

综 述

神经影像学在青少年非自杀性自伤行为中的研究进展*

刘 启¹ 陈丽娟^{1,2} 王梅云^{1,2}
陈传亮^{1,2,*}

1.郑州大学人民医院影像科

2.河南省人民医院影像科 (河南 郑州 450003)

【摘要】非自杀性自伤(Non-Suicidal Self-Injury, NSSI)是指个体在无自杀意图的状态下直接伤害自己的行为,其主要与抑郁症等神经心理性疾病相关,在青少年中的发生率较高,严重危害了青少年的身心健康。目前NSSI的发病机制复杂,作用机制尚不清楚,影像学为探究NSSI的发病机制提供了新的视角,尤其是基于磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)的神经影像学可以从脑部结构、功能及代谢等方面分析NSSI的神经病理学机制,在NSSI的干预、诊断、治疗及预后具有重要作用。本文将对多模态磁共振成像在NSSI的神经影像学研究进展进行综述。

【关键词】非自杀性自伤; 磁共振成像; 神经影像学

【中图分类号】R332.8; R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】国家自然科学基金面上项目(82371934);
国家重点研发计划项目(2022YFC2406906);
河南省医学科技攻关项目(LHGJ20220059)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.06.057

Research Progress of Neuroimaging in Adolescent Non-suicidal Self-injury*

LIU Qi¹, CHEN Li-juan^{1,2}, WANG Mei-yun^{1,2}, CHEN Chuan-liang^{1,2,*}.

1.Department of Medical Imaging, Zhengzhou University People's Hospital, Zhengzhou 450003, Henan Province, China

2.Department of Medical Imaging, Henan Provincial People's Hospital, Zhengzhou 450003, Henan Province, China

ABSTRACT

Non-Suicidal Self-Injury (NSSI) is a kind of behavior in which a patient injures himself or herself without suicidal intent, which is mainly associated with neuropsychological disorders such as depression, with a higher incidence in adolescents, thus it seriously jeopardizes the physical and mental health of adolescents. At present, the pathogenesis of NSSI is complex and unclear, and imaging provides a new perspective for exploring the pathogenesis, especially the Neuroimaging which is based on Magnetic Resonance Imaging (MRI) can be used to analyze the neuropathological mechanism of NSSI from the structure of the brain, brain function and brain metabolism, and has an important role in the intervention, diagnosis, treatment, and prognosis of NSSI. This article reviews the Neuroimaging study of multimodal MRI in NSSI.

Keywords: Non-suicidal Self-injury(NSSI); Magnetic Resonance Imaging(MRI); Neuroimaging

非自杀性自伤(Non-Suicidal Self-Injury, NSSI)是指个体在没有自杀意图的情况下,直接伤害自己身体组织的行为,其中包括切割、刺伤、烧伤、自我惩罚等^[1],2012年1月至2022年9月期间,青少年NSSI行为的总检出率为25%,其中,女生的检出率为26%,男生的检出率为24%^[2]。NSSI的患病率在12岁前开始增高,14-16岁达到峰值^[3-4]。有研究表明NSSI可能与特定的社会心理因素、大脑功能异常、神经化学代谢紊乱、下丘脑-垂体-肾上腺轴(HPA)轴功能障碍、异常疼痛感知和表观遗传改变相关^[5]。非自杀性自伤严重危害青少年的身心健康,已经被视作一项重大公共卫生问题,目前尽管已经采取一系列预防措施,但有效性仍受限,其根本原因在于NSSI机制复杂,加之因缺乏有效研究手段而对其研究尚不充分,导致有效干预措施的开发和实施面临难题^[6-7]。影像学为理解NSSI的生物学基础、发展预防策略和治疗方法提供了新的视角和工具,特别是基于磁共振(magnetic resonance imaging, MRI)的神经影像学在探究NSSI的发病机制、干预评估、疼痛处理机制识别与NSSI行为相关的生物标志物等方面提供有利工具。因此,本文将对基于多模态MRI分析NSSI的影像学的研究进行回顾性分析,为以后进一步深入研究提供参考。

