

# 精神分裂症和强迫症的结构和功能磁共振成像比较研究进展


郁晓曼,周振和,汪 帅,田 霖\*

(南京医科大学附属无锡精神卫生中心,江苏 无锡 214151)

\*通信作者:田 霖,E-mail:tianz@njmu.edu.cn)

**【摘要】** 精神分裂症和强迫症是临床精神心理科常见的两种疾病,均给患者带来不同程度的痛苦体验和社会功能损害,二者共病率较高。现通过对这两种疾病结构和功能磁共振成像的比较研究进行综述,探索两种疾病相同和特异的生物学标志物,为后续相关研究提供影像学证据的参考。

**【关键词】** 精神分裂症;强迫症;结构磁共振;功能磁共振;脑网络

开放科学(资源服务)标识码(OSID):  微信扫码二维码  
听独家语音释文  
与作者在线交流

中图分类号:R749

文献标识码:A

doi:10.11886/scjsws20210129002

## Progress in the comparative study of structural and functional magnetic resonance imaging of schizophrenia and obsessive-compulsive disorder

Yu Xiaoman, Zhou Zhenhe, Wang Shuai, Tian Lin\*

(The Affiliated Wuxi Mental Health Center of Nanjing Medical University, Wuxi 214151, China)

\*Corresponding author: Tian Lin, E-mail: tianz@njmu.edu.cn)

**【Abstract】** Schizophrenia and obsessive-compulsive disorder are common disorders in clinical psychiatry, accompanied by varying degrees of painful experience and social functioning impairment, and a high prevalence rate of co-morbidities. In this paper, a review of comparative study of structural and functional magnetic resonance imaging of the two diseases is presented, so as to explore the similar and specific biological markers of them and to provide a forceful imaging basis for subsequent studies.

**【Keywords】** Schizophrenia; Obsessive-compulsive disorder; Structural MRI; Functional MRI; Brain network

精神分裂症和强迫症是精神科常见的两种不同类型的精神障碍,但这两类疾病患者存在诸多相似的人口统计学特征和临床表现,且这两种疾病在病理生理学方面密切相关<sup>[1-4]</sup>。临床上精神分裂症和强迫症的共病率较高<sup>[5-6]</sup>。研究表明,约7.8%~26%的精神分裂症患者可出现伴强迫症精神分裂症,精神分裂症患者患强迫症的风险是普通人群的10倍以上<sup>[5-6]</sup>。一项纵向随访研究表明,强迫症患者及其后代罹患精神分裂症和精神分裂症谱系障碍的风险更高,提示两种疾病之间可能存在共同的病理起源<sup>[4]</sup>。近年来,精神分裂症和强迫症的关系受到越来越多的关注,但目前这两种疾病之间的神经生物学底物和病因学关系仍未明确<sup>[7-8]</sup>。随着脑成像技术特别是磁共振(MRI)技术的发展,多种非侵入性的序列被用来辅助研究大脑的结构和功能,为进一

步认识精神分裂症和强迫症提供了重要工具<sup>[9]</sup>。本文对近年来国内外开展的有关精神分裂症和强迫症的结构和功能MRI成像的比较研究进展进行综述。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源与检索策略

#### 1.1.1 资料来源

于2020年6月-2021年1月对万方医学网、中国知网等中文数据库和PubMed英文数据库进行检索,检索时限为2000年1月-2021年1月。

#### 1.1.2 检索策略

检索主题词:精神分裂症(schizophrenia)、强迫症(obsessive-compulsive disorder)、结构磁共振(structural MRI)、功能磁共振(functional MRI)、脑网络(brain network)、磁共振(MRI)。中文检索式:精神分裂症 AND 强迫症 AND (结构磁共振 OR 功能磁

基金项目:国家自然科学基金(项目名称:基于症状维度的脑网络分析探索rTMS治疗难治性强迫症的神经机制,项目编号:81871081);无锡市“双百”中青年医疗卫生拔尖人才资助

