

经颅直流电刺激联合常规言语训练治疗卒中后失语症患者的疗效观察

周涛¹, 郭壮丽^{1*}, 梁颖²

¹青岛大学附属医院市南院区康复医学科, 山东 青岛

²青岛大学附属医院崂山院区门诊护理单元, 山东 青岛

收稿日期: 2023年10月14日; 录用日期: 2023年11月8日; 发布日期: 2023年11月16日

摘要

目的: 观察经颅直流电刺激(tDCS)联合常规言语训练在卒中后非流畅性失语症患者治疗中的疗效。方法: 纳入卒中后非流畅性失语症患者30例, 将患者分为试验组和对照组, 每组15例, 在常规言语康复训练的基础上, 试验组给予Broca区阳极tDCS, 对照组给予假刺激。在治疗前和治疗三周后均采用西方失语症成套测验(Western aphasia battery, WAB)、波士顿诊断性失语症检查量表(Boston diagnostic aphasia scale, BDAE)、中国式功能性言语沟通能力判定法(Chinese functional communication profile, CFCP)对患者进行评估。结果: 治疗后, 2组患者的自发言语、听理解、复述、命名、失语商AQ、CFCP评分均较治疗前提高, 差异有统计学意义($P < 0.05$), 其中, 自发言语、命名、失语商AQ、CFCP评分四个方面, 试验组较对照组评分显著提高($P < 0.05$)。结论: 经颅直流电刺激联合常规言语康复治疗可以更好的改善卒中后失语症患者的言语功能及沟通能力。

关键词

脑卒中, 失语症, 经颅直流电刺激

Efficacy of Transcranial Direct Current Stimulation Combined with Conventional Speech Training in the Treatment of Patients with Post-Stroke Aphasia

Tao Zhou¹, Zhuangli Guo^{1*}, Ying Liang²

¹Department of Rehabilitation Medicine, Shinan Hospital, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

*通讯作者 Email: guozhuangli@qdu.edu.cn

文章引用: 周涛, 郭壮丽, 梁颖. 经颅直流电刺激联合常规言语训练治疗卒中后失语症患者的疗效观察[J]. 临床医学进展, 2023, 13(11): 17772-17779. DOI: 10.12677/acm.2023.13112492

²Outpatient Nursing Unit, Laoshan Hospital, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: Oct. 14th, 2023; accepted: Nov. 8th, 2023; published: Nov. 16th, 2023

Abstract

Objective: To observe the efficacy of transcranial direct current stimulation (tDCS) combined with conventional speech training in the treatment of patients with post-stroke non-fluent aphasia. **Methods:** Thirty patients with post-stroke non-fluent aphasia were included, and the patients were divided into a test group and a control group, with 15 cases in each group. On the basis of conventional speech rehabilitation training, the test group was given anodal tDCS in Broca's area, and the control group was given sham stimulation. The Western aphasia battery (WAB), Boston diagnostic aphasia examination scale (BDAE), Chinese functional communication profile (CFCP), and the Chinese functional communication profile (CFCP) were used before and after three weeks of treatment. Functional communication profile (CFCP) patients were evaluated. **Results:** After treatment, the spontaneous speech, listening comprehension, repetition, naming, aphasia quotient AQ, and CFCP scores of the patients in the 2 groups were improved compared with those of the patients before treatment, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$), among which, in four aspects of spontaneous speech, naming, aphasia quotient AQ, and CFCP scores, the scores of the experimental group were significantly improved compared with those of the control group ($P < 0.05$). **Conclusion:** Transcranial direct current stimulation combined with conventional speech rehabilitation therapy can better improve the speech function and communication ability of post-stroke aphasia patients.

