

基于运动想象的脑机接口技术治疗脑卒中慢性期严重手功能障碍1例报告*

胡义茜¹ 高天昊¹ 陆蓉蓉¹ 白玉龙^{1,2}

手功能障碍是脑卒中后常见的运动功能障碍。由于手部的感觉及运动在大脑皮质中的投影区范围较大(约1/3的运动皮层),因此手部运动功能恢复缓慢,尤其6个月后的慢性期患者,从常规康复训练中的获益较小,临床上有效的康复治疗方有限。近年来,随着康复医学、生物医学工程、计算机科学以及人工智能等学科的不断融合、发展,脑机接口(brain-computer interface, BCI)技术已成功用于脑卒中患者的运动障碍的康复训练中。BCI是一种包括虚拟现实(virtual reality, VR)、脑部刺激和神经反馈等在内的无创神经调节技术,已有许多临床随机对照试验验证了BCI在卒中后上肢运动功能恢复的康复潜力^[1-3],其中基于运动想象(motor imagine, MI)的BCI应用较为广泛。目前关于BCI的研究大多仍处于临床试验阶段,许多研究是结合了外部设备,如外骨骼机器人、功能性电刺激等^[4-9],因为其设备复杂性、经济不适用以及患者适应性等原因,可能导致其临床推广性仍较差。而本研究中应用基于运动想象的脑机接口技术联合多模态感知反馈训练,对脑卒中慢性期严重手功能障碍的一名患者进行治疗,该研究中未涉及外部设备,尝试通过视觉、轻触觉的输入及反馈,联合BCI技术,在治疗过程中患者更加关注自身的运动想象,以期达到较好的临床治疗效果,现报道如下:

1 病例资料

1.1 患者信息

患者女性,55岁,因“左侧肢体活动不利7月余”于2020年11月3日入住我院康复科。患者2020年3月26日因意外事件致情绪激动,随即出现左侧肢体不能活动,紧急送往当地医院,途中患者神志逐渐模糊,完善急诊头颅CT提示:右基底节区脑出血。予脱水降颅压等对症支持治疗后病情逐渐稳定,此后于当地康复医院积极行康复治疗6月余:患者左下肢近端运动功能恢复较快(髋、膝关节),远端尚无自主运动(踝、趾关节),但已具有独立步行能力;左上肢近端恢复

较慢,仅能够主动进行小范围的肩关节屈伸、外展和内收,以及肘关节的屈伸,左腕关节及左手指无任何恢复,仍处于软瘫期,无明显自主运动。

既往史:既往高脂血症,未规律服用降脂药;无高血压、糖尿病等慢性疾病病史。

体格检查及康复评定:①颅神经检查:神清,精神可,对答切题,定时定向力、记忆力、计算力可,听理解正常。双侧瞳孔等大等圆,对光反射灵敏,眼球各向活动正常。双侧额纹对称,左侧鼻唇沟稍浅,口角基本对称,鼓腮可,伸舌稍左偏,无吞咽困难。余检查(-)。②感觉功能:左面部及左上肢痛觉过敏,温度觉、触觉较对侧减退,深感觉无明显异常。③运动功能:右侧肢体肌力、肌张力正常。左肩外展、前屈肌力2级,左屈肘、伸肘肌力2级,左腕关节及左手指肌力0级;左屈腕肌力4级,伸膝肌力4级,屈膝肌力4级,左踝及各脚趾肌力0级,左侧改良Ashworth评分:屈肘肌1级,伸肘肌1级,左腕及左手指屈伸肌张力低下,踝跖屈肌2级,踝阵挛<10s。左侧腱反射(+++),巴氏征(+).左侧Brunnstrom分期III-I-V期。④疼痛:左肩局部轻微压痛,外展活动时肩痛明显,VAS评分:3分,左肩关节触诊肩峰下间隙较对侧增大。⑤平衡功能:坐位平衡3级,站位2级。⑥日常生活活动能力评定:Barthel指数70分,中度功能缺陷。⑦上肢运动功能评定:FMA-UE评分(Fugl-Meyer assessment scale-upper extremity):11分;运动功能状态量表(Motor Status Scale, MSS)评分:肩肘16.2分/手0分。⑧表面肌电图评定:患侧波幅(μV):屈腕:1.41,伸腕:1.09;患侧曲线下面积($\mu V \cdot s$):屈腕:11.03,伸腕:8.49。主要评定结果见表1。

