

·临床研究·

经颅直流电刺激对脑卒中视觉空间忽略患者视运动探查功能的影响*

姜春静¹ 杜巨豹¹ 单桂香¹ 胡洁¹ 宋为群^{1,2}

摘要

目的:观察阳极经颅直流电刺激作用于右侧后顶叶皮质对右侧脑卒中后左侧视觉空间忽略患者视运动探查功能表现的影响。

方法:研究纳入20例右侧脑卒中后左侧视觉空间忽略患者,分为治疗组和对照组:治疗组($n=10$)行经颅直流电刺激联合常规康复治疗;对照组($n=10$)行常规康复治疗。治疗前、治疗后予以不同注意需求的视运动探查任务评估:单纯搜索目标(线段删除)、对不同搜索目标进行不同标记(缺口探查)、从干扰刺激中搜索目标(星星删除)。

结果:治疗组线段删除得分较治疗前有改善,左侧缺口圆判断错误率、星星删除遗漏率有所减低,且差异均有显著性意义($P<0.05$);而对照组较基线水平相比差异无显著性意义($P>0.05$);治疗后两组间线段删除、缺口探查未标记目标百分比及左侧缺口率差异有显著性意义($P<0.05$),但星星删除差异无显著性意义($P>0.05$)。

结论:阳极经颅直流电刺激作用于右侧后顶叶皮质对不同注意加工需求的视运动探查任务影响不同,经颅直流电刺激对单纯目标搜索功能的改善和以目标物自身为参考框架成分加工的改善有促进作用。

关键词 脑卒中;经颅直流电刺激;认知功能;视觉空间忽略

中图分类号:R743.3;R454.1 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2022)-09-1192-06

Effects of transcranial direct current stimulation on visuo-motor exploration in patients with visuo-spatial neglect post stroke/JIANG Chunjing, DU Jubao, SHAN Guixiang, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2022, 37(9): 1192—1197

Abstract

Objective: To investigate the effects of anodal transcranial direct current stimulation on visuo-motor exploration in patients with left visuo-spatial neglect after right hemispheric stroke.

Method: Twenty patients with left visuo-spatial neglect after right hemispheric stroke were divided into treatment group and control group. Patients($n=10$) in treatment group received transcranial direct current stimulation combined with ordinary therapy. Patients($n=10$) in control group received ordinary therapy. Different cancellation tasks were performed before and after treatment. The cancellation tasks included line cancellation (simple targets detection), gap detection (distinguishing different kinds of targets correctly), and star cancellation (targets detection from distractors).

Result: The score of line cancellation task in treatment group increased significantly ($P<0.05$) but not in control group after 2 weeks treatment. The percentage of wrong marked circles with left gap and the omission rate of star cancellation in treatment group decreased significantly ($P<0.05$) but not in control group. After treatment, the statistically significant ($P<0.05$) were found between the two groups in the score of line cancellation task, the percentages of unmarked circles and wrong marked left gap circles in gap detection task, but not in the omission rates of star cancellation task between the two groups ($P>0.05$).

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.09.007

*基金项目:国家自然科学基金面上项目(81671048)

1 首都医科大学宣武医院康复医学科,北京市,100053; 2 通讯作者

第一作者简介:姜春静,女,硕士,住院医师; 收稿日期:2021-08-22

Conclusion: Anodal transcranial direct current stimulation on the right posterior parietal cortex has different effects on visuo-motor exploration tasks that need different attention requirements. Transcranial direct current stimulation can improve performance of simple visuo-motor exploration task and the targets detection based on object-centered framework, but not the task that need subjects to find certain targets from multiple kinds of distractor.

Author's address Xuanwu Hospital of Capital Medical University, Xicheng District, Beijing, 100053

Key word stroke; transcranial direct current stimulation; cognitive function; visuo-spatial neglect

