

虚拟现实技术结合作业治疗训练对脑卒中偏瘫患者上肢功能影响的临床研究*

赵一瑾¹ 余 彬¹ 何龙龙¹ 路鹏程¹ 廖政文¹ 刘锐芬² 黄国志^{1,3}

摘要

目的:观察虚拟现实技术(virtual reality, VR)结合作业治疗(occupational therapy, OT)对脑卒中偏瘫患者上肢运动功能、日常生活能力的影响。

方法:将70例脑卒中患者随机分为试验组与对照组各35例。两组患者均给予常规治疗(即常规药物及运动治疗),对照组在常规治疗基础上,予传统OT训练,每次50min,每周5次,疗程4周;试验组予VR联合传统OT治疗,其中传统OT训练每次20min,VR治疗包括BioMaster数字OT训练及Flextable数字OT训练每次各15min,共50min,每周5次,疗程4周。采用简化的Fugl-Meyer上肢运动功能评定量表(FMA-UE)和香港版偏瘫上肢功能测试(FTHUE-HK)、Barthel指数(BI)于治疗前、治疗4周后评估各组患者的上肢运动功能和日常生活活动能力,用以判断患者上肢功能的恢复情况。

结果:治疗前两组患者的基线资料、FMA-UE评分、FTHUE-HK分级、BI评分差异均无显著性意义($P>0.05$)。治疗4周后,两组患者的FMA-UE评分、FTHUE-HK分级、BI评分均较治疗前明显提高($P<0.05$),且试验组优于对照组($P<0.05$)。

结论:虚拟现实技术结合作业治疗比单侧传统作业治疗更能有效改善脑卒中患者上肢运动功能,提高患者日常生活能力。

关键词 虚拟现实;脑卒中;上肢功能康复;作业治疗;偏瘫

中图分类号:R743.3;R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2019)-06-0661-06

Effects of virtual reality technology combined with occupational therapy training on upper limb function in stroke patients with hemiplegia/ZHAO Yijin, YU Bin, HE Longlong, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2019, 34(6): 661—666

Abstract

Objective: To observe the effect of virtual reality technology combined with occupational therapy training on upper limb motor function and daily living ability of stroke patients with hemiplegia.

Method: Totally 70 stroke patients with hemiplegia were randomly divided into the experimental group and the control group, 35 patients in each group. Both groups were given routine treatment, that is, routine medicine and exercise therapy. On the basis of routine treatment, the control group accepted occupational therapy training 50 minutes each time, five times a week, a total of 4 weeks. At the same time, the experimental group, on the basis of routine treatment, accepted occupational therapy training 20 minutes combined with BioMaster digital OT training 15 minutes and Flextable digital OT training 15 minutes, totally 50 minutes each time, five times a week, a total of 4 weeks. In order to assess the recovery of upper limb function, the simplified Fugl-Meyer Motor Function Assessment Scale (FMA-UE), the Hong Kong Version of the Upper Limb

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.06.007

*基金项目:广东省校企合作协同育人项目(PROJ1007074041166696448)

1 南方医科大学珠江医院康复医学科,广州,510282; 2 顺德区伍仲珮纪念医院; 3 通讯作者

作者简介:赵一瑾,女,主治医师,在读博士; 收稿日期:2018-12-24

Function Test (FTHUE-HK) and the Barthel index (BI) were used to assess the upper limb motor function and the ability of daily living of the patients before and after treatment for 4 weeks.

Result: There were no significant differences in basic data, FMA-UE score, FTHUE-HK grade and BI score between the two groups before treatment ($P>0.05$). After 4 weeks of treatment, FMA-UE score, FTHUE-HK grade and BI score of the two groups were significantly higher than those before treatment ($P<0.05$), and the experimental group was superior to the control group ($P<0.05$).

Conclusion: Compared to the simply conventional occupational therapy, virtual reality technology combined with occupational therapy training can more effectively improve the recovery of upper limb motor function in stroke patients and improve their daily living ability.

