

本文引用格式:谭智文,彭洁,王悦,等.基于磁共振DTI探讨VR上肢训练改善卒中偏瘫患者上肢功能及生活自理能力的神经机制[J].安徽医学,2024,45(1):79-82.DOI:10.3969/j.issn.1000-0399.2024.01.017

基于磁共振 DTI 探讨 VR 上肢训练改善卒中偏瘫患者上肢功能及生活自理能力的神经机制

谭智文 彭洁 王悦 张人仁 何岳义

[摘要] 目的 探讨虚拟现实(VR)上肢训练对卒中后偏瘫患者基于磁共振弥散张量成像(DTI)评估上肢功能及生活自理能力的影响。方法 选取2021年1月至2022年3月眉山市中医医院与眉山市心脑血管医院收治的卒中后偏瘫患者共114例,随机分为2组:;对照组57例采用常规康复治疗干预,试验组57例在对照组基础上联合VR上肢训练干预;比较两组患者干预前后改良Barthel指数量表评分(MBI)、Fugl-Meyer运动功能评定量表上肢部分(FMA-UL)评分及磁共振DTI评估相关指标。结果 两组患者干预前后改良Barthel指数量表评分、FMA量表上肢部分评分差值、放射冠患侧各向异性分数、各向异性分数比值及放射冠各向异性分数不对称性差值比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。结论 VR上肢训练辅助治疗卒中后偏瘫可促进上肢功能恢复和提高生活自理能力;促进放射冠为代表的皮质脊髓束修复可能是关键机制之一。

[关键词] 虚拟现实;卒中;偏瘫;磁共振;弥散张量成像

doi:10.3969/j.issn.1000-0399.2024.01.017

近年来随着老龄化程度加重及生活饮食习惯改变,脑卒中发病率呈逐年升高趋势,卒中后偏瘫发生例数亦显著增加^[1]。有研究显示,卒中后偏瘫存活患者中超过50%在发病12周后仍存在上肢运动功能障碍,严重影响患者生活自理能力及康复进程^[2]。如何有效促进卒中后偏瘫患者上肢功能恢复已成为医学界关注的热点问题。虚拟现实(virtual reality, VR)技术通过以计算机和专业软硬件所构建的三维视听虚拟化环境,使人类在虚拟环境中与物体交互完成相关活动及操作,并产生接近真实场景的体验^[3];有研究提示,基于VR技术开展康复运动有助于提高卒中后偏瘫患者上肢功能及生活自理能力^[4]。磁共振弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)技术能够在活体状态下完成脑白质纤维束成像技术,更为直观反映脑内病变对脑白质纤维形态结构的影响,为脑部疾病后肢体功能障碍患者康复干预效果提供依据^[5]。基于以上证据,本研究前瞻性分析VR上肢训练对卒中后偏瘫患者基于磁共振DTI评估上肢功能及生活自理能力的影响,旨在进一步探索VR上肢训练干预潜在作用机制。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2021年1月至2022年3月眉山市中医医院和眉山市心脑血管医院收治卒中后偏瘫

患者共114例,男性62例,女性52例,年龄51~73岁,平均年龄为 (60.86 ± 7.48) 岁;随机分为对照组和试验组,每组57例。纳入标准:①符合脑卒中中国诊疗指南相关标准^[6-7];②经CT、MRI等影像学检查证实为脑卒中;③年龄 ≥ 18 周岁;④首次发病;⑤病程1~3个月;⑥患侧上肢徒手肌力 ≥ 3 级且肌张力 ≤ 2 级。排除标准:①简易精神状态量表评分 ≤ 24 分;②其他精神或神经系统疾病;③卒中发病前上肢关节疼痛或活动受限;④重要脏器功能障碍;⑤无法配合检查治疗;⑥磁共振检查禁忌症。研究方案经医院伦理委员会批准[伦理(研)2022第45号],且患者及家属签署知情同意书。两组患者一般资料,比较差异无统计学意义($P>0.05$)。见表1。