Keywords

Stroke, Aphasia, Transcranial Direct Current Stimulation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

脑卒中最常见的神经系统疾病，严重危害患者的身心健康。近年来发病率逐年升高，并有年轻化的趋势[1]。其中约有 21%~38%的脑卒中患者会出现卒中后失语症(post-stroke aphasia, PSA)，一般表现为言语表达、听理解、命名、复述、书写、阅读等方面的障碍，其中，非流畅性失语是临床中最常见的失语类型，主要表现为言语表达方面的障碍，听理解、复述等方面受损相对较轻[2]。目前临床常用的传统的言语-语言康复训练、药物治疗等治疗方式效果不佳，仍需进一步寻找新的言语康复手段或联合康复方式，以提高失语症患者言语功能及生活质量。

经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)作为一种新的非侵入性的脑刺激技术[3]，通过 2 个头皮电极产生恒定的、低强度直流电(0.05~2.00 mA)覆盖靶向皮质区域，调节大脑皮层功能。因为其操作简便、价格低、不良反应少等优点[4]，目前，用于脑卒中后失语症已取得一定效果[5] [6]，但关于 tDCS 具体的刺激部位、极性以及使用的电流强度等方面没有明确的规范[7]，也存在长期疗效不确定及使用时机不一致等问题[8]。

为此，本研究将通过观察 tDCS 联合传统言语康复训练对卒中后非流畅性失语患者的疗效，为 tDCS

治疗卒中后失语症提供理论依据。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象及分组

纳入标准：① 符合《中国各类主要脑血管病诊断要点 2019》[9]，并经过颅脑 CT 或 MRI 诊断明确的左侧大脑半球受损的脑卒中患者；② 病程在 1 周~6 个月之间，病情稳定，意识清楚；③ 经西方失语症成套测验(Western aphasia battery, WAB)诊断为非流畅性失语(失语商 AQ < 93.8 分, 言语流畅度 < 4 分)；④ 发病前右利手，母语为汉语普通话。排除标准：① 既往存在神经精神系统疾病患者；② 合并意识障碍、严重认知障碍或其他严重的内科疾病、视听障碍等；③ 有 tDCS 的禁忌证：治疗区域有带有金属部件的植入器件患者、孕妇、儿童、恶性肿瘤等。脱落标准：① tDCS 治疗后出现头晕、恶心等不良反应且不能耐受者；② 患者依从性差，治疗时断时续者；③ 患者在言语治疗过程中其他疾病加重，无法进行继续治疗者；④ 受试者自行退出研究。

本研究方案获得青岛大学附属医院医学伦理委员会批准(批号：QYFY WZLL 27912)，选择青岛大学附属医院康复医学科 2022 年 7 月~2023 年 7 月收治的符合纳排标准的脑卒中后非流畅性失语患者 30 例，所有患者均对本试验知情并签署知情同意书，按照随机数字表法将患者分为试验组和对照组各 15 例，2 组一般资料比较差异无统计学意义($P > 0.05$)，见表 1。

Table 1. Comparison of general data of patients in 2 groups

表 1. 2 组患者一般资料比较

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	病变性质		平均病程 (天, $\bar{x} \pm s$)
		男	女		脑出血	脑梗死	
对照组	15	8	7	61.13 \pm 14.89	4	11	52.07 \pm 47.60
试验组	15	9	6	55.13 \pm 15.22	6	9	37.07 \pm 30.84

2.2. 治疗方法

2 组均给予常规药物治疗、常规语言及其他康复训练，在此基础上试验组给予左侧 Broca 区 tDCS 阳极刺激；对照组给予左侧 Broca 区 tDCS 假刺激。

2.2.1. 常规语言康复训练

包括听理解训练、读写训练、口语表达训练、书写训练、计算和绘画训练。所有训练均于专门的言语康复室进行，由固定康复治疗师进行一对一训练，每次训练 30 min，每天 1 次，每周 5 次，共治疗 3 周。

2.2.2. tDCS 具体方法

采用哈尔滨产 TES-02 型经颅电脑功能康复治疗仪对患者进行刺激。体表定位按照国际脑电图 1020 系统电极放置法，Broca 区位于 T3.Fz 与 F7.Cz 之间的交叉点。体表刺激部位：将阳极放在左侧 Broca 区，阴极放在右侧肩部。刺激强度 1.2 mA，刺激时间 30 min，每天 1 次，每周 5 次，共治疗 3 周。对照组：tDCS 假刺激在每次刺激 10 s 后中断电流，余电极片摆放位置、治疗参数等同试验组。

