

强迫症的脑结构损伤网络定位研究

张春雷, 刘学军*

青岛大学附属医院放射科, 山东 青岛

收稿日期: 2025年6月15日; 录用日期: 2025年7月9日; 发布日期: 2025年7月15日

摘要

目的: 采用功能连接网络映射(FCNM)方法, 分析强迫症患者脑结构拓扑异常, 揭示其潜在神经病理生理机制。材料与方法: 依据PRISMA指南, 系统性筛选30篇静息态功能磁共振成像研究(含33组对比数据, 1148例患者、1330名健康对照), 提取核心指标并通过FCNM构建静息态异常功能网络。结果: 强迫症灰质体积损伤网络主要包括额下回和额中回、梭状回、岛叶、尾状核、壳核和丘脑, 关于经典的脑网络主要涉及额顶控制网络。结论: 我们的研究整合了先前强迫症研究中不一致的发现, 为强迫症神经病理学提供了一种基于网络的视角。这可能会增强未来的神经调节治疗方法, 并有助于制定有效的、有针对性的强迫症预防策略。

关键词

强迫症, 静息态功能磁共振成像, 功能连接网络映射, 灰质损伤

Study on the Brain Structural Damage Network Localization of Obsessive-Compulsive Disorder

Chunlei Zhang, Xuejun Liu*

Department of Radiology, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: Jun. 15th, 2025; accepted: Jul. 9th, 2025; published: Jul. 15th, 2025

Abstract

Objective: To analyze the abnormal brain structure and topology in patients with obsessive-compulsive disorder (OCD) by using the method of functional connectivity network mapping (FCNM), and to reveal its potential neuropathophysiological mechanism. **Materials and Methods:** According

*通讯作者。

文章引用: 张春雷, 刘学军. 强迫症的脑结构损伤网络定位研究[J]. 临床医学进展, 2025, 15(7): 901-908.
DOI: 10.12677/acm.2025.1572071

to PRISMA guidelines, 30 resting functional magnetic resonance imaging studies (including 33 groups of comparative data, 1148 patients and 1330 healthy controls) were systematically screened, and the core indicators were extracted and the resting abnormal functional network was constructed through FCNM. Results: Obsessive-compulsive disorder gray matter volume injury network mainly includes inferior frontal gyrus and middle frontal gyrus, fusiform gyrus, insula, caudate nucleus, putamen and thalamus, and the classical brain network mainly involves frontoparietal control network. Conclusion: Our study integrates the inconsistent findings in previous studies on obsessive-compulsive disorder and provides a network-based perspective for neuropathology of obsessive-compulsive disorder. This may strengthen the future neuromodulation therapy and help to formulate effective and targeted prevention strategies for obsessive-compulsive disorder.

Keywords

Obsessive-Compulsive Disorder, Resting Functional Magnetic Resonance Imaging, Functional Connectivity Network Mapping, Gray Matter Injury

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

强迫症(OCD)是一种慢性、持续性且使人丧失能力的神经精神疾病,影响着全球约 1%至 3%的人口[1]。它严重干扰了患者的正常生活、职业和社会功能。强迫症可发生于所有年龄段的个体,包括儿童和青少年。成年男性的患病率约为 1%,成年女性为 1.5%,青少年为 2.7%[2]。这种疾病的主要特征是侵入性思维和重复行为,这些行为是为了减轻与这些强迫观念相关的焦虑而进行的[3]。强迫症患者会经历强迫观念和强迫行为的复杂相互作用,这使得病情呈现周期性[1]。尽管患病率很高,但强迫症的发病机制尚未完全阐明。

近年来,随着神经影像学的发展,Biswal 等人于 1995 年描述的功能磁共振成像(resting-state functional magnetic resonance imaging, rs-fMRI)作为一种非侵入性的强大方法,已逐渐应用于包括强迫症在内的神经精神疾病。基于体素的形态测量(VBM)、单光子发射计算机断层扫描(SPECT)、区域均匀性(ReHo)和低频波动幅度(fALFF/ALFF)等方法的应用,使得检查大脑的结构和功能变得越来越可行。大量研究已经发现强迫症患者的灰质体积改变和脑活动异常。已经发现,眶额皮质、颞叶、枕叶、海马旁区域、下丘脑和小脑半球是相对更容易受到影响的区域。

