

抑郁障碍患者情绪调节相关脑区的静息态磁共振成像研究进展

邹振铎¹, 吕东升^{2*}

¹内蒙古医科大学精神卫生学院, 内蒙古 呼和浩特

²内蒙古自治区精神卫生中心, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2024年12月9日; 录用日期: 2025年1月3日; 发布日期: 2025年1月13日

摘要

抑郁障碍是一种以显著而持久的心境低落为主要特征的精神障碍, 临床表现多种多样, 与患者的社会功能及生活质量密切相关。目前, 抑郁障碍的病因尚不清楚, 已有研究表明遗传因素、神经生化因素、内分泌及代谢异常、社会心理因素、性格特征及文化背景等均可能参与抑郁障碍的发病过程。脑影像学技术能够观察脑结构、功能及代谢网络的动态变化, 通过研究脑结构与功能之间的相互关系, 从而对抑郁障碍患者的认知和情绪异常进行客观评价。本文就抑郁障碍患者情绪调节相关脑区磁共振成像研究进展进行综述, 旨在为抑郁障碍的神经生物学机制研究提供新思路, 为抑郁障碍患者提供更精准的生物标志物。

关键词

抑郁障碍, 情绪调节, 静息态磁共振成像

Research Progress on rs-fMRI of Brain Regions Related to Emotion Regulation in Patients with Major Depressive Disorder

Zhenduo Zou¹, Dongsheng Lyu^{2*}

¹School of Mental Health, Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia

²Inner Mongolia Autonomous Region Mental Health Center, Hohhot Inner Mongolia

Received: Dec. 9th, 2024; accepted: Jan. 3rd, 2025; published: Jan. 13th, 2025

Abstract

Major depressive disorder is a mental disorder characterized by significant and persistent low

*通讯作者。

文章引用: 邹振铎, 吕东升. 抑郁障碍患者情绪调节相关脑区的静息态磁共振成像研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(1): 204-210. DOI: 10.12677/acm.2025.151031

mood, with a variety of clinical manifestations that are closely related to the patient's social functioning and quality of life. Currently, the etiology of major depressive disorder is not yet clear. Existing studies have shown that genetic factors, neurobiochemical factors, endocrine and metabolic abnormalities, social and psychological factors, personality traits, and cultural background may all contribute to the pathogenesis of major depressive disorder. Brain imaging techniques can observe the dynamic changes in brain structure, function, and metabolic networks. By studying the interrelationship between brain structure and function, they provide an objective evaluation of cognitive and emotional abnormalities in patients with major depressive disorder. This article reviews the research progress on magnetic resonance imaging of brain regions related to emotion regulation in patients with major depressive disorder, aiming to provide new insights into the neurobiological mechanisms of major depressive disorder and to offer more precise biomarkers for patients with major depressive disorder.

Keywords

Depressive Disorders, Emotional Regulation, Resting State Magnetic Resonance Imaging

Copyright © 2025 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

抑郁障碍(Major depressive disorder, MDD)是一种复杂的心理疾病,其特点包括情绪低落、兴趣或愉悦感丧失、能量减少、睡眠和食欲变化、自我评价过低、注意力集中困难以及自杀念头等[1]。根据 2021 年的中国精神障碍流行病学调查结果显示, MDD 终身患病率为 6.8%, 12 个月患病率为 3.6% [2]。从 1990 年至 2017 年, 中国 MDD 的伤残调整寿命年(Disability-adjusted life years, DALYs)增长了 36.5%; 2017 年, MDD DALYs 占中国 DALYs 总量的 2.3% [3]。中国人口占全球人口的 18.4%, 而 MDD 患者占全球总人口的 21.3%, 说明 MDD 已成为中国疾病负担的重要因素[4]。在 MDD 中, 情绪调节障碍被认为是导致主要症状(如持续的负面情绪和减少的积极情绪)的关键因素[5]。但目前 MDD 的神经生物学机制仍不明确。近年来, 磁共振成像技术在抑郁障碍研究领域得到了广泛应用, 为揭示 MDD 患者情绪调节障碍的神经机制提供了新视角。