视觉空间忽略是脑卒中常见空间注意障碍之一,常见于右侧半球损伤后对来自损伤对侧空间刺激的注意或反应障碍^[1]。视运动探查功能受损是视觉空间忽略常见的受损功能成分之一,对脑卒中后患者在生活情境中探查脑损伤对侧空间刺激并做出适当反应有重要影响。删除任务是评估视运动探查活动最常用的行为学测试之一^[2],不同版本的删除任务对注意加工的需求不同。视觉空间忽略患者在进行目标删除过程中会部分或全部遗漏损伤对侧目标,任务中增加注意加工需求,将会加重损伤对侧忽略严重程度^[3]。例如线段删除任务仅要求患者对探查到的目标进行标记,星星删除任务要求被试者寻找出混杂在多种干扰刺激(大星星图案、字母和短语)中的目标刺激(小星星图案),而缺口探查任务则要求被试者区分不同刺激(完整圆形图案、左侧或右侧有缺口的不完整圆形图案)并做不同标记。根据既往研究顶叶和顶叶枕叶结合区与忽略的视觉运动定位的半球不对称性有关,后部顶叶皮质是背侧注意网络的一部分,与注意的主动定向和注意定势的产生有关,其作用在于计划和控制由视觉引导的上肢运动^[4-5]。回顾既往文献,研究经颅直流电刺激对视觉空间忽略影响的行为学测试结果多集中于线段二等分、临摹测试、删除试验中的某一类(直线删除或星星删除、字母删除),亦有讨论其对运动功能、整体认知功能影响的分析,但鲜有探讨经颅直流电刺激对视觉空间忽略患者视运动探查功能影响的报道^[6-12]。本文就右侧后顶叶皮质阳极经颅直流电刺激对右侧半球脑卒中后左侧视觉空间忽略患者视运动探查功能的影响进行论述。

1 对象与方法

1.1 研究对象

研究纳入本科室2016年1月—2017年1月收住

院的右侧半球脑卒中后左侧视觉空间忽略患者20例。纳入标准:①经头颅MRI或CT证实为右侧半球脑卒中;②符合李心天(1983)《中国人的利手分类标准》右利手标准;③经行为学测试确定为左侧视觉空间忽略;④有能力完成研究所涉及的康复评定及治疗;⑤患者或家属对本研究知情,并签署知情同意书。

排除标准:①病情改变,出现新发脑卒中;②存在癫痫、颅内高压、严重心肺疾病、严重躯体疾病、严重消耗性疾病;③存在妨碍配合检查的情况,如意识障碍、失语、理解障碍、偏盲、严重听力下降等;④药物滥用史,既往精神病史;⑤局部皮肤损伤或炎症者。

1.2 研究方法

将20例患者利用随机数表法分为治疗组和对照组,两组均采用常规康复治疗,治疗组在常规治疗基础上加用经颅直流电刺激治疗。经颅直流电刺激:采用ZN8020型智能刺激器(四川省智能电子实业公司,成都)对患者进行经颅直流电刺激,2片电极片(5.8cm×4.5cm)中阳极放置于右侧后顶叶皮质(对应国际脑电图10-20导联系统中的P4点),电极片中心点与P4点重叠,电极片覆盖区避开初级运动皮质即M1区,参考电极放置于对侧眶上区,参考既往研究,电流强度为1mA的研究中电流密度为0.029—0.04mA/cm²^[6,10,13],结合临床实践选取为电流强度1mA,持续时间20min,每天1次,每周5天,共2周。常规康复治疗包含偏瘫侧肢体功能训练、手功能训练、平衡功能训练、日常生活动作训练等,每次30min。常规康复过程中,利用镜像装置为患者提供躯干和肢体运动协调控制情况的视觉信息,令患侧肢体模仿、学习健侧肢体活动情况,并进行对比和调整,在捡木钉、插木钉、基于计算机的认知训练等项目中将钉板或显示屏置于患者躯干中线的左侧、正

中、右侧,增加视觉搜索和患侧肢体跨越躯干中线活动。常规康复治疗每日2次,每周5次,共治疗2周。

1.3 评定方法

1.3.1 线段删除:在尺寸为295mm×210mm的白纸上分散分布30条长度15—20mm、宽1mm且方向不同的线段,纸张中线的左、右侧各15条。要求患者标记出看到的每一条线段,并强调尽可能快速完成,且不遗漏目标。用L表示患者所标记左半侧的线段数目,用R表示患者所标记的右半侧的线段数目。忽略严重程度即严重指数,用未标记的线段数量占线段总数的比率表示,即 $(30-R-L)/30$ 。忽略的偏侧化指数用 $(R-L)/(R+L)$ 计算。最后评定分值为严重指数×偏侧化指数,最后乘以10转化为10分制,即 $10 \times [(30-R-L)/30] \times [(R-L)/(R+L)]$ 。

