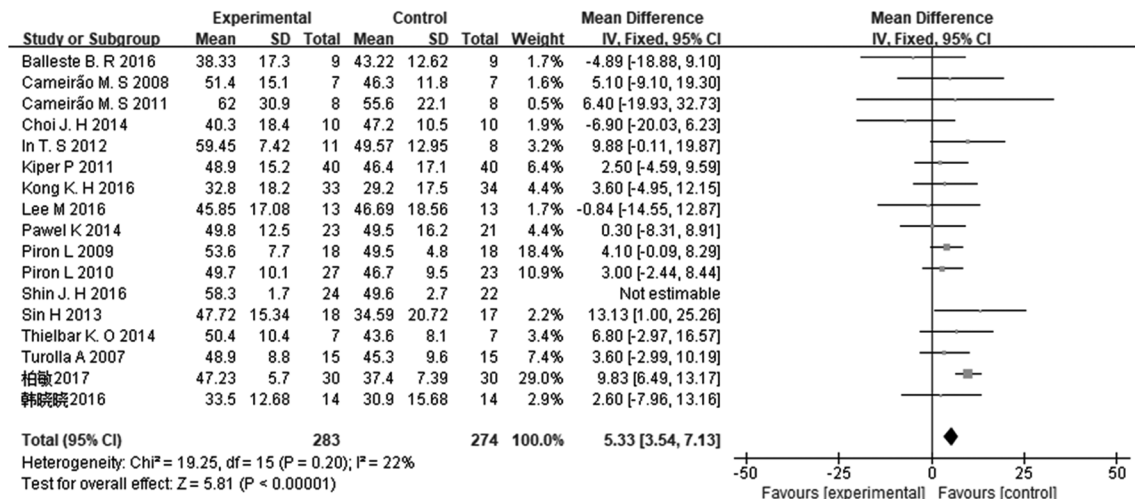


图 3 虚拟现实训练组与常规训练组 FMA-UE 比较结果的森林图

$P=0.20$, $I^2=43\%$, 表明纳入的研究间具有异质性, 经敏感性分析后发现可能是由于 Shin 等^[29] 的研究造成, 该研究失访率达 30%, 可能造成偏倚风险过大, 因此去除此项研究后异质性为 $P=0.2$, $I^2=22\%$, 采用固定效应模型进行 Meta 分析, 结果显示 VR 组对改善 FMA-UE 的效果要优于常规康复组, 差异具有统计学意义 [WMD = 5.33, 95% CI (3.54–7.13), $P<0.00001$]。见图 3。对纳入的 16 项研究进行文献偏倚分析, 结果显示纳入研究在漏斗两侧的分布不对称, 提示存在发表偏倚的可能。见图 4。

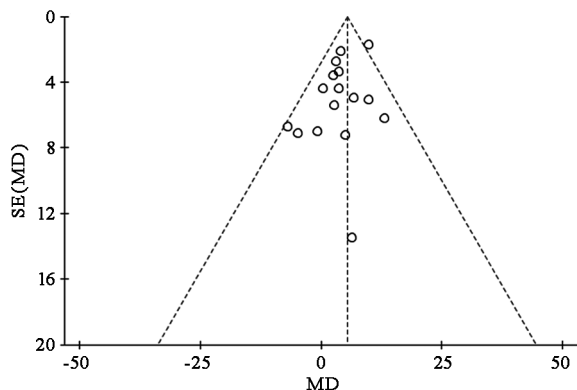


图 4 虚拟现实训练组与常规训练组比较 FMA-UE 的漏斗图

(二) 虚拟现实技术对 BBT 的影响

6 篇文献报道了 BBT 的结果。合并结果显示, 各研究间同质性较好 ($P=0.63$, $I^2=0\%$), 采用固定效应模型进行 Meta 分析后发现, VR 组对于 BBT 评分的改善并不优于常规康复训练, 差异无统计学意义 [WMD = -1.08, 95% CI (-4.32, 2.17), $P=0.51$]。见图 5。