2.3. 观察指标

于治疗前、治疗后对两组患者进行评估，包括西方失语症成套测验(Western aphasia battery, WAB)、

波士顿诊断性失语症检查量表(Boston diagnostic aphasia scale, BDAE)、中国式功能性言语沟通能力判定法(Chinese functional communication profile, CFCP)。

2.3.1. 西方失语症成套测验

该量表是在波士顿诊断性失语症检查法的基础上优化精简而来,一般可在一个小时内完成检查,包含自发语言、听理解、复述、命名等维度,每个维度可单独检测,并根据每个维度得分计算出失语商 AQ,失语商小于 93.8 即可诊断为失语症,该量表对失语症评估全面,且可以定量分析,因此是目前国内外使用较为普遍的量表。

2.3.2. 波士顿诊断性失语症检查量表

用于评价失语程度,共分 6 个等级:0 级,完全性言语或听觉能力障碍;1 级,言语交流困难,仅有不连续言语表达,多数内容需听者推测、询问或猜测;2 级,言语交流有困难,仅能在听者的帮助下进行熟悉话题的交谈;3 级,需少量帮助或无帮助下讨论所有日常问题,但言语或理解力较弱,对某些谈话存在困难;4 级,思想和言语表达无明显限制,但有理解障碍;5 级,有极少量可观察到的言语障碍。

2.3.3. 中国式功能性言语沟通能力判定法

用于评价 2 组患者日常生活交流与沟通能力,CFCP 包括回答问题、命名、复述、自动语序等 25 项内容,每项满分 10 分,共 250 分,评分越高表示功能越好。

2.3.4. 疗效评价

参照 BDAE 分级变化情况结合症状改善情况评价疗效:

显效: BDAE 失语症严重程度等级提高 ≥ 2 级;

有效: BDAE 失语症严重程度等级提高 1 级;

无效: BDAE 失语症严重程度等级无改变。

总有效率 = [(显效 + 有效)/总例数] \times 100%。

2.4. 统计学方法

应用 Prism9.0 版软件分析统计数据,计量资料符合正态分布,以均数 \pm 标准差表示,组间比较应用两独立样本 t 检验,组内比较应用配对样本 t 检验,等级资料的组间、组内比较应用秩和检验,计数资料比较应用 χ^2 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 治疗前后 2 组 WAB 自发言语、听理解、复述、命名四个维度评分比较

治疗前,2 组各维度评分差异均无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,2 组各维度评分均较治疗前提高,差异有统计学意义;在自发言语、命名两个维度,试验组治疗后评分明显高于对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

Table 2. Comparison of WAB scores before and after treatment in 2 groups of patients

表 2. 治疗前后 2 组患者 WAB 评分比较

组别	时间	自发言语	听理解	复述	命名
对照组	治疗前	4.73 \pm 1.44	5.05 \pm 1.43	3.96 \pm 2.60	4.01 \pm 1.90
	治疗后	6 \pm 1.59 ^a	6.46 \pm 1.70 ^a	5.41 \pm 2.40 ^a	6.07 \pm 2.13 ^a

Continued

试验组	治疗前	4.33 ± 1.01	4.67 ± 1.60	3.98 ± 1.42	3.67 ± 1.59
	治疗后	7.27 ± 1.48 ^{ab}	6.79 ± 1.65 ^a	6.61 ± 1.33 ^a	7.52 ± 1.61 ^{ab}

注：组内治疗前后比较，^aP < 0.05，差异有统计学意义；2组治疗后比较，^bP < 0.05，差异有统计学意义。

3.2. 治疗前后 2 组 AQ 评分比较

治疗前，2组 AQ 评分差异无统计学意义(P > 0.05)；治疗后，2组 AQ 评分均较治疗前提高，且试验组评分明显高于对照组，差异有统计学意义(P < 0.05)。见表 3。

Table 3. Comparison of AQ scores before and after treatment in 2 groups of patients