1 结构磁共振成像(structural magnetic resonance imaging, sMRI)

sMRI在神经影像学中有着广泛的应用,首先,通过获取相应脑区的高分辨率解剖图像,进而分析神经疾病的异常结构特点,对于探究抑郁症、焦虑症、强迫症等疾病的诊断、临床表现及预后非常有价值。其次,通过对多时间点的sMRI图像进行分析比较,可以了解同一脑区在不同时间段的变化特点,对于了解神经疾病的进展有一定帮助,另外,可以对大量sMRI图像进行处理分析获得各个脑区结构间的结构连接和网络模型,对于研究神经疾病的结构网络改变有重要意义,总之sMRI在神经影像学中的应用广泛,有助于进一步揭示脑结构及精神疾病的机制,并为疾病的诊断、临床症状及预后提供依据。

1.1 三维T1加权成像(3D T1-weighted imaging, 3D-T1WI) 3D-T1WI具有多参数、多方位成像和软组织分辨率高的优势,可清晰显示脑结构并可进行定量分析,因此可以获得脑部结构信息,基于体素的形态测量(Voxel-based morphometry, VBM)可以分析NSSI患者脑部形态结构的改变。Lee S-E等通过VBM探索感兴趣区域中的灰质体积(Gray matter volume, GMV),发现了NSSI患者情感调节等相关脑区差异,即右前岛叶、双侧次级躯体感觉皮层和左侧额下回的GMV显著减少,解释了NSSI患者会进行疼痛感更加强烈的自我伤害行为^[8]。此外,有研究表明NSSI与重复性消极思维(Repetitive negative thought, RNT)和消极自我认知(Negative self-perception, NSP)相关,即无法正常调节消极思维^[9]。而包含杏仁核在内的皮质边缘回路在负性思维调节中起着至关重要的作用^[10]。Ma H, Zhang D等借助影像组学的方法分析出青少年及年轻重度抑郁症患者(Major depressive disorder, MDD)患者的颞回和眶额叶皮层(Orbitofrontal cortex, OFC)的GMV相对较小^[11],Kang L等对260名MDD患者(其中包含有NSSI病史和无NSSI病史的MDD患者)和132名健康对照进行VBM,研究发现与健康对照相比,有NSSI病史的MDD患者的右壳核、右OFC、右嗅觉皮层和右杏仁核GMV显著升高。与无NSSI病史的

【第一作者】刘 启,男,医师,主要研究方向:神经影像学。E-mail: lq1115678787@163.com

【通讯作者】陈传亮,男,主任医师,主要研究方向:放射医学。E-mail: henancc@163.com

MDD患者相比,有NSSI病史的MDD患者右颞上回和右岛叶GMV显著升高^[12]。

1.2 弥散张量成像(Diffusion tensor imaging, DTI) DTI是一种磁共振成像技术,可用于观察和量化水分子在生物组织中的扩散运动。即通过测量水分子在组织中的扩散方向和速率,提供了关于组织微结构的信息。可用于研究白质纤维束完整性^[13],同时已用于对比抑郁症、双向情感障碍、帕金森病等异常大脑与正常大脑的白质微观结构差异^[14-16],从而进一步探究疾病的发病机制。Hu C等通过35例健康对照、47例有NSSI的MDD患者和48例无NSSI的MDD患者研究发现,患者的左背扣带的白质纤维束完整性降低,即白质微观结构受到破坏,同时发现扣带束的白质纤维束完整性降低越明显,NSSI症状会更加明显。本次研究通过增加对照支持了情绪调节的额叶边缘理论,证明了扣带束在有NSSI的青少年MDD患者进展中的作用,为早期NSSI的诊断提供了一种新的可能性^[17]。

2 功能磁共振成像(Functional magnetic resonance imaging, fMRI)

fMRI是利用血液氧合水平变化作为指标,通过采集连续的图像序列来绘制出神经活动的空间分布图。血氧水平依赖(Blood oxygen level dependent, BOLD)信号可以反应血氧水平和大脑活动区域血流量,因此血氧水平依赖功能磁共振成像(Blood oxygen level-dependent functional magnetic resonance imaging, BOLD-fMRI)可分析大脑血流动力学变化来探究该区域神经活动,具有高空间分辨率、无创等优点。fMRI包括任务态功能磁共振成像(Task-state fMRI, T-fMRI)和静息态功能磁共振成像(Resting-state fMRI, rs-fMRI),在抑郁症等精神疾病病因及治疗效果得到了广泛应用^[18-20]。

