

• 临床研究 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.12.017

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240508.1549.020\(2024-05-09\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240508.1549.020(2024-05-09))

经颅直流电刺激对轻度认知障碍全脑网络拓扑属性的影响*

李 怡^{1,2}, 郭志伟², 刘柯岚², 唐子涵², 母其文^{1,2△}

(1. 西南医科大学附属医院放射科, 四川泸州 646000; 2. 川北医学院第二临床医学院
脑功能康复与成像研究所, 四川南充 637000)

[摘要] **目的** 探讨经颅直流电刺激(tDCS)对轻度认知障碍(MCI)患者脑功能网络拓扑属性的影响。**方法** 纳入 33 例 MCI 患者随机分为真刺激组(18 例)、伪刺激组(15 例)。所有患者均接受连续 10 d 的 tDCS 治疗, 阳极刺激左背外侧前额叶皮层(DLPFC), 阴极刺激右侧眶额叶皮层。治疗前、后进行神经心理学量表评估和静息态功能磁共振成像(rs-fMRI)图像采集, 采用 GRETNA 软件对 rs-fMRI 图像进行预处理和图论分析。采用 Pearson 相关性分析计算行为学指标与两组间显著差异网络拓扑属性指标的相关性。**结果** 真刺激组、伪刺激组患者治疗前、后及治疗后两组间在节点属性(介数中心度、度中心度、节点局部效率)上差异均有统计学意义($P < 0.05$)。与治疗前比较, 真刺激组治疗后的总体认知[简易精神状态检测量表(MMSE)评分(25.89 ± 2.16)分、蒙特利尔认知评估量表(MoCA)评分(21.16 ± 2.77)分]、记忆[听觉词语学习测验-再认(AVLT-N7)评分(4.95 ± 1.81)分]及语言[波士顿命名测试(BNT)评分(19.47 ± 3.13)分]功能评分均明显提高($P < 0.05$)。行为学功能改变与网络拓扑属性指标具有相关性($P < 0.05$)。**结论** tDCS 可以有效调控 MCI 认知相关脑区节点的局部拓扑属性, 改善认知功能。

[关键词] 轻度认知障碍; 图论分析; 经颅直流电刺激; 磁共振成像; 脑网络

[中图分类号] R749.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)12-1844-06

Effects of transcranial direct current stimulation on whole brain network topologic attributes in mild cognitive impairment*

LI Yi^{1,2}, GUO Zhiwei², LIU Kelan², TANG Zihan², MU Qiwen^{1,2△}

(1. Department of Radiology, Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou, Sichuan 646000, China; 2. Institute of Brain Function Rehabilitation and Imaging, Second Clinical College of North Sichuan Medical University, Nanchong, Sichuan 637000, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on the topologic attributes of brain functional network in the patients with mild cognitive impairment (MCI). **Methods** Thirty-three included patients with MCI were randomly divided into the real stimulation group (18 cases) and pseudo-stimulation group (15 cases). All patients received the tDCS treatment for consecutive 10 d. The left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) was stimulated by the anode, while the right orbital socket DLPFC was stimulated by the cathode. The neuropsychological scale assessment and resting state functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI) image collection were performed before and after treatment. The GRETNA software was used to preprocess the rs-fMRI images and analyze the graph theory. The Pearson correlation analysis was used to calculate the correlation between behavioral indicators and network attribute indicators of significant difference between the two groups. **Results** There were statistically significant differences in the node attributes (intermediate number centrality, degree centrality and local efficiency of nodes) before and after treatment, and between the two groups after treatment ($P < 0.05$). Compared with before treatment, the scores of MMSE, MoCA, AVLT-N7 and BNT after treatment in the real stimulation group were significantly increased [(25.89 ± 2.16)points, (21.16 ± 2.77)points, (4.95 ± 1.81)points, (19.47 ± 3.13)points]. **Conclusion** tDCS could effectively regulate the local topologic attributes of nodes in the cognitive-related brain region of MCI and improve the cognitive function.