1.2 干预方法 对照组采用常规康复治疗,包括患侧上肢主要关节的松动手法、主动/辅助/被动运动、作业治疗等,上述康复治疗每次均20 min,1次/天。

试验组则在对照组基础上联合VR上肢训练,采用荷兰Silverfit VR康复训练系统指导训练:①显示器提供虚拟环境和交互场景显示;②位置追踪器提供对患者位置及运动变化实时追踪,并根据变化情况调整交互性;③操作键盘作手柄用于训练或游戏操作;④具体训练内容包括接鸡蛋、摆方块、射击及打排球,其中接鸡蛋和摆方块主要用于肩关节前屈后伸、内收外展及

作者单位:620000 四川眉山 眉山市中医医院康复医学科(谭智文,彭洁,何岳义)

620000 四川眉山 眉山市心脑血管医院康复医学科(王悦,张人仁)

通信作者:何岳义, msheyueyi@126.com

表 1 两组患者一般资料比较

组别	例数	男/女(例)	年龄(岁)	病程(月)	卒中类型(例)		偏瘫侧(例)	
					脑梗死	脑出血	左侧	右侧
对照组	57	30/27	60.41±7.27	1.96±0.46	26	31	32	25
试验组	57	32/25	61.07±7.69	2.01±0.49	28	29	35	22
χ^2 值		0.141	0.471	0.562	0.140		0.326	
P值		0.707	0.638	0.575	0.708		0.568	

旋前旋后训练;射击游戏主要用于肘关节屈曲伸展、前臂旋前旋后及腕关节屈伸训练训练、打排球游戏主要用于上肢精细协调训练及手眼协调训练;由专业康复师根据上肢功能障碍回复情况选择具体游戏类型及训练难度,上述训练每次 20 min,1 次/天。两组患者均干预 4 周,对照组失访 3 例,试验组失访 2 例。。

1.3 观察指标 分别于干预前和干预后 4 周进行疗效评估:①生活自理能力评估采用改良 Barthel 指数量表,共 10 项指标,总分 100 分,分值越高提示生活自理能力越佳^[6]。②上肢运动功能评估采用 Fugl-Meyer 运动功能评定(Fugl-Meyer motor function assessment, FMA)量表上肢部分评分,包括 33 项指标,每项 0~2 分,总分 66 分,分值越高提示上肢运动功能越佳^[6]。③磁共振弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)检测采用飞利浦 Ingenia3.0T 型磁共振仪,选择标准头线圈,平卧下完成扫描;平面回波成像参数设置:序列重复时间=900 ms,回波时间=65 ms,扫描视野=22 cm×22 cm,矩阵=128×128,层厚=3 mm,层间隔=0.1 mm。以胼胝体联合连线为基线连续获取 33 层图像,弥散权重分别设置为 0,1 000 s/mm²,采集时间每次 259 s。获得原始数据经 Functool 软件构建各向异性分数,分别在大脑脚、内囊后肢及放射冠封面及对侧对称部位勾画感兴趣区,计算双侧各向异性分数,每区连续测量 3 次取平均值;其中各向异性分数比值为病灶侧与对侧各向异性分数比值,各向异性分数不对称性=(健侧各向异性分数-患侧各向异性分数)/(健侧各向异性分数+患侧各向异性分数),偏侧性越高提示皮质脊髓束损伤程度越高。记录治疗过程中不良反应发生情况。

1.4 统计学方法 选择 SPSS 20.0 软件处理数据;统计学方法采用 *t* 检验、秩和检验及 χ^2 检验;以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者干预前后改良 Barthel 指数量表评分和 FMA 量表上肢部分评分比较 两组患者干预前的改良 Barthel 指数量表评分、FMA 量表上肢部分评分差异无统计学意义($P>0.05$)。经过干预后,两组患者的上述评分均增高,且干预前后上述评分差值比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 2。