表 3. 治疗前后 2 组患者 AQ 评分比较

组别	治疗前	治疗后	p 值	t 值
对照组	35.52 ± 11.55	47.87 ± 12.53	<0.0001	12.92
试验组	33.30 ± 7.61	56.39 ± 9.06	<0.0001	17.94
p 值	0.55	0.0488		
t 值	0.6	2.06		

3.3. 治疗前后 2 组患者 CFCP 评分比较

治疗前，2组 CFCP 评分差异无统计学意义(P > 0.05)；治疗后，2组 CFCP 评分均较治疗前提高，且试验组评分明显高于对照组，差异有统计学意义(P < 0.05)。见表 4。

Table 4. Comparison of CFCP scores before and after treatment in 2 groups of patients

表 4. 治疗前后 2 组患者 CFCP 评分比较

组别	治疗前	治疗后	p 值	t 值
对照组	101.27 ± 28.52	153.53 ± 45.26	<0.0001	7.89
试验组	105.93 ± 23.34	188.53 ± 21.94	<0.0001	17.41
p 值	0.64	0.0146		
t 值	0.47	2.6		

3.4. 治疗前后 2 组临床疗效评价

治疗后试验组总有效率明显高于对照组，差异有统计学意义(P < 0.05)。见表 5。

Table 5. Comparison of clinical outcomes before and after treatment of patients in group 2

表 5. 治疗前后 2 组患者临床疗效比较

组别	n	显效	有效	无效	总有效率
对照组	15	1	7	7	53.33%
试验组	15	4	7	4	73.33%

4. 讨论

失语症为脑卒中后常见功能障碍，严重影响了脑卒中患者的生活质量和回归家庭、社会的能力，目

前的言语康复治疗手段虽然取得一定成效[2] [10], 但患者的言语功能恢复仍不理想。经颅直流电刺激作为一种新的、简捷、安全性高, 不良反应少的非侵入性脑刺激技术, 逐渐被应用到脑卒中后失语症患者的康复治疗中[11]。

经颅直流电刺激是将两个浸满盐水的海绵电极放置在靶区, 产生微弱但恒定的电流作用于大脑皮层, 改变突触后膜内外电位差, 改变神经元产生动作电位的阈值, 来调节皮质的兴奋性[12], 一般认为阳极刺激使神经元细胞膜去极化, 降低神经元产生动作电位的阈值, 改变自发神经元放电率, 增强神经皮质兴奋性[13]; 相反, 阴极刺激则导致神经元细胞膜超极化, 提高神经元产生动作电位的阈值, 致皮质兴奋性下降[14]。此外, 有研究发现 tDCS 通过调节 N-甲基-D-天冬氨酸(N-methyl-D-aspartic acid, NMDA)受体活性和 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)受体来促进长时程增强和长时程抑制作用, 改变突触的可塑性[15] [16], 动物实验发现, tDCS 还可以促进脑源性神经营养因子(brain derived neurotrophic factor, BDNF)的释放[17], 促进受损脑区周围皮质神经元的再生, 对脑卒中的恢复有重要意义。

关于卒中后失语症的恢复机制尚无明确定论, 目前临床常用的非侵入性脑刺激技术多基于神经可塑性理论, 即受损伤的优势半球周围脑区的激活和受损区非优势半球镜像脑区的激活或抑制[18]。根据经胼胝体失抑制理论, 大脑的两个半球通常是抑制性调节和平衡的。然而, 当发生脑损伤时, 这种平衡就会被破坏, 如果左侧半球受到损伤, 左侧半球的兴奋性降低, 减少左侧半球的经胼胝体抑制, 导致两半球间抑制失衡, 右侧半球向左侧半球的经胼胝体抑制会加强, 阻碍患者的康复[19]。通过任务态功能磁共振成像观察非流畅性失语患者命名任务发现, 在急性期内, 患者左侧半球未受损的语言相关脑区激活减少; 而在亚急性期, 右侧同源语言区的激活增加; 在慢性期, 则主要表现为左侧半球相关脑区激活[20], 在 PSA 患者不同的恢复时期, 左半球核心语言区周围区域以及右半球同源语言区域可能所起作用不同, 但都对语言功能恢复做出了贡献。