2.1 静息态fMRI 静息态fMRI即采集被试者大脑不执行具体认知任务,保持安静放松且清醒的状态时的BOLD信号,揭示了大脑最基础和最本质的状态,在多种神经疾病和精神类疾病的诊断和治疗中前景广阔^[21-23]。有文献表明NSSI行为是青少年为调节情绪压抑、管理情绪带来的不良影响及宣泄负面情绪^[24],皮质-边缘系统连接性的降低介导了情绪调节管理的过程,尤其是杏仁核-前额皮层(Prefrontal cortex, PFC)的连接性降低^[25-26],从而减少负面情绪反应。Huang等研究表明,额上回激活减弱与冲动性行为的增加以及情绪调节能力下降相关,另外还发现顶下小叶(Inferior parietal leaflets, IPL)能与决策能力相关,而情绪感知和处理功能障碍可能导致NSSI行为的发生^[27]。最近有研究发现患者舌回的静息态水平增加,而舌回在情绪处理、逻辑推理和视觉信息整合中起着重要作用,因此可能与NSSI行为存在关联,此外又发现内侧额上回(Superior frontal gyrus, SFG)的静息态水平减少,而SFG是默认网络(Default mode network, DMN)的核心区域,其可能介导了NSSI行为的发生^[28-30]。现有研究者利用静息态功能性连接(Resting-state functional connectivity, RSFC)来预测青少年在治疗后NSSI行为改善是否存在关联,发现患者临床症状改善时,右侧杏仁核与右侧额极之间的RSFC增加,且增加的越多症状改善越明显^[31],而另一组研究给出了不同观点,即前扣带回皮层(Anterior cingulate cortex, ACC)和中央旁回(在青少年参与NSSI时受影响的两个大脑区域)之间的静息态连接减低与临床症状改善相关^[32-33]。综上所述,NSSI患者在静息态功能连接上存在异常,尤其是杏仁核功能相关回路,近年来在其相关情绪处理脑区又有了新的发现,但目前影像学相关研究仍较少,未来可借上述思路

拓宽杏仁核等脑区的静息态功能磁共振方向的研究,以探究出相关病因机制及治疗方向。

2.2 任务态fMRI 在神经影像学领域,任务态fMRI被用来研究各种认知功能,如注意力、记忆、语言处理和决策等。通过设计不同的任务态实验,采集被试者在执行记忆、识别及运动等具体任务时的BOLD信号,可以定位到执行任务脑区的活性变化,进而研究任务状态下各脑区的功能及相互作用。目前的研究主要集中在分析情绪调节、奖惩网络及疼痛调节等脑区活性的改变。

2.2.1 情绪处理 Başgöze等通过扫描NSSI患者在Go/NoGo任务期间的任务态fMRI,发现患有NSSI的青少年的认知控制网络显示出不同的激活模式,但主要集中在右侧大脑半球,有研究表明右侧大脑半球主要与情绪相关^[34],研究发现NSSI严重程度越高,在消极图像刺激下有冲动性行为的倾向时,右侧内侧前额叶皮层(Medial prefrontal cortex, mPFC)的活性越高;而在积极图像刺激下有冲动性行为的倾向时,右侧背外侧前额叶皮层(Dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)的活性越高。此外还发现,在消极图像刺激下有冲动性行为的倾向时,右侧尾状核结果与右侧mPFC结果相同,但右侧壳核的附近区域与NSSI严重程度呈负相关^[35],因此,可发现NSSI患者处理消极情绪能力较差。另外有研究发现,NSSI在面对负性刺激,即NSSI行为图像及负面(非NSSI行为)图像时,杏仁核活性减少,扣带皮层(Cingulate cortex, CC)和OFC活性增加,而在面对积极刺激(正面图像)时,杏仁核和OFC活性增加^[36]。上述结果表明NSSI患者在情绪处理方面,使用了不同的情绪调节回路,并且NSSI患者对积极的情绪刺激表现出低于正常的正面反馈,相反,对于消极情绪刺激表现出更加强烈的负面反馈,即情绪调节出现问题。因此可推断出NSSI患者在情绪处理方面主要体现为,对于情绪易冲动且情绪调节能力低。