2. 与情绪调节相关的脑区

2.1. 杏仁核

MDD 患者杏仁核与情绪调节之间的关系是一个复杂的神经生物学问题, 涉及到大脑结构、功能以及情绪处理等多个方面。杏仁核是大脑边缘系统的一部分, 主要负责处理情绪信息, 尤其是恐惧和焦虑等负面情绪[6]。杏仁核对情绪反应的影响涉及多个脑区和神经递质系统的相互作用。杏仁核位于颞叶内侧, 是情绪识别和行为的重要组成部分, 它通过与多个皮层和皮下结构的广泛连接参与多模态信息处理[7]。因此在 MDD 患者中, 杏仁核的功能和结构异常与情绪调节障碍密切相关。

2.2. 前额叶皮层

前额叶皮层是大脑中负责调节情绪的关键区域, 它由多个不同的子区域构成, 例如背外侧前额叶皮层、腹内侧前额叶皮层和眶额叶皮层。这些子区域各司其职, 在情绪调控过程中发挥着各自独特的作用。

背外侧前额叶皮层(DLPFC)主要承担着复杂的认知任务,包括做出决策、制订计划以及进行情绪的控制和调整。它通过调节杏仁核的活动来影响情绪反应。而杏仁核是情绪处理的关键结构,特别是在处理恐惧和焦虑等负面情绪方面[8][9]。

腹内侧前额叶皮层(VMPFC)与情绪调节的负向影响有关。在一项研究中,当参与者调节负面情绪时,VMPFC 的活动增加,这表明 VMPFC 在减少负面情绪反应中起着关键作用[10]。VMPFC 还涉及积极社交情绪的处理。例如,一项研究指出,VMPFC 在处理具有愉悦、奖励意义的刺激时特别活跃,并且在情绪调节过程中,VMPFC 的激活模式会受到调节[11]。

眶额叶皮层(OFC)是情绪调节的重要脑区之一,它与决策、执行功能以及情绪产生密切相关[12]。OFC 在自动情绪调节下的注意选择中也起着重要作用。研究发现,抑制左侧眶额皮层的兴奋性可以加快对恐惧刺激位置一致的探测点的反应[13]。这进一步说明了眶额叶皮层在情绪性注意选择中的作用,以及其在情绪调节中的潜在机制。

2.3. 前扣带回

前扣带回在情绪调节中扮演着重要角色。研究表明,前扣带回参与了情绪的正向和负向调节。例如,前扣带回的活动与个体在面对积极情绪事件时维持高度的自主神经激活状态有关[14]。这种激活状态对于预期中的积极情绪事件至关重要,有助于维持积极的情绪体验。此外,前扣带回还涉及到情绪调节策略的使用,如重新评价和抑制,这些策略对个体的情绪体验、人际关系和幸福感有重要影响[15]。

2.4. 海马

海马也是大脑边缘系统中的一个重要脑区,参与情绪调节、记忆以及认知功能等多个方面[16]。海马在情绪调节中的作用主要体现在其对情绪记忆的处理上。海马通过突触可塑性机制,如长时程增强(LTP)和长时程抑制(LTD),参与情绪信息的加工和存储[17]。这些突触可塑性变化不仅影响学习和记忆,还可能影响情绪反应和行为表现[17]。

3. 静息态磁共振成像技术在抑郁障碍中的应用

近年来,为研究疾病的神经生物学机制,静息态功能磁共振(rs-fMRI)技术逐渐应用于精神疾病领域。rs-fMRI 通过检测血氧水平依赖(BOLD)的信号变化[18][19],来反映大脑的活动强度。目前大多数 rs-fMRI 研究主要采用局部一致性(Regional Homogeneity, ReHo)、低频振荡振幅(Amplitude of Low-Frequency Fluctuations, ALFF)、功能连接(Functional Connectivity, FC)的方法来分析大脑网络的神经活性。

