

# 经颅交流电刺激在精神神经疾病中应用及作用机制的研究进展

汪晓 张庆娥

100088 首都医科大学附属北京安定医院 国家精神心理疾病临床医学研究中心 精神疾病  
诊断与治疗北京市重点实验室 首都医科大学精神病学系

通信作者: 张庆娥, Email: zqe81@126.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2022.06.012

**【摘要】** 经颅交流电刺激是一种非侵入性脑电刺激方式,能够以正弦、双相交流电刺激皮质神经元,调节内源性脑振荡,并可诱导突触可塑性变化,帮助缓解抑郁、焦虑、妄想、痴呆等症状。现通过综述其在抑郁症、精神分裂症等疾病中的临床应用及作用机制,了解目前研究的进展及不足,为今后的临床应用起到部分提示作用。

**【关键词】** 经颅交流电刺激; 精神疾病; 治疗; 作用机制; 综述

**基金项目:** 北京市教育委员会科技计划一般项目(KM202010025011);北京市科技计划(Z191100006619061)

## Research progress of application and mechanism of action of transcranial alternating current stimulation in neuropsychiatric diseases Wang Xiao, Zhang Qing'e

Faculty of Psychiatry of Capital Medical University, Beijing Key Laboratory of Diagnosis and Treatment of Mental Diseases, National Clinical Medical Research Center for Mental Disorders, Beijing Anding Hospital, Capital Medical University, Beijing 100088, China

Corresponding author: Zhang Qing'e, Email: zqe81@126.com

**【Abstract】** Transcranial alternating current stimulation is a non-invasive form of brain stimulation that can use sinusoidal and bipolar alternating currents to stimulate cortical neurons, regulate endogenous brain oscillations, and induce synaptic plasticity changes, help to relieve symptoms such as depression, anxiety, delusions, and dementia. This article reviews its clinical application and mechanism in depression, schizophrenia, and other diseases to help us understand the progress and deficiency of current research, and provide some hints for future clinical application.

**【Key words】** Transcranial alternating current stimulation; Psychotic disorders; Therapy; Mechanism; Reviews

**Fund programs:** General Project of Science and Technology Plan of Beijing Municipal Commission of Education (KM202010025011); Project of Beijing Science and Technology Plan (Z191100006619061)

经颅交流电刺激(transcranial alternating current stimulation, tACS)是经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)的一个特殊版本,能够以正弦、双相交流电刺激皮质神经元<sup>[1]</sup>,可以根据治疗的需要改变刺激的部位和强度<sup>[2]</sup>。tACS是一种经颅神经调控技术,逐渐被用于各种神经精神疾病的治疗,包括抑郁症、精神分裂症、认知功能障碍等。相关研究推荐tACS作为研究人类脑电信号的有力工具,进一步探索大脑的神经网络系统<sup>[3]</sup>。与tDCS相比,tACS的不良反应更少,不适的感觉更轻<sup>[4]</sup>。目前,国内关于使用tACS治疗精神疾病的

研究较少,现综述、探究tACS技术在精神疾病中的治疗进展和潜在作用机制,展望未来的发展方向,以期精神疾病的神经调控治疗提供参考。

### 一、tACS在精神神经疾病中的应用

近年来tACS逐渐被用于各种精神神经疾病的治疗,包括抑郁症、精神分裂症、痴呆等。

1. 抑郁症: 目前临床中抑郁症的治疗以药物治疗为主,但抗抑郁药物的治疗不具有特异性,相比之下,针对大脑异常脑电活动的tACS治疗可能会带来更好的治疗效果。前额叶皮质被认为是情绪调节的靶点,tACS诱导的电流能够刺激前额叶皮质,帮