2.2.2 奖赏网络 奖赏网络核心脑区主要包括前扣带皮层、背侧纹状体、腹侧纹状体、眶额叶皮层、腹外侧前额叶皮层、腹内侧前额叶皮层等,Case等的研究发现NSSI患者在接受奖赏刺激后上述脑区激活减少,这个结果表明,对奖励刺激的敏感性受损可能与NSSI行为的发生相关^[37]。除上述探究NSSI行为与奖赏网络核心脑区激活间的关系外,最近有研究开始探究奖惩网络的功能连接,Lin等对NSSI患者在执行金钱激励延迟(Monetary incentive delay, MID)任务期间进行fMRI扫描后,发现NSSI患者的OFC-楔前叶和OFC-运动辅助区(Supplementary motor area, SMA)功能连接异常增强,其中楔前叶通常与自我反思以及自我对照相关,可以推断OFC-楔前叶功能连接可能导致认知缺陷,此外,由于SMA可以减少或消除适应不良或不利的行为,因此OFC-SMA功能连接异常增加与冲动行为的发生更密切^[38]。

2.2.3 疼痛觉 疼痛网络主要包括背侧前扣带回皮层和前岛叶等,正常人主要表现为上述脑区的激活,而NSSI患者的上述脑区的激活却减少或消失,可能与疼痛觉处理的改变相关^[39],NSSI患者相较于正常人来说,表现为疼痛敏感性的降低,即在进行NSSI行为时感受不到疼痛,且表现为疼痛阈值的升高和持续时间的延长(即耐受性增高)。Lalouni等对实验者施加热痛刺激,结果显示与健康者对比,NSSI患者的躯体感觉相关大脑区域的激活增加,而正常人在负面刺激后会表现为疼痛加重,但NSSI患者的疼痛阈值升高,可以推断出躯体感觉相关大脑区域的激活促进了疼痛抑制反应^[40]。有研究发现NSSI患者前岛叶灰质体积较小,而前岛叶参与对伤害产生情绪反应,因此推断前岛叶体积较小可能反映了NSSI患者在处理疼痛觉情绪方面的困难^[41]。

3 磁共振波谱(Magnetic resonance spectroscopy, MRS)

MRS是一种非侵入性的影像学分析技术,可以客观的反映脑内组织的代谢物变化情况,进而可以对神经疾病进行早期诊断,此外可以监测代谢物随时间的变化情况监测病程的发展情况,除此之外也可有助于了解MDD等疾病的神经代谢机制^[42],其中质子磁共振波谱(H protons magnetic resonance spectroscopy, ¹H-MRS)已被用于检测MDD的生化代谢变化机制^[43]。有研究分析探究有NSSI行为的MDD青少年患者在执行功能及生化代谢的改变,发现有NSSI行为的MDD青少年患者可能存在执行功能障碍,而执行功能障碍可能与左侧丘脑和ACC的N-乙酰天冬氨酸(N-acetyl aspartate, NAA)代谢异常有关。此外,患者还存在丘脑NAA和含胆碱化合物代谢异常。研究还发现可以通过右侧豆状核NAA/肌酐的比值来区分MDD青年患者是否存在NSSI行为^[44]。

4 多模态磁共振成像(multimodal magnetic resonance imaging, MMRI)

MMRI是一种综合运用磁共振成像技术的成像方法,即将sMRI、fMRI、MRS等磁共振技术结合起来多角度多方位获取分析大脑的结构和功能信息,从而探究精神类疾病的神经病理学机制及相关临床表现^[45-47],Kang等将fMRI和3D-T1WI结合对260例MDD患者和132例健康对照进行MMRI扫描(NSSI行为通过访谈的形式进行区分),发现相对于健康对照组,有NSSI行为的MDD患者的壳核GMV、右上OFC ReHo、左侧苍白球度中心性(degree centrality, DC)、壳核-中心功能网络存在明显差异,而与无NSSI行为的MDD患者相比,有NSSI行为的MDD患者在右颞上回(superior temporal gyrus, STG)GMV、右舌回ReHo、全局效率以及小脑-中心功能网络上差异显著,从而推断出有NSSI行为的MDD患者在情绪、疼痛调节和躯体感觉系统相关的区域存在自发性大脑活动和结构失调。更重要的是,右侧STG GMV和小脑环可能在推动MDD患者的产生NSSI行为中发挥重要作用^[48]。