3.1. MDD 情绪调节与 ReHo 的变化

在 rs-fMRI (静息态功能磁共振成像)中,ReHo 是一种用于评估局部脑活动同步性的指标。ReHo 通过测量相邻体素的时间序列之间的同步性来反映局部脑功能连接的异常[20]。具体来说,ReHo 值越高,表示该区域内的脑活动越同步,反之则表示活动越不一致[21]。

当今,有很多研究表明 MDD 的情绪变化与相关脑区的 ReHo 变化有关,但部分研究结果并不一致,仍缺乏特异性。一项关于首发 MDD 的研究表明,与健康对照组相比,左侧前扣带回、左侧海马及右侧杏仁核 ReHo 值减低,而双侧内侧前额叶的 ReHo 值增高[22]。另一项对于首发 MDD 的研究结果显示,与正常人相比较,MDD 患者存在多个与认知及情绪控制相关脑区的自发神经活动异常,其中在左侧海马、右侧杏仁核、右侧眶内额上回 ReHo 减低[23]。而也有研究显示出不同的结果,有研究显示 MDD 患者较 HC 组左侧海马 ReHo 值显著升高[24][25]。一项关于首发 MDD 患者的研究表明,与 HC 组相比,右侧

额上回、双侧前扣带回 ReHo 值升高[26]。经 ECT 治疗后, MDD 患者双侧额叶的 ReHo 增加, 在右侧扣带回降低[27]。另一项研究也观察到, 在认知行为疗法(CBT)治疗后, MDD 患者左海马的 ReHo 值较治疗前增高[28]。

以上研究结果均表明, MDD 患者情绪调节相关的脑区在静息状态下显示出广泛的 ReHo 异常, 这些区域的异常神经活动是情绪调节障碍的重要组成部分, 可能与情绪感知相关的神经回路功能失调有关。并且在抗抑郁治疗后, 抑郁障碍患者的 ReHo 变化显示出一定的特征, 表明某些脑区的功能在治疗后得到改善。这可能反映了治疗对情绪调节相关脑区功能的影响。但目前这些结果仍缺乏特异性, 还需要进一步扩大样本量、进行多中心的研究提高研究结果的一致性, 才能探索出 MDD 患者情绪调节的神经生物学特征。

3.2. MDD 情绪调节与 ALFF 的变化

在 rs-fMRI 中, ALFF 是一种用于测量大脑自发神经活动的指标。ALFF 通过分析静息状态下的 BOLD (血液氧合水平依赖)信号的低频波动来反映大脑区域的自发神经活动水平[29]。

一项关于首发 MDD 的研究表明, 与 HC 相比, MDD 患者在双侧眶额叶皮层中表现出 ALFF 降低[30]。Jie Liu 等人的研究表明 MDD 患者显示出背侧前扣带皮层、眶额叶皮层、腹侧前额叶皮层的 ALFF 降低[31]。在 Xiao Li 等人对 MDD 的研究中, 基线时, MDD 显示右侧杏仁核的 ALFF 降低[32]。然而, 目前的研究结果并不一致, 有一项研究发现与健康对照相比, MDD 受试者双侧海马体和杏仁核的 ALFF 增高[33]。一项关于童年创伤对 MDD 大脑功能影响的研究显示出右侧内侧额回、左侧膝下前扣带回的 ALFF 增加[34]。一项关于青少年 MDD 患者的研究表明经 ECT 治疗后, 这些患者在前扣带回的 ALFF 值显著增加[35]。一项沃替西汀治疗 MDD 8 周的研究也显示经治疗后 MDD 患者双侧扣带回 ALFF 值增加[36]。