共振 OR 脑网络 OR 磁共振);英文检索式:((schizophrenia) AND (obsessive-compulsive disorder)) AND ((structural MRI) OR (functional MRI) OR (brain network) OR (MRI))。

## 1.2 文献纳入与排除标准

纳入标准:①关于精神分裂症和强迫症在内的精神疾病磁共振成像特征的比较研究,磁共振成像特征比较是针对结构磁共振(structural MRI)、功能磁共振(functional MRI)和脑网络(brain network);②文章数据可靠,具有科学性、创新性;③可获取全文的中英文文献。排除标准:①重复的文献;②质量较差的文献。

## 1.3 文献筛选与质量评估

由研究者进行文献筛选,先进行文献检索、排除重复文献,再阅读文章题目、摘要和全文进行筛选,严格按照纳入和排除标准筛选符合要求的文献,对于存在争议的文献,通过讨论决定是否纳入。

# 2 结 果

## 2.1 文献纳入基本情况

初步检索共获取文献 581 篇,其中,英文文献 549 篇,中文文献 32 篇。通过排除重复文献以及阅读文题、摘要和全文进行筛选,最终共纳入文献 30 篇。文献筛选流程见图 1。

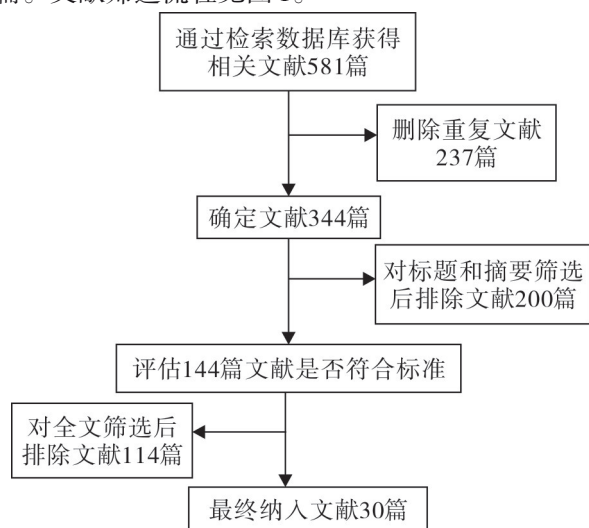


图1 文献筛选流程图

## 2.2 结构 MRI 研究

### 2.2.1 灰质结构 MRI

常规的 T1 加权结构磁共振成像可显示大脑微观解剖信息,并具有较高的分辨率和强大的灰/白质

对比度<sup>[10]</sup>,主要包括感兴趣区(ROI)法、基于体素的形态学测量(VBM)方法<sup>[11]</sup>以及基于表面的形态学测量(SBM)方法<sup>[12]</sup>等。大脑灰质结构是精神疾病神经影像学早期研究的重点方向之一。Goodkind 等<sup>[13]</sup>对 193 项基于 VBM 方法的研究进行 Meta 分析,结果显示精神分裂症和强迫症等多种精神疾病患者灰质体积减少较为一致的区域包括背侧前扣带回和双侧岛叶,且这些脑区灰质受损与患者执行功能下降有关。