Author's address Department of Rehabilitation Medicine, Zhujiang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou, 510282

Key word virtual reality; stroke; rehabilitation of upper limb function; occupational therapy; hemiplegia

脑卒中(stroke)是指突然起病的脑血液循环障碍,以局部神经功能缺失为特征的一组疾病^[1-3],具有高致残率及致死率^[4]。约85%的患者在起病之初就表现出上肢运动功能障碍,近36%的患者在起病半年后仍遗留上肢运动功能障碍^[5],而上肢功能是导致卒中后患者的日常生活能力下降的主要因素,对患者的身心造成了巨大影响^[5-7]。目前临床上针对卒中后上肢功能障碍的运动训练方法疗效确切,但传统的康复治疗方法存在训练单一重复、趣味性低、反馈及任务导向性不足等缺陷^[8]。而虚拟现实技术(virtual reality, VR)具有沉浸、交互和构想三大特点^[9],能为患者提供更接近于生活的训练场景,更具有实践意义的训练任务和更个性化的运动学习模式^[10],被认为是改善脑卒中运动功能障碍的一种新兴的愉悦的替代方案^[11]。但目前关于虚拟现实联合传统作业疗法对脑卒中患者上肢运动功能和日常生活能力的改善作用尚不明确。本研究拟采用临床随机对照研究,对70例脑卒中后上肢功能障碍患者进行不同的干预,探讨虚拟现实技术联合作业治疗训练对脑卒中后上肢功能障碍的联合治疗效果。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选择2017年9月至2018年7月于南方医科大学珠江医院康复医学科及神经内科住院治疗的脑卒中患者共70例。本研究已得到珠江医院临床研究伦理委员会批准执行。

诊断标准:患者的入院诊断符合在1995年中华医学会第四次脑血管病学术会议上修订的《各类脑

血管疾病诊断要点》^[12],经头颅CT或MR辅助明确诊断为脑梗死或脑出血。

入选标准:①病情稳定,生命体征平稳;②年龄:23—81岁;③首次发病,病程2周至10个月;④患侧手及上肢Brunnstrom分期处于Ⅳ—Ⅴ期;⑤患者意识清楚,能够有效配合试验;⑥患者自愿参与本研究并签署知情同意书。

排除标准:①不符合上述入院诊断者;②患侧手及上肢存在外伤性疾病、周围神经损伤及骨关节疾病等影响上肢运动功能的患者;③伴有严重的认知功能障碍及抑郁等认知心理疾病患者;④合并严重的心血管疾病、呼吸系统疾病等限制患者活动能力的疾病;⑤病情不稳定者;⑥未签署知情同意书;⑦近6个月内偏瘫上肢曾予肉毒毒素注射。

脱落标准:①发生严重不良事件不宜继续参与试验的患者;②未按标准治疗方案进行干预的患者;③自己要求退出临床试验的患者。

1.2 一般资料

采用随机数字表法将70例患者随机分入试验组及对照组,每组35例。试验组脱落3例,对照组脱落2例,脱落原因为患者提前出院而未能按标准治疗方案进行干预,最终共有65例患者完成本试验。两组患者一般情况见表1,表中数据组间差异均无显著性意义($P>0.05$),具有可比性。

1.3 干预方法

两组患者均给予常规治疗即常规药物及物理治疗、言语治疗等,常规治疗中均未针对上肢功能进行治疗。对照组在常规治疗基础上,予传统OT训练,每次50min,每周5次,疗程4周;试验组在常规治疗

表1 两组患者基线信息比较

($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	平均年龄(岁)	发病时间(d)	性别(例)		脑卒中类型(例)		偏瘫肢体(例)	
				男	女	脑梗死	脑出血	左上肢	右上肢
试验组	35	59.71±13.49	110.66±36.24	24	11	29	6	19	16
对照组	35	57.34±14.62	100.60±52.96	21	14	25	10	22	13

的基础上,予VR联合传统OT治疗,其中传统OT训练每次20min,VR治疗包括BioMaster数字OT训练及Flextable数字OT训练每次各15min,试验组治疗时间每次共50min,每周5次,疗程4周。所有患者的治疗由同一治疗师完成。

1.3.1 作业治疗:作业治疗训练根据患者上肢功能障碍的范围、程度以及性质等具体情况来选择合适的训练项目,包括精细运动功能训练、日常生活活动能力的训练等,如滚筒训练、上肢取物训练等针对肩肘腕关节活动的控制训练,前臂旋前旋后训练,插钉板、拧螺丝等手指精细动作及协调灵活性训练,穿脱衣训练、自助具应用等改善日常生活活动能力训练等^[13-14]。