在既往的脑-行为关系研究中,特定的脑区与神经和精神症状相对应,但许多症状与相互连接的区域之间的复杂网络更为密切相关[4]。为了解决这个问题,我们将采用一种经过充分验证的方法,即功能连接网络映射(functional connectivity network mapping, FCNM),它可以将我们感兴趣的大脑位置与从功能成像中获得的人类脑连接组相结合。这种方法还可以将导致相同症状的多个出现异常的大脑区域与特定于某种症状的脑网络联系起来。这种网络定位方法已经应用于各种神经精神症状[5]-[8]。其中一些症状与我们传统上认识的区域定位不匹配,这表明这种基于网络框架的方法可以有效地增强我们将症状与神经解剖学联系起来的能力。

因此,我们将采用 FCNM 方法来研究强迫症患者神经影像学特征的脑网络基础,这有可能从网络的角度统一先前研究中不同的发现。为了实现这一目标,我们首先确定了先前文献中报道的强迫症患者的神经影像学 and 特征性脑变化。通过将这些受影响的大脑位置与大规模的发现和验证静息态 fMRI 数据集

相结合, 我们然后利用 FCNM 来构建功能失调的网络, 以修改和/或扩展先前在强迫症中的发现。

2. 资料与方法

2.1. 研究检索和选择

我们使用 PubMed 和 Web of Science 数据库进行了全面系统的文献检索, 以确定 2022 年 4 月 27 日之前发表的研究强迫症患者大脑结构(灰质体积)差异的研究。研究选择过程的流程图见图 1。该方案已在 PROSPERO 注册(<https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/>; 注册号: CRD420250648288)。由于单个研究可能包含多个对比(即使用成像方式对强迫症患者进行组间比较), 我们的分析以这些对比为中心, 而不是单个研究。我们从每个对比中报告的显著簇中提取峰值体素的坐标, 将坐标从 Talairach 空间转换为蒙特利尔神经学研究所空间。英文检索策略为: (“OCD” OR “obsessive-compulsive disorder” OR “obsessive compulsive disorder”) AND (“neuroimaging” OR “fMRI” OR “cerebral blood flow” OR “CBF” OR “positron emission tomography” OR “PET” OR “single photon emission computed tomography” OR “SPECT” OR “arterial spin labeling” OR “ASL” OR “amplitude of low-frequency fluctuation” OR “ALFF” OR “fractional amplitude of low-frequency fluctuation” OR “fALFF” OR “regional homogeneity” OR “ReHo” OR “resting-state”)。

