

## ·综述·

## 强迫症的功能脑网络机制研究进展

刘想<sup>1,2</sup>, 龙镜亦<sup>3a,4a</sup>, 李毅<sup>2,3b,4b</sup>

## 作者单位

1. 中国地质大学  
(武汉)教育研究  
院

武汉 430074

2. 中国地质大学  
(武汉)心理科学  
与健康研究中心

武汉 430074

3. 武汉市精神卫  
生中心 a.影像科,  
b.精神科

武汉 430012

4. 武汉市心理医  
院 a.影像科, b.精  
神科

武汉 430012

## 收稿日期

2022-12-10

## 通讯作者

李毅

psylee@163.com

**摘要** 强迫症(obsessive-compulsive disorder, OCD)是一种以强迫思维、强迫行为为主要临床表现的常见精神疾病。近年来,许多基于功能磁共振成像的影像学研究关注到强迫症状与大尺度脑网络之间的关联,现就OCD病理生理过程中涉及的默认网络、突显网络及额顶网络的功能异常,结合三网络模型假说,对强迫症状所对应的脑网络机制研究现状进行综述,以期OCD的早期识别及干预提供新线索。

**关键词** 强迫症;功能性磁共振成像;脑网络;三网络模型

**中图分类号** R741;R741.02;R749 **文献标识码** A **DOI** 10.16780/j.cnki.sjssgncj.20221112

**本文引用格式**:刘想, 龙镜亦, 李毅. 强迫症的功能脑网络机制研究进展[J]. 神经损伤与功能重建, 2024, 19(6): 358-361.

**Current Status of Research on the Functional Brain Network Mechanism of Obsessive-Compulsive Disorder** LIU Xiang<sup>1,2</sup>, LONG Jingyi<sup>3a,4a</sup>, LI Yi<sup>2,3b,4b</sup>. 1. Institute of Education, China University of Geosciences, Wuhan, 430074, China; 2. Research Center for Psychological and Health Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3 a. Department of Radiology, b. Department of Psychiatry, Wuhan Mental Health Center, Wuhan 430012, China; 4 a. Department of Radiology, b. Department of Psychiatry, Wuhan Hospital for Psychotherapy, Wuhan 430012, China

**Abstract** Obsessive-compulsive disorder (OCD) is a common mental disorder with obsessions and compulsions as its main clinical manifestations. In recent years, many researches using functional magnetic resonance imaging have concentrated on the relationship between obsessive-compulsive symptoms and large-scale brain networks. Combined with the triple network model hypothesis, this article reviews the current research status of brain network mechanisms corresponding to obsessive-compulsive symptoms by focusing on functional abnormalities of Default Network, Salience Network and Frontoparietal Network involved in the pathophysiological process of OCD, with a view to providing new clues for the early recognition and intervention of OCD.

**Keywords** obsessive compulsive disorder; functional magnetic resonance imaging; brain network; triple network model

强迫症(obsessive-compulsive disorder, OCD)是一种常见精神疾病,终生患病率约2%~3%,其临床表现主要包括无实际意义的侵入性、反复出现的强迫思维和(或)用于缓解由强迫思维引发的负面情绪的强迫行为<sup>[1]</sup>。患者常因无法忽略侵入性思想而进行消极的自我参照加工,出现焦虑、恶心、羞愧等情绪,并试图通过采取强迫行为将其缓解。此外,患者通常伴有反应抑制、行为灵活性和工作记忆等执行功能的损伤,使其强迫行为的情绪缓解效果大打“折扣”,因此他们耗费大量时间和精力重复确认某些信息或采取某些行为,导致其生活质量不同程度受损,且自身存在潜在攻击性<sup>[2]</sup>。

功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)是探索脑功能活动及运行机制的重要影像学技术,目前已探明多个大尺度功能脑网络的存在。其中,默认网络(default mode network, DMN)、突显网络(salience network, SN)、额顶网络(frontoparietal network, FPN)在众多脑网络中处于核心地位,其所构成的三网络模型(triple network model)<sup>[3]</sup>被认为与OCD<sup>[4]</sup>、精神分裂症<sup>[5]</sup>、双相障碍<sup>[6]</sup>等多种精神疾病的发病机制有关。既往基于OCD