1.2 康复治疗方

1.2.1 常规康复治疗:根据患者功能状况评估结果,继续予运动训练、作业治疗、针灸、电子生物反馈等常规康复治疗。患者目前左肩关节已有小范围的屈曲、内收、外展等动作,但左上肢远端肢体肌张力尚低,无自主运动,主要康复目标为进一步增加左上肢近端肢体肌力及主动关节活动度,并尝试

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.02.019

*基金项目:国家自然科学基金青年基金项目资助课题(81902280)

1 复旦大学附属华山医院康复医学科,上海市,200040; 2 通讯作者
第一作者简介:胡义茜,硕士研究生,住院医师; 收稿日期:2021-09-15

诱发左上肢远端肢体的主动运动。

1.2.2 基于MI的BCI训练:考虑患者现已处于脑卒中慢性期,在外院积极规律康复治疗6月余,左上肢运动功能仍未见继续恢复迹象:左侧腕关节及各手指仍无主动屈伸,且肌张力低下,仅左上肢近端肢体有小范围的关节活动且肌力较弱。予增加基于MI的BCI治疗,风险及获益均已充分告知患者,患者同意治疗方案后开始新的治疗尝试:该治疗是利用基于MI的BCI系统(通过团队编辑的程序,实时采集患者脑电信号并进行实时分析)与感、视觉反馈相结合提供训练。患者首先接受双侧手腕的毛刷感觉输入,同时给予视觉信息(患者可以通过VR眼镜看到毛刷在刷屏幕上的虚拟手)传入,之后根据虚拟手旁边的小球颜色变化进行相应的运动想象(红球出现在哪一侧虚拟手,现实中的该侧手进行相应的伸展或抓握的想象),由计算机根据事件相关同步化或去同步化(event-related synchronization, ERS/event-related desynchronization, ERD)判断想象状态,并给予相应的视觉反馈(屏幕上出现虚拟手的活动)。每次的训练时间为30min(包含4个循环,每个循环持续6min,循环间休息2min),每周5次,持续4周,共20次。经过规范治疗后,患者左侧手功能较前有明显改善,患者对后续康复治疗信心增加。

2 结果

经过20次规范治疗后,该患者康复效果较为满意,左腕关节及左手各指间关节出现主动运动,肌张力较前提高,治疗过程中较为顺利,无特殊不良反应事件发生。予终期评估,结果显示:①颅神经检查:神清,精神可,对答切题,定时定向力、记忆力、计算力可,听理解正常。双侧瞳孔等大等圆,对光反射灵敏,眼球各向活动正常。双侧额纹对称,左侧鼻唇沟稍浅,口角基本对称,鼓腮可,伸舌基本居中,无吞咽困难。余检查(-)。②感觉功能:左面部及左上肢痛觉过敏较前减轻,温度觉、触觉较对侧略减退,深感觉无明显异常。③运动功能:右侧肢体肌力、肌张力正常。左肩外展、前屈肌力3级,左屈肘、伸肘肌力3级,左腕关节可有小范围屈伸,屈曲更明显,肌力2级,左手指屈肌力2级,未达全关节范围,尚不能伸指;左屈髋肌力4级,伸膝肌力4级,屈膝肌力4级,左踝及左足趾可屈伸,未达全关节范围。左侧改良Ashworth评分:屈肘肌1级,伸肘肌1级,屈腕肌1级,指深屈肌1级,拇长屈肌1级,踝跖屈肌2级,踝阵挛<10s。左侧腱反射(+++),巴氏征(+)。左侧Brunnstrom分期Ⅲ-I-V期。④疼痛:左肩局部轻微压痛,外展活动时肩痛明显,VAS评分:2分,左肩关节触诊肩峰下间隙较对侧增大。⑤平衡功能:坐位平衡3级,站位3级。⑥日常生活活动能力评定:Barthel指数75分,轻度功能缺陷。⑦上肢运动功能评定:FMA-UE评分:16分,MSS评分:肩肘21.4分/手2.4分。8、表面肌电图评定:左侧