1.3.2 BioMaster虚拟现实训练系统:BioMaster虚拟现实训练系统包括虚拟现实互动训练、康复评定、生物反馈三大功能,主要由计算机显示器、无线姿态传感器、虚拟情景互动训练与评估软件组成,治疗师可根据患者的运动能力选择相应关节部位(肩关节、肘关节或腕关节)、运动方向(屈曲伸展、内旋外旋、内收外展)和关节活动类型(主动测试或被动测试),再结合虚拟情景互动技术,通过可穿戴式无线位置传感器进行动作捕获,实时反馈多个关节的三维空间位置与参数,提供靶向性的运动控制训练。

1.3.3 Flextable数字OT训练系统:Flextable数字OT训练系统主要由多点触摸训练桌和数字OT评估训练软件组成,它可以为患者提供如视听觉触等多感官刺激的上肢运动控制靶向训练,使患者更直观地感受空间位置的变化,最大化康复治疗的作用,创造一个集趣味性、想象性、交互性、沉浸性为一体的康复环境。治疗师可根据患者的病情选择不同的训练模块,如上肢协调训练、上肢导向性训练、运动协调训练、注意力训练、图片组合训练、目标追踪训练与反应协调训练等,再根据患者运动能力设置训练时间、训练难度与训练模式。多点触摸技术可以分析患者的上肢末端运动范围,记录训练数据,进行

前后对比,跟踪康复进程,实时调整训练方案,不断引导训练者扩大上肢运动范围。

1.4 试验评定

1.4.1 评估方法:分别于治疗前、治疗4周后采用简化的Fugl-Meyer上肢运动功能评定量表(Fugl-Meyer assessment upper extremity, FMA-UE)和香港版偏瘫上肢功能测试(Hong Kong edition of functional test for the hemiplegic upper extremity, FTHUE-HK)、Barthel指数(Barthel index, BI)评估两组患者的上肢运动功能、日常生活活动能力(ability of daily living, ADL),判断患者上肢功能的恢复情况。

1.4.2 评估指标:①简化的FMA-UE:FMA-UE是评估脑卒中患者感觉运动损伤的指标,主要用于评估患者的肩、肘、前臂、手腕和手的运动、协调和反射能力,具有良好的一致性和准确性^[15]。根据患者每项检查任务的完成情况给分,分别为0、1、2分,患者完全不能完成的检查项目得0分,部分完成得1分,完全完成得2分,总分66分。上肢运动功能损伤越重,FMA-UE得分越低。②FTHUE-HK:FTHUE-HK是评估脑卒中患者上肢运动能力及日常生活能力的指标,具有良好的信度和效度^[16]。它可用于患者上肢的整体功能,该测试由12个项目组成,分7个功能级别。每个项目要求患者在3min内完成,共3次尝试机会,根据项目完成情况判定患者功能级别。③BI:BI主要用来预测卒中患者的治疗效果和预后,是一种用于评估患者日常生活活动能力(ADL)的量表。它包括进食、洗澡、修饰、穿衣、大便控制、小便控制、如厕、床椅转移、行走、上下楼梯10项内容,每项任务按照患者的依赖程度分为独立、需部分帮助、需极大帮助、完全不能独立4个等级,每项任务及等级都有其相应的分值,总分100分,分数越高,患者出院后独立生活的可能性越大。

1.5 统计学分析

采用SPSS 20.0统计软件进行统计分析,具有

显著性意义的检验水准定为 0.05,参数的可信区间估计采用 95%可信区间,资料用均数 $\pm$ 标准差表示。组内比较采用配对样本 t 检验,组间比较采用两独立样本 t 检验;基线数据内的计数资料进行 χ^2 检验;对于脱落的病例采取意向性分析的原则进行分析。

2 结果

治疗前两组患者的 FMA-UE 评分、FTHUE-HK 分级、BI 评分比较无显著性差异 ($P>0.05$)。治疗 4 周后,两组患者的 FMA-UE 评分、FTHUE-HK 分级、BI 评分均较治疗前明显提高 ($P<0.05$),试验组优于对照组 ($P<0.05$),见表 2。