(三) 虚拟现实技术对 FIM 的影响

8 篇文献报道了 FIM 的情况。纳入研究结果间有异质性 ($P=0.01$, $I^2=60\%$), 对异质性来源进行分析未发现差异性, 故采用随机效应模型, 结果显示 VR 组的 FIM 评分与常规康复训练组比较, 差异无统计学意义 [SMD = 0.20, 95% CI (-0.10, 0.49), $P=0.19$]。见图 6。

讨 论

本研究结果显示, 虚拟现实技术对脑卒中后偏瘫患者 FMA-UE 评分的改善优于常规康复训练, 而对于 BBT 和 FIM 的影响与常规康复组比较, 优势并不明显。该结果提示, 虚拟现实技术可促进偏瘫患者上肢运动的恢复, 但在功能改善上没有明显优势。

脑卒中后偏瘫患者上肢功能障碍是显著且持续的, 为了使其运动、功能恢复最大化, 临床上会采用强迫性运动疗法、改良的强迫性运动疗法、运动想象疗

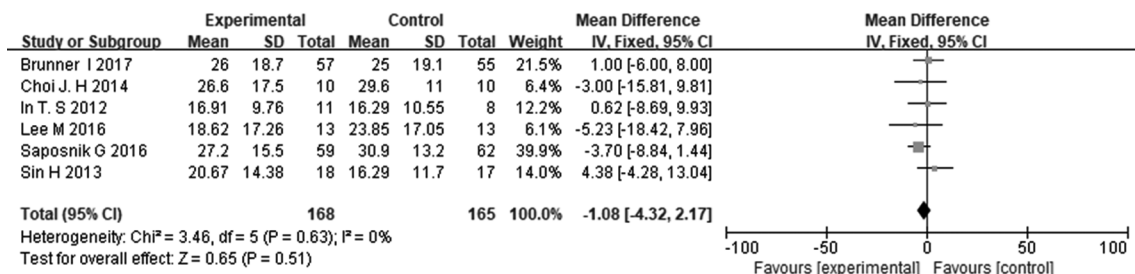


图 5 虚拟现实训练组与常规训练组 BBT 比较结果的森林图

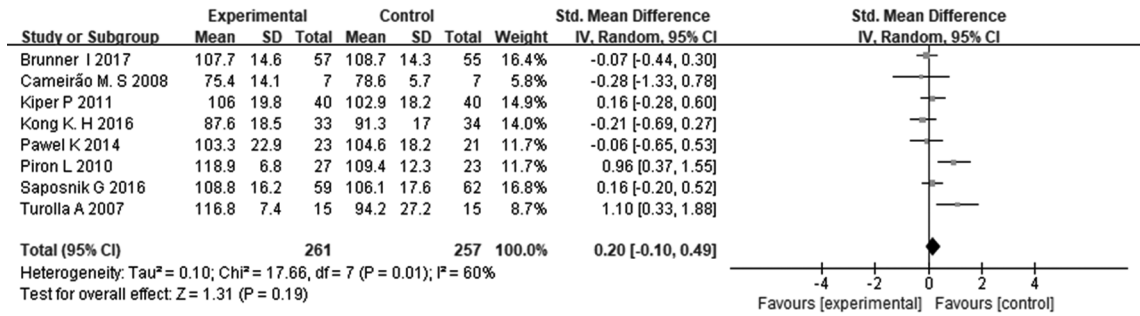


图6 虚拟现实训练组与常规训练组 FIM 比较结果的森林图

法、镜像视觉反馈疗法、反复运动训练及双侧训练等方案对偏瘫患者进行上肢康复,但均收效甚微,且预后结果难以预料。传统的上肢康复训练存在单调乏味以及治疗师疲劳后带来的效率低下等缺点,国内外都在尝试用新的技术与方法来代替传统康复^[36]。