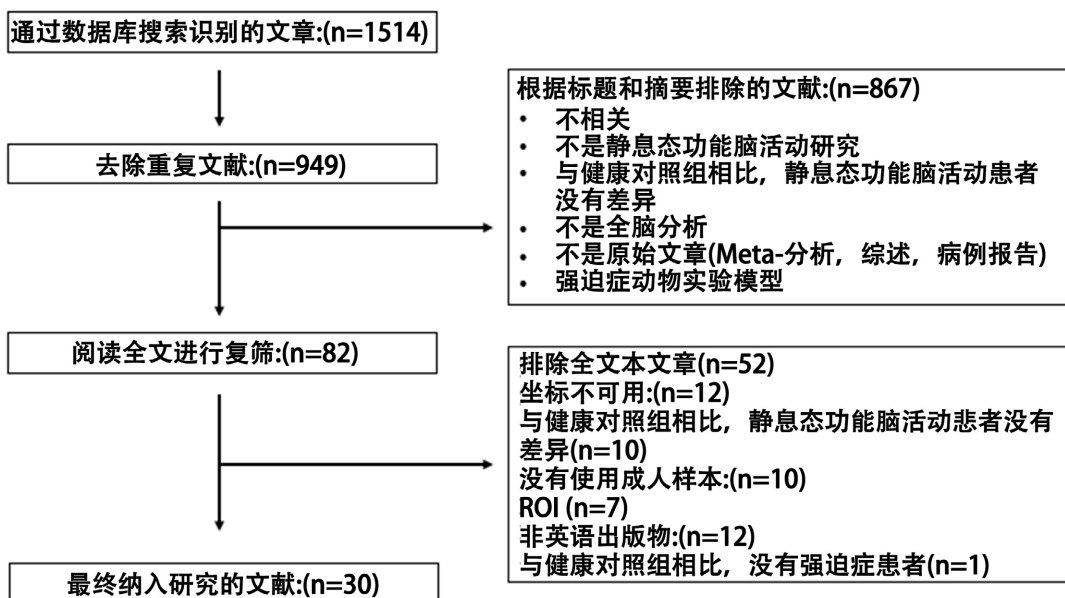


Figure 1. Flowchart of literature retrieval and inclusion and exclusion

图 1. 文献检索及纳入排除的流程图

2.2. 发现和验证数据集

在我们的研究中, 我们使用西南大学成年人毕生发展影像数据库(SALD)作为发现数据集[9], 并使用脑基因组学超级结构项目(GSP)作为验证数据集[10]。SALD 数据集包括 328 名健康成年人(206 名女性; 平均年龄 37.74 [13.76]岁)。SALD 的排除标准包括 MRI 禁忌症、当前的精神或神经疾病、过去三个月内使用精神药物、怀孕以及头部外伤史。详细的样本特征已在另一篇出版物中报道。GSP 数据集包括 1430 名健康成年人(83 名女性; 平均年龄 21.58 [2.93]岁)。所有参与者的年龄都在 18 至 60 岁之间, 以尽量减少神经发育和神经退行性变的影响。本研究获得了青岛大学附属医院伦理委员会的伦理批准(批件号: QDFYWZCC30115)。

2.3. fMRI 数据采集

SALD 数据库采用 3.0-Tesla Siemens Trio 扫描仪, GSP 数据库采用 3.0T Siemens MAGNETOM Trio 扫描仪。rs-fMRI 数据的预处理是应用 SPM12 软件(<https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>)和 DPABI 软件(<https://rfmri.org/DPABI>) [11]根据经过验证的流程进行的[12]-[16]。

2.4. fMRI 数据预处理

为了使信号稳定并适应扫描噪声,每个参与者的前 10 个体积被丢弃。剩余的体积进行了层间时间校正以解决采集时间延迟,然后进行重新对齐以解决时间点之间的运动。头部运动通过估计每个体积的平移和旋转运动来评估,确保所有参与者都保持在规定的阈值内(最大平移或旋转运动小于 2 mm 或 2°)。还计算了帧间位移以评估体积间的头部位置变化。几个干扰协变量,包括线性漂移、基于 Friston-24 模型的估计运动参数、帧间位移大于 0.5 毫米的尖峰体积,以及来自全局、白质和脑脊液的信号,都被回归出去。我们包括全局信号回归,因为它可以增强系统特异性相关性的检测,并更紧密地与解剖连接保持一致[17]。随后,数据被带通滤波到 0.01 至 0.1 Hz 的频率范围。在归一化过程中,个体结构图像与平均功能图像进行配准,分割,并使用通过指数李代数的微分同胚解剖配准[18]归一化到蒙特利尔神经学研究所空间。过滤后的功能体积使用获得的变形参数空间归一化到相同的空间,并重新采样到 3 毫米各向同性体素。最后,所有数据都使用 $6 \times 6 \times 6 \text{ mm}^3$ 的高斯核进行空间平滑,半高全宽。

2.5. 功能连接网络映射

本研究采用 FCNM 方法,基于提取的强迫症患者静息态活动差异坐标,构建功能损伤网络(见图 2)。具体步骤如下:① 在每个对比坐标周围构建 4 mm 半径球体,合并为种子点掩膜(简称“种子点”);② 利用 SALD 预处理后的 fMRI 数据,计算每位参与者对比种子与全脑的功能连接图谱(Pearson 相关系数分析后进行 FisherZ 转换以增强正态性);③ 对 328 名受试者的功能连接图谱进行体素水平单样本 t 检验,筛选与对比种子存在功能连接的脑区;④ 仅保留正功能连接(负功能连接的生物学意义尚存争议[11][19]),对组水平 t 图谱进行阈值化及二值化处理($p < 0.05$),采用体素水平错误发现率(FDR)校正多重比较;⑤ 基于二值化图谱生成网络概率图谱,以 60%重叠阈值定义强迫症静息态功能损伤网络。