表 2 治疗前治疗 4 周后两组患者各项评分比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别/时间	FMA-UP	FTHUE-HK	BI
试验组(n=35)			
治疗前	37.31 $\pm$ 0.43	3.54 $\pm$ 0.51	69.57 $\pm$ 1.52
治疗后	48.37 $\pm$ 1.38 ^{①③}	4.91 $\pm$ 0.20 ^{①③}	79.57 $\pm$ 1.78 ^{①③}
对照组(n=35)			
治疗前	38.17 $\pm$ 0.62	3.77 $\pm$ 0.65	66.43 $\pm$ 1.34
治疗后	43.43 $\pm$ 1.07 ^②	4.20 $\pm$ 0.76 ^②	74.00 $\pm$ 1.43 ^②

注:①试验组治疗前后比较 $P<0.05$;②对照组治疗前后比较 $P<0.05$;③与组间治疗后比较 $P<0.05$

3 讨论

既往临床研究表明,VR 治疗对脑卒中患者上肢运动功能及 ADL 改善疗效明确,能使脑卒中患者偏瘫运动功能从中获益,在疾病的亚急性期或慢性期起到辅助治疗的效果^[17-20],但 VR 联合作业疗法对于脑卒中患者上肢运动功能的影响尚不明确。因此,本研究观察 VR 联合传统 OT 治疗对脑卒中患侧上肢功能改善情况,试验结果显示,在经过 4 周的治疗后,两组患者的 FMA-UE 评分、FTHUE-HK 分级、BI 评分均较治疗前有所提高,且试验组较对照组改善更为显著,表明对比单一传统 OT 治疗,基于虚拟现实技术指导下的多点触控式的靶向性运动控制互动训练结合作业治疗训练,对改善卒中后上肢功能及日常生活能力的疗效更加优异。

VR 与传统治疗相比,传统 OT 治疗主要通过运用各种运动训练技巧,针对性地训练患者的代偿与补偿能力,在改善患者运动功能的同时提高日常生活能力,帮助患者最大限度地改善自理能力,具有明

确的疗效^[14]。随着康复治疗多元化的发展,也逐渐发现 OT 的不足之处^[21]。首先,在三甲综合医院内,受到治疗场地的局限,未能很好地提供贴近真实日常生活方面的训练,因此治疗师在进行 OT 时多强调动作的分解练习,在有限的治疗时间内容易忽略动作的整合性,加上运动形式枯燥单一、重复,患者易感无趣,甚至难以坚持治疗;其次,由于评估方法多以主观评估方法为主,治疗效果难以精准量化,亦缺乏在治疗过程中对患者进行实时有效的治疗反馈,不利于治疗师对整体康复诊疗计划的制定与调整。而 VR 技术可以模拟真实的生活场景,视觉、听觉、触觉的整合及反馈,提供有目的有意义的任务性训练,并及时给予患者精确的感觉回馈,以确保患者能够在真实和安全的治疗环境中,进行重复练习,强化动作的完整性,并实时给予成绩反馈以维持治疗动机,利于增强患者治疗的信心及兴趣。

因此,本研究在保证患者接受疗效确切的传统 OT 治疗的前提下,利用虚拟厨房、飞行游戏、水果游戏等仿真场景,创新性地通过多点触摸技术评估和训练患者上肢及手的精细运动功能,为患者提供丰富的数字化互动训练任务,以弥补传统 OT 训练枯燥单一和评估主观化等缺点。此外,本试验还提供融合视觉、听觉、触觉等多感官的靶向性上肢运动控制互动训练,对患者进行上肢协调训练、上肢导向性训练、运动协调训练及虚拟 ADL 训练。试验结果表明联合治疗对患侧上肢运动功能及日常生活能力改善均较单一 OT 治疗有效。也有研究表明,利用 VR 环境下的运动学分析,为脑卒中患者提供上肢运动定量评估的同时,通过靶向指向任务能够为卒中后上肢感觉运动障碍提供有价值的、特殊的信息^[22]。Perez-Marcos D 等^[23]指出任务特异性 VR 训练对脑卒中慢性阶段的功能恢复有一定的帮助,并在 1 个月的随访中也观察到脑卒中患者肩部活动范围有显著改善,参与者在每次训练后报告的疼痛、压力和疲劳程度都很低,表明了强化 VR 干预的有效性。而且,VR 训练不仅有利于患者的功能恢复,还利于降低治疗师工作强度、减少重复性劳动,促进治疗师节省时间、提高工作效率,更快速有效地为患者制定和调整治疗方案^[24],同样可以弥补传统 OT 治疗的不足。

