

伴自杀和非自杀性自伤抑郁症患者磁共振成像研究进展

钱红, 舒畅, 王高华

摘要 抑郁症患者是自杀和非自杀性自伤行为的高发群体。自杀和非自杀性自伤行为的发生可能与脑结构和功能改变有关,但目前其独特的发生机制仍不确定。结构磁共振相关研究提示自杀与非自杀性自伤与额叶和前扣带回体积减少有关,海马及颞叶体积减少与自杀相关,岛叶体积减少与非自杀性自伤有关;静息态功能磁共振相关研究提示自杀和非自杀性自伤均显示默认网络和显著网络之间正向连接减少,而非自杀性自伤者存在额叶边缘系统的改变,以杏仁核为种子点的连接差异可能是区分自杀与非自杀性自伤的一个神经影像学标记;任务态功能磁共振相关研究提示,自杀及非自杀性自伤行为均与自我意识、奖赏环路、情绪处理环路异常有关,而非自杀性自伤还与执行功能、疼痛环路异常有关。本综述从脑结构和脑功能的角度分析抑郁患者自杀与非自杀性自伤行为的神经影像学改变异同,为进一步揭示其发生机制提供依据。

关键词 抑郁;自杀;非自杀性自伤;结构磁共振;功能磁共振

中图分类号 R741;R741.02;R749;R816 **文献标识码** A **DOI** 10.16780/j.cnki.sjssgncj.20220190

作者单位

武汉大学人民医院

精神卫生中心

武汉 430060

基金项目

湖北省卫健委基金

(No. WJ2019F013)

收稿日期

2022-03-07

通讯作者

王高华

wgh6402@163.com

自杀和非自杀性自伤是一个公共卫生问题。自杀是15~29岁人群的第2大死亡原因^[1],频繁自伤是社区人群和精神病患者自杀行为的重要危险因素^[2]。提高对这些行为的神经生物学机制的了解,有助于获得更好的预测、预防和干预的策略。自杀和自伤经常同时发生,但它们是不同的,并可能有独特的神经生物学机制^[3]。抑郁症常伴有自伤,且两者的同时出现可导致较高的自杀风险^[4]。每年高达50%的自杀都发生在抑郁症发作期间,抑郁症患者自杀死亡的可能性是健康人的20倍^[5]。目前还没有明确的自杀或非自杀性自伤的神经影像学标记。近年来国内外综述强调了自杀和非自杀性自伤行为相关的神经影像学改变,但很少有综述分析自杀和非自杀性自伤行为的神经影像学差异^[6,7],且仅有一项综述关注在临床样本中2种行为相关的结构磁共振成像研究^[8]。本综述首次总结了抑郁症患者自杀和非自杀性自伤相关的结构和功能磁共振成像研究,拟探索两者共同的和独特的神经影像学改变,以深入了解这些行为的不同病因,为开发基于大脑影像学评估的定向治疗提供依据。

1 结构磁共振

1.1 自杀意念和行为

前额叶皮质和眶额皮质是情绪抑制、决策和自我控制的关键。在抑郁症患者中,伴自杀者前额叶和眶额皮质体积减少^[9]。一项前瞻性研究发现情绪障碍患者未来有自杀企图者的前额叶体积基线水平降低^[10]。海马在情绪管理中起重要作用,一项中年抑郁患者研究发现有自杀史者海马体积减少^[11]。而另一项研究仅发现伴自杀的青年抑郁患者较健康对照组的海马体积减少,与无自杀的抑郁组相比无此改变^[12]。两项研究的年龄差异可以解释结果

的差异。也有研究表明颞叶结构与抑郁患者自杀行为有关。伴自杀未遂的抑郁患者颞上回体积减少^[13],然而关于自杀想法的研究发现颞叶皮质厚度确实有所下降,但皮质体积并无减少^[14]。评估自杀想法还是自杀企图的方法上的差异可以解释这些争议。

1.2 非自杀性自伤

目前关于非自杀性自伤行为的脑结构改变研究较少。自伤少女的两侧岛叶和右侧额下回的灰质体积减少^[15]。伴自伤青少年的脑岛和前扣带回灰质体积较小,且前扣带回体积减少也见于伴自杀青少年中^[16]。

综上所述,在结构磁共振研究中,自杀^[9]与非自杀性自伤^[15,16]均与额叶和前扣带回体积减少相关;海马及颞叶体积降低与自杀相关^[11,13],岛叶体积下降与非自杀性自伤有关^[15,16],提示这些可能为抑郁患者自杀与非自杀性自伤的潜在神经机制差异。但研究结果是具体地反映了自杀或非自杀性自伤的神经机制,还是更广泛地反映了潜在的精神障碍仍未知。