既往研究在同一研究框架下比较了精神分裂症和强迫症患者的灰质结构 MRI 成像特征。Kwon 等<sup>[14]</sup>在进行年龄、性别匹配后纳入了精神分裂症患者、强迫症患者和正常对照组各 22 例,测量并比较三组被试的海马、杏仁核和丘脑体积,结果显示,与正常对照组相比,强迫症患者和精神分裂症患者的双侧海马体积更小,推测可能与两种疾病的症状重叠有关;强迫症患者的左侧杏仁核体积更大,但精神分裂症患者的左侧杏仁核体积则无明显变化。提示杏仁核在强迫症的发病机制中可能发挥独特作用。该研究未发现三组被试的丘脑体积有显著差异。但 Kang 等<sup>[15]</sup>和 Kwon 等<sup>[14]</sup>使用同一批数据的进一步研究显示,精神分裂症患者和强迫症患者的丘脑畸形存在差异,与正常对照组相比,强迫症患者的丘脑前外侧畸形明显,而精神分裂症患者的丘脑后内侧畸形较明显。Kim 等<sup>[16]</sup>纳入精神分裂症患者、强迫症患者和正常对照组各 21 例,比较三组被试的岛叶体积,结果显示,与正常对照组相比,精神分裂症患者左侧岛叶体积更小,而在强迫症患者中未见岛叶体积的形态变化,提示精神分裂症的发生机制可能与岛叶的异常有关。Riffkin 等<sup>[17]</sup>纳入了精神分裂症患者、强迫症患者和正常对照组各 18 例,采用 VBM 方法和 ROI 法重点对三组被试的眶额回(OFC)、前扣带回(ACC)和尾状核(CN)脑区及其他脑区的灰白质体积进行对比,结果显示,与正常对照组相比,强迫症患者仅在采用 VBM 方法时发现其右侧颞叶区域出现了白质体积减少;与强迫症患者相比,精神分裂症患者表现出更严重、更广泛的脑结构异常,VBM 方法显示精神分裂症患者的双侧 OFC(灰质)、左侧梭形回(灰质)、右侧脑岛(灰质)、右侧 OFC(白质)、双侧背侧 ACC(白质)、双侧腹侧 ACC(灰质和白质)和左后侧 ACC(灰质和白质)等脑区体积更小。Ha 等<sup>[18]</sup>纳入了 50 例精神分裂症患者、45 例强迫症患者和 26 例正常对照组,比较三组被试大脑皮层表面的分形维度(fractal dimension,

FD)指标,结果显示精神分裂症患者的FD最低、强迫症患者居中、正常对照组最高。张晓晰等<sup>[19]</sup>采用VBM方法直接比较了22例精神分裂症患者、20例强迫症患者和23例正常对照组的大脑灰质体积,结果显示,与正常对照组相比,精神分裂症与强迫症患者前扣带回灰质体积更小。Wang等<sup>[20]</sup>比较了21例精神分裂症患者、22例强迫症患者、22例伴强迫症精神分裂症和22例正常对照组的脑灰质体积和皮层厚度,结果显示,与正常对照组相比,精神分裂症患者左侧中央前回、左侧楔叶、左侧丘脑、左侧小脑下半月小叶、双侧内侧额上回的灰质体积更小,强迫症患者右侧额上回、右侧额中回、右侧颞中回的灰质体积更大。与强迫症患者相比,精神分裂症患者左侧楔前叶、左侧颞上回、右侧额中回、右侧中央前回、双侧额上回、双侧额上回内侧和中央旁回灰质体积更小。研究结果未发现精神分裂症和强迫症组患者的皮层厚度具有显著异常。Gong等<sup>[21]</sup>比较了未使用过抗精神病药物的精神分裂症患者与强迫症患者等四组精神疾病患者的灰质体积,结果显示,四组患者均表现出壳核的灰质体积增大,且壳核灰质体积的大小与各组症状严重程度之间呈正相关。Opel等<sup>[22]</sup>比较了常见的六种精神障碍患者的脑结构,结果显示,精神分裂症、强迫症、重度抑郁和双相情感障碍患者的大脑结构异常存在高度相关( $r=0.443\sim 0.782$ ),精神分裂症和强迫症患者均表现出海马、梭状回等脑区形态特征的异常。精神分裂症和强迫症患者均存在脑灰质结构的异常,关于其脑灰质结构变化的研究结果不一致,可能与研究方法不同和药物治疗等因素有关。