[Key words] mild cognitive impairment; graph theoretic analysis; transcranial direct current stimulation; magnetic resonance imaging; brain network

轻度认知障碍(mild cognitive impairment, MCI)是指认知能力下降程度超过自然年龄老化但未达到痴呆诊断标准的过渡阶段,是痴呆发生的高风险因素^[1]。研究表明,MCI 阶段的早期认知干预对改善认知功能具有显著效果,对预防和治疗痴呆十分关键^[2-3]。前期研究已证实经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)对改善 MCI 认知疗效确切^[4-5],尤其刺激左背外侧前额叶皮层(dorso-lateral prefrontal cortex, DLPFC)这一认知功能网络关键脑区的疗效明显^[6]。tDCS 可以通过电流刺激调节刺激靶点的大脑皮层兴奋性,进而对脑功能产生影响^[7]。但其对 MCI 患者脑功能网络拓扑属性的神经调控机制尚不明确。前期研究表明网络拓扑属性和认知量表的联合使用可以更敏感、更高效地识别 MCI 患者,证明了网络拓扑属性在 MCI 诊断与机制研究中的价值^[8-10]。因此,本研究拟采用静息态功能磁共振成像方法(resting state functional magnetic resonance imaging, rs-fMRI),从图论角度探讨 tDCS 对 MCI 患者全局及局部网络拓扑属性的影响,明确其对 MCI 患者脑网络的神经调控机制。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究纳入南充市部分社区 2021 年 5—12 月符合研究标准的 MCI 患者共 33 例。根据《2018 中国痴呆与认知障碍诊治指南(五)》^[11],参考 JAK 等^[12]提出的量化指标,MCI 诊断标准综合如下:(1)主诉有认知下降或知情者报告其认知下降。(2)简易精神状态量表(mini-mental state examination, MMSE):文盲 >17 分,小学 >20 分,初中及以上 >24 分;临床痴呆评定量表(clinical dementia rating, CDR)=0.5 分;未达到痴呆水平。(3)符合以下 3 个标准中的任何 1 个:同一认知领域 2 个评价指标受损(>1SD);3 个认知领域各有 1 个评价指标受损;功能活动问卷(FAQ)得分 ≥9 分;3 个认知领域指记忆、语言和执行功能,每个认知领域有 2 个评价指标。(4)右利手。排除标准:(1)可导致认知功能下降的神经系统疾病,如帕金森、脑梗死等。(2)有严重精神疾病,如精神分裂症、重度抑郁等。(3)有磁共振检查的相对及绝对禁忌证。(4)有严重视听觉障碍及任何其他系统疾病所致不能配合完成该项目。研究经川北医学院第二临床医学院医学伦理委员会批准通过,所有患者签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 分组及干预方法

本研究根据随机、双盲、平行对照实验的原则,将所有纳入的 MCI 患者采用随机数字表法随机分为真刺激组(18 例)和伪刺激组(15 例),均接受连续 10 天

的 tDCS 治疗。刺激参数:真刺激组刺激强度为 2 mA,阳极位于左侧 DLPFC,阴极位于右侧眶额叶皮层,持续 20 min/d;伪刺激组仅在开始 30 s 及结束前 30 s 进行刺激,中途无电流刺激,其余参数与真刺激组相同。治疗期间,均未使用任何影响认知功能的药物及其他治疗手段。所有 MCI 患者均于治疗前、后接受神经心理学评估及 rs-fMRI 图像采集。所有量表评估均由同一名有经验的专业临床医师于独立安静的环境中进行。

1.2.2 rs-fMRI 图像采集

采用美国 GE 公司 1.5 Tesla 超导磁共振扫描仪(GE SignaHDxt)8 通道头部线圈进行扫描。MRI 采集序列包括常规 T2-Flair、3D-T1 序列以排除器质性病变;BOLD 功能成像扫描参数如下:重复时间(TR)=2 000 ms,回波时间(TE)=30 ms,翻转角=90°,层厚=5.0 mm,视野=24.0 cm×24.0 cm,矩阵=64×64,体素大小=3.75 mm×3.75 mm×5.00 mm;切片数=32,连续扫描 140 个全脑图像。

1.3 数据处理

1.3.1 数据预处理

使用 GRETNA2.0 (<https://www.nitrc.org/projects/gretna>)软件对获得的 rs-fMRI 图像数据进行预处理,预处理过程主要包括:(1)时间校正;(2)头动校正;(3)空间标准化;(4)平滑;(5)去线性漂移;(6)带通滤波(0.01~0.08 Hz)等。选择 AAL90 脑图谱模板计算全脑网络图谱。