Broca 区是运动性语言中枢, 与语言的生成和表达密切相关, 不仅参与语义、语音任务的加工, 在句法加工以及动词命名的处理和加工提取中也起到重要作用[21]。Volpato [22]等人的研究中, 对所纳入不同类型的失语患者均给予左 Broca 区阳极 tDCS, 结果显示所有患者的动词命名正确率和反应速度均得到了提高, 提示 Broca 区在 PSA 患者治疗中发挥了重要作用。同样, 在 Elsner [23]等人的研究中, 通过对纳入的 25 项随机对照研究处理分析, 得出结论, 阳极 tDCS 对命名能力的改善效果更好。在本研究中, 试验组给予 Broca 区阳极 tDCS, 联合传统的言语语言康复治疗, 结果显示, 治疗后患者 WAB 各维度评分均较治疗前提高, 且在自发言语、命名这两个维度, 治疗后试验组评分比对照组高, 差异具有统计学意义, 也证明了这一点, Broca 区阳极 tDCS 可以有效的改善患者的命名能力。这可能与 Broca 区在语言产生中具有重要作用有关, 阳极 tDCS 作用于患者优势半球 Broca 区, 使 Broca 区周围神经元活动增强, 促进损伤脑区周围神经元的激活, 提高优势半球皮层兴奋性, 诱导长时程增强作用, 加速语言功能代偿; 还可以促进两侧半球间相互抑制平衡状态的恢复, 提高患者神经可塑性, 从而改善患者的命名。

传统观点认为, 以言语表达障碍为主的运动性失语是由于优势半球的 Broca 区受损导致, 而随着神经功能影像学的发展, 研究者发现, 与健康人相比, 脑卒中后非流畅性失语患者不仅出现左额下回后部的脑区活动异常, 其周围脑区包括左侧额上回、额中回, 左侧中央前回, 双侧额上回等也存在不同程度的活动异常[24], 提示语言的表达中枢可能并不局限与某个或几个脑区, 而是受到整个大脑语言网络的调控。Marangolo [17]等人发现, 相比 Wernicke 区的阳极 tDCS 和假刺激, Broca 区阳极 tDCS 组的语言连贯性方面得到了很大的改善。本研究中也出现了相似的结果, 试验组治疗后自发言语这一维度较对照组得到了明显的改善。分析原因可能有两点, 在患者优势半球 Broca 区的阳极 tDCS, 提高了优势半球的皮层兴奋性, 促进周围神经元的激活和代偿, 导致患者自发言语得到改善; 还有一个原因可能是阳极 tDCS 通过调控大脑语言网络, 引起相关脑区的激活或抑制, 从而促进患者语言的恢复。

中风后语言功能的恢复与语言网络的重组密切相关,而不是仅限于特定的脑区,以往的研究中对 tDCS 对日常沟通能力影响的观察非常有限,本研究中,治疗后试验组的 CFCP 评分相对于对照组而言显著提高,提示阳极 tDCS 的应用可能能够改善 PSA 患者的交流沟通能力。分析原因可能是 tDCS 的刺激效应不仅限于刺激部位局部,还可以调节患者大脑网络局部区域的活动,增强语义网络中相关脑区的功能连接,激活偏远脑区[25],促进大脑语义网络的可塑性发展,从而更好的帮助改善患者的实际交流能力。且研究证明 tDCS 的单个刺激后效应能持续数分钟至 1 小时,重复刺激的效应可能持续数天至数月[26],而与其联合应用的言语康复训练可能也会随着 tDCS 的刺激后效应而延长,这种机制可能会更好的增强突触的可塑性[27],促进患者语言神经网络重组,改善语言功能。