### 2.2.2 白质结构MRI

弥散张量成像(DTI)是基于水分子在脑组织中扩散的定量分析,能够提供脑白质纤维束的完整性和微结构的相关信息<sup>[23]</sup>。分数各向异性(FA)是DTI的主要分析指标,基于纤维束的空间统计(TBSS)方法是目前最稳定和成熟的DTI数据定量分析技术<sup>[24]</sup>。已有多项研究表明,精神分裂症和强迫症患者通常会出现大脑白质结构的异常,包括精神分裂症和强迫症在内的多种精神疾病患者的扣带束、胼胝体以及额叶和颞叶区域的白质纤维束更可能存在异常<sup>[25-27]</sup>。

既往直接对比精神分裂症和强迫症DTI特征的研究较少。White等<sup>[28]</sup>比较了儿童青少年人群中的早发性精神分裂症和早发性强迫症等多种精神疾

病患者的DTI成像,结果显示,与正常对照组相比,早发性精神分裂症患者的白质异常较明显,但该研究并未发现早发性强迫症患者存在显著的白质异常。Hawco等<sup>[2]</sup>纳入了48例精神分裂症患者、38例强迫症患者和45例正常对照组,采用DTI成像技术比较三组被试的白质完整性,结果显示,与正常对照组相比,精神分裂症和强迫症患者的胼胝体FA值下降,两组患者的总白质FA值差异无统计学意义,提示精神分裂症和强迫症可能存在共同的神经生物学底物;该研究还发现,随着年龄增长,两种疾病的患者都出现FA值下降,强迫症患者主要为左上纵束中FA值下降,而精神分裂症患者则存在更广泛脑区的FA值下降。在最近的一项研究中,Wang等<sup>[29]</sup>纳入了28例精神分裂症患者、30例强迫症患者、28例伴强迫症精神分裂症患者和30例正常对照组,采用TBSS方法比较四组患者的白质异常特征,结果仅发现伴强迫症精神分裂症患者脑白质FA值和径向扩散率(radial diffusion, RD)的异常,未发现精神分裂症患者和强迫症患者FA值和RD值的显著改变;采用概率性纤维束追踪法(probabilistic tractography)分析后发现,与强迫症患者相比,精神分裂症患者在右枕中回(视觉网络)以及左枕中回与左颞中回(视觉网络和DMN)之间的连接概率增加。上述影像学证据表明,精神分裂症和强迫症患者均存在脑白质结构的异常,前者的脑白质结构受损范围可能更广泛,且脑白质结构特征与病程等因素存在关联。

### 2.3 fMRI研究

功能磁共振成像(fMRI)通过测量血氧依赖水平(BOLD)信号的变化来评估脑的内在功能状态,分为静息态和任务态fMRI<sup>[30]</sup>。常用的静息态fMRI分析指标包括低频振幅(ALFF/fALFF)、功能连接(FC)、局部一致性(ReHo)等<sup>[30-31]</sup>。独立成分分析(ICA)是一种常用的数据驱动方法<sup>[32]</sup>。默认模式网络(default-mode network, DMN)是目前研究最多的大规模功能性脑网络<sup>[33]</sup>。Fan等<sup>[34]</sup>的一项静息态fMRI成像研究表明,精神分裂症患者和强迫症患者的持续注意缺陷与默认模式网络相关的功能连接变化有关,其中强迫症患者持续注意缺陷与其在DMN内右内侧前额叶(mPFC)和左额上回(SFG)的功能连接性受损有关;精神分裂症患者持续注意缺陷与其左mPFC和双侧前扣带回(ACC)的功能连接变化相关。该研究结果提示,在与精神分裂症和强