2 静息态功能磁共振

关于自杀和非自杀性自伤的静息状态下功能磁共振研究,主要采用基于种子点、网络连接和基于体素的研究方法。

2.1 基于种子点

2.1.1 自杀意念和行为 Cullen等^[17]发现青少年抑郁患者表现出杏仁核种子点-海马/海马旁叶/脑干之间静息态功能连接减弱,杏仁核-楔前叶连接增强,但与自杀严重程度无关。但在抑郁青少年中,组内分析表明自杀的严重程度与左楔前叶种子点-左初级运动/躯体感觉皮质/额上回之间的静息功能

连接呈正相关,与左后扣带回种子点-左小脑/外侧枕叶皮质/颞枕叶梭状回之间的静息功能连接呈负相关^[18]。提示抑郁与以杏仁核为种子点的静息功能连接改变相关,而自杀严重程度与以左楔前叶和左后扣带回为种子点的静息功能连接改变相关。

2.1.2 非自杀性自伤 以杏仁核为种子点的研究发现自伤青少年存在杏仁核和内侧前额叶皮质连接异常^[19,20]。而另一项研究^[20]发现杏仁核-额叶连接的缺失由抑郁症状引起,但杏仁核与辅助运动区之间的连接增强独立于抑郁症状与自伤相关。对心理治疗干预后进行研究^[19]发现基线期较强的杏仁核-前额叶负性连接与更大程度的自伤改善有关。

2.2 基于网络连接(独立成分分析)

2.2.1 自杀意念和行为 伴自杀的抑郁患者较不伴自杀者前默认网络-显著网络/右额顶叶网络之间的网络连接降低,而显著网络-右额顶叶网络之间的连接增加;较健康组前默认网络-左额顶叶网络/后默认网络之间的连接降低,而显著网络与左额顶叶网络之间的网络连通性增加^[21]。同一样本的随访研究发现自杀意念的减少与显著网络一致性的增加有关^[22]。研究提示虽然多个网络(默认网络、显著网络、执行控制网络)可能与抑郁自杀相关,但仅执行控制网络可预测自杀意念,且显著网络可能是青少年抑郁患者治疗后自杀改善相关的一个靶点。

2.2.2 非自杀性自伤 伴非自杀性自伤的青少年抑郁患者默认网络和显著网络之间的一致性减弱,执行控制网络和默认网络之间的连接性增强,且较低的默认网络和岛叶显著网络一致性与过去1个月较高的自伤频次相关^[23]。

2.3 基于体素

基于体素的研究方法包括局部一致性和低频振幅。目前仅有一项研究发现伴自杀抑郁患者较不伴自杀者左侧颞上回和颞中回的低频振幅值明显降低,且进一步的受试者工作特征曲线分析显示这2个区域的平均低频振幅值(敏感性为83.3%,特异性为71.4%)可作为区分抑郁患者是否伴自杀的标志物^[24]。

综上所述,在静息功能磁共振研究中,仅Ho T.C.等^[23]同时对抑郁患者自杀和非自杀性自伤进行研究,发现自杀和自伤都与腹侧默认网络连接减少有关,而仅自伤与前默认网络/显著网络连接有关。分别对自杀^[21]和非自杀性自伤^[23]基于网络连接的研究均显示默认网络和显著网络之间正向连接减少,而非自杀性自伤者存在额叶边缘系统的改变^[19,20]。基于种子点的研究发现杏仁核种子点连接独立与抑郁症状,仅与非自杀性自伤相关,而与自杀无关;且连接改变与自伤改善相关,提示杏仁核的网络连接差异可能是区分抑郁患者自杀与非自杀性自伤的一个脑影像学标记。

3 任务态功能磁共振

在自杀和非自杀性自伤的任务态功能磁共振研究中,研究者使用了一系列的实验范式来探讨人际与自我意识、情绪管理等方面的大脑区域的激活改变。

3.1 人际与自我意识

3.1.1 自杀意念及行为 在情绪面孔识别任务中,抑郁青少年

较健康对照组在背外侧前额叶皮质活动增强,低自杀风险在自我面孔中具有更高的皮质中线结构活性,而高自杀风险则表现出相反的模式^[25]。另一项研究发现高自杀意念和自杀未遂组较低自杀意念组的杏仁核-前额叶/楔前叶的连接增强,而低自杀组又比健康对照组连接增强。左杏仁核-吻侧前扣带皮质更强的连接与最近的自杀尝试有关,但右杏仁核-吻侧前扣带皮质更强的连接与自杀意念有关^[26]。此研究提示杏仁核和其他参与自我面孔识别的区域之间联系的强弱可以区分自杀意念和自杀行为,对自杀的预防具有重要临床意义。