1.3.2 脑网络分析

采用 GRETNA(Graph Theoretical Network Analysis)2.0 软件构建大脑功能网络,选定网络稀疏度阈值的取值范围为 0.05~0.50,以 0.01 为步长计算不同稀疏度下的网络拓扑属性:聚类系数(clustering coefficient, Cp)、最短路径长度(shortest path length, Lp)、全局效率(global efficiency, Eglob)、局部效率(local efficiency, Eloc)、节点局部效率(nodular local efficiency, Nle)、度中心度(degree centrality, Dc)、介数中心度(betweenness centrality, Bc)。选取每个网络拓扑属性的 AUC 值用于分析两组在全局拓扑属性和节点拓扑属性上的差异^[13]。

1.4 统计学处理

采用 SPSS17.0 软件对认知量表评分及网络拓扑属性指标进行统计分析,符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,比较采用两独立样本的 *t* 检验,计数资料比较采用 χ^2 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

两组患者性别、年龄、学历构成方面比较差异均无统计意义($P > 0.05$),见表 1。

2.2 组内治疗前、后认知评分比较

与治疗前比较,治疗后真刺激组简易精神状态测量表(MMSE)、蒙特利尔认知评估量表(MoCA)、听觉词语学习测验-20 min 延迟回忆(AVLT-N5)、波士顿命名测试(BNT)评分明显增高,连线测试 A/B(TMT-A/B)评分明显降低($P < 0.05$),即总体认知、记忆、语言命名、执行功能均有改善。伪刺激组 AVLT-N5、听觉词语学习测验-再认(AVLT-N7)、动物词语流畅性测试(AFT)、BNT 评分明显增高($P <$

0.05),见表 2。

表 1 两组一般资料比较

组别	n	两组一般资料比较		
		男/女 (n/n)	年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	学历构成(文盲/小学/初中/ 高中/大学, n/n/n/n/n)
真刺激组	18	5/13	67.26 ± 5.39	0/8/7/2/1
伪刺激组	15	6/9	69.65 ± 5.18	1/8/5/0/1
t/χ^2		0.34	-1.35	3.48
P		0.72	0.17	0.48

表 2 两组治疗前后认知评分比较(分)

项目	真刺激组(n=18)		伪刺激组(n=15)	
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
总体认知功能($\bar{x} \pm s$)				
MMSE	24.21 ± 2.80	25.89 ± 2.16 ^a	24.06 ± 3.53	24.00 ± 2.62
MoCA	16.47 ± 3.10	21.16 ± 2.77 ^a	16.88 ± 3.57	17.71 ± 2.85
记忆功能($\bar{x} \pm s$)				
AVLT-N5	2.32 ± 1.86	4.95 ± 1.81 ^a	1.59 ± 1.00	3.00(1.00, 3.00) ^a
AVLT-N7	18.00 ± 3.02	21.74 ± 1.24	17.76 ± 2.56	19.24 ± 2.41 ^a
语言功能($\bar{x} \pm s$)				
AFT	11.53 ± 3.24	13.16 ± 2.27	11.29 ± 2.00	12.18 ± 2.13 ^a
BNT	15.47 ± 3.68	19.47 ± 3.13 ^a	16.00 ± 3.81	17.76 ± 4.01 ^a
执行功能				
TMT-A[$M(Q_1, Q_3)$]	100.00(90.00, 143.00)	88.00(69.00, 105.00) ^a	118.53 ± 31.03	107.71 ± 27.07
TMT-B($\bar{x} \pm s$)	239.84 ± 63.14	208.00 ± 48.12 ^a	290.71 ± 87.71	278.47 ± 62.33

^a: $P < 0.05$, 与同组治疗前比较。

2.3 节点拓扑属性比较

2.3.1 Bc

与治疗前比较,真刺激组治疗后左侧眶部额下回、右侧眶部额下回、左侧辅助运动区、左侧内侧额上回、左侧枕上回、左侧缘上回脑区 Bc 差异有统计学意义($P < 0.05$)。治疗后真刺激组与伪刺激组的右侧岛叶、右侧海马、右侧舌回脑区 Bc 比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 3~4。

表 3 真刺激组治疗前、后 Bc 比较($n = 18, \bar{x} \pm s$)

差异脑区	治疗前	治疗后	t	P
眶部额下回(L)	18.834 ± 4.439	16.924 ± 3.989	-2.171	0.037
眶部额下回(R)	18.539 ± 4.370	12.246 ± 2.886	-2.344	0.025
辅助运动区(L)	14.539 ± 3.427	10.645 ± 2.509	-2.219	0.033
内侧额上回(L)	10.770 ± 2.539	9.216 ± 2.172	-2.232	0.032
枕上回(L)	15.549 ± 3.665	7.207 ± 1.699	-2.282	0.032
缘上回(L)	13.761 ± 3.244	9.506 ± 2.241	-2.622	0.013