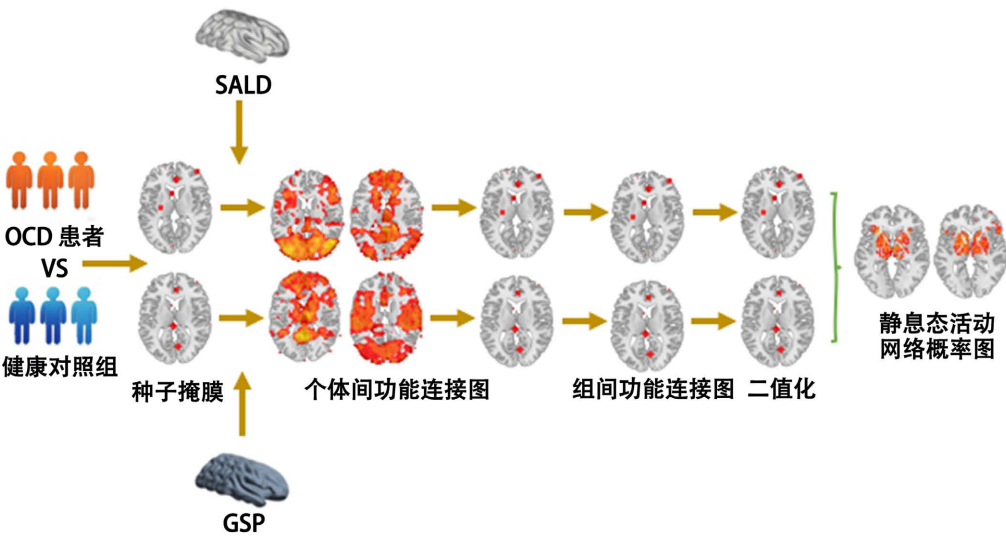


Figure 2. Research design and analysis process
图 2. 研究设计与分析流程

3. 结果

3.1. 一般资料

依据纳排标准, 我们的分析包括 30 项研究(含 33 组对比数据, 1148 例患者、1330 名健康对照)。纳入研究的样本及成像特征详见图 3。

作者	人口统计学特征		诊断标准	临床特征			HAM-D-17评分	影像学特征	
	总/女	年龄(岁)		Y-BOCS 评分				设备	方法
				总计	强迫思维	强迫行为			
(J.-J. Kim et al., 2018)	25/8	27.4±7.0	DSM-IV	24.2±8.0	13.0±3.3	11.2±5.0	NA	1.5T MRI	GMV
(Pujolet et al., 2004)	72/32	29.8±10.5	DSM-IV	26.7±7.1	13.7±3.4	13.0±4.8	12.7±5.4	1.5T MRI	GMV
(Valente et al., 2005)	19/9	32.7±8.8	DSM-IV	24.6±7.4	NA	NA	NA	1.5T MRI	GMV
(Valente et al., 2005)	12/		DSM-IV	NA	NA	NA	NA	1.5T MRI	GMV
(Real et al., 2016)	68/26	34.81±9.65	DSM-IV	25.96±5.81	12.93±3.04	13.04±2.96	NA	1.5T MRI	GMV
(Real et al., 2016)	56/36	35.02±9.49	DSM-IV	26.39±5.65	12.98±3.03	13.41±2.80	NA	1.5T MRI	GMV
(Cecconi et al., 2008)	5/3	35±11.07	DSM-IV	32.2±1.48	NA	NA	NA	1.5T MRI	GMV
(Christian et al., 2008)	21/8	14.6±1.7	DSM-IV	27.0±5.2	13.1±2.9	13.9±2.9	NA	1.5T MRI	GMV
(Gilbert et al., 2008)	25/12	37.5±10.7	DSM-IV	26.9±10.8	NA	NA	NA	1.5T MRI	GMV
(Yoo et al., 2008)	71/24	26.61±7.50	DSM-IV	22.84±8.40	12.35±4.31	10.49±5.00	NA	1.5T MRI	GMV
(van den Heuvel et al., 2008)	55/39	3.7±9.19	DSM-IV	22.83±6.13	NA	NA	NA	1.5T MRI	GMV
(Koprivová et al., 2009)	15/9	28.6	DSM-IV	16.4±7.0	8.1±2.9	8.2±4.5	NA	3.0T MRI	GMV
(Togao et al., 2010)	23/14	32.6±9.7	DSM-IV	29.8±2.6	15.2±1.2	14.6±1.6	NA	1.5T MRI	GMV
(Matsumoto et al., 2010)	16/9	32.8±7.5	DSM-IV	22±7.6	NA	NA	NA	1.5T MRI	GMV
(Exner, Zetsche, Martin, Rief, & Jansen, 2012)	23/14	31.3±9.3	DSM-IV	22.3±7.3	11.1±4.4	11.2±4.3	NA	1.5T MRI	GMV
(He et al., 2013)	33/15	25.3±9.6	DSM-IV	21.1±6.3	11.3±3.6	9.8±3.9	NA	3.0T MRI	GMV
(Tan et al., 2013)	28/9	25.35±7.24	DSM-IV	NA	NA	NA	NA	1.5T MRI	GMV
(Wanjie Tang et al., 2013)	18/7	25.5±6.7	DSM-IV	28.9±3.0	NA	NA	9.1±2.7	3.0T MRI	GMV
(Nakaaki et al., 2014)	15/8	32.5±7.7	DSM-IV	33.1±5.3	16.8±2.9	16.2±2.7	NA	1.5T MRI	GMV
(Nakaaki et al., 2014)	24/13	35.7±7.2	DSM-IV	33.3±4.2	16.7±2.1	16.5±2.6	NA	1.5T MRI	GMV
(Spalletta, Piras, Fagioli, Caltagirone, & Piras, 2014)	20/8	33.10±8.85	DSM-IV	24.78±6.68	NA	NA	NA	3.0T MRI	GMV