波幅(μV):屈腕:6.10,伸腕:14.66;左侧曲线下面积($\mu V \cdot s$):屈腕:68.19,伸腕:162.22。9、左侧腕关节活动度:可主动伸腕 10° 、屈腕 15° 左右,左手指可做集团屈曲,可做勾状抓握,握力稍弱。治疗后主要结果见表1。

表1 治疗前后主要评定结果比较

评定内容	治疗前	治疗后	相较于基线的增量
FMA-UE(分)	11	16	5
MSS(肩肘/手)(分)	16.2/0	21.4/2.4	5.2/2.4
左腕关节活动度(屈/伸 $^\circ$)	无自主运动	15/10	15/10
BI(分)	70	75	5
sEMG波幅(μV)	1.41/1.09	6.10/14.66	4.69/13.57
SEMG曲线下面积($\mu V \cdot s$)	11.03/8.49	68.19/162.22	57.16/153.73

3 讨论

随着世界人口的老龄化、生活习惯以及环境变化的影响,脑卒中的发病率也在逐年上升,且仍然是导致长期残疾的主要原因,其中上肢瘫痪尤其常见,脑卒中后的功能障碍已成为全球主要的健康问题^[6-7]。因为治疗周期长且预后不良,卒中后上肢和手的运动功能障碍在康复治疗中显得尤为重要^[8]。目前上肢及手功能障碍的常规康复治疗手段多集中于外周治疗,如神经肌肉促通技术、神经肌肉电刺激以及各类手法治疗等。但对慢性期的卒中患者而言,常规的康复治疗手段可能收效甚微,因此寻找更为有效的康复手段是临床医师和治疗师都尤为关心的问题。

BCI技术是近年来发展较为快速的新型康复治疗技术,是区别于常规外周治疗而直接针对大脑中枢的治疗手段。不同于通过大脑、神经、血管、肌肉等传统的信息交换渠道,BCI可以借助人工智能设备使人类大脑直接与外界信息进行交流—即通过计算机采集大脑发出的某种控制信号,经计算机分析和转化,将脑电信号转化为驱动计算机的信号,然后再通过计算机控制和操作周边设备,从而实现人脑与计算机或人脑与外部环境之间的通信交互^[9]。有研究也发现了BCI在改善脑卒中患者上肢运动功能障碍方面的潜力^[10-11]。这为我们的研究提供了一定的支持。运动想象也是近年来较为新型的治疗技术,其最大的优点之一是对患者的残余运动功能要求不高,只要患者认知功能正常,可以在治疗师的指导下进行相应的动作想象,就可以参与这项治疗,这对慢性期仍只有少量残余功能的患者来说是一种很好的治疗手段^[12]。既往已有研究证明BCI可以增强运动想象练习,这说明将运动想象与BCI结合是可行且有效的^[13]。

本研究应用基于运动想象的BCI技术联合多模态感知反馈训练治疗1例慢性期严重上肢功能障碍的患者,纳入研究前,该患者进行了为期6个多月的规范康复训练,但左上

肢仅有近端功能恢复,且肩、肘关节的主动活动范围较小,远端腕关节及手指完全没有恢复,仍处于软瘫期。而且根据《康复科医师进阶精要》一书^[14],绝大部分患者中功能恢复多见于发病后最初3个月。这些都说明在常规康复训练下该患者的左上肢运动功能可能无法在短期内获得进一步的恢复。这对患者的日常生活产生很大的影响,在征的患者及家属的同意后予尝试进行基于运动想象的脑机接口训练,经过20次的规范治疗后,该患者的腕关节从软瘫无力到能够主动屈曲15°,伸展10°,左肩肘关节主动活动范围和肌力也较治疗前有所增加。这与先前一些随机对照实验的研究结果也是一致的^[15-16]。本研究更加注重患者内部的运动想象能力,促进脑功能重组,简单的组合可能更有利于临床推广。