这些研究提示了 MDD 患者调节情绪的大脑区域表现出异常的自发神经活动水平, 也就是说这些脑区的异常活动可能导致了 MDD 情绪调节障碍。但与 ReHo 的结果一样, ALFF 的特异性不高, 这是否为 MDD 情绪调节的特征性变化并不能下定论。并且目前研究大多数集中在横断面研究, 因此仍需大量的纵向研究以及扩大样本量, 全面揭示抑郁障碍患者情绪调节的神经机制。

3.3. MDD 情绪调节与 FC 的变化

大量 rs-fMRI 的研究发现在 MDD 患者中情绪调节相关脑区显示出显著的功能变化。目前大多数 rs-fMRI 研究采用功能连接的方法来分析大脑网络的神经活性[37], 说明不同脑区之间存在的协同作用[38]。Cheng W 等人、张小崔等人的横断面研究发现, 与健康对照组相比 MDD 患者杏仁核与眶额叶皮质的功能连接降低[39] [40], 这些研究均表明在 MDD 患者中, 与情绪处理相关的神经回路可能存在功能障碍。一项研究发现, MDD 患者的杏仁核与前扣带皮层的连接减弱[41], 还有研究表明扣带回与前额叶皮层、杏仁核等区域的功能连接异常[42], 导致了 MDD 患者的情绪和认知功能障碍。Chen CH 等人的纵向研究显示抑郁障碍患者在接受抗抑郁药物(氟西汀 20 mg/日)的 8 周治疗后, 杏仁核与扣带回、丘脑之间的功能连接显著增加[43]。Wang X 等人的纵向研究结果表明抑郁障碍患者治疗 8 周后左侧杏仁核与膝下前扣带回(sgACC)、周围前扣带回(pgACC)功能连接增加[44]。

大多数对于 MDD 患者功能连接变化的研究结果是一致的, 这可能是 MDD 患者大脑功能的特异性改变, 并可以推测出 MDD 患者情绪调节相关脑区之间功能连接呈失连接状态, 进而导致了 MDD 患者的情绪调节障碍。且通过抗抑郁治疗后, MDD 患者的功能得到相应的恢复, 因此 rs-fMRI 也可以通过功能连接进一步预测治疗效果。从以上研究可以发现大多数研究集中在杏仁核与其他相关脑区的功能连接,

也就是说杏仁核可能是 MDD 患者情绪调节障碍的关键脑区。

4. 总结与展望

综上所述, MDD 患者与情绪调节相关的脑区如杏仁核、前额叶皮层、前扣带回、海马, 表现出功能的异常, 这些反映了大脑网络内部各结构通信的广泛异常, 这些异常可能导致 MDD 患者在处理负面情绪和信息时出现了偏差。但目前的研究仍存在异质性, 原因是大多数研究样本量不足、未进行长程的随访调查、影像学数据处理流程及参数不统一等。因此未来研究应综合运用多种技术方法, 例如结合机器学习和人工智能技术, 探索不同变量对 MDD 患者情绪调节的影响, 开展多中心、大样本、前瞻性、随机对照研究以提高研究结果的重复性, 从而揭示 MDD 情绪调节、抑郁症状发生发展的神经影像学机制, 为深入理解 MDD 的发病机制以及开发新的治疗策略提供理论依据, 为 MDD 的诊断提供客观的生物标志物, 实现对 MDD 患者的预测、识别和分类, 并且通过比较治疗前后的 MRI 数据变化, 评估各种治疗方法对 MDD 患者的影响, 从而预测治疗效果。随着技术的进步和研究的深入, 我们期待 MRI 在 MDD 的诊断和治疗领域取得更大突破, 以改善患者的生活质量。