康复训练的目标是利用神经可塑性机制来提高

患者的运动技能。Liepert等^[25]研究证实对脑卒中偏瘫患肢进行反复运动功能训练,对神经突触有增强作用,从而增加运动诱导的神经可塑性。而虚拟现实技术可以激活大脑初级和次级感觉运动皮质,减少运动前区等部位的异常激活,促进脑神经重塑,患者运动功能的恢复及日常生活能力的提高^[26]。虽然脑出血及脑梗死的发病机制、病理具有差异性,但VR治疗对两者运动功能促进作用的临床效果相似,都是通过大脑运动神经元的功能重塑来实现的^[27]。因此,本试验中试验组上肢运动功能与日常生活活动能力的提高可能与脑神经的重塑有关。

同时,从运动再学习理论的角度来看,VR具有重复练习、成绩反馈、动机维持等核心技术及特点^[9,28],能为患者提供模拟真实生活的训练场景,进行更具实践意义的训练任务和个性化的运动再学习^[10],有利于促进患者功能恢复。Lee S等^[29]的一项随机对照临床试验指出,基于虚拟现实技术的双上肢运动功能训练,对脑卒中患者进行手功能测试、小钉板测试以及肘伸展、握手、捏指等测试中均显示明显获益。官娉等^[30]利用表面肌电图评估VR治疗效果,认为应用虚拟现实技术进行厨房模拟训练,有助于提高脑卒中患者偏瘫侧上肢伸肘肌群力量、增强肘关节屈伸运动的肌肉协调性。由此可见,虚拟现实技术可通过感觉刺激和运动训练以达到促进肢体运动功能恢复和增强大脑皮质重塑的目的^[31],在为患者提供针对日常生活技能训练等方面具有显著的优势^[32]。VR的特点是根据患者功能障碍、病情及心理的需求,选择适合的仿真的康复训练场景,任务取向式康复作业训练,而OT的优势是利用训练技巧提高运动功能而提高日常生活能力、回归家庭。

因此,本研究通过OT训练与VR技术相结合,不仅优势互补能为患者提供个性化的治疗,并以多种反馈形式激发和维持患者重复练习的主动性和积极性,而且能兼顾上肢粗大运动与精细运动训练,以及分解动作和动作连贯整合性的训练,满足运动再学习的理论要求,有能力创建交互式的激励环境,在满足患者感官刺激的同时,激励患者持续地训练,将繁琐无味的机械性康复训练变得生动有趣,更有效地提高脑卒中后患者上肢运动功能及日常生活能力,帮助患者将虚拟训练中学习到的生活或运动技

能更好地运用到现实生活中,达到回归家庭和社会的康复目标。

本研究的观察时间过短,且未对患者进行随访以观察长期的疗效,后续工作中将延长干预时间、观察不同病程以及加强对患者随访的基础上,应用更为全面、客观的评估指标,对虚拟现实在脑卒中患者上肢运动功能障碍的疗效以及机制进行深入研究,以指导虚拟现实技术在临床精准化康复中的应用。

4 结论

研究表明,虚拟现实技术结合传统OT治疗的运动训练技巧,能够优势互补、更有效提高患者治疗的积极性和主动性,快速、高效地改善脑卒中后上肢运动功能及日常生活能力。

参考文献

- [1] Cadilhac DA, Kim J, Lannin NA, et al. Better outcomes for hospitalized patients with TIA when in stroke units: An observational study[J]. *Neurology*,2016,86(22):2042—2048.
- [2] Ciorba A, Aimoni C, Crema L, et al. Sudden hearing loss and the risk of subsequent cerebral ischemic stroke[J]. *B-ENT*,2015,11(3):205—209.
- [3] Bonifacic D, Toplak A, Benjak I, et al. Monocytes and monocyte chemoattractant protein 1 (MCP-1) as early predictors of disease outcome in patients with cerebral ischemic stroke[J]. *Wien Klin Wochenschr*,2016,128(1—2):20—27.
- [4] 王文志. 中国脑血管病防治研究现状和发展方向[J]. *中国现代神经疾病杂志*,2011,11(2):134—137.
- [5] Saposnik G, Teasell R, Mamdani M, et al. Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in stroke rehabilitation: a pilot randomized clinical trial and proof of principle[J]. *Stroke*,2010,41(7):1477—1484.
- [6] Feigin VL, Lawes CM, Bennett DA, et al. Worldwide stroke incidence and early case fatality reported in 56 population-based studies: a systematic review[J]. *Lancet Neurol*, 2009,8(4):355—369.
- [7] 姚滔涛,王宁华,陈卓铭. 脑卒中运动功能训练的循证医学研究[J]. *中国康复医学杂志*,2010,25(6):565—570.
- [8] 李冰洁,李芳. 虚拟现实康复技术在脑卒中后上肢运动障碍中的应用进展[J]. *中国现代神经疾病杂志*,2017,17(4):245—248.
- [9] Holden MK. Virtual environments for motor rehabilitation: review[J]. *Cyberpsychol Behav*,2005,8(3):187—211, 212—219.
- [10] 王宏图. 虚拟现实技术在脑卒中运动康复中的应用现状[J]. *中国康复理论与实践*,2014,20(10):911—915.