Figure 3. Features of the 24 studies included

图 3. 纳入 24 项研究的特征

3.2. OCD 灰质体积损伤网络

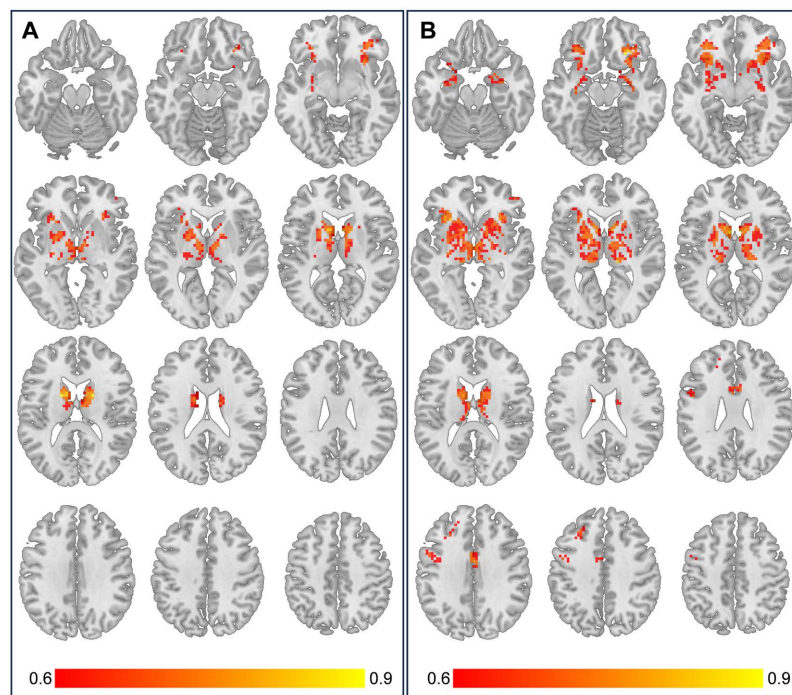


Figure 4. Distribution of abnormal brain regions in the core of the OCD injury network (4 mm). (A) SID database; (B) GSP database

图 4. OCD 损伤网络核心异常脑区分布(4 mm)。(A) SALD 数据库; (B) GSP 数据库

强迫症灰质体积损伤网络包括广泛分布的脑区, 主要包括额下回和额中回、梭状回、岛叶、尾状核、壳核和丘脑(见图 4)。关于经典的脑网络, 强迫症灰质体积损伤网络主要涉及额顶控制网络(重叠比例: 9.68%)和边缘网络(重叠比例: 5.78%) (图 5(A))。

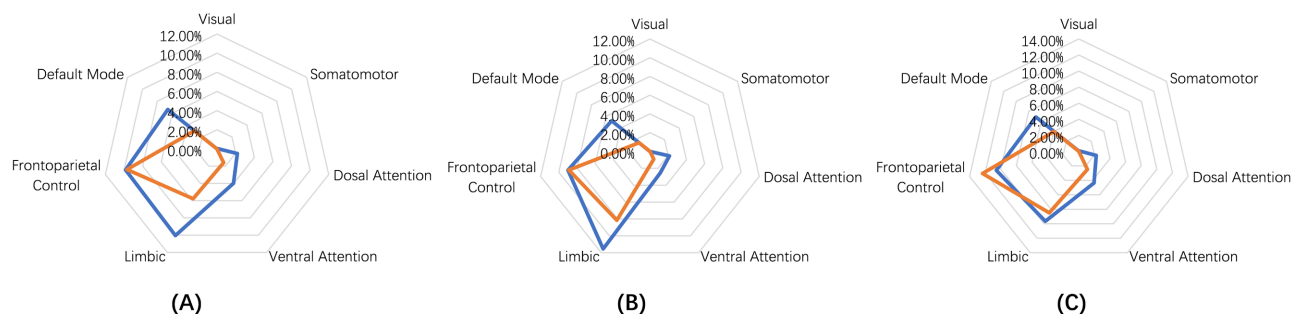


Figure 5. Spatial overlap rate of seed point injury networks with different radii and classical brain networks. (A) 4 mm radius; (B) 1 mm radius; (C) 7 mm radius