本研究也存在一定的局限性,目前仅纳入了1例患者,对于慢性期卒中患者的严重手功能障碍的疗效仍需要随机试验来验证,以排除其偶然性,在后续的研究中还应进行随访以明确其长期有效性,同时增加对大脑结构变化和神经传导功能的研究,以探究BCI技术促进运动功能恢复的作用机制,从而实现对该项新技术全面而准确的评价。另外,应用BCI训练时需要患者具备一定的自主运动想象能力,该病例中尚无明确的监测手段以确定患者神经心理方面因素的影响,后续的研究中可对此部分进行进一步的探讨。总的来说,BCI技术可能为脑卒中慢性期患者的严重手功能障碍提供一项新的治疗方案,值得临床进行进一步研究和推广。

参考文献

- [1] Rosenfeld JV, Wong YT. Neurobionics and the brain-computer interface: current applications and future horizons[J]. Med J Aust, 2017,206:363—368.
- [2] Salisbury DB, Parsons TD, Monden KR, et al. Brain-computer interface for individuals after spinal cord injury[J]. Rehabil Psychol, 2016,61:435—441.
- [3] Kim SS, Lee BH. Motor imagery training improves upper extremity performance in stroke patients[J]. J Phys Ther Sci, 2015, 27(7):2289—2291.
- [4] Frolov AA, Mokienko O, Lyukmanov R, et al. Post-stroke Rehabilitation Training with a Motor-Imagery-Based Brain-Computer Interface (BCI)-Controlled Hand Exoskeleton: A Randomized Controlled Multicenter Trial[J]. Front Neurosci, 2017,20,11:400.
- [5] Kim T, Kim S, Lee B. Effects of Action observational training plus brain-computer interface-based functional electrical stimulation on paretic arm motor recovery in patient with stroke: A randomized controlled trial[J]. Occup Ther Int, 2016, 23(1):39—47.
- [6] Warlow C, van Gijn J, Dennis M, et al. Stroke: practical management[M]. Oxford: Blackwell Publishing, 2008.
- [7] Sun HX, Wang WZ. Epidemiological sampling report of cerebrovascular diseases among 600000 people in China[J]. China J Modern Neurol Dis, 2018,18:83—88.
- [8] Alberts MJ, Latchaw RE, Jagoda A, et al. Revised and updated recommendations for the establishment of primary stroke centers: a summary statement from the brain attack coalition[J]. Stroke, 2011,42:2651—2665.
- [9] Kennedy PR, Adams KD. A decision tree for brain-computer interface devices[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2003, 11(2):148—150.
- [10] 梁思捷,朱玉连,王卫宁,等.脑机接口技术在脑卒中患者上肢功能障碍康复中的应用[J].中国康复医学杂志,2020,35(2):185—188.
- [11] 任海,谢志明.脑机接口技术在脑卒中偏瘫患者上肢运动功能康复治疗中的疗效观察[J].中国实用医药,2020,15(10):181—183.
- [12] Ietswaart M, Johnston M, Dijkerman HC, et al. Mental practice with motor imagery in stroke recovery: randomized controlled trial of efficacy[J]. Brain, 2011, 134(5):1373—1386.
- [13] De Vico Fallani F, Pichiorri F, Morone G, et al. Multi-scale topological properties of functional brain networks during motor imagery after stroke[J]. Neuroimage, 2013, 83:438—449.
- [14] Cuccurullo SJ. Physical medicine and rehabilitation board review[M]. 3rd ed. New York: Demos Medical Publishing, 2014:68—70.
- [15] 李明芬,贾杰,刘焯,等.基于运动想象的脑机接口康复训练对脑卒中患者上肢运动功能的影响[J].老年医学与保健,2012,18(6):347—352.
- [16] Mattia D, Pichiorri F, Colamarino E, et al. The promotor, a brain-computer interface-assisted intervention to promote upper limb functional motor recovery after stroke: a study protocol for a randomized controlled trial to test early and long-term efficacy and to identify determinants of response[J]. BMC Neurol, 2020, 20(1):254.