脑网络的多项研究证实,患者普遍存在脑区功能活动和网络功能连接等多种异常<sup>[7,8]</sup>,功能脑网络研究已成为探索OCD患者认知功能、情绪调节及行为学异常与相应神经生物学基础的重要途径。

本文从认知神经科学角度出发,回顾近10年来的OCD-fMRI相关文献报道,梳理既往研究中所提取的三网络神经影像学表征,旨在进一步揭示OCD异常认知、情绪及行为学表象背后所涉及的脑网络机制,为OCD的早期识别及干预提供新线索。

## 1 强迫症与默认网络

默认网络是目前已知最重要的人脑网络,包括腹内侧前额叶、后扣带回、楔前叶、双侧外侧颞叶和角回等脑区,核心区域为腹内侧前额叶及后扣带回。默认网络主要负责自我参照加工、评估情绪状态和提取情景记忆等功能<sup>[9]</sup>,在大脑处于静息态或进行内部复杂的认知活动时,表现出较强的功能活动;在大脑处理外界刺激任务或其他外在认知加工时,则呈现负激活状态<sup>[10]</sup>。

既往研究证实OCD患者的神经病理学机制与

其默认网络内部的功能活动紊乱及功能连接异常有关。静息状态下,较之健康被试,患者左侧后扣带回至全脑的功能连接强度减弱,且在接收者操作特征曲线中呈现出高敏感性和特异性,提示默认网络的功能连接模式异常与OCD的病理生理学有关<sup>[1]</sup>;另有研究发现,患者默认网络内前额上回和顶上回的网络内功能连接出现异常,与其自我参照加工损伤及情景记忆障碍相关,表明患者容易产生强迫信念却无法将其纠正,从而导致其维持重复乏味的强迫症状<sup>[4]</sup>。除静息态外,在任务态fMRI研究中也有关于患者默认网络内部功能活动及功能连接异常的发现。在巴普洛夫恐惧逆转任务中,OCD患者腹内侧前额叶处于激活状态,说明当面对可能会导致强迫行为的特异目标时,腹内侧前额叶会过度参与对其的内部评估,这导致患者将注意力转移至外部任务的功能受损<sup>[2]</sup>。在奖赏加工过程中,其后扣带回与腹内侧前额叶间的功能连接增强<sup>[3]</sup>,加之右内侧前额叶与左侧额上回间功能连接异常与患者的持续注意力缺陷有关<sup>[4]</sup>,表明当面对外部奖励和刺激,患者的自我参照思想过度增加,会对额外强化产生持续渴望,因此不能正常地进行外部活动。利用网络一致性(network homogeneity, NH)分析,有学者观察到患者左腹内侧前额叶和双侧后扣带回/楔前叶的NH值下降,进行接收者操作特征曲线分析发现,患者右侧后扣带回NH值可有效区分患者与健康对照组被试,有望成为诊断OCD的神经影像学标记<sup>[5]</sup>。上述研究均表明:在OCD患者中,无论在静息态或是任务态,默认网络在指向内部的心理活动(包括自我参照加工、持续性注意和自我意识唤醒等)中发挥着重要作用;随着默认网络功能活动及功能连接的改变,患者表现出对内在产生的痛苦想法的过度关注,且难以接受和处理与之无关的外部信息<sup>[6]</sup>。但OCD情绪调节、认知功能障碍与默认网络异常之间的因果关系目前尚未明确,仍需开展动态功能连接、效应连接等研究进一步探究。

## 2 强迫症与突显网络

突显网络主要包含前脑岛、前扣带回、杏仁核等脑区,负责参与检测、处理和整合内部和外部的突显信息。前脑岛可以调节感觉输入与其他高级执行功能之间的关系,进行检测与过滤后为其定向输送到其他脑区进行相应的反应;前扣带回与认知执行、情绪处理密切相关;杏仁核主要负责情绪的产生、识别与调节<sup>[17]</sup>。人类在复杂社会环境中的多种社会功能及情绪调节均依赖于突显网络的正常运行,而该网络的损伤则被认为是社会情绪功能障碍的重要神经基础<sup>[18]</sup>。