5 小结与展望

综上所述,目前主流研究是了解NSSI行为的患者和健康者的脑区结构以及功能的神经影像学差异,借助脑部解剖结构、脑区功能变化、脑白质外观结构、脑代谢情况等差异情况单方面或多方面分析NSSI神经影像学机制,进而探究NSSI的发生发展和临床特征,以往对于NSSI行为多通过量表进行评估,可能由于量表或评测人员等不同而存在误差,而通过影像学可以量化NSSI的诊断,更具说服力,同时NSSI患者可能存在不同的临床表现,可以借助影像学定位相应脑区,从而为个体化TMS治疗等新兴治疗方式提供依据,此外还可以预测NSSI患者的预后情况。因此,影像学在NSSI的应用前景广阔。然而目前的研究仍存在许多亟待解决的问题,第一,由于NSSI多发生于青少年时期,这个时期处于人体生长的快速阶段,可能与大脑发育的成熟度相关,另外环境等对于NSSI的发生发展也起到一定作用,因此结果可能会因不同个体及不同时间段产生巨大差异。第二,NSSI多数是与精神类疾病伴随出现,因此在选取实验者时的选取标准不同,可能会导致结果不同,且对应脑区存在重叠的情况,无法判断NSSI行为在神经生理上的唯一性。第三,由于NSSI行为与性别关联较大,因此多数研究选取的实验者为女性,男性的占比较少,可能对于实验结果产生一定影响。第四,由于多数实验采取的是横断面研究,缺乏纵向研究,对于探究NSSI的本质也有一定影响。此外,也应有NSSI行为的患者进行内部再分组,如接受不同治疗方式,患病

时间等。NSSI是一种复杂的行为,其神经机制不可能通过单一的MRI研究就能完全理解除了注重研究探索NSSI与抑郁症之间的关系,以后的研究可以借鉴上述问题作为突破口,利用多模态的磁共振影像技术,探究NSSI发病原因以及临床症状等更深层的神经病理学机制。

参考文献

- [1]杜庆贵,茅荣杰,徐阿红,等.120例青少年自伤行为的特征分析[J].上海预防医学,2023,5(12):1243-1245,1252.
- [2]陶梦阳,冯龙飞,郭飞,等.中国青少年非自杀性自伤检出率及影响因素meta分析[J].广西医科大学学报,2023,40(10):1627-1634.
- [3]Deng H,Zhang X,Zhang Y,et al.The pooled prevalence and influential factors of non-suicidal self-injury in non-clinical samples during the COVID-19 outbreak:a meta-analysis[J].Journal of Affective Disorders,2023,343:109-118.
- [4]Chen Y,Hu R,Xu X,et al.The effect of mental health status and family function on nonsuicidal self-injury:a longitudinal analysis of chinese children and adolescents[J].Psychology Research and Behavior Management,2023,16:4491-4500.
- [5]Wu B,Zhang H,Chen J,et al.Potential mechanisms of non-suicidal self-injury (NSSI) in major depressive disorder:a systematic review[J].General Psychiatry,2023,36(4):e100946.
- [6]Xie X,Liu J,Gong X,et al.Relationship between childhood trauma and nonsuicidal self-injury among adolescents with depressive disorder:mediated by negative life events and coping style[J].Neuropsychiatric Disease and Treatment,2023,19:2271-2281.
- [7]Bürger A,von Schoenfeld C,Scheiner C,et al.Universal prevention for non-suicidal self-injury in adolescents is scarce - a systematic review[J].Frontiers in Psychiatry,2023,14:1130610.
- [8]Lee S-E,Shin H,Kim G,et al.Decreased gray matter volume in regions associated with affective pain processing in unmedicated individuals with nonsuicidal self-injury[J].Psychiatry Research,2023,326:115314.
- [9]Sorgi-Wilson K M,Cheung J C,Ciesinski N K,et al.Cognition and non-suicidal self-injury:exploring relationships with psychological functions[J].Archives of Suicide Research:Official Journal of the International Academy for Suicide Research,2023,27(3):1002-1018.
- [10]Bigot M,Alonso M,Houenou J,et al.An emotional-response model of bipolar disorders integrating recent findings on amygdala circuits[J].Neuroscience and Biobehavioral Reviews,2020,118:358-366.
- [11]Ma H,Zhang D,Sun D,et al.Gray and white matter structural examination for diagnosis of major depressive disorder and subthreshold depression in adolescents and young adults:a preliminary radiomics analysis[J].BMC Medical Imaging,2022,22(1):164.
- [12]Kang L,Wang W,Zhang N,et al.Superior temporal gyrus and cerebellar loops predict nonsuicidal self-injury in major depressive disorder patients by multimodal neuroimaging[J].Translational Psychiatry,2022,12(1):474.
- [13]Nothdurfter D,Jawinski P,Markett S.White matter tract integrity is reduced in depression and in individuals with genetic liability for depression[J].Biological Psychiatry,2023:S0006-3223(23)01763-8.
- [14]Rashidi F,Khanmirzaei M H,Hosseinzadeh F,et al.Cingulum and uncinate fasciculus microstructural abnormalities in Parkinson's disease:a systematic review of diffusion tensor imaging studies[J].Biology,2023,12(3):475.
- [15]Wren-Jarvis J,Powers R,Lazerwitz M C,et al.White matter microstructure of children with sensory over-responsivity is associated with affective behavior[J].Journal of Neurodevelopmental Disorders,2024,16(1):1.
- [16]Singh A,Pandey H R,Arya A,et al.Altered white matter integrity in euthymic children with bipolar disorder:A tract-based spatial statistical analysis of diffusion tensor imaging[J].Journal of Affective Disorders,2023,340:820-827.
- [17]Hu C,Jiang W,Wu Y,et al.Microstructural abnormalities of white matter