2.2 两组干预前后磁共振 DTI 评估相关指标比较 两组干预前后大脑脚和内囊后肢磁共振 DTI 评估相关指标差异无统计学意义($P>0.05$)。两组干预前,放射冠患侧各向异性分数、各向异性分数比值、各向异性分数不对称性差异无统计学意义($P>0.05$)。在干预后,两组患者的放射冠患侧各向异性分数、各向异性分数比值均增高,两组患者的放射冠各向异性分数不对称性均降低($P<0.05$)。干预后,试验组患者的放射冠患侧各向异性分数、各向异性分数比值高于对照组($P<0.05$),试验组患者的放射冠各向异性分数不对称性低于对照组;两组的放射冠患侧各向异性分数、各向异性分数比值、放射冠各向异性分数不对称性干预前后差值差异具有统计学意义($P<0.05$)。见表 3~5。

2.3 安全性评估 入选患者治疗过程中未观察到严重不良反应,仅试验组中出现 1 例眼部不适,自行缓解,且均顺利完成治疗。

3 讨论

VR 技术近年来已被广泛用于卒中患者肢体功能康复干预^[7]。有学者报道采用 VR 游戏系统辅助治疗卒中后偏瘫患者 12 周后 FMA 评分较治疗前显著提高^[8]。而另一项研究则表明,亚急性期卒中后上肢功能障碍患者采用 VR 技术下篮球训练较传统上肢功能锻

表 2 两组患者干预前后改良 Barthel 指数量表评分和 FMA 量表上肢部分评分比较($\bar{x}\pm s$,分)

组别	例数	改良 Barthel 指数量表评分			FMA 量表上肢部分评分		
		干预前	干预后 4 周	差值	干预前	干预后 4 周	差值
对照组	54	40.54±4.94	45.81±5.70	5.12±1.05	64.54±5.74	69.08±6.50	5.32±1.33
试验组	55	40.70±4.99	51.58±6.32	10.62±2.35	65.21±5.90	77.34±7.17	11.74±2.74
<i>t</i> 值		0.168	5.002	15.725	0.601	6.298	15.516
P值		0.867	<0.001	<0.001	0.549	<0.001	<0.001

表 3 两组干预前后磁共振患侧各向异性分数比较($\bar{x}\pm s$,分)

组别	例数	大脑脚			内囊后肢			放射冠		
		干预前	干预后 4 周	差值	干预前	干预后 4 周	差值	干预前	干预后 4 周	差值
对照组	54	0.46±0.08	0.44±0.07	0(0,0)	0.31±0.07	0.32±0.08	0(0,0)	0.20±0.04	0.26±0.05	0.06±0.01
试验组	55	0.45±0.10	0.44±0.09	0(0,0)	0.32±0.06	0.33±0.07	0(0,0)	0.21±0.04	0.32±0.06	0.11±0.02
t 值		0.576	0.000	0.000	-0.801	-0.695	0.000	-1.305	-5.666	-16.461
P 值		0.566	1.000	1.000	0.425	0.489	1.000	0.195	<0.001	<0.001

表 4 两组干预前后磁共振各向异性分数比值比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	大脑脚			内囊后肢			放射冠		
		干预前	干预后 4 周	差值	干预前	干预后 4 周	差值	干预前	干预后 4 周	差值
对照组	54	0.64±0.09	0.62±0.10	0(0,0)	0.48±0.07	0.50±0.08	0(0,0)	0.38±0.08	0.44±0.10	0.06±0.01
试验组	55	0.63±0.09	0.62±0.08	0(0,0)	0.50±0.07	0.52±0.09	0(0,0)	0.39±0.06	0.49±0.08	0.10±0.01
t 值		0.580	0.000	0.000	-1.491	-1.225	0.000	-0.739	-2.885	-20.880
P 值		0.563	1.000	1.000	0.139	0.223	1.000	0.461	0.005	<0.001

表 5 两组干预前后磁共振各向异性分数不对称性比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	大脑脚			内囊后肢			放射冠		
		干预前	干预后 4 周	差值	干预前	干预后 4 周	差值	干预前	干预后 4 周	差值
对照组	54	0.24±0.04	0.23±0.05	0(0,0)	0.36±0.09	0.34±0.08	0(0,0)	0.47±0.09	0.42±0.06	-0.05±0.01
试验组	55	0.24±0.04	0.22±0.04	0(0,0)	0.34±0.08	0.33±0.07	0(0,0)	0.49±0.07	0.36±0.04	-0.13±0.02
t 值		0.000	1.154	0.000	1.227	0.695	0.000	-1.296	-6.153	26.337
P 值		1.000	0.251	1.000	0.223	0.489	1.000	0.198	<0.001	<0.001