VR 技术是基于运动学习理论,通过强化、重复训练和多感官反馈来增强技能学习,可促进神经重塑来诱导运动恢复,与传统干预措施相比,可显著改善脑卒中后偏瘫患者的运动功能、认知以及日常生活活动能力^[37]。虚拟现实目前有专为康复设计的虚拟环境和商业游戏两种,尽管它们都有增强感觉反馈的作用,但在操作、干预特征、花费等方面有一定的区别^[9],因此在最近的综述中,基于虚拟环境和商业游戏的相对有效性,存在相互矛盾的证据^[8]。此外,即便同样针对患者康复开发的 VR 系统,游戏控制方式的差异导致其对手臂、手腕、手的运动训练侧重点不同,其结果也不一致^[30-31,38]。VR 在不同神经学特征患者中的康复效果也需要进一步研究。脑卒中的类型、病程长短^[37]、损伤部位^[39]等都将影响治疗效果。而本研究所纳入的研究中,仅五篇^[19-21,25,33]对脑卒中类型或程度进行了区分。

本研究的不足之处在于:第一,本系统评价只检索了公开发表的中英文文献,且多中心研究的大样本试验较少,绘制的漏斗图发现,图形不完全对称,提示可能存在发表偏倚;第二,纳入的各研究使用了不同的 VR 设备,干预措施、干预剂量和疗程并未完全统一,本研究未对其进行分类细化,这将影响结果的可靠性;第三,大多数研究没有区分脑卒中类型、大脑受损程度以及干预的阶段性和慢性期,且随访时间较短,不能推广到所有中风幸存者以及确定其远期疗效。

综上所述,在改善脑卒中患者偏瘫上肢功能的治疗中,VR 是一项非常具有应用潜能的康复技术,它可以作为常规康复的补充,成为一种激励式训练的选择,根据患者的情况加以妥善应用,也可以作为出院患者的后续治疗,向家庭和社区康复治疗转化,实现长期

的、可持续的自我训练计划,更好地开展远程康复^[40]。但由于前文所述的局限性因素,本课题组认为,为了更好地验证 VR 对脑卒中患者偏瘫上肢功能康复的疗效,还需要进行更多高质量、大样本的 RCT 试验,进一步统一并完善 VR 的治疗人群、干预方法、观测指标、随访时间等。

参 考 文 献

[1] Kwakkel G, Kollen BJ, Krebs HI, et al. Effects of robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: a systematic review[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2008, 22 (2): 111-121. DOI: 10.1177/1545968307305457.

[2] Beebe JA, Lang CE. Active range of motion predicts upper extremity function three months post-stroke[J]. Stroke, 2009, 40 (5): 1772-1779. DOI: 10.1161/STROKEAHA.108.536763.

[3] Broeks JG, Lankhorst GJ, Rumping K, et al. The long-term outcome of arm function after stroke: results of a follow-up study[J]. Disabil Rehabil, 1999, 21 (8): 357-364. DOI: 10.1080/0963 82899297459.

[4] Monge Pereira E, Molina Rueda F, Alguacil Diego IM, et al. Use of virtual reality systems as proprioception method in cerebral palsy: clinical practice guideline[J]. Neurologia, 2014, 29 (9): 550-559. DOI: 10.1016/j.nrleng.2011.12.011.

[5] Deutsch JE, Brettler A, Smith C, et al. Nintendo wii sports and wii fit game analysis, validation, and application to stroke rehabilitation[J]. Top Stroke Rehabil, 2011, 18 (6): 701-719. DOI: 10.1310/tsr1806-701.

[6] Fluet GG, Deutsch JE. Virtual reality for sensorimotor rehabilitation post-stroke: the promise and current state of the field[J]. Curr Phys Med Rehabil Rep, 2013, 1 (1): 9-20. DOI: 10.1007/s40141-013-0005-2.

[7] Thomson K, Pollock A, Bugge C, et al. Commercial gaming devices for stroke upper limb rehabilitation: a survey of current practice[J]. Disabil Rehabil Assist Technol, 2016, 11 (6): 454-461. DOI: 10.3109/17483107.2015.1005031.

[8] Laver KE, George S, Thomas S, et al. Virtual reality for stroke rehabilitation[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2015, 12 (2): CD008349. DOI: 10.1002/14651858.CD008349.pub3.

[9] Lohse KR, Hilderman CG, Cheung KL, et al. Virtual reality therapy for adults post-stroke: a systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and commercial games in therapy[J]. PLoS One, 2014, 9 (3): e93318. DOI: 10.1371/journal.pone.0093318.