迫症患者持续注意力缺陷有关的神经机制中,DMN 参与的网络内部和网络之间的功能连接发挥了重要作用。Wang 等<sup>[35]</sup>纳入了 22 例精神分裂症患者、20 例强迫症患者、22 例伴强迫症精神分裂症患者和 22 例正常对照组,比较各组间 DMN 的 19 个子区域与全脑体素之间的静息态功能连接(rsFC)的强度,结果显示,与正常对照组相比,三个患者组在 DMN 的子区域与执行控制网络(ECN)之间的 rsFC 均增加。不同的是,精神分裂症患者和伴强迫症精神分裂症患者在 DMN 的子区域和颞中回之间显示出 rsFC 增加,而强迫症患者 rsFC 降低。张晓晰等<sup>[19]</sup>纳入了 22 例精神分裂症患者、20 例强迫症患者和 23 例正常对照组,结果显示,与正常对照组相比,精神分裂症患者和强迫症患者均出现了左侧楔叶 ReHo 值降低和左内侧额上回 ReHo 值增高。综上所述,精神分裂症和强迫症患者均存在静息态 fMRI 的异常,他们在静息状态下的脑功能变化有一定的相似之处但也存在差异,可能因研究方法不一致,未能得出一致结论。

采用任务态 fMRI 直接对比精神分裂症患者和强迫症患者脑成像特征的研究较少。Bleich-Cohen 等<sup>[36]</sup>在听觉动词生成任务中使用 fMRI 比较了精神分裂症患者、强迫症患者、伴强迫症精神分裂症患者与正常对照组在语言处理过程中的区域激活模式,结果显示,强迫症患者的语言处理与正常对照组的语言处理差异无统计学意义,但精神分裂症患者和伴强迫症精神分裂症患者的语言处理相似,都表现为语言侧向化和左右半球额下回功能连接性降低,语言处理出现异常。Bleich-Cohen 等<sup>[37]</sup>的另一项类似研究也表明,强迫症患者的语言处理无明显异常,精神分裂症患者表现为语言侧向化和左右半球额下回功能连接性降低,且左右半球额下回功能连接性降低与阴性症状有关。

#### 2.4 大脑连接组分析的研究

大脑连接组分析(脑结构网络和脑功能网络)是目前脑科学领域较为前沿的研究方向和研究热点之一,主要驱动力是图论的模型和方法<sup>[38-39]</sup>。在图论中,大脑网络可以抽象为由节点(node)和边(edge)构成的图,节点表示单个神经元或整个脑区域,即网络的基本单元,边表示这些基本单元之间的联系<sup>[38-39]</sup>。基于图论的方法可以研究大脑网络的拓扑属性,主要指标包括全局指标[局部效率(Local Efficiency)、全局效率(Global Efficiency)、集群系数

(Clustering Coefficient)、最短路径(Shortest Length)、小世界属性(Small-World)]和局部指标[节点度中心性(Nodal Degree Centrality)和节点效率(Nodal Efficiency)]<sup>[40]</sup>。其中脑结构网络的构建需要提取每个大脑区域的度量(例如灰质体积、皮层厚度或其他类似指标)作为节点,然后将两个大脑区域之间的相关性定义为感兴趣脑区的结构网络的边<sup>[41-42]</sup>。

Crossley 等<sup>[43]</sup>采用 Meta 分析比较了诸多精神疾病患者的脑结构网络特征,结果显示,与其他严重的精神疾病患者相比,强迫症患者结构网络中核心节点相对更少。Qin 等<sup>[44]</sup>将图论和基于网络的统计分析(NBS)方法应用于 DTI 成像研究,纳入了 29 例精神分裂症患者、29 例强迫症患者和 65 例正常对照组,与正常对照组相比,强迫症患者眶额回和额中回的节点效率和强度更低,而精神分裂症患者眶额回、额中回、梭状回、颞横回、距状回、舌回、壳核和丘脑等多个脑区都出现节点效率和强度的异常。与强迫症患者相比,精神分裂症患者在纹状体与视觉/听觉皮层之间的连接强度降低。提示精神分裂症患者和强迫症患者可表现出不同程度的脑结构网络损伤和拓扑属性异常,精神分裂症患者的脑网络损伤更严重、更广泛。Cauda 等<sup>[45]</sup>基于结构协变网络的分析方法比较了精神分裂症谱系障碍患者和强迫症谱系障碍患者的结构网络模式,结果显示两种疾病患者的大脑均存在结构网络共同萎缩(灰质体积减少)的情况。此结构协变网络可以区分出由 11 个高度连接的节点组成的子网,该子网包括前岛叶、额下区域、左颞上区域、左海马旁区域、左丘脑和右中央前回等脑区。既往对比精神分裂症患者和强迫症患者大脑连接组分析的研究较少,且使用方法有差异,因此未能得到确切结论。