- in the cingulum bundle of adolescents with major depression and non-suicidal self-injury[J]. *Psychological Medicine*, 2023; 1-9.
- [18] Siddiqi S H, Fox M D. Targeting Symptom-Specific Networks With Transcranial Magnetic Stimulation[J]. *Biological Psychiatry*, Elsevier, 2024, 95 (6): 502-509.
- [19] Winter N R, Blanke J, Leenings R, et al. A systematic evaluation of machine learning-based biomarkers for major depressive disorder[J]. *JAMA psychiatry*, 2024: e235083.
- [20] Taylor C T, Stein M B, Simmons A N, et al. Amplification of positivity treatment for anxiety and depression: a randomized experimental therapeutics trial targeting social reward sensitivity to enhance social connectedness[J]. *Biological Psychiatry*, 2023: S0006-3223 (23) 01498-1.
- [21] Huang Z-A, Liu R, Zhu Z, et al. Multitask learning for joint diagnosis of multiple mental disorders in resting-state fMRI[J]. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2024: 1-15.
- [22] Xiao X, Hammond C, Salmeron B J, et al. Brain functional connectome defines a transdiagnostic dimension shared by cognitive function and psychopathology in preadolescents[J]. *Biological Psychiatry*, 2023 : S0006-3223 (23) 01593-7.
- [23] Sun X, Sun J, Lu X, et al. Mapping neurophysiological subtypes of major depressive disorder using normative models of the functional connectome[J]. *Biological Psychiatry*, 2023, 94 (12): 936-947.
- [24] de Neve-Enthoven N G M, Ringoot A P, Jongerling J, et al. Adolescent nonsuicidal self-injury and suicidality: a latent class analysis and associations with clinical characteristics in an at-risk cohort[J]. *Journal of Youth and Adolescence*, 2023.
- [25] Schär S, Mürner-Lavanchy I, Slavova N, et al. Pituitary volume in adolescents with non-suicidal self-injury: Preliminary evidence for alterations in pituitary maturation[J]. *Psychoneuroendocrinology*, 2022, 138: 105662.
- [26] Vijayakumar N, Whittle S, Silk T J. Corticolimbic connectivity mediates the relationship between pubertal timing and mental health problems[J]. *Psychological Medicine*, 2023, 53 (16): 7655-7665.
- [27] Huang Y, Yan R, Zhang Y, et al. Abnormal fractional amplitude of low-frequency fluctuations and regional homogeneity in major depressive disorder with non-suicidal self-injury[J]. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 2024, 157: 120-129.
- [28] Dai L, Zhang X, Yu R, et al. Abnormal brain spontaneous activity in major depressive disorder adolescents with non-suicidal self injury and its changes after sertraline therapy[J]. *Frontiers in Psychiatry*, 2023, 14: 1177227.
- [29] Zhou Y, Yu R, Ai M, et al. A resting state functional magnetic resonance imaging study of unmedicated adolescents with non-suicidal self-injury behaviors: evidence from the amplitude of low-frequency fluctuation and regional homogeneity indicator[J]. *Frontiers in Psychiatry*, 2022, 13: 925672.
- [30] Ho T C, Walker J C, Teresi G I, et al. Default mode and salience network alterations in suicidal and non-suicidal self-injurious thoughts and behaviors in adolescents with depression[J]. *Translational Psychiatry*, 2021, 11 (1): 38.
- [31] Cullen K R, Schreiner M W, Klimes-Dougan B, et al. Neural correlates of clinical improvement in response to N-acetylcysteine in adolescents with non-suicidal self-injury[J]. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 2020, 99: 109778.
- [32] Mürner-Lavanchy I, Koenig J, Reichl C, et al. Altered resting-state networks in adolescent non-suicidal self-injury-a graph theory analysis[J]. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2022, 17 (9): 819-827.