强迫思维影响OCD患者对现实的正确评估,即当患者认为这些思维与伤害他人有关时,会感受到不确定性甚至危险性;当其认为这些思维违背了自己的信仰时,则会觉得自己做了有违道德之事,故患者常会产生焦虑、恐惧、羞愧等消极情绪,并存在不同程度的情绪调节障碍<sup>[19]</sup>。通过量化全脑低频震荡振幅(amplitude of low frequency fluctuations, ALFF),研究者发现OCD患者右侧前脑岛内在活动减弱,且与强迫症状的评分显著相关<sup>[20]</sup>,表明当患者受到强迫思维的干扰时,前脑岛调节负性情

绪的能力完全或部分受损,从而导致患者的情绪管理失控。另一方面,突显网络内部也存在功能连接改变。一项基于种子点的静息态fMRI的研究发现,患者的前脑岛与前扣带回、杏仁核和小脑之间的功能连接强度降低<sup>[21]</sup>,突显网络内部的整合功能受损(前脑岛无法正常接收和整合来自丘脑、前扣带回的信息),引发前扣带回和杏仁核无法顺利执行由前脑岛分配的任务,从而导致患者反应选择能力下降,并难以正确识别自身情绪。此外,在想法行为融合诱导范式中,利用能量谱密度分析fMRI影像发现:OCD患者出现突显网络能量减少,且能量谱密度的改变影响着患者在社会情境中处理模糊情绪线索的能力<sup>[22]</sup>。总的来说,目前学界主要认为强迫思维干扰了突显网络对内外刺激的正常监测,造成OCD患者实际情况与主观体验之间出现冲突,致使患者将更多的注意力资源投入对消极情绪的关注,进而产生因无法顺利调整消极情绪引发的负面影响。这有助于深入理解强迫观念及强迫行为背后的神经基础,也为下一步的科研及临床工作提供了新思路。

## 3 强迫症与额顶网络

额顶网络参与启动和调节各种执行控制功能,额顶网络具有左右不对称性。左侧额顶网络的核心脑区包括布洛卡区、威尔尼克区、内侧额叶及尾状核,该网络主要负责处理与语言相关的认知任务,并参与情绪的抑制调节;右侧额顶网络包括背外侧前额叶、角回和眶额叶等脑区,主要参与自上而下的注意及认知控制<sup>[23]</sup>。

左、右侧额顶网络间的连接异常提示强迫思维的存在会影响患者处理需要注意资源的各种任务<sup>[24]</sup>,额顶网络内部的连接改变普遍存在于OCD患者中<sup>[25]</sup>。在一项认知重评实验中,分析患者在情绪体验和调节过程中的脑网络层次变化发现左侧额顶网络的激活较弱,与强迫量表中的强迫观念维度得分呈负相关<sup>[26]</sup>,这表明强迫思维影响着患者对负性情绪的抑制能力,患者进而主动采取压抑策略以缓解负性情绪所造成的影响。基于任务态fMRI的研究也证实OCD患者在处理需要右侧额顶网络参与的任务时存在困难,如反应抑制、工作记忆或注意力转换等<sup>[27]</sup>。由于执行不同认知任务时所激活的额顶网络脑区不同,既往对脑网络功能活动及功能连接的研究结果也存在一定异质性:在需要患者执行奖赏加工、工作记忆、注意定向等任务时,双侧腹外侧前额叶均呈现活动增强的状态,左背外侧前额叶和左顶下小叶之间的功能连接增强<sup>[28]</sup>,额中回和顶上小叶之间的功能连接增强,并与病情的严重程度成正相关<sup>[29]</sup>;在非情感认知任务的研究中,涉及目标导向认知加工和运动控制的后尾状核激活减弱<sup>[30]</sup>。此外,有研究发现任务的负荷量与对应脑区功能的异常程度相关,即当任务负荷量(数字n-back实验)提升时,患者的反应时和错误率增加,同时额顶网络内左背侧前额叶、辅助运动区及顶下小叶等工作记忆相关脑区的激活减弱,提示当患者遇到相对较复杂的情景时,无法维持正常的记忆功能<sup>[31]</sup>。上述研究均证实额顶网络在OCD患者的多种执行功能障碍中扮演着关键角色。但目前有关OCD执行功能障碍的脑网络研究偏少,未来还需开展针对这一领域的细化研究。