综上所述,与假刺激组相比,左侧 Broca 区阳极 tDCS 联合传统言语康复治疗对患者的命名、自发言语、语言沟通能力均有明显改善作用,但具体治疗机制目前仍尚未明确,且本研究中纳入病人数量较少,统计结果可能存在误差。未来需要进一步扩大样本量,或结合神经功能影像学来进一步深入的探讨 tDCS 治疗脑卒中后失语症的机制。

参考文献

- [1] 高一鹭, 王文志. 脑血管病流行病学研究进展[J]. 中华神经科杂志, 2015, 48(4): 337-340.
- [2] 周瑾, 何小俊. 脑卒中后失语症康复治疗的研究进展[J]. 医学综述, 2021, 27(3): 529-533.
- [3] Fridriksson, J. and Hillis, A.E. (2021) Current Approaches to the Treatment of Post-Stroke Aphasia. *Journal of Stroke*, **23**, 183-201. <https://doi.org/10.5853/jos.2020.05015>
- [4] Pipatsrisawat, S., Klaphajone, J., Kitisak, K., Sungkarat, S. and Wivatvongvana, P. (2022) Effects of Combining Two Techniques of Non-Invasive Brain Stimulation in Subacute Stroke Patients: A Pilot Study. *BMC Neurology*, **22**, Article No. 98. <https://doi.org/10.1186/s12883-022-02607-3>
- [5] Marangolo, P. and Caltagirone, C. (2014) Options to Enhance Recovery from Aphasia by Means of Non-Invasive Brain Stimulation and Action Observation Therapy. *Expert Review of Neurotherapeutics*, **14**, 75-91. <https://doi.org/10.1586/14737175.2014.864555>
- [6] 陈雅婷, 张劼, 张优媚, 张双双, 叶祥明. 经颅直流电刺激改善卒中后失语的系统综述[J]. 中国康复理论与实践 2022, 28(5): 534-543.
- [7] Stockbridge, M.D., Bunker, L.D. and Hillis, A.E. (2022) Reversing the Ruin: Rehabilitation, Recovery, and Restoration after Stroke. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, **22**, 745-755. <https://doi.org/10.1007/s11910-022-01231-5>
- [8] Biou, E., Cassoudealle, H., Cogné, M., Sibon, I., De Gabory, I., Dehail, P., Aupy, J. and Glize, B. (2019) Transcranial Direct Current Stimulation in Post-Stroke Aphasia Rehabilitation: A Systematic Review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, **62**, 104-121. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2019.01.003>
- [9] 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. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019 [J]. 中华神经科杂志, 2019, 52(9): 710-715. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2019.09.003>
- [10] Ding, X., Zhang, S., Huang, W., Zhang, S., Zhang, L., Hu, J., Li, J., Ge, Q., Wang, Y., Ye, X., et al. (2022) Comparative Efficacy of Non-Invasive Brain Stimulation for Post-Stroke Aphasia: A Network Meta-Analysis and Meta-Regression of Moderators. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **140**, Article ID: 104804. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104804>
- [11] Lee, I.-T., Huang, C.-C., Hsu, P.-C., Lin, C.-P. and Tsai, P.-Y. (2022) Resting-State Network Changes Following Transcranial Magnetic Stimulation in Patients With Aphasia—A Randomized Controlled Study. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*, **25**:528-537. <https://doi.org/10.1016/j.neurom.2021.10.004>
- [12] Lefaucheur, J.-P., Antal, A., Ayache, S.S., Benninger, D.H., Brunelin, J., Cogiamanian, F., Cotelli, M., De Ridder, D., Ferrucci, R., Langguth, B., et al. (2017) Evidence-Based Guidelines on the Therapeutic Use of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS). *Clinical Neurophysiology*, **128**, 56-92. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2016.10.087>
- [13] Sacca, V., Maleki, N., Wen, Y., Hodges, S. and Kong, J. (2023) Modulation Effects of Repeated Transcranial Direct Current Stimulation at the Dorsolateral Prefrontal Cortex: A Pulsed Continuous Arterial Spin Labeling Study. *Brain Sciences*, **13**, Article No. 395. <https://doi.org/10.3390/brainsci13030395>
- [14] de Aguiar, V., Paolazzi, C.L. and Miceli, G. (2015) tDCS in Post-Stroke Aphasia: The Role of Stimulation Parameters,