- [33] Mürner-Lavanchy I, Josi J, Koenig J, et al. Resting-state functional connectivity predicting clinical improvement following treatment in female adolescents with non-suicidal self-injury[J]. *Journal of Affective Disorders*, 2023, 327: 79-86.
- [34] Gainotti G. Emotions and the right hemisphere: can new data clarify old models? [J]. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, 2019, 25 (3): 258-270.
- [35] Başgöze Z, Demers L, Thai M, et al. A multilevel examination of cognitive control in adolescents with nonsuicidal self-injury[J]. *Biological Psychiatry Global Open Science*, 2023, 3 (4): 855-866.
- [36] Hooley J M, Dahlgren M K, Best S G, et al. Decreased amygdalar activation to nssi-stimuli in people who engage in nssi: a neuroimaging pilot study[J]. *Frontiers in Psychiatry*, 2020, 11: 238.
- [37] Case J A C, Mattoni M, Olino T M. Examining the neurobiology of non-suicidal self-injury in children and adolescents: the role of reward responsivity[J]. *Journal of Clinical Medicine*, 2021, 10 (16): 3561.
- [38] Lin L, Liu Y, Qiu S, et al. Orbital frontal cortex functional connectivity during gain anticipation linking the rumination and non-suicidal self-injury in late adolescence[J]. *Journal of Affective Disorders*, 2024: S0165-0327 (24) 00127-7.
- [39] Kim D J, Job A, Gokarakonda S, et al. Synergistic effect of chronic pain and nonsuicidal self-harm on pain sensitivity[J]. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 2022, 272 (3): 371-380.
- [40] Lalouni M, Fust J, Bjureberg J, et al. Augmented pain inhibition and higher integration of pain modulatory brain networks in women with self-injury behavior[J]. *Molecular Psychiatry*, 2022, 27 (8): 3452-3459.
- [41] Lee S-E, Shin H, Kim G, et al. Decreased gray matter volume in regions associated with affective pain processing in unmedicated individuals with nonsuicidal self-injury[J]. *Psychiatry Research*, 2023, 326: 115314.
- [42] Duda J M, Moser A D, Ironside M, et al. Effects of GABA, sex, and stress on reward learning in current and remitted major depression[J]. *Biological Psychiatry, Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 2024: S2451-9022 (24) 00061-2.
- [43] Ritter C, Buchmann A, Müller S T, et al. Evaluation of prefrontal γ -aminobutyric acid and glutamate levels in individuals with major depressive disorder using proton magnetic resonance spectroscopy[J]. *JAMA psychiatry*, 2022, 79 (12): 1209-1216.
- [44] Zhang Y, Lai S, Wu W, et al. Associations between executive function impairment and biochemical abnormalities in depressed adolescents with non-suicidal self-injury[J]. *Journal of Affective Disorders*, 2022, 298 (Pt A): 492-499.
- [45] Ge R, Sassi R, Yatham L N, et al. Neuroimaging profiling identifies distinct brain maturational subtypes of youth with mood and anxiety disorders[J]. *Molecular Psychiatry*, 2023, 28 (3): 1072-1078.
- [46] Chai Y, Sheline Y I, Oathes D J, et al. Functional connectomics in depression: insights into therapies[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2023, 27 (9): 814-832.
- [47] Hao X, Xu D, Bansal R, et al. Multimodal magnetic resonance imaging: The coordinated use of multiple, mutually informative probes to understand brain structure and function[J]. *Human Brain Mapping*, 2013, 34 (2): 253-271.
- [48] Kang L, Wang W, Zhang N, et al. Superior temporal gyrus and cerebellar loops predict nonsuicidal self-injury in major depressive disorder patients by multimodal neuroimaging[J]. *Translational Psychiatry*, 2022, 12: 474.

(收稿日期: 2024-04-01)

(校对编辑: 韩敏求)