参考文献

- [1] Rethorst, C.D. (2019) Exercise for Persons with Depression and/or Anxiety Disorders. *ACSM's Health & Fitness Journal*, **23**, 44-46. <https://doi.org/10.1249/fit.0000000000000463>
- [2] Lu, J., Xu, X., Huang, Y., Li, T., Ma, C., Xu, G., et al. (2021) Prevalence of Depressive Disorders and Treatment in China: A Cross-Sectional Epidemiological Study. *The Lancet Psychiatry*, **8**, 981-990. [https://doi.org/10.1016/s2215-0366\(21\)00251-0](https://doi.org/10.1016/s2215-0366(21)00251-0)
- [3] Zhou, M., Wang, H., Zeng, X., Yin, P., Zhu, J., Chen, W., et al. (2019) Mortality, Morbidity, and Risk Factors in China and Its Provinces, 1990-2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, **394**, 1145-1158. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(19\)30427-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(19)30427-1)
- [4] Ren, X., Yu, S., Dong, W., Yin, P., Xu, X. and Zhou, M. (2020) Burden of Depression in China, 1990-2017: Findings from the Global Burden of Disease Study 2017. *Journal of Affective Disorders*, **268**, 95-101. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2020.03.011>
- [5] Joormann, J. and Quinn, M.E. (2014) Cognitive Processes and Emotion Regulation in Depression. *Depression and Anxiety*, **31**, 308-315. <https://doi.org/10.1002/da.22264>
- [6] 夏传余, 徐胜春, 李光武. 人类杏仁核与情感调节的研究进展[J]. 中华解剖与临床杂志, 2016, 21(1): 79-81.
- [7] Benarroch, E.E. (2015) The Amygdala: Functional Organization and Involvement in Neurologic Disorders. *Neurology*, **84**, 313-324. <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000001171>
- [8] Yoshimura, R. (2023) Role of Hippocampus and Amygdala in Major Depression. https://www.semanticscholar.org/paper/ROLE-OF-HIPPOCAMPUS-AND-AMYGDALA-IN-MAJOR-Yoshimura/a687c8a0bc3b7a3d453799654143f9bdcbe7a2?utm_source=direct_link
- [9] Etkin, A. and Wager, T.D. (2007) Functional Neuroimaging of Anxiety: A Meta-Analysis of Emotional Processing in PTSD, Social Anxiety Disorder, and Specific Phobia. *American Journal of Psychiatry*, **164**, 1476-1488. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2007.07030504>
- [10] Urry, H.L., van Reekum, C.M., Johnstone, T., Kalin, N.H., Thuro, M.E., Schaefer, H.S., et al. (2006) Amygdala and Ventromedial Prefrontal Cortex Are Inversely Coupled during Regulation of Negative Affect and Predict the Diurnal Pattern of Cortisol Secretion among Older Adults. *The Journal of Neuroscience*, **26**, 4415-4425. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.3215-05.2006>
- [11] Winecoff, A., Clithero, J.A., Carter, R.M., Bergman, S.R., Wang, L. and Huettel, S.A. (2013) Ventromedial Prefrontal Cortex Encodes Emotional Value. *Journal of Neuroscience*, **33**, 11032-11039. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.4317-12.2013>
- [12] 赵晶, 诸燕. 眶额皮层的情绪功能研究综述[J]. 健康研究, 2009, 29(4): 290-293.
- [13] 华艳, 李明霞, 王巧婷, 等. 左侧眶额皮层在自动情绪调节下注意选择中的作用: 来自经颅直流电刺激的证据[J]. 心理学报, 2020, 52(9): 1048-1056.
- [14] Rudebeck, P.H., Putnam, P.T., Daniels, T.E., Yang, T., Mitz, A.R., Rhodes, S.E.V., et al. (2014) A Role for Primate