### 3 小结与展望

综上所述,目前在同一研究框架和研究条件下直接对比精神分裂症患者和强迫症患者的神经影像学特征的研究较少,二者之间的 MRI 成像特征的比较结果也尚无一致结论。既往研究纳入的研究对象多为慢性精神疾病患者,对首发未用药患者的研究较少,无法明确两种疾病之间 MRI 成像的差异是由于疾病特征差异所致,还是使用不同的抗精神病药物形成的差异,且无法排除疾病病程对患者脑 MRI 成像的影响。多数研究未纳入伴强迫症精神分裂症患者,且未考虑样本的异质性。相关研究中,横断面研究较多,纵向研究或回顾性研究较少,

且对影像学异常指标与认知功能等临床症状关系的研究较有限。未来可以采用大样本分析研究,采用多模态 MRI 成像并结合多种神经影像和电生理技术,如 fMRI、脑电图<sup>[46]</sup>和脑磁图<sup>[47]</sup>等,更深入地探索这两种疾病之间的关系。

## 参考文献

- [1] Poyurovsky M, Zohar J, Glick I, et al. Obsessive-compulsive symptoms in schizophrenia: implications for future psychiatric classifications[J]. *Compr Psychiatry*, 2012, 53(5): 480-483.
- [2] Hawco C, Voineskos AN, Radhu N, et al. Age and gender interactions in white matter of schizophrenia and obsessive compulsive disorder compared to non-psychiatric controls: commonalities across disorders[J]. *Brain Imaging Behav*, 2017, 11(6): 1836-1848.
- [3] Cheng YF, Chen VC, Yang YH, et al. Risk of schizophrenia among people with obsessive-compulsive disorder: a nationwide population-based cohort study[J]. *Schizophr Res*, 2019, 209: 58-63.
- [4] Meier SM, Petersen L, Pedersen MG, et al. Obsessive-compulsive disorder as a risk factor for schizophrenia: a nationwide study[J]. *JAMA Psychiatry*, 2014, 71(11): 1215-1221.
- [5] Wang YM, Zou LQ, Xie WL, et al. Altered functional connectivity of the default mode network in patients with schizo-obsessive comorbidity: a comparison between schizophrenia and obsessive-compulsive disorder[J]. *Schizophr Bull*, 2019, 45(1): 199-210.
- [6] Schirmbeck F, Mier D, Esslinger C, et al. Increased orbitofrontal cortex activation associated with "pro-obsessive" antipsychotic treatment in patients with schizophrenia [J]. *J Psychiatry Neurosci*, 2015, 40(2): 89-99.
- [7] Kahn RS, Sommer IE, Murray RM, et al. Schizophrenia[J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2015, 1: 15067.
- [8] Stein DJ, Costa DLC, Lochner C, et al. Obsessive-compulsive disorder[J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2019, 5(1): 52.
- [9] Yousaf T, Dervenoulas G, Politis M. Advances in MRI methodology[J]. *Int Rev Neurobiol*, 2018, 141: 31-76.
- [10] Suzuki M, Kawasaki Y, Takayanagi Y, et al. [Structural MRI-based classification: possible contributions to clinical diagnosis of schizophrenia][J]. *Seishin Shinkeigaku Zasshi*, 2012, 114(7): 807-811.
- [11] Nemoto K. [Understanding voxel-based morphometry][J]. *Brain Nerve*, 2017, 69(5): 505-511.
- [12] Canna A, Russo AG, Ponticorvo S, et al. Automated search of control points in surface-based morphometry [J]. *NeuroImage*, 2018, 176: 56-70.
- [13] Goodkind M, Eickhoff SB, Oathes DJ, et al. Identification of a common neurobiological substrate for mental illness [J]. *JAMA Psychiatry*, 2015, 72(4): 305-315.