1.3.2 缺口探查:在尺寸为295mm×210mm的白纸上分散分布30个圆,直径为15mm;纸张中线左、右侧各半;其中完整的圆、左侧有缺口的圆、右侧有缺口的圆各10个,纸张中线两侧各半,且随机散在分布。要求患者对看到的圆圈进行标记,在有缺口的圆圈上标记错号(×),在没有缺口的圆圈上标记对号(√),要求患者尽可能快速完成测试,且不遗漏目标。评分方法如下:①自身为中心忽略:计数患者所遗漏圆数目占圆圈总数的百分比;②非自身为中心

忽略:计数纸张中线左、右两侧错误标记的每一种圆的数目,若左侧错误显著多于右侧,则表示存在左侧非自我为中心忽略;以左侧缺口圆圈判断错误数目占左侧缺口圆总数百分的比表示。

1.3.3 星星删除:在尺寸为295mm×210mm的白纸上分散分布52个大星星、56个小星星、13个字母以及10个单词,该测试要求患者标记出测试纸上所有的小星星。小星星在纸张上左右对称分布(每一侧27个,中间2个)。测试总分最高为54分(中间2个小星星不计分),每侧27分。计数左侧、右侧遗漏的目标数目,计算左侧、右侧遗漏目标占小星星总数百分比,以及总遗漏数占总数的百分比。

1.4 统计学分析

采用SPSS 20.0进行数据分析。对数据进行正态性检验,对符合正态分布的计量资料采用t检验;对不符合正态分布的则采用非参数检验,组间对比采用Mann-Whitney U检验,组内数据对比采用Wilcoxon秩和检验, $P<0.05$ 表示有显著性意义。

2 结果

2.1 一般资料比较

两组患者的性别、年龄、病变类型、病程长短比较差异无显著性意义,见表1。

表1 两组患者一般资料比较

组别	例数	性别(例)		年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	病程 ($\bar{x} \pm s$, d)	病变性质		损伤部位(例)	
		男	女			缺血性卒中	出血性卒中	额颞顶叶	仅基底节侧脑室旁
观察组	10	8	2	56.80±12.71	44.30±30.39	6	4	7	3
对照组	10	6	4	59.70±10.82	37.90±14.78	8	2	8	2
t/ χ^2 值		0.952		-0.549	0.599	0.952		0.267	
P值		0.329		0.589	0.560	0.329		0.606	

2.2 评定结果比较

两组间比较,治疗前线段删除的分值、缺口探查的总遗漏率和左侧缺口错误率、星星删除的总遗漏率和左侧遗漏率以及右侧遗漏率差异均无显著性意义($P>0.05$)。经治疗,治疗组线段删除分值、缺口探查左侧缺口错误率、星星删除任务总遗漏率、左侧遗漏率、右侧遗漏率均较治疗前改善,且差异均有显著性意义($P<0.05$)。治疗后与治疗前对比,对照组线段删除分值、缺口探查总遗漏率、左侧缺口错误率、星星删除任务总遗漏率、星星删除左侧遗漏率、星星删除右侧遗漏率的改善差异无显著性意义

($P>0.05$)。治疗前后比较,治疗组缺口探查总遗漏率差异无显著性意义($Z=-1.958, P=0.050$),但从数值上看,有改善目标探查的趋势;而对照组总遗漏率差异亦无显著性意义($Z=-1.938, P=0.053$),且从数值上看结果未呈改善趋势。见表2—4。

3 讨论

视觉空间忽略是一种涉及空间感知、认知、注意等多成分的高级功能障碍。目标刺激删除是常用的评估任务之一^[14],反映的是视觉空间忽略患者视运动探查功能成分受损情况。损伤部位通常涉及后顶

表2 线段删除数据

项目	治疗前	治疗后	Z值	P值
tDCS	2.22(0.33,7.00)	0.03(-0.04,6.33)	-2.803	0.005
对照组	4.82(1.67,7.33)	2.67(0.04,7.67)	-1.682	0.093
Z值	-1.778	-2.238		
P值	0.075	0.023		

表3 缺口探查数据分析

项目	治疗前(%)	治疗后(%)	Z值	P值
总遗漏率				
tDCS	60.00(10.00,76.67)	25.00(0.00,56.67)	-1.958	0.050
对照组	48.33(26.67,76.67)	63.33(16.67,96.67)	-1.938	0.053
Z值	-0.342	-2.53		
P值	0.739	0.009		
左侧缺口错误率				
tDCS	9.17(0.00,30.00)	1.72(0.00,13.33)	-2.366	0.018
对照组	11.11(0.00,33.33)	11.25(0.00,40.00)	-1.481	0.139
Z值	-0.348	-2.163		
P值	0.739	0.035		