- Behavioral Treatment and Patient Characteristics. *Cortex*, **63**, 296-316. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.08.015>
- [15] Zhou, Q., Chen, Y., Tang, H., Zhang, L., Ma, Y., Bai, D. and Kong, Y. (2023) Transcranial Direct Current Stimulation Alleviated Ischemic Stroke Induced Injury Involving the BDNF-TrkB Signaling Axis in Rats. *Heliyon*, **9**, e14946. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14946>
- [16] Stagg, C.J. and Nitsche, M.A. (2011) Physiological Basis of Transcranial Direct Current Stimulation. *The Neuroscientist*, **17**, 37-53. <https://doi.org/10.1177/1073858410386614>
- [17] Longo, V., Barbati, S.A., Re, A., Paciello, F., Bolla, M., Rinaudo, M., Miraglia, F., Alù, F., Di Donna, M.G., Vecchio, F., *et al.* (2022) Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Neuroplasticity and Accelerates Motor Recovery in a Stroke Mouse Model. *Stroke*, **53**, 1746-1758. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.121.034200>
- [18] 于可, 张超, 徐凯. 卒中后失语症治疗前后功能磁共振研究进展[J]. 磁共振成像, 2020, 11(10): 937-939.
- [19] 从珊, 闫隆, 李虹, 钱玉林, 王猛, 于涛. 非侵入性脑刺激技术治疗卒中后失语症的研究进展[J]. 中国康复, 2023, 38(8): 498-502.
- [20] 周克贵, 杨柳, 朱莹莹, 高丹宇, 赵迎春, 王顺娟. 脑梗死后运动性失语的局部脑功能活动强度研究[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2020, 22(2): 123-126.
- [21] Marangolo, P., Fiori, V., Calpagnano, M.A., Campana, S., Razzano, C., Caltagirone, C. and Marini, A. (2013) tDCS over the Left Inferior Frontal Cortex Improves Speech Production in Aphasia. *Frontiers in Human Neuroscience*, **7**, Article No. 539. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00539>
- [22] Volpato, C., Cavinato, M., Piccione, F., Garzon, M., Meneghello, F. and Birbaumer, N. (2013) Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) of Broca's Area in Chronic Aphasia: A Controlled Outcome Study. *Behavioural Brain Research*, **247**, 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.03.029>
- [23] Elsner, B., Kugler, J. and Mehrholz, J. (2020) Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) for Improving Aphasia after Stroke: A Systematic Review with Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, **17**, Article No. 88. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00708-z>
- [24] 张小峰, 蔡艺灵, 杜娟, 李薇, 李科. 脑卒中后运动性失语的言语功能区研究[J]. 总装备部医学学报, 2013, 15(4): 187-191+253.
- [25] van Hees, S., McMahon, K., Angwin, A., de Zubicaray, G., Read, S. and Copland, D.A. (2014) A Functional MRI Study of the Relationship between Naming Treatment Outcomes and Resting State Functional Connectivity in Post-Stroke Aphasia. *Human Brain Mapping*, **35**, 3919-3931. <https://doi.org/10.1002/hbm.22448>
- [26] Matar, S.J., Newton, C., Sorinola, I.O. and Pavlou, M. (2022) Transcranial Direct-Current Stimulation as an Adjunct to Verb Network Strengthening Treatment in Post-Stroke Chronic Aphasia: A Double-Blinded Randomized Feasibility Study. *Frontiers in Neurology*, **13**, Article ID: 722402. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.722402>
- [27] Dąbrowski, J., Czajka, A., Zielińska-Turek, J., Jaroszyński, J., Furtak-Niczyporuk, M., Mela, A., Poniatowski, Ł.A., Drop, B., Dorobek, M., Barcikowska-Kotowicz, M., *et al.* (2019) Brain Functional Reserve in the Context of Neuroplasticity after Stroke. *Neural Plasticity*, **2019**, Article ID: 9708905. <https://doi.org/10.1155/2019/9708905>