“网络球”任务是关于社会包容与排斥的实验范式。在同伴排斥和包容过程中,高自杀风险抑郁患者较低自杀风险者的中央前回、中央后回、颞上回、额内侧回、岛叶和壳核的活动明显降低。此外,自杀未遂组在前扣带回和额中上回的活动明显高于其他各组^[27]。研究表明青少年的自杀意念和自杀企图和该青少年与积极和消极的同伴交往中神经功能改变相关。

抑郁自杀者在自我意识中表现出杏仁核、皮质中线结构激活改变,而在社会互动中,大脑活动改变涉及消极情绪、社会功能和认知控制等广泛脑区。了解这些神经改变可能有助于个性化治疗,并对自杀预防有重要作用。

3.1.2 非自杀性自伤 一项通过以直接(自己的)和间接(母亲的,最好的朋友的或同学的)的视角对自我特征进行分析的任务研究发现伴自伤抑郁者在边缘区和皮质中线激活增加;以母亲视角自伤者表现出杏仁核、海马体、海马体旁和梭状回激活增强;以同学视角表现出楔前叶和后扣带回皮质活动增强^[28]。采用“网络球”实验范式研究发现在社会排斥中,伴非自杀性自伤的青少年抑郁患者在前额叶皮质和壳核激活增强^[29,30]。

这些结果表明自我意识以及社会关系冲突处理中,抑郁非自杀性自伤者具有明显的神经生物学特征,表现为大脑前额叶与边缘结构,如杏仁核、海马体和海马体旁的激活增加,且对社会排斥更敏感。

3.2 奖赏处理

3.2.1 自杀意念及行为 在赌博任务的高风险决策中,自杀未遂抑郁患者较无自杀未遂抑郁患者丘脑激活减少,而在低风险决策中,较健康对照组尾状核激活增加^[31]。赌博任务研究中还发现抑郁自杀未遂者眶额叶皮质、背侧前额叶皮质和前扣带皮质对输赢的反应增加;左背侧前额叶皮质对危险与安全选择的反应降低^[32]。因此,在冲动与奖赏处理中,与学习有关的神经回路功能异常(海马)可能是抑郁症的神经机制,但不是自杀的机制;抑郁症自杀与额叶、丘脑和尾状核激活相关。

3.2.2 非自杀性自伤 一项使用金钱激励延迟任务研究表明,在预期奖励时,自伤患者(47%为抑郁症)表现出纹状体、杏仁核和眶额皮质的激活减少^[33]。Hooley等^[34]的研究也使用情绪激发任务评估了参与奖励处理的区域(伏隔核和腹侧被盖区),但没有发现奖励回路的激活。这些发现提示,有自伤者在奖赏处理过程中其边缘处理减少,皮质处理增加,这对理解目前的自伤模型及其治疗具有潜在的重要意义。

3.3 情绪处理

3.3.1 自杀意念及行为 在情绪处理任务中,在50%愤怒面孔强度时,伴自杀抑郁者在注意控制回路(前扣带回-背外侧前额叶皮质)活动升高,前扣带回-岛叶功能连接减弱^[35]。这表明伴自杀抑郁者为了降低愤怒情绪,可能表现出更多的注意控制神经回路的不完全补偿,这可能是自杀风险的潜在生物学标记。有证据表明,有自杀意念者在观看负面图像时试图调节情绪反应的实验中,右侧背外侧前额叶皮质的激活增加;但在被动观察负性刺激时,右侧丘脑、左侧小脑、右侧背外侧前额叶皮质和右侧颞顶叶交界处的激活减少^[36]。与抑郁对照组相比,抑郁自杀未遂者表现出左前额叶和腹外侧前额叶皮质对愤怒面孔和中性面孔的反应增加,右前扣带皮质对悲伤面孔和中性面孔的反应降低^[32]。