表4 星星删除数据分析

项目	治疗前(%)	治疗后(%)	Z值	P值
总遗漏率				
tDCS	75.93(68.52,85.19)	51.85(22.22,85.19)	-2.492	0.013
对照组	79.63(37.04,90.74)	72.22(14.81,88.89)	-1.841	0.066
Z值	-0.571	-1.665		
P值	0.579	0.105		
左侧遗漏率				
tDCS	50.00 ^①	45.37(18.52,50.00)	-2.023	0.043
对照组	50.00(35.19,50.00)	50.00(12.96,50.00)	-1.604	0.109
Z值	-1.000	-1.067		
P值	0.739	0.353		
右侧遗漏率				
tDCS	25.93(18.52,35.19)	6.48(0.00,35.19)	-2.490	0.013
对照组	25.93(1.85,37.04)	18.52(1.85,35.19)	-1.334	0.182
Z值	-0.229	-1.522		
P值	0.853	0.143		

注:①表示常值。

叶皮质、颞上回后部、颞顶联合区、皮质下灰质核团(丘脑、基底节区)以及沟通顶-额皮质的腹侧和背侧白质纤维束,例如上纵束等^[14-16],其中顶内沟皮质、颞顶联合区、枕叶背侧部和前额叶外侧部之间的相互作用对删除试验的结果有影响,颞顶联合区对注意分配和任务相关刺激搜索有重要作用,并且参与基于空间的加工过程,而顶内沟皮质更多参与基于物体为中心的加工^[16]。

本研究应用阳极经颅直流电刺激作用于右侧后顶叶皮质,观察其对右侧半球卒中后左侧视觉空间忽略患者视运动探查功能的影响。本研究选取的刺激位点是国际脑电图10-20导联系统的P4点,该位

点对应的是顶内沟皮质^[17]。结果提示经颅直流电刺激对单纯靶目标搜索任务、对目标进行基于非自身中心参考框架的差异鉴别、在干扰刺激的影响下左侧半侧空间目标的探查有所改善,而干扰刺激下整体空间内目标刺激探查结果和右半侧空间刺激探查结果在组内水平虽有改善趋势,但组间比较未见显著差异。

既往研究发现,经颅直流电刺激治疗可改善单纯目标删除任务行为学表现^[11-12],在本研究中,再次得到证实。另有研究观察了经颅直流电刺激治疗后星星删除行为学表现有所改善^[18-19],其中一项研究所选取位点介于国际10-20系统的CP4与P4之间,因电极片具有一定面积,故而与本研究在刺激位置上有一定重叠,而另一项研究选取的刺激位点为M1区,也观察到了删除任务的改善,这可能是由于后顶叶皮质与M1区之间存在影响关系^[4]。也有研究报道经颅直流电刺激对苹果删除任务中以自身为中心参考框架下的视运动探查行为学表现有所改善,但其非自身为中心参考框架成分即正确判断缺口侧别表现未见显著改善^[20],但该项研究将参考电极置于非损伤侧对称区域,而本研究中参考电极置于对侧眶上区域,因而在不同研究中电流流动方向存在差异可能是结果存在差异的原因之一。

此外,本研究中,观察到两组的部分受试者在完成删除任务的过程中,不仅对损伤半球对侧空间的刺激探查困难,还有对损伤同侧空间内的刺激多次重复删除的现象,这种现象是导致两组部分患者行为学任务得分表现不佳的原因之一,研究发现这种现象在视觉空间忽略患者和其他额叶或皮质下结构受损时表现更为明显^[21]。并且,测试任务复杂性直接与信息负荷增加、信息多样性或信息变化率等任务特性相关^[22],尽管是认知需求水平较低的静态视觉空间忽略任务,不同刺激条件、不同指令需求对认知资源的需求水平也是存在差异的,需要区分目标刺激和非目标刺激的删除任务相较于无非目标刺激干扰的任务,增加了分析刺激对象的细节特征的任务需求,加重对损伤对侧空间探查的不利影响^[23],这可能是本研究中单纯删除任务相较于需要区别刺激对象完整与否任务、区分目标刺激和干扰刺激的任务改善情况更显著的原因。基于视空间注意脑网络