- [14] Kwon JS, Shin YW, Kim CW, et al. Similarity and disparity of obsessive-compulsive disorder and schizophrenia in MR volumetric abnormalities of the hippocampus-amygdala complex [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2003, 74(7): 962-964.
- [15] Kang DH, Kim SH, Kim CW, et al. Thalamus surface shape deformity in obsessive-compulsive disorder and schizophrenia [J]. *Neuroreport*, 2008, 19(6): 609-613.
- [16] Kim JJ, Youn T, Lee JM, et al. Morphometric abnormality of the insula in schizophrenia: a comparison with obsessive-compulsive disorder and normal control using MRI [J]. *Schizophr Res*, 2003, 60(2-3): 191-198.
- [17] Riffkin J, Yucel M, Maruff P, et al. A manual and automated MRI study of anterior cingulate and orbito-frontal cortices, and caudate nucleus in obsessive-compulsive disorder: comparison with healthy controls and patients with schizophrenia [J]. *Psychiatry Res*, 2005, 138(2): 99-113.
- [18] Ha TH, Yoon U, Lee KJ, et al. Fractal dimension of cerebral cortical surface in schizophrenia and obsessive-compulsive disorder[J]. *Neurosci Lett*, 2005, 384(1-2): 172-176.
- [19] 张晓晰, 李静, 廖金敏, 等. 精神分裂症和强迫障碍患者的全脑灰质体积及静息态脑功能局部一致性[J]. *中国心理卫生杂志*, 2017, 31(10): 768-774.
- [20] Wang YM, Zou LQ, Xie WL, et al. Altered grey matter volume and cortical thickness in patients with schizo-obsessive comorbidity [J]. *Psychiatry Res Neuroimaging*, 2018, 276: 65-72.
- [21] Gong Q, Scarpazza C, Dai J, et al. A transdiagnostic neuroanatomical signature of psychiatric illness [J]. *Neuropsychopharmacology*, 2019, 44(5): 869-875.
- [22] Opel N, Goltermann J, Hermesdorf M, et al. Cross-disorder analysis of brain structural abnormalities in six major psychiatric disorders: a secondary analysis of mega- and meta-analytical findings from the ENIGMA consortium [J]. *Biol Psychiatry*, 2020, 88(9): 678-686.
- [23] Singh S, Singh K, Trivedi R, et al. Microstructural abnormalities of uncinate fasciculus as a function of impaired cognition in schizophrenia: a DTI study [J]. *J Biosci*, 2016, 41(3): 419-426.
- [24] Bach M, Laun FB, Leemans A, et al. Methodological considerations on tract-based spatial statistics (TBSS) [J]. *NeuroImage*, 2014, 100: 358-369.
- [25] Kelly S, Jahanshad N, Zalesky A, et al. Widespread white matter microstructural differences in schizophrenia across 4322 individuals: results from the ENIGMA Schizophrenia DTI Working Group[J]. *Mol Psychiatry*, 2018, 23(5): 1261-1269.
- [26] Piras F, Piras F, Caltagirone C, et al. Brain circuitries of obsessive compulsive disorder: a systematic review and meta-analysis of diffusion tensor imaging studies [J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2013, 37(10 Pt 2): 2856-2877.
- [27] White T, Nelson M, Lim KO. Diffusion tensor imaging in psychiatric disorders [J]. *Top Magn Reson Imaging*, 2008, 19(2): 97-109.
- [28] White T, Langen C, Schmidt M, et al. Comparative