助改善患者的情绪症状<sup>[5]</sup>。抑郁症患者存在大脑震荡活动的异常, tACS的正弦波刺激更适合于调整大脑的异常振荡活动, 可以选择性地变化频率进而进行调节, 更适合靶向治疗<sup>[6]</sup>。抑郁症患者 EEG 检查显示  $\alpha$  波存在异常, 一项双盲随机对照研究显示, 将 32 例抑郁症患者随机分为 10 Hz tACS 组、40 Hz tACS 组和伪刺激组, 连续治疗 5 d, 每天 40 min, 在第 2 周时 10 Hz tACS 组表现出更好的应答, 在第 4 周时 10 Hz tACS 组的 EEG 显示左额叶区  $\alpha$  波的显著下降, 表明使用 tACS 可以作为抑郁症靶向治疗的潜在干预手段<sup>[5]</sup>。国内的一项随机对照研究显示, 将 30 例抑郁症患者随机分至 tACS 组(40 min、77.5 Hz、15 mA)和伪刺激组, 结果显示 tACS 干预对抑郁症状有治疗作用, 且具有良好的耐受性和安全性<sup>[7]</sup>。一项对怀孕 6 周的孕妇进行的研究显示, 连续 9 次  $\gamma$  频率的 tACS 治疗(20 min, 40 Hz), 2 周后, 患者的症状有所改善, 3 个月后进行随访, 发现患者的症状仍有所缓解<sup>[8]</sup>, 证明 tACS 的疗效在治疗结束后持续存在。此外, tACS 的不良反应是轻微和短暂的, 尚未见严重不良事件<sup>[5-9]</sup>。上述研究发现, 特定频率的 tACS 治疗, 如 10 Hz、77.5 Hz 等能够调整大脑的异常振荡活动, 帮助改善抑郁症状, 未来仍需更大样本的随机对照研究进一步验证其疗效及刺激的频率。

2. 精神分裂症: tACS 治疗技术除了在抑郁症患者中应用较多外, 对精神分裂症患者也有所研究。一项病例报告显示, 连续 5 d 的 6 Hz tACS 的刺激后, 精神分裂症患者的工作记忆得到改善; 50 d 后的随访发现, 这些效果仍然可以观察到<sup>[10]</sup>。1 次 20 min 的 tACS 治疗应用于左侧背外侧前额叶皮质(F3)和左侧后顶叶区(P3), 在 6 Hz 的状态下能够改善工作记忆任务态的表现和精神症状<sup>[11]</sup>。研究发现, 精神分裂症患者存在额叶  $\alpha$  活动的下降。一项开放性的研究评估了  $\alpha$  频率的 tACS(20 min, 10 Hz) 治疗对于持续性妄想的安全性和有效性, 结果显示, 经过 1 个月的治疗后, 阳性及阴性症状均得到显著改善<sup>[12]</sup>。tACS 干预能够调节精神分裂症患者异常的  $\alpha$  振荡, 进一步改善精神症状<sup>[13]</sup>。此外, 研究表明, 10 Hz 的 tACS 附加治疗是难治性妄想的一种潜在治疗选择<sup>[12]</sup>。初步研究显示, tACS 治疗能够帮助改善记忆、妄想等症状, 但目前的研究多以病例报告为主, 仍需开展进一步的随机对照研究进一步验证治疗的有效性; 使用刺激前后的脑电图确定目标频率的范围, 寻找合适的频率以作出针对性的干预, 发掘 tACS 技术在精神分裂症领域的潜在优势。

3. 痴呆: 随着人口老龄化的加剧, 痴呆的发病率逐年增加, 患者的治疗和预后已经成为亟待解决的临床问题, 鉴于药物治疗存在疗效不足和严重的不良反应等现象, 物理治疗越来越引起重视。目前, tACS 已经被广泛应用于认知功能障碍患者的治疗。tACS 能够选择性地纠正大脑皮层的振荡, 进而影响患者的认知功能<sup>[14]</sup>。既往研究显示, 在睡眠状态下应用 12 Hz 的 tACS 治疗可增强患者的运动记忆<sup>[15]</sup>。应用 10 Hz 的 tACS 治疗可提高患者的运动学习能力<sup>[16]</sup>。一项关于 12 Hz 的 tACS 治疗在睡眠中应用的研究显示, 患者的运动记忆增强, 但陈述性记忆并未见明显改善<sup>[15]</sup>。当受试者的额叶皮层受到 6 Hz  $\theta$  频率的 tACS 的治疗时, 患者能够体验到更快的学习能力<sup>[17]</sup>。研究发现, 40 Hz  $\gamma$  频率的 tACS 治疗能够促进内源性注意力, 但对外源性注意力未见明显改善<sup>[18]</sup>。 $\gamma$  频率的 tACS 刺激应用于额叶可以帮助诊断轻度认知障碍和痴呆, 或者作为预测疗效的工具<sup>[19]</sup>。评估 tACS (每天 2 次, 每次 30 min, 40 Hz 的频率) 治疗对于痴呆患者认知功能的影响方面, 经过 1 个月后的随访发现, tACS 干预组对认知功能的改善明显优于对照组<sup>[20]</sup>。最近的研究表明, 40 Hz 的 tACS 治疗增强了大脑的内源性  $\alpha$  振幅活动, 改善了患者的记忆功能<sup>[3]</sup>。目前的研究显示, tACS 技术作为一种较新的调节神经生理激活模式的脑刺激技术, 可直接干扰特定频率的脑活动, 改善认知功能, 下一步应寻找能够增强痴呆患者认知功能的有效频率, 作出针对性的干预。