[10] Laver KE, Lange B, George S, et al. Virtual reality for stroke rehabilitation[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2017, 20 (11): CD008349. DOI: 10.1002/14651858.CD008349.pub4.

[11] 梁明, 窦祖林, 王清辉, 等. 虚拟现实技术对脑卒中偏瘫患者上肢

- 功能康复疗效的 meta 分析[J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28 (12): 1146-1150. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2013.12.014.
- [12] 中华神经科学会, 中华神经外科学会. 各类脑血管疾病诊断要点[J]. 中华神经科杂志, 1996, 29(6): 379-380.
- [13] Duncan PW, Propst M, Nelson SG. Reliability of the Fugl-Meyer assessment of sensorimotor recovery following cerebrovascular accident[J]. Phys Ther, 1983, 63(10): 1606-1610.
- [14] Platz T, Pinkowski C, Wijck F, et al. Reliability and validity of arm function assessment with standardized guidelines for the Fugl-Meyer test, Action Research Arm Test and Box and Block Test: a multicenter study[J]. Clin Rehabil, 2005, 19(4): 404-411. DOI: 10.1191/0269215505cr832oa.
- [15] Ottenbacher KJ, Hsu Y, Granger CV, et al. The reliability of the functional independence measure: a quantitative review[J]. Arch Phys Med Rehabil, 1996, 77(12): 1226-1232.
- [16] Higgins JPT, Green S. The cochrane collaboration, 2011. Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 5.1.0 [DB]. The cochrane collaboration. [2011-06-12]. <http://www.cochrane-handbook.org> (accessed 20.10.13).
- [17] Turolla A, Tonin P, Zucconi C, et al. Reinforcement feedback in virtual environment vs. conventional physical therapy for arm motor deficit after stroke[C]. Italy: Virtual Rehabilitation, 2007: 49-52.
- [18] Cameirão MS, Badia SB, Oller ED, et al. Using a multi-task adaptive VR system for upper limb rehabilitation in the acute phase of stroke[J]. Virtual Rehabil, 2008; 2-7. DOI: 10.1109/ICVR. 2008. 4625112.
- [19] Piron L, Turolla A, Agostini M, et al. Exercises for paretic upper limb after stroke: a combined virtual-reality and telemedicine approach[J]. J Rehabil Med, 2009; 41(12): 1016-1020. DOI: 10.2340/16501977-0459.
- [20] Piron L, Turolla A, Agostini M, et al. Motor learning principles for rehabilitation: a pilot randomized controlled study in poststroke patients[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2010, 24(6): 501-508. DOI: 10.1177/1545968310362672.
- [21] Kiper P, Piron L, Turolla A, et al. The effectiveness of reinforced feedback in virtual environment in the first 12 months after stroke[J]. Neurol Neurochir Pol, 2011, 45(5): 436-444.
- [22] Cameirão MS, Badia SB, Duarte E, et al. Virtual reality based rehabilitation speeds up functional recovery of the upper extremities after stroke: a randomized controlled pilot study in the acute phase of stroke using the rehabilitation gaming system[J]. Restor Neurol Neurosci, 2011, 29(5): 287-298. DOI: 10.3233/RNN-2011-0599.
- [23] In TS, Jung KS, Lee SW, et al. Virtual reality reflection therapy improves motor recovery and motor function in the upper extremities of people with chronic stroke[J]. Journal of Physical Therapy Science, 2012, 24(4): 339-343. DOI: 10.1589/jpts.24.339.
- [24] Sin H, Lee G. Additional virtual reality training using Xbox Kinect in stroke survivors with hemiplegia[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2013, 92(10): 871-880. DOI: 10.1097/PHM.0b013e3182a38e40.
- [25] Kiper P, Agostini M, Lague-Moreno C, et al. Reinforced feedback in virtual environment for rehabilitation of upper extremity dysfunction after stroke: preliminary data from a randomized controlled trial[J]. Biomed Res Int, 2014. DOI: 10.1155/2014/752128.