- Subgenual Cingulate Cortex in Sustaining Autonomic Arousal. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **111**, 5391-5396. <https://doi.org/10.1073/pnas.1317695111>
- [15] Gross, J.J. and John, O.P. (2003) Individual Differences in Two Emotion Regulation Processes: Implications for Affect, Relationships, and Well-Being. *Journal of Personality and Social Psychology*, **85**, 348-362. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.85.2.348>
- [16] 邱美慧, 吴彦, 彭代辉. 抑郁症海马的结构及功能磁共振成像的研究进展[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2015, 35(6): 901-905, 910.
- [17] 段婷婷. 情绪记忆的海马突触可塑性机制研究[D]: [博士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学, 2013.
- [18] Agius, M. and Bonnici, H. (2017) Antidepressants in Use in Clinical Practice. *Psychiatra Danubina*, **29**, 667-671.
- [19] Vöhringer, P.A. and Ghaemi, S.N. (2011) Solving the Antidepressant Efficacy Question: Effect Sizes in Major Depressive Disorder. *Clinical Therapeutics*, **33**, B49-B61. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2011.11.019>
- [20] Lv, Y., Margulies, D.S., Villringer, A. and Zang, Y. (2013) Effects of Finger Tapping Frequency on Regional Homogeneity of Sensorimotor Cortex. *PLOS ONE*, **8**, e64115. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064115>
- [21] Fang, W., Lv, F., Luo, T., Cheng, O., Liao, W., Sheng, K., et al. (2013) Abnormal Regional Homogeneity in Patients with Essential Tremor Revealed by Resting-State Functional MRI. *PLOS ONE*, **8**, e69199. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069199>
- [22] 张继良, 孙萌萌, 轩昂, 等. 首发抑郁症患者脑纹状体多巴胺 D2 受体结合力与脑功能局部一致性改变的多模态影像研究[J]. 中华放射学杂志, 2018, 52(7): 495-501.
- [23] 郭牟莹, 张水兴, 许明智, 等. 首发抑郁症患者的静息态功能成像[J]. 南方医科大学学报, 2014, 34(9): 1277-1281.
- [24] 潘梦洁, 陈峰, 林明方, 等. 基于局部一致性的重度抑郁症患者脑静息态功能磁共振成像研究[J]. 海南医学, 2016, 27(3): 363-367.
- [25] 刘纪洲. 伏硫西汀治疗首发未服药抑郁障碍患者 12 周的静息态脑功能局部一致性研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明医科大学, 2020.
- [26] 徐丽丽, 刘光耀, 张兰, 等. 首发抑郁障碍患者及抑郁易感者静息态脑功能磁共振的研究[J]. 临床精神医学杂志, 2018, 28(2): 93-97.
- [27] Qiu, H., Li, X., Zhao, W., Du, L., Huang, P., Fu, Y., et al. (2016) Electroconvulsive Therapy-Induced Brain Structural and Functional Changes in Major Depressive Disorders: A Longitudinal Study. *Medical Science Monitor*, **22**, 4577-4586. <https://doi.org/10.12659/msm.898081>
- [28] 谭雅容. 首发轻中度抑郁症患者认知行为治疗前后的大脑功能磁共振研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京医科大学, 2014.
- [29] Mao, D., Ding, Z., Jia, W., Liao, W., Li, X., Huang, H., et al. (2015) Low-Frequency Fluctuations of the Resting Brain: High Magnitude Does Not Equal High Reliability. *PLOS ONE*, **10**, e0128117. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128117>
- [30] Zhang, X., Zhu, X., Wang, X., Zhu, X., Zhong, M., Yi, J., et al. (2014) First-Episode Medication-Naïve Major Depressive Disorder Is Associated with Altered Resting Brain Function in the Affective Network. *PLOS ONE*, **9**, e85241. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085241>
- [31] Liu, J., Ren, L., Womer, F.Y., Wang, J., Fan, G., Jiang, W., et al. (2014) Alterations in Amplitude of Low Frequency Fluctuation in Treatment-Naïve Major Depressive Disorder Measured with Resting-State fMRI. *Human Brain Mapping*, **35**, 4979-4988. <https://doi.org/10.1002/hbm.22526>
- [32] Li, X., Chen, X., Zhou, Y., Dai, L., Cui, L., Yu, R., et al. (2022) Altered Regional Homogeneity and Amplitude of Low-Frequency Fluctuations Induced by Electroconvulsive Therapy for Adolescents with Depression and Suicidal Ideation. *Brain Sciences*, **12**, Article 1121. <https://doi.org/10.3390/brainsci12091121>
- [33] Chen, V.C., Shen, C., Liang, S.H., Li, Z., Hsieh, M., Tyan, Y., et al. (2017) Assessment of Brain Functional Connectome Alterations and Correlation with Depression and Anxiety in Major Depressive Disorders. *PeerJ*, **5**, e3147. <https://doi.org/10.7717/peerj.3147>
- [34] Chen, S. and Yuan, Y. (2021) Childhood Trauma Influences the Age of Onset and Severity of Major Depressive Disorder via Brain Function. *European Psychiatry*, **64**, S326. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2021.876>
- [35] Wang, X., Tan, H., Li, X., Dai, L., Zhang, Z., Lv, F., et al. (2022) Resting-State Functional Magnetic Resonance Imaging-Based Identification of Altered Brain the Fractional Amplitude of Low Frequency Fluctuation in Adolescent Major Depressive Disorder Patients Undergoing Electroconvulsive Therapy. *Frontiers in Psychiatry*, **13**, Article 972968. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2022.972968>
- [36] Xiong, S., Li, W., Zhou, Y., Ren, H., Lin, G., Zhang, S., et al. (2022) Vortioxetine Modulates the Regional Signal in