图 5. 不同半径种子点损伤网络与经典脑网络的空间重叠率。(A) 4 mm 半径; (B) 1 mm 半径; (C) 7 mm 半径

3.3. 验证分析

OCD 灰质损伤网络在不同感兴趣区(ROI)种子点设置下稳定性显著, 且在发现数据库(SALD)与验证数据库(GSP)中较为一致, 核心异常集中于边缘网络和额顶叶控制网络(FPCN)。具体而言, 两数据库均检测到 FPCN 及边缘网络的功能连接异常, 当种子点半径扩展至 7 mm 时, 两网络核心节点被异常信号进一步覆盖。GSP 数据库的跨种子点验证表明, FPCN 及边缘网络的结构损伤具有鲁棒性(见图 5)。跨数据库与种子点的一致性结果表明, 边缘网络异常并非数据或参数依赖的偶然发现, 而是 OCD 灰质损伤的稳健特征, 进一步支持其作为核心枢纽的结论。

4. 讨论

在我们对大规模人脑连接组数据的研究中, 我们使用了创新的 FCNM 方法。在先前研究确定强迫症患者大脑结构的基础上, 我们探索了该疾病影响的脑网络的定位。分析表明, 受强迫症影响的灰质体积网络涉及广泛分布的区域, 主要包括边缘网络以及额顶控制网络。我们的发现可能有助于调和先前不同的神经影像学结果, 并从基于网络的角度为强迫症的神经生物学机制提供见解。最终, 这可能有助于更全面地理解强迫症的病理生理学, 并促进开发更有针对性和有效的治疗和干预策略。

精神疾病的神经影像学应用通常会产生不稳定的结果, 由于样本量小和人群异质性问题, 这更使得研究结果转化为临床实践变得复杂。为了应对这些挑战, 基于坐标的神经影像学分析有助于评估跨研究与特定疾病相关的脑区的空间收敛性。神经处理过程是通过相互连接的网络运行, 而不是孤立的区域运作[4], 这使得我们的研究已经从关注单个脑区转向研究共同连接的网络, 这种转变得到了 FCNM 方法的发展的推动, 该方法将特定的大脑位置与大规模的连接组数据相结合。FCNM 假设导致同一疾病的大脑异常可能位于不同的区域, 但同时处于同一个网络内。这种方法已被用于将传统定位无法解释的神经精神症状映射到特定的脑网络上。最近关于强迫症神经生物学标志物的研究已经确定了与该疾病相关的收敛性区域异常。在先前发现的基础上, 我们利用 FCNM 方法从连接组学的角度探索强迫症的网络基础。这种方法进一步证明了 FCNM 在将精神症状与神经解剖结构联系起来方面的广泛潜力。

尽管结构损伤网络的稳定性因不同的数据库和感兴趣区域(ROI)而异, 但在强迫症的背景下已经确定了某些共性。具体来说, 已经观察到额顶控制和边缘网络的参与。这一观察结果与 Wen 等人(2025)的发

现一致[20], 他们在两种强迫症亚型中发现了灰质结构异常。亚型 1 显示额回等区域的灰质体积增加, 而亚型 2 显示梭状回等区域的体积减少, 疾病中心集中在纹状体和丘脑。这些发现与我们的观察结果一致, 并为强迫症的复杂性提供了见解。梭状回、颞下回、基底神经节(包括尾状核、壳核和核外结构)和丘脑一直与强迫症病理相关, 主要涉及边缘网络。这些区域的功能障碍被认为导致了强迫症的强迫行为和情绪失调, 神经影像学研究强调了异常, 尤其是在基底神经节、梭状回和丘脑。功能性 MRI 研究表明, 在认知任务期间这些区域的激活减少, 这与反应抑制受损和功能连接异常相关[21]。此外, 强迫症患者中皮质-纹状体-丘脑-皮质(CSTC)回路失调, 丘脑和基底神经节之间的连接改变, 表明这种不平衡的额-苍白神经回路是认知僵化和强迫行为的基础[22]。元分析研究加强了这些发现, 一致强调颞下回和丘脑的灰质改变是强迫症神经生物学的关键因素[23]。基于体素的形态测量分析显示, 皮质变薄以及纹状体和丘脑的组织扩张, 进一步表明这些结构在强迫症病理生理学中的作用[24]。与其他焦虑相关障碍的比较显示, 灰质改变重叠, 尤其是在颞下回、丘脑和基底神经节, 表明存在共同的神经生物学基础。尽管不同研究之间存在一些差异, 但一个清晰的模式出现了: 梭状回、颞下回、基底神经节和丘脑是强迫症结构损伤网络的核心。这些区域导致边缘和 CSTC 通路功能障碍, 这对调节强迫行为和情绪反应至关重要。神经影像学、元分析和功能连接研究的证据共同强调了它们在强迫症病理中的重要性, 为靶向干预提供了潜在途径。