#### 4 强迫症的三重网络模型

综上所述,默认网络、突显网络、额顶网络在OCD中表现出功能活动、功能连接、网络属性等多种异常,在该疾病的神经病理学机制中起到了重要作用。但仅仅着眼于单一网络内部的研究十分局限,既不利于全面分析和理解网络间的交互关系对疾病的影响,也不利于更全面地深入探索OCD的发病机制。Menon由此提出了三网络模型<sup>[3]</sup>,该模型旨在系统地研究不同精神疾病的脑网络机制。该模型认为,三网络中某一网络的异常会影响到另外两个网络。默认网络主要司职内部思维,额顶网络参与外部注意,二者存在注意资源的竞争<sup>[32]</sup>,而突显网络则是三网络动态交互中的调节枢纽。当进行自我参照加工时,默认网络处于激活状态,突显网络和额顶网络处于静息状态;但当外界刺激影响到突显网络自下而上的监测时,则可能出现突显网络内部功能连接增强,前脑岛和前扣带回等关键脑区的活动增加的现象;随着控制信号传递至额顶网络和默认网络,会激活额顶网络执行高级认知功能,并使默认网络进入抑制/失活状态。目前该模型已在精神-神经影像学领域得到广泛证实,OCD、抑郁症、精神分裂症等多种精神疾病均存在不同程度的网络内、网络间异常变化<sup>[33]</sup>。

三网络间的异常交互在OCD中具有普遍性,且与患者的多种症状相关。一项路径分析检验了默认网络-突显网络间功能连接与患者注意力及强迫症状之间的关系,证实患者前内侧前额叶和后扣带回与前脑岛之间的反向功能连接减弱,且与症状的严重程度、持续性注意力的受损程度相关<sup>[34,35]</sup>;另一项基于种子点的功能连接研究也观察到默认网络-突显网络之间功能连接的减弱,提示患者内部思想和目标导向行为之间的注意力切换出现问题,持续性地消极自我评价无法被突显网络发出的控制信号抑制<sup>[36]</sup>。默认网络与额顶网络间也存在功能连通性改变,主要表现为后扣带回与前脑岛、左内侧前额叶与右顶叶、后扣带回与背外侧前额叶之间功能连接的增强<sup>[37,14,35]</sup>,且两个网络间功能连接变化影响着OCD患者对自我参照思维的调节能力,部分影像表征被认为可准确预测患者认知控制功能的缺陷<sup>[38]</sup>。突显网络与额顶网络间的连接模式改变与患者的焦虑水平相关<sup>[4]</sup>,此外还有学者推测,正是两者间的功能连接减弱,致使前额叶无法抑制强迫行为的产生,从而导致患者难以执行目标导向行为<sup>[39]</sup>。此外,动态脑网络分析也提示三网络间的交互异常与OCD的发病机制有关。基于滑动窗分析发现默认网络与突显网络之间功能分离增加,两者内部关键脑区之间功能连接灵活性受损<sup>[40]</sup>;突显网络与左侧额顶网络间的动态连通性减弱,提示从接受任务信号到执行任务的过程中,相关脑区存在着调节问题<sup>[24]</sup>,导致患者难以利用外部证据纠正自己不合理的想法和行为。另一方面,学者们还利用图论分析探索了OCD患者的脑网络拓扑属性<sup>[40-42]</sup>。有研究发现楔前叶(默认网络)、右侧额中回(突显网络)的度中心性等节点属性的时间变异性均下降,这表明上述脑区与其它脑区间交互能力的灵活性降低;额顶网络则呈现更高的局部集群系数,展现出从小世界网络到规则化网络的变化,这反映出患者的功能分离与功能整合存在着动态失