的神经电生理学和神经影像学研究成果可发现,影响患者视运动探查表现的网络节点有多个,例如删除任务结果与额叶功能存在相关性,影响患者对病灶对侧空间的定向注意和运动反应、并增进干扰刺激的干扰作用。这与背外侧前额叶在执行控制、在搜索任务中有效选择目标刺激以及抑制无关刺激干扰中起到重要作用有关^[24]。在今后的研究中,可考虑将额叶关键位点纳入神经调控靶区之一。

本研究纳入患者的病程均<3个月,既往研究纳入患者病程或跨度较大(0.5—12.4个月)^[6]或为慢性期(>24个月)^[13],亦有研究纳入病程<3个月患者^[9,11,25],有两项研究观察非单次经颅直流电刺激治疗效果,其中一项观察线段二等分和临摹测试的改善情况^[9],另一项研究治疗后发现经颅直流电刺激对线段删除的改善与对照组相比有显著性差异^[11],这与本研究结论一致,而该研究中未对不同注意需求的视运动探查测试任务进行观察。另外虽然脑卒中后2—3个月时,视觉空间忽略存在一定程度的自发恢复,但这种恢复并非都是完全的,部分患者仍遗留视觉空间忽略症状^[26],部分脑卒中患者的视觉空间忽略是治疗抵抗性的^[27],不同治疗方法的效果存在个体间差异^[28],这也可能是虽然在个体水平部分患者治疗后视运动搜索任务表现有所提高,但在组水平治疗前后得分差异无显著性意义的原因。而慢性期视觉空间忽略患者的经颅直流电刺激治疗后视知觉成分改善显著(线段二等分),而视运动探查功能(星星删除)改善结果变异较大^[13]。根据近期的静息态磁共振研究观察删除试验患者脑功能连接的研究报道,删除试验障碍的患者半球内顶上小叶、额上回、前额叶背外侧皮质、颞上回、角回、缘上回等感兴趣区半球间功能连接均减低^[15],这提示我们,调动全脑注意网络功能连接的兴奋性可能是改善患者视空间探索功能的关键。

本研究仍存在局限性,限于纳入标准,导致本研究样本量小,进而难以进行皮质和皮质下病变治疗效果对比,以及出血和缺血性病变治疗效果对比。另因住院时长有限并且外地患者占一定数量,造成随访困难。本研究作为初步探讨仅选用了其中一个报道得更多的损伤关键节点作为兴奋位点,在整个视空间注意脑网络尤其是更远隔部位的兴奋性调动

方面作用有限。未来的研究中,需进一步扩大样本量,采取随机双盲假刺激对照研究,利用5G互联网技术进行线上随访,并且考虑多个关键脑网络节点皮质神经兴奋性组合调节,并观察多个刺激位点兴奋顺序不同对治疗效果是否存在影响等。

参考文献

- [1] Mesulam MM. Spatial attention and neglect: parietal, frontal and cingulate contributions to the mental representation and attentional targeting of salient extrapersonal events[J]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 1999, 354(1387): 1325—1346.
- [2] Huygheer H, Gillebert CR. Quantifying egocentric spatial neglect with cancellation tasks: a theoretical validation[J]. *J Neuropsychol*, 2020, 14(1): 1—19.
- [3] Ricci R, Salatino A, Garbarini F, et al. Effects of attentional and cognitive variables on unilateral spatial neglect[J]. *Neuropsychologia*, 2016, 92: 158—166.
- [4] Allart E, Viard R, Lopes R, et al. Influence of motor deficiency and spatial neglect on the contralesional posterior parietal cortex functional and structural connectivity in stroke patients[J]. *Brain Topogr*, 2020, 33(2): 176—190.
- [5] Malhotra P, Coulthard EJ, Husain M. Role of right posterior parietal cortex in maintaining attention to spatial locations over time[J]. *Brain*, 2009, 132(Pt 3): 645—660.
- [6] Sparing R, Thimm M, Hesse MD, et al. Bidirectional alterations of interhemispheric parietal balance by non-invasive cortical stimulation[J]. *Brain*, 2009, 132(Pt 11): 3011—3020.
- [7] Medina J, Beauvais J, Datta A, et al. Transcranial direct current stimulation accelerates allocentric target detection[J]. *Brain Stimul*, 2013, 6(3): 433—439.
- [8] Muri RM, Cazzoli D, Nef T, et al. Non-invasive brain stimulation in neglect rehabilitation: an update[J]. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7: 248.
- [9] Brem AK, Unterburger E, Speight I, et al. Treatment of visuospatial neglect with biparietal tDCS and cognitive training: a single-case study[J]. *Front Syst Neurosci*, 2014, 8: 180.
- [10] Bang DH, Bong SY. Effect of combination of transcranial direct current stimulation and feedback training on visuospatial neglect in patients with subacute stroke: a pilot randomized controlled trial[J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(9): 2759—2761.
- [11] 甄巧霞, 刘爱贤, 郅淑燕, 等. 经颅直流电刺激结合认知训练治疗单侧空间忽略的临床研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2018, 33(7): 855—857.