本研究通过独立数据集验证坐标网络映射方法, 增强了结论可靠性。局限性如下: 首先, 我们的文献检索包括所有基于各种情况下存在共同的强迫症相关网络的假设的诊断。然而, 这种方法可能没有充分考虑到不同的情况可能涉及强迫症的不同网络底物的可能性, 这可能会限制我们的发现在不同临床背景下的普遍性。此外, 我们依赖于健康成年人的静息态 fMRI 数据, 这并不完全反映所选研究中患者的人口统计和临床特征。健康对照和临床人群之间的这种差异可能会影响我们的结果对强迫症患者的适用性。为了尽量减少选择偏倚, 我们使用了已发表的坐标数据, 但这种方法需要进一步的前瞻性验证, 以确认我们的发现的稳健性和可靠性。此外, 在我们对灰质体积损伤网络的分析中, 我们观察到不稳定性与与现有网络的不一致。这可能是由于研究质量的差异或该领域研究中存在的大量异质性。这种可变性强调了该领域持续存在的不确定性, 并突出了对更一致的方法的需求。

5. 结论

总之, 这些结果表明强迫症涉及多个大规模网络, 反对孤立回路的概念。过度活跃的默认模式网络(DMN)、失调的额顶控制网络和高度连接的皮质-纹状体-丘脑-皮质(CSTC)环路共同构成了强迫症核心症状的神经生物学基础。这些功能障碍形成了理解侵入性思维和强迫行为的神经生物学基础。未来的研究应侧重于精确的神经调节策略, 以恢复这些受损网络中的功能连接, 有可能为强迫症治疗提供新的治疗途径。

作者利益冲突声明

全体作者均声明无利益冲突。

参考文献

- [1] Laving, M., Foroni, F., Ferrari, M., Turner, C. and Yap, K. (2022) The Association between OCD and Shame: A Systematic Review and Meta-Analysis. *British Journal of Clinical Psychology*, 62, 28-52. <https://doi.org/10.1111/bjc.12392>
- [2] Niu, Q., Yang, L., Song, X., Chu, C., Liu, H., Zhang, L., et al. (2017) Abnormal Resting-State Brain Activities in Patients with First-Episode Obsessive-Compulsive Disorder. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 13, 507-513. <https://doi.org/10.2147/ndt.s117510>
- [3] Zhu, Y., Fan, Q., Zhang, H., Qiu, J., Tan, L., Xiao, Z., et al. (2016) Altered Intrinsic Insular Activity Predicts Symptom