衡。可见,OCD患者三网络间的交互异常具有普遍性、广泛性,且主要累及负责内省调节、情感管理及抑制控制的核心脑区,进而诱发了焦虑、走神、抑制控制能力减弱、行为灵活性降低等一系列症状的出现。值得注意的是,多项关于三网络的fMRI研究结果,尤其是默认网络-突显网络低连通性的发现在OCD中具有高度一致性,这充分表明特异性脑网络表征有望成为OCD的潜在生物学靶点,并用于早期识别与诊疗。

#### 5 总结与展望

本文通过梳理采用fMRI的研究实例,总结出OCD的病理生理过程中涉及的脑网络异常,并在此基础上结合三网络模型假说,进一步论证了默认网络、突显网络、额顶网络在OCD患者认知、情感及行为缺陷中所发挥的重要作用,加深了对OCD神经病理学机制的理解。在三网络中,OCD患者消极的自我参照加工与默认网络处在不同状态下的异常功能活动和连接模式及属性异常有关;突显网络内前脑岛、前扣带回和杏仁核的异常功能连接,干扰了患者对突显刺激的监测,进而影响其情感调节能力;患者的执行功能受损与额顶网络内的异常功能活动及连接有关。笔者推测,正是由于受到强迫思维的影响,患者出现大量注意力资源消耗,对内、外部突显信息的监测和处理能力下降,进而出现情绪管理异常,认知功能的灵活性下降;而突显网络与额顶网络之间的功能连接减弱,致使患者进行自上而下加工的控制功能受损,因而产生焦虑情绪。笔者认为,三重网络的交互模式特征有望作为OCD的神经影像学标记,应用于对OCD的早期诊断、疾病分层与分级、医疗干预策略制定、疗效监测及预后评估中,为实现OCD的个体化诊疗提供客观依据。

但现有研究及本综述也存在一定局限性与不足:①对OCD不同亚型的脑网络研究偏少。不同亚型的OCD在症状及严重程度存在差异,未来应该对不同OCD亚型的神经网络机制加以区分及细化。②多数既往研究探索了强迫症状与脑网络之间的相关性,但并未揭示二者间的因果关系。③受篇幅所限,本文重点探讨OCD功能脑网络变化,而未能纳入结构脑网络研究。在后续工作中,应进一步探索OCD的多模态脑网络变化,以更全面深入地理解OCD所涉及的脑网络机制。

#### 参考文献

- [1] Stein DJ, Costa DLC, Lochner C, et al. Obsessive-compulsive disorder [J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2019, 5(1): 52.
- [2] Nagy NE, El-Serafi DM, Elrassas HH, et al. Impulsivity, hostility and suicidality in patients diagnosed with obsessive compulsive disorder[J]. *Int J Psychiatry Clin Pract*, 2020, 24(3): 284-292.
- [3] Menon V. Large-scale brain networks and psychopathology: a unifying triple network model[J]. *Trends Cogn Sci*, 2011, 15(10): 483-506.
- [4] Fan J, Zhong M, Gan J, et al. Altered connectivity within and between the default mode, central executive, and salience networks in obsessive-compulsive disorder[J]. *J Affect Disord*, 2017, 223: 106-114.
- [5] Sheffield JM, Barch DM. Cognition and resting-state functional connectivity in schizophrenia[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2016, 61: 108-120.
- [6] Ellard KK, Zimmerman JP, Kaur N, et al. Functional Connectivity Between Anterior Insula and Key Nodes of Frontoparietal Executive