在情绪处理任务的研究中,我们观察到是否伴自杀意念的青少年在额叶控制区域有显著差异,强调了在自杀的病理生理学中情绪控制和前额皮质功能在未来工作中的重要性。

3.3.2 非自杀性自伤 2项研究使用情绪和自伤相关图像来诱发情绪反应任务发现自伤者对负性图片的客观(颧骨和皱眉肌电活动)情绪反应强度和前岛叶激活相关,但自我报告情感反应无此相关^[37]。这种情绪反应的自我报告和客观测量之间的差异可能表明青少年自伤时情绪反应受到抑制。另一项研究发现^[34]自伤组对自伤和负面图像中杏仁核激活减少,扣带回皮质和眶额皮质的激活增加。扣带皮质连接边缘和认知系统,而眶额皮质与情绪刺激的归因相关,一种可能的解释是这些皮质区域可能在补偿边缘结构的过度激活。

3.4 其他

非自杀性自伤还有关于疼痛知觉处理和执行功能的任务态功能磁共振研究。

疼痛知觉处理:自伤抑郁组在疼痛与奖赏处理中表现出右中脑和脑桥、海马旁回、前额叶和杏仁核激活增强^[38]。另一项研究表明,当不愉快刺激增加时,自伤组(14.2%抑郁)和对照组后岛叶均激活;然而此研究还发现仅在对照组表现出前岛叶激活,自伤组无差异^[39]。这可能反映了自伤者对不愉快或痛苦经历的情感方面的处理发生了改变,这是解释自伤病因的相关因素。

执行功能:只有一项研究采用了认知干扰任务发现自伤组扣带皮质激活增加,背外侧前额叶皮质激活减少,且后者与自我报告的冲动性和情绪反应性呈负相关^[40]。这些结果表明自伤在认知干扰加工过程中使用了不同神经模式,这可能会对认知疗法的治疗效果有更广泛的影响。

综上所述,通过任务态功能磁共振研究,发现自杀及非自杀性自伤行为均与自我意识、奖赏环路、情绪处理环路异常有关,而非自杀性自伤还与执行功能、疼痛环路异常有关;自杀^[27]及非自杀性自伤者^[33]均存在纹状体激活改变,而有自杀意念及行为者存在额叶边缘系统连接的减弱^[26]。

4 总结与展望

本研究系统地回顾了抑郁患者自杀与非自杀性自伤相关脑影像学改变的文献。尽管在研究中发现了一致的结果,但因

神经成像方法的多样性(如研究模式、范式、研究区域),其研究结果也不尽相同。

伴自杀和非自杀性自伤抑郁患者的神经改变有区别也有部分重叠。由于自杀与非自杀性自伤常同时出现,其神经改变的重叠并不意外。然而,由于样本重叠及对自杀和非自杀性自伤定义的不一致导致目前研究无法阐明自杀与非自杀性自伤特定的神经回路。总的来说,自杀与非自杀性自伤行为均有额叶边缘系统改变,提示存在监管系统的失效,且自上而下和自下而上的连接中断会导致自杀和自伤^[6]。而非自杀性自伤在疼痛处理及执行功能处理方面的改变,涉及脑区包括岛叶、扣带皮质及边缘系统等,有助于解释其独特病因。

为更好地阐明自杀和非自杀性自伤的独特神经改变,对未来的研究提出4个建议:①建议对自杀和非自杀性自伤采用基于访谈的评估,因为自我报告倾向于错误归因和回顾性偏差。②研究抑郁或其他精神疾病共患病将有利于阐明神经影像改变是否可以归因于自杀或自伤行为还是潜在的疾病。研究将自杀或自伤样本与健康对照比较,很难表明脑影像学改变归因于自伤或自杀还是精神障碍;与临床对照进行比较才可能阐明自杀或自伤独特的神经机制。③迫切需要采用纵向研究设计来确定未来自杀及自伤风险的神经标记。未来纵向设计研究有利于阐明自杀意念、自杀行为及非自杀性自伤行为之间转换的神经机制,为制定预防措施奠定理论基础。④未来的研究还应关注不同因素(如神经成像、血清标记物、神经电生理等)的相互作用,也可能有创新的方法来整合神经成像模式和应用新的数据分析策略来解释自杀或自伤的病因。