L: 左侧; R: 右侧。

2.3.2 Dc

与治疗前比较,真刺激组治疗后右侧海马及杏仁核 Dc 差异有统计学意义($P < 0.05$)。治疗后两组间

右侧额中回、嗅皮层、内侧和旁扣带回、海马、舌回、顶下缘角回及双侧颞极-颞中回区 Dc 差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 5~6。

表 4 治疗后两组间 Bc 比较($\bar{x} \pm s$)

差异脑区	真刺激组(n=18)	伪刺激组(n=15)	t	P
岛叶(R)	11.963 ± 2.820	10.196 ± 2.633	2.166	0.038
海马(R)	14.496 ± 3.417	22.580 ± 5.830	-2.588	0.016
舌回(R)	18.919 ± 4.459	14.003 ± 3.615	2.382	0.024

R: 右侧。

表 5 真刺激组治疗前、后 Dc 比较($n = 18, \bar{x} \pm s$)

差异脑区	治疗前	治疗后	t	P
海马(R)	4.485 ± 1.057	3.228 ± 0.761	-2.534	0.016
杏仁核(R)	2.622 ± 0.618	3.101 ± 0.731	-2.121	0.041

R: 右侧。

2.3.3 Nle

与治疗前比较,真刺激组治疗后右侧眶内额上回及颞下回脑区 Nle 差异有统计学意义($P < 0.05$)。治疗后,两组间右侧额中回、左侧岛盖部额下回及左侧顶下缘角回脑区 Nle 差异有统计学意义($P < 0.05$),

见表 7~8。

表 6 治疗后两组 Dc 比较 ($\bar{x} \pm s$)

差异脑区	真刺激组 (n=18)	伪刺激组 (n=15)	t	P
额中回(R)	3.639±0.858	4.970±1.283	2.229	0.033
嗅皮层(R)	3.793±0.894	4.696±1.213	-2.116	0.043
内侧和旁扣带回(R)	3.128±0.737	3.476±0.897	2.306	0.028
海马(R)	3.228±0.761	4.983±1.287	-3.634	0.001
舌回(R)	3.836±0.904	3.483±0.899	2.258	0.031
顶下缘角回(R)	4.137±0.975	3.224±0.832	2.140	0.040
颞极-额中回(L)	3.895±0.918	5.110±1.319	-2.410	0.022
颞极-额中回(R)	3.867±0.911	4.544±1.173	-2.077	0.046

L:左侧;R:右侧。

表 7 真刺激组治疗前、后 Nle 比较 (n=18, $\bar{x} \pm s$)

差异脑区	治疗前	治疗后	t	P
眶内额上回(R)	0.020±0.005	0.034±0.008	-2.826	0.008
颞下回(R)	0.032±0.008	0.027±0.006	2.224	0.033

R:右侧。

伪刺激组治疗前、后各脑区在 Bc、Dc、Nle 节点网络拓扑属性指标无明显差异。

2.4 认知与节点拓扑属性的相关性分析

相关性分析显示真刺激组治疗后左侧枕上回 Bc 属性与 MMSE 评分呈正相关($r=0.475, P=0.046$); 右侧杏仁核、嗅皮层 Dc 属性与 AVLT-N7 评分呈正

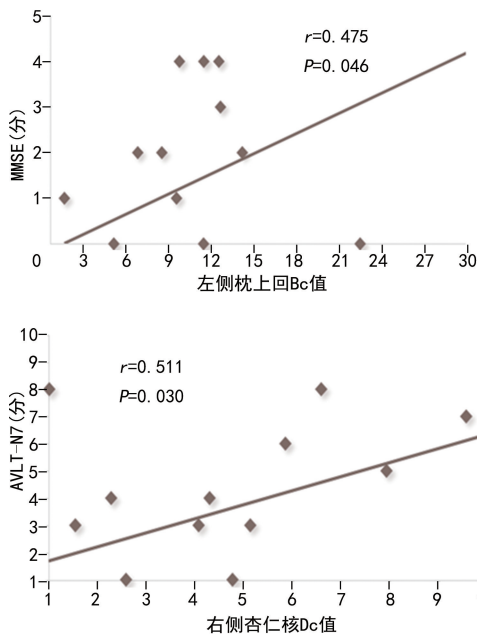


图 1 认知改变量与节点拓扑属性的相关性散点图

表 9 真刺激组治疗前后全局拓扑属性比较 (n=18, $\bar{x} \pm s$)