- [26] Thielbar KO, Lord TJ, Fischer HC, et al. Training finger individuation with a mechatronic-virtual reality system leads to improved fine motor control post-stroke[J]. J Neuroeng Rehabil, 2014, 11(1): 171. DOI: 10.1186/1743-0003-11-171.
- [27] Choi JH, Han EY, Kim BR, et al. Effectiveness of commercial gaming-based virtual reality movement therapy on functional recovery of upper extremity in subacute stroke patients[J]. Ann Rehabil Med, 2014, 38(4): 485-493. DOI: 10.5535/arm.2014.38.4.485.
- [28] Lee M, Son J, Kim J, et al. Comparison of individualized virtual reality and group-based rehabilitation in older adults with chronic stroke in community settings: a pilot randomized controlled trial[J]. Eur J Integr Med, 2016, 8(5): 738-746. DOI: 10.1016/j.eujim.2016.08.166.
- [29] Shin JH, Kim MY, Lee JY, et al. Effects of virtual reality-based rehabilitation on distal upper extremity function and health-related quality of life: a single-blinded, randomized controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2016, 13(17). DOI: 10.1186/s12984-016-0125-x.
- [30] Saposnik G, Cohen LG, Mamdani M, et al. Efficacy and safety of non-immersive virtual reality exercising in stroke rehabilitation (EVREST): a randomized, multicenter, single-blind, controlled trial[J]. Lancet Neurol, 2016, 15(10): 1019-1027. DOI: 10.1016/S1474-4422(16)30.
- [31] Kong KH, Loh YJ, Thia E, et al. Efficacy of a virtual reality commercial gaming device in upper limb recovery after stroke: a randomized, controlled study[J]. Top Stroke Rehabil, 2016, 23(5): 333-340. DOI: 10.1080/10749357.2016.1139796.
- [32] Ballester BR, Maier M, Castañeda V, et al. Counteraction learned non-use in chronic stroke patients with reinforcement-induced movement therapy[J]. J Neuroeng Rehabil, 2016, 13(1): 74. DOI: 10.1186/s12984-016-0178-x.
- [33] Brunner I, Skouen JS, et al. Virtual reality training for upper extremity in subacute stroke (VIRTUES): a multicenter RCT[J]. Neurology, 2017, 89(24): 2413-2421. DOI: 10.1212/WNL.0000000000004744.
- [34] 韩晓晓, 柯将琼, 蒋松鹤, 等. 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.
- [35] 柏敏, 田然, 杨倩, 等. 短期虚拟现实康复训练对脑卒中偏瘫患者上肢功能及日常生活活动能力的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(11): 1288-1291. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2017.11.019.
- [36] Norouzi-Gheidari N, Archambault PS, Fung J. Effects of robot-assisted therapy on stroke rehabilitation in upper limbs: systematic review and meta-analysis of the literature[J]. J Rehabil Res Dev, 2012, 49(4): 479-496.
- [37] Aminov A, Rogers JM, Middleton S, et al. What do randomized controlled trials say about virtual rehabilitation in stroke? A systematic literature review and meta-analysis of upper-limb and cognitive outcomes[J]. J Neuroeng Rehabil, 2018, 15(1): 29. DOI: 10.1186/s12984-018-0370-2.
- [38] Kim WS, Cho S, Park SH, et al. A low cost kinect-based virtual rehabilitation system for inpatient rehabilitation of the upper limb in patients with subacute stroke: a randomized, double-blind, sham-controlled pilot trial[J]. Medicine (Baltimore), 2018, 97(25): e11173. DOI: 10.1097/MD.00000000000011173.
- [39] Jung SM, Choi WH. Effects of virtual reality intervention on upper limb motor function and activity of daily living in patients with lesions in different regions of the brain[J]. J Phys Ther Sci, 2017, 29(12): 2103-2106. DOI: 10.1589/jpts.29.2103.
- [40] Triandafilou M, Tsoumpikova D, Barry AJ, et al. Development of a 3D, networked multi-user virtual reality environment for home therapy after stroke[J]. J Neuroeng Rehabil, 2018, 15(1): 88. DOI: 10.1186/s12984-018-0429-0.

(修回日期: 2018-03-23)

(本文编辑: 阮仕衡)