- First-Episode Drug-Free Major Depressive Disorder at Rest. *Frontiers in Psychiatry*, **13**, Article 950885. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.950885>
- [37] Greicius, M. (2008) Resting-State Functional Connectivity in Neuropsychiatric Disorders. *Current Opinion in Neurology*, **21**, 424-430. <https://doi.org/10.1097/wco.0b013e328306f2c5>
- [38] Friston, K.J. (2011) Functional and Effective Connectivity: A Review. *Brain Connectivity*, **1**, 13-36. <https://doi.org/10.1089/brain.2011.0008>
- [39] Cheng, W., Rolls, E.T., Qiu, J., Xie, X., Lyu, W., Li, Y., et al. (2018) Functional Connectivity of the Human Amygdala in Health and in Depression. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, **13**, 557-568. <https://doi.org/10.1093/scan/nsy032>
- [40] 张小崔, 雷辉, 朱雪玲, 等. 静息状态下未服药首发重性抑郁症患者杏仁核功能连接的研究[J]. 中国临床心理学杂志, 2014, 22(1): 16-18.
- [41] Jacobs, R.H., Barba, A., Gowins, J.R., Klumpp, H., Jenkins, L.M., Mickey, B.J., et al. (2016) Decoupling of the Amygdala to Other Salience Network Regions in Adolescent-Onset Recurrent Major Depressive Disorder. *Psychological Medicine*, **46**, 1055-1067. <https://doi.org/10.1017/s0033291715002615>
- [42] Tang, S., Li, H., Lu, L., Wang, Y., Zhang, L., Hu, X., et al. (2019) Anomalous Functional Connectivity of Amygdala Subregional Networks in Major Depressive Disorder. *Depression and Anxiety*, **36**, 712-722. <https://doi.org/10.1002/da.22901>
- [43] Chen, C., Suckling, J., Ooi, C., Fu, C.H.Y., Williams, S.C.R., Walsh, N.D., et al. (2007) Functional Coupling of the Amygdala in Depressed Patients Treated with Antidepressant Medication. *Neuropsychopharmacology*, **33**, 1909-1918. <https://doi.org/10.1038/sj.npp.1301593>
- [44] Wang, X., Wang, Z., Liu, J., Chen, J., Liu, X., Nie, G., et al. (2016) Repeated Acupuncture Treatments Modulate Amygdala Resting State Functional Connectivity of Depressive Patients. *NeuroImage: Clinical*, **12**, 746-752. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2016.07.011>