- [11] 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 Rehabil*, 2007,14(2):52—61.
- [12] 中华神经内科学会. 脑卒中患者神经功能缺损程度评分标准(1995)[J]. *中华神经内科学杂志*,1996,29(6):381.
- [13] 南登崑,黄晓琳. 实用康复医学[M]. 北京:人民卫生出版社,2009.742.
- [14] 窦祖林. 作业治疗学[M]. 北京:人民卫生出版社,2008.
- [15] Sullivan KJ, Tilson JK, Cen SY, et al. Fugl-Meyer assessment of sensorimotor function after stroke: standardized training procedure for clinical practice and clinical trials[J]. *Stroke*,2011,42(2):427—432.
- [16] 张妍昭,黄琴,王刚,等. 香港版偏瘫上肢功能测试评定脑卒中患者上肢功能的效度和信度研究[J]. *中华物理医学与康复杂志*,2016,38(11):826—829.
- [17] Ikbali AS, Mirzayev I, Umit YO, et al. Virtual reality in upper extremity rehabilitation of stroke patients: a randomized controlled trial[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*,2018, 27(12):3473—3478.
- [18] Turolla 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 张丽,瓮长水. 虚拟现实技术在老年康复医学中的应用研究进展[J]. *中国康复理论与实践*,2012,18(1):44—46.
- [22] Hussain N, Alt MM, Sunnerhagen KS. Upper limb kinematics in stroke and healthy controls using target-to-target task in virtual reality[J]. *Front Neurol*,2018,9:300.
- [23] Perez-Marcos D, Chevalley O, Schmidlin T, et al. Increasing upper limb training intensity in chronic stroke using embodied virtual reality: a pilot study[J]. *J Neuroeng Rehabil*,2017,14(1):119.
- [24] 张玉明,张秀芳,张明,等. 肩胛骨运动控制训练结合虚拟现实技术对脑卒中患者上肢功能的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*,2017,39(3):194—196.
- [25] Liepert J, Bauder H, Wolfgang HR, et al. Treatment-induced cortical reorganization after stroke in humans[J]. *Stroke*,2000,31(6):1210—1216.
- [26] 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(6):1166—1171.
- [27] 梁明,窦祖林,王清辉,等. 虚拟现实技术对脑卒中患者偏瘫上肢肱二、三头肌表面肌电的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2013,28(10):904—908, 928.
- [28] Lange BS, Requejo P, Flynn SM, et al. The potential of virtual reality and gaming to assist successful aging with disability[J]. *Phys Med Rehabil Clin N Am*,2010,21(2):339—356.
- [29] Lee S, Kim Y, Lee BH. Effect of virtual reality-based bilateral upper extremity training on upper extremity function after stroke: a randomized controlled clinical trial[J]. *Occup Ther Int*,2016,23(4):357—368.
- [30] 官嫆,陈妍,张韶辉. 虚拟现实技术对脑卒中患者偏瘫上肢肱二肌和肱三头肌表面肌电的影响[J]. *临床和试验医学杂志*, 2018,17(3):324—327.
- [31] Hallett M. Recent advances in stroke rehabilitation[J]. *Neurorehabil Neural Repair*,2002,16(2):211—217.
- [32] Holden MK. Virtual environments for motor rehabilitation: review[J]. *Cyberpsychol Behav*,2005,8(3):187—211,212—219.