项目	治疗前	治疗后	t	P
Eglob	0.006±0.001	0.008±0.002	-1.038	0.307
Eloc	0.010±0.002	0.012±0.003	-0.249	0.805
Lp	0.034±0.008	0.042±0.010	-0.746	0.461
Cp	0.027±0.004	0.020±0.005	0.108	0.915

相关($r=0.471, P=0.049; r=0.511, P=0.030$); 右侧眶内额上回 Nle 属性与 AFT 评分呈正相关($r=0.549, P=0.018$), 见图 1。

表 8 治疗后两组 Nle 比较

差异脑区	真刺激组 (n=18)	伪刺激组 (n=15)	t	P
额中回(R)	0.026±0.006	0.065±0.017	2.374	0.029
岛盖部额下回(L)	0.045±0.011	0.026±0.007	-2.054	0.049
顶下缘角回(L)	0.031±0.007	0.029±0.007	2.247	0.032

L:左侧;R:右侧。

2.5 节点拓扑属性差异脑区可视化

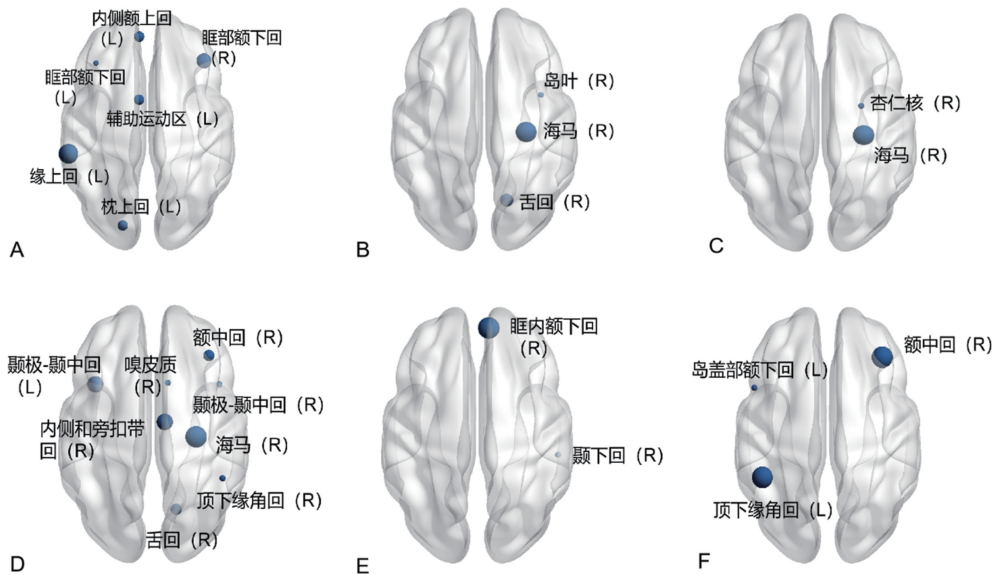
与伪刺激组比较,真刺激组治疗后在右侧岛叶、右侧舌回的 Bc 增强,右侧海马的 Bc 降低,右侧额中回、舌回、顶下缘角回的 Dc 增强,右侧额中回的 Nle 增强;与治疗前比较,真刺激组治疗后在双侧眶部额下回、左侧枕上回、左侧缘上回的 Bc 增强,右侧海马、杏仁核的 Dc 增强,右侧颞下回的 Nle 降低、右侧眶内额上回的 Nle 增强,见图 2。

2.6 全局拓扑属性比较

每组治疗前、后及治疗后两组间在 Eglob、Eloc、Lp、Cp 上差异无统计学意义($P>0.05$),见表 9~11。

表 10 伪刺激组治疗前后全局拓扑属性比较 (n=15, $\bar{x} \pm s$)

项目	治疗前	治疗后	t	P
Eglob	0.010±0.002	0.010±0.003	0.214	0.832
Eloc	0.011±0.003	0.012±0.003	-0.474	0.639
Lp	0.049±0.013	0.055±0.014	-0.138	0.891
Cp	0.016±0.004	0.023±0.006	0.354	0.726



A: 真刺激组治疗前后的 Bc 比较; B: 治疗后两组的 Bc 比较; C: 真刺激组治疗前后的 Dc 比较; D: 治疗后两组的 Dc 比较; E: 真刺激组治疗前后的 Nle 比较; F: 治疗后两组的 Nle 比较。蓝色小球表示两组比较相关节点属性具有差异化的脑区, 小球体积越大, 表示差异越明显。L: 左侧; R: 右侧。