4. 其他精神疾病: 除了提及的上述常见疾病外, tACS 治疗对运动功能、听觉、注意缺陷与多动障碍(attention deficit/hyperactivity disorder, ADHD)等疾病也存在部分研究。研究表明, 作用于小脑部位的 tACS 治疗可以改善运动功能<sup>[21]</sup>。越来越多的证据表明, tACS 干预能够改善患者的听觉能力<sup>[22]</sup>。既往研究显示, ADHD 患者的 P300 目标振幅会降低, 对 18 例 ADHD 患者进行 20 min、1 mA 的 tACS 刺激或伪刺激, 结果表明, 与伪刺激组相比, tACS 刺激组的 P300 振幅显著增加, 症状明显改善<sup>[23]</sup>。当 tACS 应用于大脑的目标区域时, 可以增强 ADHD 患者下降的  $\alpha/\beta$  脑电活动<sup>[24]</sup>。研究表明, tACS 是治疗 ADHD 患者的一种新的脑电刺激技术<sup>[25]</sup>, 但仍需进一步研究明确刺激的频率和位置, 为今后的临床治疗打下基础。目前, 关于双相情感障碍、强迫症患者的物理治疗多围绕 tDCS, 报道 tACS 治疗这些疾病的研究较少, 未来可考虑完善这些方面的研究, 为该类疾病提供新的诊疗思路。

## 二、作用机制

目前tACS治疗技术在抑郁症、精神分裂症、痴呆等疾病中的应用取得了部分疗效,但tACS的确切机制尚未完全阐明,综合tACS干预精神疾病的临床研究,发现其治疗机制可能涉及内源性的大脑振荡、突触可塑性改变等方面。tACS技术通过诱导内源性的脑振荡和神经可塑性导致了在线和离线效应<sup>[26]</sup>,与治疗疗效密切相关。

1. 调节内源性的大脑振荡:以特定频率产生振荡的节律模式被称为大脑振荡,各种特定的大脑振荡与不同的大脑功能和状态相关<sup>[27]</sup>。大脑区域之间的连接和交流被证明与这些区域内同步的大脑振荡相关<sup>[28]</sup>。调节内源性的大脑振荡,即夹带,是指当一个外部的刺激频率影响另一个大脑内部发生的振荡时,迫使其遵循自己的振荡频率。在tACS治疗的过程中,外部驱动电流迫使内源性脑振荡在频率方面与其保持一致<sup>[29]</sup>。与其他类型的物理治疗不同,tACS治疗的优势在于其能够通过注入正弦、双相交流电操纵和调节固有的大脑振荡<sup>[30]</sup>。在某些频率范围内,tACS治疗可以诱导内源性的脑振荡,当这种刺激的振幅增加时,会使大脑在更大的频率范围内产生振荡<sup>[6]</sup>。tACS的电流相为正负电压之间的规律交替,在调节大脑振荡方面,已被证明较tDCS更有效<sup>[6]</sup>。tACS的一个优点是其可以完全绕过感觉刺激,通过外部几乎察觉不到的交流电诱导内源性振荡,在此过程中,内源性振荡与外源性的、有节奏的刺激是同步的<sup>[31]</sup>。