参考文献

[1] WHO. Suicide Data: Wold Health Organization[R]. 2017.
[2] Klonsky ED, May AM, Glenn CR. The relationship between nonsuicidal self-injury and attempted suicide: converging evidence from four samples[J]. J Abnorm Psychol, 2013, 122: 231-237.
[3] Glenn CR, Lanzillo EC, Esposito EC, et al. Examining the Course of Suicidal and Nonsuicidal Self-Injurious Thoughts and Behaviors in Outpatient and Inpatient Adolescents[J]. J Abnorm Child Psychol, 2017, 45: 971-983.
[4] Casey SM, Varela A, Marriott JP, et al. The influence of diagnosed mental health conditions and symptoms of depression and/or anxiety on suicide ideation, plan, and attempt among college students: Findings from the Healthy Minds Study, 2018-2019[J]. J Affect Disord, 2021, 298: 464-471.
[5] Otte C, Gold SM, Penninx BW, et al. Major depressive disorder[J]. Nat Rev Dis Primers, 2016, 2: 16065.
[6] Auerbach RP, Pagliaccio D, Allison GO, et al. Neural Correlates Associated With Suicide and Nonsuicidal Self-injury in Youth[J]. Biol Psychiatry, 2021, 89: 119-133.
[7] 梁丽君,何文知,文妍卉,等.非自杀性自伤行为青少年的脑影像学改变研究进展[J].山东医药,2021,61: 88-91.
[8] Dominguez-Baleon C, Gutierrez-Mondragon LF, Campos-Gonzalez AI, et al. Neuroimaging Studies of Suicidal Behavior and Non-suicidal Self-Injury in Psychiatric Patients: A Systematic Review[J]. Front Psychiatry, 2018, 9: 500.
[9] Fan S, Lippard E, Sankar A, et al. Gray and white matter differences in adolescents and young adults with prior suicide attempts across bipolar and major depressive disorders[J]. J Affect Disord, 2019, 245: 1089-1097.
[10] Lippard E, Johnston J, Spencer L, et al. Preliminary examination of

gray and white matter structure and longitudinal structural changes in frontal systems associated with future suicide attempts in adolescents and young adults with mood disorders[J]. *J Affect Disord*, 2019, 245: 1139-1148.

[11] Colle R, Chupin M, Cury C, et al. Depressed suicide attempters have smaller hippocampus than depressed patients without suicide attempts[J]. *J Psychiatr Res*, 2015, 61: 13-18.

[12] Gosnell SN, Velasquez KM, Molfese DL, et al. Prefrontal cortex, temporal cortex, and hippocampus volume are affected in suicidal psychiatric patients[J]. *Psychiatry Res Neuroimaging*, 2016, 256: 50-56.

[13] McLellan Q, Wilkes TC, Swansburg R, et al. History of suicide attempt and right superior temporal gyrus volume in youth with treatment-resistant major depressive disorder[J]. *J Affect Disord*, 2018, 239: 291-294.

[14] Taylor WD, Boyd B, McQuoid DR, et al. Widespread white matter but focal gray matter alterations in depressed individuals with thoughts of death[J]. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2015, 62: 22-28.

[15] Beauchaine TP, Sauder CL, Derbidge CM, et al. Self-injuring adolescent girls exhibit insular cortex volumetric abnormalities that are similar to those seen in adults with borderline personality disorder[J]. *Dev Psychopathol*, 2019, 31: 1203-1212.

[16] Ando A, Reichl C, Scheu F, et al. Regional grey matter volume reduction in adolescents engaging in non-suicidal self-injury[J]. *Psychiatry Res Neuroimaging*, 2018, 280: 48-55.

[17] Cullen KR, Westlund MK, Klimes-Dougan B, et al. Abnormal amygdala resting-state functional connectivity in adolescent depression[J]. *JAMA Psychiatry*, 2014, 71: 1138-1147.

[18] Schreiner MW, Klimes-Dougan B, Cullen KR. Neural Correlates of Suicidality in Adolescents with Major Depression: Resting-State Functional Connectivity of the Precuneus and Posterior Cingulate Cortex [J]. *Suicide Life Threat Behav*, 2019, 49: 899-913.

[19] Santamarina-Perez P, Romero S, Mendez I, et al. Fronto-Limbic Connectivity as a Predictor of Improvement in Nonsuicidal Self-Injury in Adolescents Following Psychotherapy[J]. *J Child Adolesc Psychopharmacol*, 2019, 29: 456-465.

[20] Westlund SM, Klimes-Dougan B, Mueller BA, et al. Multi-modal neuroimaging of adolescents with non-suicidal self-injury: Amygdala functional connectivity[J]. *J Affect Disord*, 2017, 221: 47-55.

[21] Cao J, Ai M, Chen X, et al. Altered resting-state functional network connectivity is associated with suicide attempt in young depressed patients [J]. *Psychiatry Res*, 2020, 285: 112713.