图 2 节点拓扑属性差异脑区可视化图

表 11 治疗后两组全局拓扑属性比较 ($\bar{x} \pm s$)

项目	真刺激组 (n=18)	伪刺激组 (n=15)	t	P
Eglob	0.008±0.002	0.010±0.003	-0.274	0.786
Eloc	0.012±0.003	0.012±0.003	0.537	0.595
Lp	0.042±0.010	0.055±0.014	0.111	0.912
Cp	0.020±0.005	0.023±0.006	0.436	0.666

3 讨论

已有研究证实短期 tDCS 治疗具有改善认知功能的潜力^[14-15], 因此, 探究 tDCS 是否能改善 MCI 患者的认知功能, 对 MCI 患者的非药物治疗意义重大。本研究基于图论的逻辑对 MCI 患者 tDCS 治疗前后的脑功能网络拓扑属性进行研究, 是对 MCI 相关影像生物标志物的补充, 以期通过脑功能网络拓扑属性的变化探索 tDCS 治疗方法对认知改变的神经影像学机制。本研究结果显示, 在认知评估方面, 真刺激组治疗后在总体认知、记忆、语言及执行方面均有积极疗效; 在脑网络拓扑属性结果中, 两组治疗前、后及治疗后两组间在全局拓扑属性中未得到差异性结果, 但节点属性 (Bc、Dc、Nle) 在两组 tDCS 治疗后中均得到了有显著性差异的脑区, 证明 tDCS 对局部网络拓扑结构产生较大的影响, 并产生了行为效应。

Dc 是以边的数量来衡量其在网络中的中心程度, 反映了该节点在功能网络中的信息通信能力; Bc 即网络中起桥梁作用的点, 表征了其对其他节点间信息流的影响; Nle 被认为是网络中容错性的度量, 表征了如果节点被移除临近节点交换信息的程度^[16-18]。在本研究中, 经 tDCS 治疗后, MCI 患者在额叶、颞

叶、枕叶及海马、杏仁核、岛叶、嗅皮层等与记忆、认知高度相关的一些脑区的节点拓扑属性均发生改变, 其中双侧眶部额回的 Bc、Dc、Nle 均升高, 并且相关性分析显示真刺激组治疗后右侧眶内额上回 Nle 与 AVLT-N7、AFT、BNT 评分正相关; 右侧杏仁核、嗅皮层 Dc 与 AVLT-N7 评分正相关; 左侧枕上回、缘上回 Bc 与 MMSE、MoCA 评分正相关, 这表明 tDCS 刺激后 MCI 患者相关听觉功能网络、记忆认知、精神皮层区域内部的节点信息交流能力增强、对信息流的影响增强。既往研究发现 MCI 患者的眶部额回的节点效率与整体认知及多个认知亚域相关^[19-20], 因此本研究结果提示额叶在大脑认知中可能的功能代偿和重塑作用, 以及额回、杏仁核、嗅皮层在认知脑网络中的中心程度、信息通信能力和桥梁作用^[21]。另一方面, 相关节点拓扑属性具有差异化的脑区发生在右侧的数量占比约 2/3, 尤其是 Dc 的改变几乎全发生在右侧脑区, 而发生在额叶的节点拓扑属性改变在所有差异节点中占多数, 这说明本研究中所发生的相关节点拓扑属性的改变可能与 tDCS 治疗的阴极、阳极的位置有关或者是与大脑代偿机制有关^[22-23]。据研究, DLPFC 是认知功能网络的核心脑区, 广泛参与工作记忆、反应控制和注意转移等多种高级认知过程^[24-25], 本研究中虽然刺激靶区位于左侧 DLPFC, 但是 tDCS 无论是在刺激侧还是对侧都诱导节点拓扑属性关键区域的功能连接增强, 说明 tDCS 会影响大规模的脑网络, 而不局限于刺激部位^[26]。

本研究样本量较小, 统计分析可能会有一定的偏倚, 且关于 tDCS 治疗 MCI 患者的最佳治疗参数尚未达成一定的共识, 研究结果的可重复性还需进一步通

过大量的实验来验证;其次,tDCS 治疗前、后的全局拓扑属性未得到差异性结果,将来将进一步探讨其机制;最后,关于 tDCS 所致安慰剂效应发生的机制值得认真对待。