- Control and Salience Networks Distinguish Bipolar Depression From Unipolar Depression and Healthy Control Subjects[J]. *Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging*, 2018, 3(5): 473-484.
- [7] Qiu L, Fu X, Wang S, et al. Abnormal regional spontaneous neuronal activity associated with symptom severity in treatment-naive patients with obsessive-compulsive disorder revealed by resting-state functional MRI[J]. *Neurosci Lett*, 2017, 640: 99-104.
- [8] Liu J, Cao L, Li H, et al. Abnormal resting-state functional connectivity in patients with obsessive-compulsive disorder: A systematic review and meta-analysis[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2022, 135: 104574.
- [9] Yeshurun Y, Nguyen M, Hasson U. The default mode network: where the idiosyncratic self meets the shared social world[J]. *Nat Rev Neurosci*, 2021, 22(3): 181-192.
- [10] Smallwood J, Bernhardt BC, Leech R, et al. The default mode network in cognition: a topographical perspective[J]. *Nat Rev Neurosci*, 2021, 22(8): 503-513.
- [11] Cui G, Ou Y, Chen Y, et al. Altered Global Brain Functional Connectivity in Drug-Naive Patients With Obsessive-Compulsive Disorder[J]. *Front Psychiatry*, 2020, 11: 98.
- [12] Apergis-Schoute AM, Gillan CM, Fineberg NA, et al. Neural basis of impaired safety signaling in Obsessive Compulsive Disorder[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2017, 114(12): 3216-3221.
- [13] Koch K, Reeß TJ, Rus OG, et al. Increased Default Mode Network Connectivity in Obsessive-Compulsive Disorder During Reward Processing[J]. *Front Psychiatry*, 2018, 9: 254.
- [14] Fan J, Gan J, Liu W, et al. Resting-State Default Mode Network Related Functional Connectivity Is Associated With Sustained Attention Deficits in Schizophrenia and Obsessive-Compulsive Disorder[J]. *Front Behav Neurosci*, 2018, 12: 319.
- [15] Chen Y, Ou Y, Lv D, et al. Altered network homogeneity of the default-mode network in drug-naive obsessive compulsive disorder[J]. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2019, 93: 77-83.
- [16] Stern ER, Muratore AF, Taylor SF, et al. Switching between internally and externally focused attention in obsessive-compulsive disorder: Abnormal visual cortex activation and connectivity[J]. *Psychiatry Res Neuroimaging*, 2017, 265: 87-97.
- [17] Peters SK, Dunlop K, Downar J. Cortico-Striatal-Thalamic Loop Circuits of the Salience Network: A Central Pathway in Psychiatric Disease and Treatment[J]. *Front Syst Neurosci*, 2016, 10:104.
- [18] Seeley WW. The Salience Network: A Neural System for Perceiving and Responding to Homeostatic Demands[J]. *J Neurosci*, 2019, 39(50): 9878-9882.
- [19] Yap K, Mogan C, Moriarty A, et al. Emotion regulation difficulties in obsessive-compulsive disorder[J]. *J Clin Psychol*, 2018, 74(4): 695-709.
- [20] Zhu Y, Fan Q, Zhang H, et al. Altered intrinsic insular activity predicts symptom severity in unmedicated obsessive-compulsive disorder patients: a resting state functional magnetic resonance imaging study[J]. *BMC Psychiatry*, 2016, 16(1): 104.
- [21] Chen YH, Li SF, Lv D, et al. Decreased Intrinsic Functional Connectivity of the Salience Network in Drug-Naive Patients With Obsessive-Compulsive Disorder[J]. *Front Neurosci*, 2018, 12: 889.
- [22] Lee SW, Kim E, Jang TY, et al. Alterations of Power Spectral Density in Salience Network during Thought-action Fusion Induction Paradigm in Obsessive-compulsive Disorder[J]. *Clin Psychopharmacol Neurosci*, 2022, 20(3): 415-426.
- [23] Pan J, Zhan L, Hu C, et al. Emotion Regulation and Complex Brain Networks: Association Between Expressive Suppression and Efficiency in the Fronto-Parietal Network and Default-Mode Network[J]. *Front Hum Neurosci*, 2018, 12: 70.
- [24] Gürsel DA, Reinholz L, Bremer B, et al. Frontoparietal and salience network alterations in obsessive - compulsive disorder: insights from independent component and sliding time window analyses[J]. *J Psychiatry Neurosci*, 2020, 45(3): 214-221.