[22] Schwartz J, Ordaz SJ, Ho TC, et al. Longitudinal decreases in suicidal ideation are associated with increases in salience network coherence in depressed adolescents[J]. *J Affect Disord*, 2019, 245: 545-552.

[23] Ho TC, Walker JC, Teresi GL, et al. Default mode and salience network alterations in suicidal and non-suicidal self-injurious thoughts and behaviors in adolescents with depression[J]. *Transl Psychiatry*, 2021, 11: 38.

[24] Cao J, Chen X, Chen J, et al. Resting-state functional MRI of abnormal baseline brain activity in young depressed patients with and without suicidal behavior[J]. *J Affect Disord*, 2016, 205: 252-263.

[25] Quevedo K, Ng R, Scott H, et al. The neurobiology of self-face

recognition in depressed adolescents with low or high suicidality[J]. *J Abnorm Psychol*, 2016, 125: 1185-1200.

[26] Alarcon G, Sauder M, Teoh JY, et al. Amygdala Functional Connectivity During Self-Face Processing in Depressed Adolescents With Recent Suicide Attempt[J]. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 2019, 58: 221-231.

[27] Harms MB, Casement MD, Teoh JY, et al. Adolescent suicide attempts and ideation are linked to brain function during peer interactions [J]. *Psychiatry Res Neuroimaging*, 2019, 289: 1-9.

[28] Quevedo K, Martin J, Scott H, et al. The neurobiology of self-knowledge in depressed and self-injurious youth[J]. *Psychiatry Res Neuroimaging*, 2016, 254: 145-155.

[29] Groschwitz RC, Plener PL, Groen G, et al. Differential neural processing of social exclusion in adolescents with non-suicidal self-injury: An fMRI study[J]. *Psychiatry Res Neuroimaging*, 2016, 255: 43-49.

[30] Brown RC, Plener PL, Groen G, et al. Differential Neural Processing of Social Exclusion and Inclusion in Adolescents with Non-Suicidal Self-Injury and Young Adults with Borderline Personality Disorder[J]. *Front Psychiatry*, 2017, 8: 267.

[31] Pan L, Segreti A, Almeida J, et al. Preserved hippocampal function during learning in the context of risk in adolescent suicide attempt[J]. *Psychiatry Res*, 2013, 211: 112-118.

[32] Olie E, Ding Y, Le Bars E, et al. Processing of decision-making and social threat in patients with history of suicidal attempt: A neuroimaging replication study[J]. *Psychiatry Res*, 2015, 234: 369-377.

[33] Sauder CL, Derbidge CM, Beauchaine TP. Neural responses to monetary incentives among self-injuring adolescent girls[J]. *Dev Psychopathol*, 2016, 28: 277-291.

[34] Hooley JM, Dahlgren MK, Best SG, et al. Decreased Amygdalar Activation to NSSI-Stimuli in People Who Engage in NSSI: A Neuroimaging Pilot Study[J]. *Front Psychiatry*, 2020, 11: 238.

[35] Pan LA, Hassel S, Segreti AM, et al. Differential patterns of activity and functional connectivity in emotion processing neural circuitry to angry and happy faces in adolescents with and without suicide attempt[J]. *Psychol Med*, 2013, 43: 2129-2142.

[36] Miller AB, McLaughlin KA, Busso DS, et al. Neural Correlates of Emotion Regulation and Adolescent Suicidal Ideation[J]. *Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging*, 2018, 3: 125-132.

[37] Mayo LM, Perini I, Gustafsson PA, et al. Psychophysiological and Neural Support for Enhanced Emotional Reactivity in Female Adolescents With Nonsuicidal Self-injury[J]. *Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging*, 2021, 6: 682-691.

[38] Osuch E, Ford K, Wrath A, et al. Functional MRI of pain application in youth who engaged in repetitive non-suicidal self-injury vs. psychiatric controls[J]. *Psychiatry Res*, 2014, 223: 104-112.

[39] Bonenberger M, Plener PL, Groschwitz RC, et al. Differential neural processing of unpleasant haptic sensations in somatic and affective partitions of the insula in non-suicidal self-injury (NSSI) [J]. *Psychiatry Res*, 2015, 234: 298-304.

[40] Dahlgren MK, Hooley JM, Best SG, et al. Prefrontal cortex activation during cognitive interference in nonsuicidal self-injury[J]. *Psychiatry Res Neuroimaging*, 2018, 277: 28-38.

(本文编辑:唐颖馨)