2. 神经可塑性:非侵入性的电刺激已被证明可在大脑的多个功能区域产生神经可塑性<sup>[32]</sup>。同样地,在tACS的后遗症中也发现了神经可塑性的改变<sup>[33]</sup>。神经可塑性可以诱发离线效应,长期的可塑性应该以两种主要机制出现,即长时程增强(long-term-potential, LTP)和长时程抑制(long-term depression, LTD),这是神经可塑性的两种结果<sup>[34]</sup>。LTP是指突触前动作电位先于突触后动作电位时突触连接的增强,LTD是指突触前动作电位跟随突触后动作电位则突触减弱。LTP是神经可塑性最突出的模式,表现为峰时依赖的神经可塑性<sup>[35]</sup>,通过LTP,神经元通过突触后树突增强神经元连接和信号传播。上述通过增加或减少神经元同步的行为是引起tACS离线效应的主要原因<sup>[3]</sup>。这一解释已被多项研究证实,也解释了为什么在一次持续20 min的刺激后,tACS的离线效应可持续70 min左右<sup>[36-37]</sup>。综上所述,与其他的非侵入性的物理治疗相比,tACS可以更大程度地诱导内源性的大脑振荡和神经可塑

性,产生在线和离线效应,这可能也是tACS改善精神症状的关键因素。但仍需进一步的研究探讨其深层次的作用机制,帮助tACS从神经生理学到临床应用的过渡。

## 三、总结与展望

tACS作为非侵入性的脑电刺激技术已经在抑郁症、精神分裂症、痴呆等领域有所应用。与传统的刺激方式不同,tACS以正弦、双相交流电刺激皮质神经元,调节内源性脑振荡,并可诱导突触可塑性变化,改善大脑的远期功能和精神症状。在今后的研究中需要促进多中心双盲临床试验,扩大研究样本含量,以提高结果的可重复性和准确性;还需要使用EEG记录刺激前后的变化,加强电生理记录和建模技术优化刺激方案,并监测可能影响tACS效果的因素,推进tACS治疗技术广泛应用于临床。

**利益冲突** 文章所有作者共同认可文章无相关利益冲突

**作者贡献声明** 试验设计为张庆娥、汪晓,研究实施、资料收集、论文撰写为汪晓,论文修订、审校为张庆娥

## 参 考 文 献

- [1] Ruffini G, Wendling F, Merlet I, et al. Transcranial current brain stimulation (tCS): models and technologies [J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2013, 21(3): 333-345. DOI: 10.1109/TNSRE.2012.2200046.
- [2] Fehér KD, Morishima Y. Concurrent electroencephalography recording during transcranial alternating current stimulation (tACS) [J]. J Vis Exp, 2016(107): e53527. DOI: 10.3791/53527.
- [3] Zaehle T, Rach S, Herrmann CS. Transcranial alternating current stimulation enhances individual alpha activity in human EEG [J]. PLoS One, 2010, 5(11): e13766. DOI: 10.1371/journal.pone.0013766.
- [4] Shekelle PG, Cook IA, Mlake-Lye IM, et al. Benefits and harms of cranial electrical stimulation for chronic painful conditions, depression, anxiety, and insomnia: a systematic review [J]. Ann Intern Med, 2018, 168(6): 414-421. DOI: 10.7326/M17-1970.
- [5] Alexander ML, Alagapan S, Lugo CE, et al. Double-blind, randomized pilot clinical trial targeting alpha oscillations with transcranial alternating current stimulation (tACS) for the treatment of major depressive disorder (MDD) [J]. Transl Psychiatry, 2019, 9(1): 106. DOI: 10.1038/s41398-019-0439-0.
- [6] Ali MM, Sellers KK, Fröhlich F. Transcranial alternating current stimulation modulates large-scale cortical network activity by network resonance [J]. J Neurosci, 2013, 33(27): 11262-11275. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.5867-12.2013.
- [7] Wang HX, Wang K, Sun ZC, et al. A pilot study of transcranial alternating current stimulation in the treatment of drug-naïve adult patients with major depressive disorder [J]. Zhonghua Yi Xue Za Zhi, 2020, 100(3): 197-201. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2020.03.008.
- [8] Wilkening A, Kurzeck A, Dechantsreiter E, et al. Transcranial alternating current stimulation for the treatment of major depression during pregnancy [J]. Psychiatry Res, 2019, 279: 399-400. DOI: 10.1016/j.psychres.2019.06.009.