- [12] 王雅楠, 孙乐影, 刘田, 等. 经颅直流电刺激改善偏侧空间忽略及运动功能的疗效观察[J]. 中国康复, 2019, 34(8): 403—406.
- [13] Sunwoo H, Kim YH, Chang WH, et al. Effects of dual transcranial direct current stimulation on post-stroke unilateral visuospatial neglect[J]. *Neurosci Lett*, 2013, 554: 94—98.
- [14] Vallar G, Calzolari E. Unilateral spatial neglect after posterior parietal damage[J]. *Handb Clin Neurol*, 2018, 151: 287—312.
- [15] Ptak R, Bourgeois A, Cavelti S, et al. Discrete patterns of cross-hemispheric functional connectivity underlie impairments of spatial cognition after stroke[J]. *J Neurosci*, 2020, 40(34): 6638—6648.
- [16] Pedrazzini E, Ptak R. The neuroanatomy of spatial awareness: a large-scale region-of-interest and voxel-based anatomical study[J]. *Brain Imaging Behav*, 2020, 14(2): 615—626.
- [17] Zuanazzi A, Cattaneo L. The right hemisphere is independent from the left hemisphere in allocating visuospatial attention[J]. *Neuropsychologia*, 2017, 102: 197—205.
- [18] Bornheim S, Maquet P, Croisier JL, et al. Motor cortex transcranial direct current stimulation (tDCS) improves acute stroke visuo-spatial neglect: a series of four case reports[J]. *Brain Stimul*, 2018, 11(2): 459—461.
- [19] Yi YG, Chun MH, Do KH, et al. The effect of transcranial direct current stimulation on neglect syndrome in stroke patients[J]. *Ann Rehabil Med*, 2016, 40(2): 223—229.
- [20] Turgut N, Miranda M, Kastrup A, et al. tDCS combined with optokinetic drift reduces egocentric neglect in severely impaired post-acute patients[J]. *Neuropsychol Rehabil*, 2018, 28(4): 515—526.
- [21] Rusconi ML, Maravita A, Bottini G, et al. Is the intact side really intact? Perseverative responses in patients with unilateral neglect: a productive manifestation[J]. *Neuropsychologia*, 2002, 40(6): 594—604.
- [22] Spreij LA, Ten BA, Visser-Meily J, et al. Increasing cognitive demand in assessments of visuo-spatial neglect: testing the concepts of static and dynamic tests[J]. *J Clin Exp Neuropsychol*, 2020, 42(7): 675—689.
- [23] Sarri M, Greenwood R, Kalra L, et al. Task-related modulation of visual neglect in cancellation tasks[J]. *Neuropsychologia*, 2009, 47(1): 91—103.
- [24] Verdon V, Schwartz S, Lovblad KO, et al. Neuroanatomy of hemispatial neglect and its functional components: a study using voxel-based lesion-symptom mapping[J]. *Brain*, 2010, 133(Pt 3): 880—894.
- [25] Ko MH, Han SH, Park SH, et al. Improvement of visual scanning after DC brain polarization of parietal cortex in stroke patients with spatial neglect[J]. *Neurosci Lett*, 2008, 448(2): 171—174.
- [26] Kerkhoff G, Schenk T. Rehabilitation of neglect: an update[J]. *Neuropsychologia*, 2012, 50(6): 1072—1079.
- [27] O'Shea J, Revol P, Cousijn H, et al. Induced sensorimotor cortex plasticity remediates chronic treatment-resistant visual neglect[J]. *Elife*, 2017, 6.
- [28] Olgiati E, Malhotra PA. Using non-invasive transcranial direct current stimulation for neglect and associated attentional deficits following stroke[J]. *Neuropsychol Rehabil*, 2020: 1—32.