- Severity in Unmedicated Obsessive-Compulsive Disorder Patients: A Resting State Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *BMC Psychiatry*, **16**, Article No. 104. <https://doi.org/10.1186/s12888-016-0806-9>
- [4] Fornito, A., Zalesky, A. and Breakspear, M. (2015) The Connectomics of Brain Disorders. *Nature Reviews Neuroscience*, **16**, 159-172. <https://doi.org/10.1038/nrn3901>
 - [5] Peng, S., Xu, P., Jiang, Y. and Gong, G. (2022) Activation Network Mapping for Integration of Heterogeneous fMRI Findings. *Nature Human Behaviour*, **6**, 1417-1429. <https://doi.org/10.1038/s41562-022-01371-1>
 - [6] Joutsa, J., Moussawi, K., Siddiqi, S.H., Abdolahi, A., Drew, W., Cohen, A.L., *et al.* (2022) Brain Lesions Disrupting Addiction Map to a Common Human Brain Circuit. *Nature Medicine*, **28**, 1249-1255. <https://doi.org/10.1038/s41591-022-01834-y>
 - [7] Darby, R.R., Joutsa, J. and Fox, M.D. (2019) Network Localization of Heterogeneous Neuroimaging Findings. *Brain*, **142**, 70-79. <https://doi.org/10.1093/brain/awy292>
 - [8] Taylor, J.J., Lin, C., Talmasov, D., Ferguson, M.A., Schaper, F.L.W.V.J., Jiang, J., *et al.* (2023) A Transdiagnostic Network for Psychiatric Illness Derived from Atrophy and Lesions. *Nature Human Behaviour*, **7**, 420-429. <https://doi.org/10.1038/s41562-022-01501-9>
 - [9] Wei, D., Zhuang, K., Ai, L., Chen, Q., Yang, W., Liu, W., *et al.* (2018) Structural and Functional Brain Scans from the Cross-Sectional Southwest University Adult Lifespan Dataset. *Scientific Data*, **5**, Article No. 180134. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.134>
 - [10] Buckner, R.L., Roffman, J.L. and Smoller, J.W. (2014) Brain Genomics Superstruct Project (GSP). DS.
 - [11] Yan, C., Wang, X., Zuo, X. and Zang, Y. (2016) DPABI: Data Processing & Analysis for (Resting-State) Brain Imaging. *Neuroinformatics*, **14**, 339-351. <https://doi.org/10.1007/s12021-016-9299-4>
 - [12] Mo, F., Zhao, H., Li, Y., Cai, H., Song, Y., Wang, R., *et al.* (2024) Network Localization of State and Trait of Auditory Verbal Hallucinations in Schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, **50**, 1326-1336. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbae020>
 - [13] Zhang, X., Xu, R., Ma, H., Qian, Y. and Zhu, J. (2024) Brain Structural and Functional Damage Network Localization of Suicide. *Biological Psychiatry*, **95**, 1091-1099. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2024.01.003>
 - [14] Cheng, Y., Cai, H., Liu, S., Yang, Y., Pan, S., Zhang, Y., *et al.* (2025) Brain Network Localization of Gray Matter Atrophy and Neurocognitive and Social Cognitive Dysfunction in Schizophrenia. *Biological Psychiatry*, **97**, 148-156. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2024.07.021>
 - [15] Yang, H., Gu, S., Sun, H., Zhang, F., Dai, Z. and Pan, P. (2025) Neural Network Localization in Parkinson's Disease with Impulse Control Disorders. *Frontiers in Aging Neuroscience*, **17**, Article 1549589. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2025.1549589>
 - [16] Xu, R., Zhang, X., Zhou, S., *et al.* (2024) Brain Structural Damage Networks at Different Stages of Schizophrenia. *Psychological Medicine*, **54**, 1-11.
 - [17] Murphy, K. and Fox, M.D. (2017) Towards a Consensus Regarding Global Signal Regression for Resting State Functional Connectivity MRI. *NeuroImage*, **154**, 169-173. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.11.052>
 - [18] Ashburner, J. (2007) A Fast Diffeomorphic Image Registration Algorithm. *NeuroImage*, **38**, 95-113. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.07.007>
 - [19] Murphy, K., Birn, R.M., Handwerker, D.A., Jones, T.B. and Bandettini, P.A. (2009) The Impact of Global Signal Regression on Resting State Correlations: Are Anti-Correlated Networks Introduced? *NeuroImage*, **44**, 893-905. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.09.036>
 - [20] Wen, B., Fang, K., Tao, Q., Tian, Y., Niu, L., Shi, W., *et al.* (2025) Individualized Gray Matter Morphological Abnormalities Unveil Two Neuroanatomical Obsessive-Compulsive Disorder Subtypes. *Translational Psychiatry*, **15**, Article No. 23. <https://doi.org/10.1038/s41398-025-03226-5>
 - [21] Kang, D., Jang, J.H., Han, J.Y., Kim, J., Jung, W.H., Choi, J., *et al.* (2013) Neural Correlates of Altered Response Inhibition and Dysfunctional Connectivity at Rest in Obsessive-Compulsive Disorder. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, **40**, 340-346. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2012.11.001>
 - [22] Kim, T., Kim, M., Jung, W.H., Kwak, Y.B., Moon, S., Kyungjin Lho, S., *et al.* (2022) Unbalanced Fronto-Pallidal Neurocircuit Underlying Set Shifting in Obsessive-Compulsive Disorder. *Brain*, **145**, 979-990. <https://doi.org/10.1093/brain/awab483>
 - [23] Eng, G.K., Sim, K. and Chen, S.A. (2016) Meta-Analytic Investigations of Structural Grey Matter, Executive Domain-Related Functional Activations, and White Matter Diffusivity in Obsessive Compulsive Disorder: An Integrative Review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **52**, 233-257. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.03.002>
 - [24] Piras, F., Piras, F., Chiapponi, C., Girardi, P., Caltagirone, C. and Spalletta, G. (2015) Widespread Structural Brain Changes in OCD: A Systematic Review of Voxel-Based Morphometry Studies. *Cortex*, **62**, 89-108. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.01.016>