参考文献

- [1] 钱胜男,于明. 预测轻度认知障碍向阿尔茨海默病转化的生物标志物的研究进展[J]. 中华神经医学杂志,2020,19(5):519-524.
- [2] ABAZID M, HOUMANI N, DORIZZI B, et al. Weighted brain network analysis on different stages of clinical cognitive decline[J]. *Bioengineering (Basel)*, 2022, 9(2):62.
- [3] 康蓉蓉. 重复经颅直流电刺激治疗阿尔茨海默病及轻度认知障碍疗效的 Meta 分析[D]. 大连:大连医科大学,2020.
- [4] IMBURGIO M J, ORR J M. Effects of prefrontal tDCS on executive function: methodological considerations revealed by meta-analysis[J]. *Neuropsychologia*, 2018, 117:156-166.
- [5] 赵澄,张默,安彦虹,等. 轻度认知功能障碍的右侧岛叶前部-额叶岛盖功能连接变化[J]. 中华老年心脑血管病杂志,2019,21(5):494-498.
- [6] YAO Z, ZHANG Y, LIN L, et al. Abnormal cortical networks in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease[J]. *PLoS Comput Biol*, 2010, 6(11):e1001006.
- [7] XU X, LI W, MEI J, et al. Feature selection and combination of information in the functional brain connectome for discrimination of mild cognitive impairment and analyses of altered brain patterns[J]. *Front Aging Neurosci*, 2020, 12:28.
- [8] 樊东琼. 电针和高精度经颅直流电刺激干预老年人认知能力的比较:来自静息态 fMRI 的证据[D]. 重庆:西南大学,2017.
- [9] NEE D E. Integrative frontal-parietal dynamics supporting cognitive control[J]. *Elife*, 2021, 10:e57244.
- [10] TO W T, RIDDER D D, HART J J, et al. Changing brain networks through non-invasive neuromodulation[J]. *Front Hum Neurosci*, 2018, 12:128.
- [11] 中国痴呆与认知障碍诊治指南写作组,中国医师协会神经内科医师分会认知障碍疾病专业委员会. 2018 中国痴呆与认知障碍诊治指南(五):轻度认知障碍的诊断与治疗[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(17):1294-1301.
- [12] JAK A J, BONDI M W, DELANO W L, et al. Quantification of five neuropsychological approaches to defining mild cognitive impairment[J]. *Am J Geriatr Psychiatry*, 2009, 17(5):368-375.
- [13] ZHANG L, NI H, YU Z, et al. Investigation on the alteration of brain functional network and its role in the identification of mild cognitive impairment[J]. *Front Neurosci*, 2020, 14:558434.
- [14] VECCHIO F, MIRAGLIA F, ALÙ F, et al. Contribution of graph theory applied to EEG data analysis for Alzheimer's disease versus vascular dementia diagnosis[J]. *J Alzheimers Dis*, 2021, 82(2):871-879.
- [15] ZHANG X, LIU J, CHEN Y, et al. Brain network construction and analysis for patients with mild cognitive impairment and Alzheimer's disease based on a highly-available nodes approach[J]. *Brain Behav*, 2021, 11(3):e02027.
- [16] KHATRI U, KWON G R. Alzheimer's disease diagnosis and biomarker analysis using resting-state functional MRI functional brain network with multi-measures features and hippocampal subfield and amygdala volume of structural MRI[J]. *Front Aging Neurosci*, 2022, 14:818871.
- [17] LIU M, MA J, FU C Y, et al. Dysfunction of emotion regulation in mild cognitive impairment individuals combined with depressive disorder: a neural mechanism study[J]. *Front Aging Neurosci*, 2022, 14:884741.
- [18] XIONG Y, YE C, CHEN Y, et al. Altered functional connectivity of basal ganglia in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease[J]. *Brain Sci*, 2022, 12(11):1555.
- [19] PROTAS H, GHISAYS V, GORADIA D D, et al. Individualized network analysis: a novel approach to investigate tau PET using graph theory in the Alzheimer's disease continuum[J]. *Front Neurosci*, 2023, 17:1089134.
- [20] ZHANG J, XIA J, LIU X, et al. Machine learning on visibility graph features discriminates the cognitive event-related potentials of patients with early Alzheimer's disease from healthy aging[J]. *Brain Sci*, 2023, 13(5):770. (下转第 1855 页)