- [ 9 ] Antal A, Alekseichuk I, Bikson M, et al. Low intensity transcranial electric stimulation: safety, ethical, legal regulatory and application guidelines[ J ]. *Clin Neurophysiol*, 2017, 128(9): 1774-1809. DOI: 10.1016/j.clinph.2017.06.001.
- [ 10 ] Sreeraj VS, Shivakumar V, Sowmya S, et al. Online theta frequency transcranial alternating current stimulation for cognitive remediation in schizophrenia: a case report and review of literature[ J ]. *J ECT*, 2019, 35(2): 139-143. DOI: 10.1097/YCT.0000000000000523.
- [ 11 ] Sreeraj VS, Shanbhag V, Nawani H, et al. Feasibility of online neuromodulation using transcranial alternating current stimulation in schizophrenia[ J ]. *Indian J Psychol Med*, 2017, 39(1): 92-95. DOI: 10.4103/0253-7176.198937.
- [ 12 ] Sreeraj VS, Suhas S, Parlikar R, et al. Effect of add-on transcranial alternating current stimulation (tACS) on persistent delusions in schizophrenia[ J ]. *Psychiatry Res*, 2020, 290: 113106. DOI: 10.1016/j.psychres.2020.113106.
- [ 13 ] Hinkley LB, Vinogradov S, Guggisberg AG, et al. Clinical symptoms and alpha band resting-state functional connectivity imaging in patients with schizophrenia: implications for novel approaches to treatment[ J ]. *Biol Psychiatry*, 2011, 70(12): 1134-1142. DOI: 10.1016/j.biopsych.2011.06.029.
- [ 14 ] Kasten FH, Herrmann CS. Transcranial alternating current stimulation (tACS) enhances mental rotation performance during and after stimulation[ J ]. *Front Hum Neurosci*, 2017, 11: 2. DOI: 10.3389/fnhum.2017.00002.
- [ 15 ] Lustenberger C, Boyle MR, Alagapan S, et al. Feedback-controlled transcranial alternating current stimulation reveals a functional role of sleep spindles in motor memory consolidation[ J ]. *Curr Biol*, 2016, 26(16): 2127-2136. DOI: 10.1016/j.cub.2016.06.044.
- [ 16 ] Antal A, Boros K, Poreisz C, et al. Comparatively weak after-effects of transcranial alternating current stimulation (tACS) on cortical excitability in humans[ J ]. *Brain Stimul*, 2008, 1(2): 97-105. DOI: 10.1016/j.brs.2007.10.001.
- [ 17 ] Wischniewski M, Zerr P, Schutter D. Effects of theta transcranial alternating current stimulation over the frontal cortex on reversal learning[ J ]. *Brain Stimul*, 2016, 9(5): 705-711. DOI: 10.1016/j.brs.2016.04.011.
- [ 18 ] Hopfinger JB, Parsons J, Fröhlich F. Differential effects of 10-Hz and 40-Hz transcranial alternating current stimulation (tACS) on endogenous versus exogenous attention[ J ]. *Cogn Neurosci*, 2017, 8(2): 102-111. DOI: 10.1080/17588928.2016.1194261.
- [ 19 ] Naro A, Corallo F, De Salvo S, et al. Promising role of neuromodulation in predicting the progression of mild cognitive impairment to dementia[ J ]. *J Alzheimers Dis*, 2016, 53(4): 1375-1388. DOI: 10.3233/JAD-160305.
- [ 20 ] Kehler L, Francisco CO, Uehara MA, et al. The effect of transcranial alternating current stimulation (tACS) on cognitive function in older adults with dementia[ J ]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2020, 2020: 3649-3653. DOI: 10.1109/EMBC44109.2020.9175903.
- [ 21 ] Naro A, Leo A, Russo M, et al. Does transcranial alternating current stimulation induce cerebellum plasticity? Feasibility, safety and efficacy of a novel electrophysiological approach[ J ]. *Brain Stimul*, 2016, 9(3): 388-395. DOI: 10.1016/j.brs.2016.02.005.
- [ 22 ] Baltus A, Herrmann CS. The importance of individual frequencies of endogenous brain oscillations for auditory cognition - a short review[ J ]. *Brain Res*, 2016, 1640(Pt B): 243-250. DOI: 10.1016/j.brainres.2015.09.030.