- neuropsychiatry: white matter abnormalities in children and adolescents with schizophrenia, bipolar affective disorder, and obsessive-compulsive disorder[J]. *Eur Psychiatry*, 2015, 30(2): 205-213.
- [29] Wang YM, Yang ZY, Cai XL, et al. Identifying schizo-obsessive comorbidity by tract-based spatial statistics and probabilistic tractography [J]. *Schizophr Bull*, 2020, 46(2): 442-453.
- [30] Mwansisya TE, Hu A, Li Y, et al. Task and resting-state fMRI studies in first-episode schizophrenia: a systematic review [J]. *Schizophr Res*, 2017, 189: 9-18.
- [31] Xu Y, Zhuo C, Qin W, et al. Altered spontaneous brain activity in schizophrenia: a meta-analysis and a large-sample study [J]. *Biomed Res Int*, 2015, 2015: 204628.
- [32] Sariya YK, Anand RS. Comparison of separation performance of independent component analysis algorithms for fMRI data [J]. *J Integr Neurosci*, 2017, 16(2): 157-175.
- [33] Zhang R, Volkow ND. Brain default-mode network dysfunction in addiction [J]. *NeuroImage*, 2019, 200: 313-331.
- [34] 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.
- [35] Wang YM, Zou LQ, Xie WL, et al. Altered functional connectivity of the default mode network in patients with schizo-obsessive comorbidity: a comparison between schizophrenia and obsessive-compulsive disorder [J]. *Schizophr Bull*, 2019, 45(1): 199-210.
- [36] Bleich-Cohen M, Poyurovsky M, Hendler T, et al. Does comorbid obsessive-compulsive disorder modify the abnormal language processing in schizophrenia patients? An fMRI study [J]. *Front Hum Neurosci*, 2014, 8: 560.
- [37] Bleich-Cohen M, Sharon H, Weizman R, et al. Diminished language lateralization in schizophrenia corresponds to impaired inter-hemispheric functional connectivity [J]. *Schizophr Res*, 2012, 134(2-3): 131-136.
- [38] Sporns O. Graph theory methods: applications in brain networks [J]. *Dialogues Clin Neurosci*, 2018, 20(2): 111-121.
- [39] Bassett DS, Sporns O. Network neuroscience [J]. *Nat Neurosci*, 2017, 20(3): 353-364.
- [40] Liu J, Li M, Pan Y, et al. Complex brain network analysis and its applications to brain disorders: a survey [J]. *Complexity*, 2017, 2017: 1-27.
- [41] Alexander-Bloch A, Giedd JN, Bullmore E. Imaging structural co-variance between human brain regions [J]. *Nat Rev Neurosci*, 2013, 14(5): 322-336.
- [42] Zhang Y, Lin L, Lin CP, et al. Abnormal topological organization of structural brain networks in schizophrenia [J]. *Schizophr Res*, 2012, 141(2-3): 109-118.
- [43] Crossley NA, Mechelli A, Scott J, et al. The hubs of the human connectome are generally implicated in the anatomy of brain disorders [J]. *Brain*, 2014, 137(Pt 8): 2382-2395.
- [44] Qin J, Sui J, Ni H, et al. The shared and distinct white matter networks between drug-naive patients with obsessive-compulsive disorder and schizophrenia [J]. *Front Neurosci*, 2019, 13: 96.
- [45] Cauda F, Nani A, Costa T, et al. The morphometric co-atrophy networking of schizophrenia, autistic and obsessive spectrum disorders [J]. *Hum Brain Mapp*, 2018, 39(5): 1898-1928.
- [46] Helfrich RF, Knight RT. Cognitive neurophysiology: event-related potentials [J]. *Handb Clin Neurol*, 2019, 160: 543-558.
- [47] Hall EL, Robson SE, Morris PG, et al. The relationship between MEG and fMRI [J]. *NeuroImage*, 2014, 102(Pt 1): 80-91.

(收稿日期:2021-01-29)

(本文编辑:陈霞)