- norepinephrine:relationships with central metabolic and peripheral vascular responses[J]. *J Neurophysiol*,2018,119(2):499-508.
- [7] 王帅,张东,梁佐迪,等.小剂量去甲肾上腺素对神经外科手术中 FloTrac/Vigileo 监测系统指导目标导向液体治疗效果的影响[J]. *中华麻醉学杂志*,2017,37(11):1329-1332.
- [8] REGENHARDT R W,DAS A S,STAPLETON C J, et al. Blood pressure and penumbral sustenance in stroke from large vessel occlusion [J]. *Front Neurol*,2017,8:317.
- [9] 雷田田,张山.脑血运重建术的围手术期麻醉管理[J]. *国际麻醉学与复苏杂志*,2022,43(1):72-76.
- [10] 陈冬梅,张靓,韩志强,等.右美托咪定及七氟烷复合芬太尼对幕上脑肿瘤患者血清 NSE、S-100 β 、MDA 和 SOD 含量及脑氧供需平衡的影响[J]. *现代肿瘤医学*,2019,27(2):311-315.
- [11] 占丽芳,李国强,单热爱,等.右美托咪定对脑幕上肿瘤切除术患者葡萄糖和乳酸的影响[J]. *广东医学*,2015,36(13):2101-2103.
- [12] 梁淑清,李雅兰.脑氧供相关的术后认知功能障碍危险因素的研究进展[J]. *中华老年医学杂志*,2020,39(2):245-248.
- [13] MORITA M,IKESHIMA-KATAOKA H,KREFT M, et al. Metabolic plasticity of astrocytes and aging of the brain[J]. *Int J Mol Sci*,2019,20(4):941.
- [14] BALLESTEROS M A,RUBIO-LOPEZ M I,SAN MARTÍN M, et al. Serum levels of S100B from jugular bulb as a biomarker of poor prognosis in patients with severe acute brain injury [J]. *J Neurol Sci*,2018,385:109-114.
- [15] 幸文利,谭关平,段佳.前循环大血管闭塞急性缺血性脑卒中机械取栓后脑水肿严重程度及预后影响因素[J]. *重庆医学*,2024,53(4):582-586.
- [16] 查明明,黄抗默,杨晴雯,等.急性前循环大血管闭塞再通治疗患者远期优异预后的影响因素分析[J]. *中国脑血管病杂志*,2020,17(10):569-575.
- [17] 王朵朵,黄春霞,李云,等.术中不同补液疗法对脊柱手术患者术后谵妄的影响[J]. *天津医药*,2021,49(1):64-68.
- [18] KAZUMATA K,UCHINO H,TOKAIRIN K, et al. Cerebral hyperperfusion syndrome after revascularization surgery in Moyamoya disease: region-symptom mapping and estimating a critical threshold[J]. *World Neurosurg*,2018,114:e388-395.

(收稿日期:2023-11-09 修回日期:2024-04-10)

(编辑:唐 璞)

(上接第 1849 页)

- [21] LANE H Y,WANG S H,LIN C H. Adjunctive transcranial direct current stimulation (tDCS) plus sodium benzoate for the treatment of early-phase Alzheimer's disease: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial [J]. *Psychiatry Res*,2023,328:115461.
- [22] OH W,PARK H,HALLETT M, et al. The effectiveness of a multimodal brain empowerment program in mild cognitive impairment: a single-blind, quasi-randomized experimental study[J]. *J Clin Med*,2023,12(15):4895.
- [23] KOO G K,GAUR A,TUMATI S, et al. Identifying factors influencing cognitive outcomes after anodal transcranial direct current stimulation in older adults with and without cognitive impairment: a systematic review [J]. *Neurosci Biobehav Rev*,2023,146:105047.
- [24] TURNBULL A,ANTHONY M,TADIN D, et al. Effect of online tDCS to left somatomotor cortex on neuropsychiatric symptoms among older adults at risk for dementia [J]. *Cortex*,2023,159:131-141.
- [25] PALLANTI S,GRASSI E,KNOTKOVA H, et al. Transcranial direct current stimulation in combination with cognitive training in individuals with mild cognitive impairment: a controlled 3-parallel-arm study [J]. *CNS Spectr*,2022:1-6.
- [26] CHEN J,WANG Z,CHEN Q, et al. Transcranial direct current stimulation enhances cognitive function in patients with mild cognitive impairment and early/mid Alzheimer's disease: a systematic review and meta-analysis [J]. *Brain Sci*,2022,12(5):562.

(收稿日期:2023-12-25 修回日期:2024-03-12)

(编辑:成 卓)