- [ 23 ] Dallmer-Zerbe I, Popp F, Lam AP, et al. Transcranial alternating current stimulation (tACS) as a tool to modulate P300 amplitude in attention deficit hyperactivity disorder (ADHD): preliminary findings[ J ]. *Brain Topogr*, 2020, 33(2): 191-207. DOI: 10.1007/s10548-020-00752-x.
- [ 24 ] Brignani D, Ruzzoli M, Mauri P, et al. Is transcranial alternating current stimulation effective in modulating brain oscillations?[ J ]. *PLoS One*, 2013, 8(2): e56589. DOI: 10.1371/journal.pone.0056589.
- [ 25 ] Boetzel C, Herrmann CS. Potential targets for the treatment of ADHD using transcranial electrical current stimulation[ J ]. *Prog Brain Res*, 2021, 264: 151-170. DOI: 10.1016/bs.pbr.2021.01.011.
- [ 26 ] Elyamany O, Leicht G, Herrmann CS, et al. Transcranial alternating current stimulation (tACS): from basic mechanisms towards first applications in psychiatry[ J ]. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*, 2021, 271(1): 135-156. DOI: 10.1007/s00406-020-01209-9.
- [ 27 ] Herrmann CS, Strüber D, Helfrich RF, et al. EEG oscillations: from correlation to causality[ J ]. *Int J Psychophysiol*, 2016, 103: 12-21. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2015.02.003.
- [ 28 ] Bonnefond M, Kastner S, Jensen O. Communication between brain areas based on nested oscillations[ J ]. *eNeuro*, 2017, 4(2): ENEURO.0153-16.2017. DOI: 10.1523/ENEURO.0153-16.2017.
- [ 29 ] Deans JK, Powell AD, Jefferys JG. Sensitivity of coherent oscillations in rat hippocampus to AC electric fields[ J ]. *J Physiol*, 2007, 583(Pt 2): 555-565. DOI: 10.1113/jphysiol.2007.137711.
- [ 30 ] Antal A, Paulus W. Transcranial alternating current stimulation (tACS)[ J ]. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7: 317. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00317.
- [ 31 ] Herrmann CS, Rach S, Neuling T, et al. Transcranial alternating current stimulation: a review of the underlying mechanisms and modulation of cognitive processes[ J ]. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7: 279. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00279.
- [ 32 ] Hameed MQ, Dhamne SC, Gersner R, et al. Transcranial magnetic and direct current stimulation in children[ J ]. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2017, 17(2): 11. DOI: 10.1007/s11910-017-0719-0.
- [ 33 ] Vossen A, Gross J, Thut G. Alpha power increase after transcranial alternating current stimulation at alpha frequency ( $\alpha$ -tACS) reflects plastic changes rather than entrainment[ J ]. *Brain Stimul*, 2015, 8(3): 499-508. DOI: 10.1016/j.brs.2014.12.004.
- [ 34 ] Markram H, Lübke J, Frotscher M, et al. Regulation of synaptic efficacy by coincidence of postsynaptic APs and EPSPs[ J ]. *Science*, 1997, 275(5297): 213-215. DOI: 10.1126/science.275.5297.213.
- [ 35 ] Lee YS, Silva AJ. The molecular and cellular biology of enhanced cognition[ J ]. *Nat Rev Neurosci*, 2009, 10(2): 126-140. DOI: 10.1038/nrn2572.
- [ 36 ] Wischniewski M, Engelhardt M, Salehinejad MA, et al. NMDA receptor-mediated motor cortex plasticity after 20 Hz transcranial alternating current stimulation[ J ]. *Cereb Cortex*, 2019, 29(7): 2924-2931. DOI: 10.1093/cercor/bhy160.
- [ 37 ] Kasten FH, Dowsett J, Herrmann CS. Sustained aftereffect of  $\alpha$ -tACS Lasts Up to 70 min after stimulation[ J ]. *Front Hum Neurosci*, 2016, 10: 245. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00245.

(收稿日期: 2022-01-03)

(本文编辑: 赵金鑫)