- [25] Gürsel DA, Avram M, Sorg C, et al. Frontoparietal areas link impairments of large-scale intrinsic brain networks with aberrant fronto-striatal interactions in OCD: a meta-analysis of resting-state functional connectivity[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2018, 87: 151-160.
- [26] De la Peña-Arteaga V, Morgado P, Couto B, et al. A functional magnetic resonance imaging study of frontal networks in obsessive-compulsive disorder during cognitive reappraisal[J]. *Eur Psychiatry*, 2022, 65(1): e62.
- [27] Del Casale A, Rapinesi C, Kotzalidis GD, et al. Executive functions in obsessive - compulsive disorder: An activation likelihood estimate meta-analysis of fMRI studies[J]. *World J Biol Psychiatry*, 2016, 17(5): 378-393.
- [28] Ferreira S, Moreira P, Magalhães R, et al. Frontoparietal hyperconnectivity during cognitive regulation in obsessive-compulsive disorder followed by reward valuation inflexibility[J]. *J Psychiatr Res*, 2021, 137: 657-666.
- [29] Göttlich M, Krämer UM, Kordon A, et al. Decreased limbic and increased fronto-parietal connectivity in unmedicated patients with obsessive-compulsive disorder: Altered Brain Networks in OCD[J]. *Hum Brain Mapp*, 2014, 35(11): 5617-5632.
- [30] Rasgon A, Lee WH, Leibu E, et al. Neural correlates of affective and non-affective cognition in obsessive compulsive disorder: A meta-analysis of functional imaging studies[J]. *Eur Psychiatry*, 2017, 46: 25-32.
- [31] Heinzel S, Kaufmann C, Grützmann R, et al. Neural correlates of working memory deficits and associations to response inhibition in obsessive compulsive disorder[J]. *Neuroimage Clin*, 2018, 17: 426-434.
- [32] Chen AC, Oathes DJ, Chang C, et al. Causal interactions between fronto-parietal central executive and default-mode networks in humans[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2013, 110(49): 19944-19949.
- [33] Sha Z, Wager TD, Mechelli A, et al. Common Dysfunction of Large-Scale Neurocognitive Networks Across Psychiatric Disorders[J]. *Biol Psychiatry*, 2019, 85(5): 379-388.
- [34] Posner J, Song I, Lee S, et al. Increased functional connectivity between the default mode and salience networks in unmedicated adults with obsessive-compulsive disorder[J]. *Hum Brain Mapp*, 2017, 38(2): 678-687.
- [35] Tomiyama H, Murayama K, Nemoto K, et al. Alterations of default mode and cingulo-opercular salience network and frontostriatal circuit: A candidate endophenotype of obsessive-compulsive disorder[J]. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2022, 116: 110516.
- [36] Geffen T, Smallwood J, Finke C, et al. Functional connectivity alterations between default mode network and occipital cortex in patients with obsessive-compulsive disorder (OCD)[J]. *Neuroimage Clin*, 2022, 33: 102915.
- [37] Stern ER, Fitzgerald KD, Welsh RC, et al. Resting-State Functional Connectivity between Fronto-Parietal and Default Mode Networks in Obsessive-Compulsive Disorder[J]. *PLoS One*, 2012, 7(5): e36356.
- [38] Dixon ML, De La Vega A, Mills C, et al. Heterogeneity within the frontoparietal control network and its relationship to the default and dorsal attention networks[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2018, 115(7) : E1598-E1607.
- [39] Zhu C, Fu Z, Chen L, et al. Multi-modality connectome-based predictive modeling of individualized compulsions in obsessive-compulsive disorder[J]. *J Affect Disord*, 2022, 311: 595-603.
- [40] Luo L, Li Q, You W, et al. Altered brain functional network dynamics in obsessive-compulsive disorder[J]. *Hum Brain Mapp*, 2021, 42(7): 2061-2076.
- [41] Zhang T, Wang J, Yang Y, et al. Abnormal small-world architecture of top-down control networks in obsessive-compulsive disorder[J]. *J Psychiatry Neurosci*, 2011, 36(1): 23-31.
- [42] Li X, Li H, Cao L, et al. Application of graph theory across multiple frequency bands in drug-naive obsessive-compulsive disorder with no comorbidity[J]. *J Psychiatr Res*, 2022, 150: 272-278.