炼具有更高 FMA 上肢运动功能评分^[9];此外通过 VR 游戏系统动态调整人物运动方向及速度,完成网球、高尔夫球及保龄球等项目,有助于提高卒中后偏瘫患者手腕关节及前臂运动功能,明显优于可传统作业疗法^[10]。本次研究中两组的改良 Barthel 指数量表评分和 FMA 量表上肢部分评分干预前后差值数据差异具有统计学意义,进一步支持以上观点。

皮质脊髓束是锥体束中调节运动功能最大且最重要下行纤维束;而卒中发生后较易导致皮质脊髓束损伤及继发髓鞘变性^[11]。磁共振 DTI 技术能够实现对皮质脊髓束定量评估及完整性/方向性动态监测,并可分析卒中病灶与正常组织弥散特征,而这被认为是其用于康复干预效果评估的基础^[12]。磁共振 DTI 检查主要通过各向异性分数反映水分子弥散各向异性成分在弥散张量中所占比例,各向异性分数随水分子弥散各向异性程度提高而增加,而这亦提示纤维束连接朝向相同方向,不利于轴突发芽及突触重建;此外各向异性分数还与髓鞘完整性、神经纤维致密性及平行性有关^[13]。

以往报道对于皮质脊髓束探索多集中于病灶层面,本研究在此技术上将分析范围扩大至大脑脚、内囊后肢及放射冠层面。有学者报道提示,脑卒中可造成

皮质脊髓束轴突损伤、树突变性及组织水肿肿胀,严重者出现纤维束移位中断及数量减少^[14]。本次研究结果中,两组的放射冠患侧各向异性分数、各向异性分数比值、放射冠各向异性分数不对称性干预前后差值的数据差异具有统计学意义,证实 VR 上肢训练可促进卒中后偏瘫患者皮质脊髓束轴突发芽并重建突触,实现动态修复或代偿,这一修复作用以放射冠最为显著,且明显优于常规作业疗法。笔者观察到入选患者治疗后大脑脚层面各向异性分数下降,笔者分析这可能是优于神经细胞损伤后轴突生长和髓鞘修复存在由近及远缓慢变化趋势有关,大脑脚较病灶相对较远,故纤维束数量呈一定减少趋势,而随时间推移这一层面纤维束数量呈持续增加趋势,进一步证实上肢功能恢复与皮质脊髓束修复间密切关系,而各向异性分数理论上能够通过反映患者运动神经传导通路完整性,指导偏瘫上肢运动功能恢复程度评估^[15-16]。相关研究提示卒中后偏瘫患者接受肢体康复训练能够有效增强神经突触作用,提高运动诱发神经功能可塑性^[17-18];而功能磁共振扫描下亦提示 VR 训练可促进卒中患者神经运动通路皮质重组,激活损伤对侧感觉运动皮质区^[19-20]。研究不足:①属于单中心研究,所得结论仍需进一步多中心

研究确证;②磁共振 DTI 检查中感兴趣区域需手工绘制,尽管本研究均由高年资影像科医师完成定位勾画,但仍无法完全避免主观因素干扰,有待后续更为准确自动勾画手段应用以提高结论准确性。

综上所述,VR 上肢训练辅助治疗卒中后偏瘫在促进上肢功能恢复和提高生活自理能力方面具有优势;而磁共振 DTI 评估所观察到以放射冠为代表皮质脊髓束修复可能是这一疗法疗效更佳关键机制所在。

参考文献

- [1] CHEN C H, KREIDLER T, OCHSENFART A. Rehago – a home-based training app using virtual reality to improve functional performance of stroke patients with mirror therapy and gamification concept: a pilot study [J]. *Stud Health Technol Inform*, 2022, 292(5): 91–95.
- [2] KWON J A, SHIN Y K, KIM D J, et al. Effects of balance training using a virtual reality program in hemiplegic patients [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(5): 2805–2810.
- [3] OSSMY O, MANSANO L, FRENKEL-TOLEDO S. Motor learning in hemi-parkinson using VR-manipulated sensory feedback [J]. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2022, 17(3): 349–361.
- [4] CAO X, WANG Z, CHEN X, et al. White matter degeneration in remote brain areas of stroke patients with motor impairment due to basal ganglia lesions [J]. *Hum Brain Mapp*, 2021, 42(14): 4750–4761.
- [5] GOYAL C, VARDHAN V, NAQVI W. Virtual reality-based intervention for enhancing upper extremity function in children with hemiplegic cerebral palsy: a literature review [J]. *Cureus*, 2022, 14(1): e21693.
- [6] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组.中国急性缺血性脑卒中诊治指南2018[J].中华神经科杂志,2018,51(9):666–682.
- [7] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组.中国脑出血诊治指南(2019)[J].中华神经科杂志,2019,52(12):994–1005.
- [8] MURAOKA K, TAKIMOTO Y, NAKAZAWA E, et al. Stroke survivors' experiences and needs during the decision-making process considering rehabilitation options: a pilot descriptive study in Japan [J]. *Prog Rehabil Med*, 2022, 7(5): 20220024.
- [9] MCCALL J V, LUDOVIC M C, BLAYLOCK J A, et al. A platform for rehabilitation of finger individuation in children with hemiplegic cerebral palsy [J]. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*, 2019, 20(19): 343–348.
- [10] KUMAR D, SINHA N, DUTTA A, et al. Virtual reality-based balance training system augmented with operant conditioning paradigm [J]. *Biomed Eng Online*, 2019, 18(1): 90–97.
- [11] KARAMIANS R, PROFFITT R, KLINED, et al. Effectiveness of virtual reality- and gaming-based interventions for upper extremity rehabilitation poststroke: a meta-analysis [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2020, 101(5): 885–896.
- [12] SHUM L C, VALDES B A, HODGES N J, et al. Error augmentation in immersive virtual reality for bimanual upper-limb rehabilitation in individuals with and without hemiplegic cerebral palsy [J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2020, 28(2): 541–549.
- [13] NOROUZI-GHEIDARI N, ARCHAMBAULT P S, FUNG J. Changes in arm kinematics of chronic stroke individuals following "Assist-As-Asked" robot-assisted training in virtual and physical environments: a proof-of-concept study [J]. *J Rehabil Assist Technol Eng*, 2020, 7(6): 2055668320926054.
- [14] ROBERTS H, SHIERK A, CLEGG N J, et al. Constraint induced movement therapy camp for children with hemiplegic cerebral palsy augmented by use of an exoskeleton to play games in virtual reality [J]. *Phys Occup Ther Pediatr*, 2021; 41(2): 150–165.
- [15] KIM W S, CHO S, KU J, et al. Clinical application of virtual reality for upper limb motor rehabilitation in stroke: review of technologies and clinical evidence [J]. *J Clin Med*, 2020, 9(10): 3369–3378.
- [16] SHIDELER B L, MARTELLI D, PRADO A, et al. Over-ground gait training using virtual reality aimed at gait symmetry [J]. *Hum Mov Sci*, 2021, 76(4): 102770.
- [17] KIM E B, KIM S, LEE O. Upper limb rehabilitation tools in virtual reality based on haptic and 3D spatial recognition analysis: a pilot study [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(8): 2790–2795.
- [18] SULFIKAR ALI A, ARUMUGAM A, KUMARAN D S. Effectiveness of an intensive, functional, gamified Rehabilitation program in improving upper limb motor function in people with stroke: a protocol of the Entertrain randomized clinical trial [J]. *Contemp Clin Trials*, 2021, 105(6): 106381.
- [19] XU F, WANG Y, LI H, et al. Time-varying effective connectivity for describing the dynamic brain networks of post-stroke rehabilitation [J]. *Front Aging Neurosci*, 2022, 14(5): 911513.
- [20] DIBELLA E V R, SHARMA A, RICHARDS L, et al. Beyond diffusion tensor MRI methods for improved characterization of the brain after ischemic stroke: a review [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2022, 43(5): 661–669.

(2022-07-11 收稿)

(本文编校:崔月婷,张迪)