

# 脑功能磁共振在青少年非自杀性自伤中的研究进展

马林, 胡良波\*

重庆医科大学附属永川医院放射科, 重庆

收稿日期: 2024年3月27日; 录用日期: 2024年4月21日; 发布日期: 2024年4月30日

## 摘要

非自杀性自伤(Non-Suicidal Self-Injury, NSSI)是一种以自我伤害为特征但并无自杀意图的精神障碍。青少年是NSSI的高发群体, NSSI也是该群体发生自杀未遂显著的高危因素之一。越来越多的研究显示, NSSI青少年患者在神经系统方面存在改变, 然而关于这些改变的具体神经生物学机制尚未得到充分阐明。近年来, 功能磁共振成像(Functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)作为一种无创、非侵入性的神经影像学技术, 受到越来越多的关注, 并被广泛应用于研究NSSI患者的脑神经活动。虽然国内外对NSSI引起大脑功能的改变做出了一定的研究, 然而, 针对NSSI青少年的神经生物学机制的研究至今尚未达成统一的结论。本文就目前脑功能磁共振在青少年NSSI中的研究进展作一综述。

## 关键词

非自杀性自伤, 青少年, 功能磁共振成像

# Research Progress on Functional Magnetic Resonance of the Brain in Non-Suicidal Self-Injury in Adolescents

Lin Ma, Liangbo Hu\*

Department of Radiology, Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: Mar. 27<sup>th</sup>, 2024; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2024; published: Apr. 30<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Non-Suicidal Self-Injury (NSSI) is a psychiatric disorder characterised by self-harm without sui-  
\*通讯作者。

cidal intent. Adolescents are at high risk for NSSI, and it is one of the most significant risk factors for suicide attempts in this group. In recent years, functional magnetic resonance imaging (fMRI) has attracted more attention as a non-invasive neuroimaging technique and has been widely used to study the neural activity of NSSI patients. While some studies have investigated the impact of NSSI on brain function, there is currently no consensus on the neurobiological mechanism of NSSI. This paper provides a review of the current progress of functional magnetic resonance imaging (fMRI) in adolescents with NSSI.

## Keywords

Non-Suicidal Self-Injury, Adolescent, Functional Magnetic Resonance Imaging

Copyright © 2024 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

非自杀性自伤(Non-Suicidal Self-Injury, NSSI)是一种没有自杀企图且不被社会广泛接受的故意自我伤害的行为[1] [2], 这种行为的发生与多种因素相关, 先前的研究结果显示, 当个体面临人际交往困扰、持续存在消极情绪和思想时, 发生 NSSI 的可能性会显著提升[3] [4]。青少年时期是 NSSI 的高发阶段, 这一行为最常见于青春期早期阶段, 大约在 11 至 15 岁之间[5] [6]。尽管此类自伤行为的目的并非自杀, 但已有研究证据显示, 有 NSSI 的人群相较于普通人群具有更高的自杀风险, 并且 NSSI 被视为预测个体未来可能出现自杀企图的有效指标之一[7]。《精神障碍诊断与统计手册》第五版(DSM-5)已正式将 NSSI 确立为一种独立的精神健康问题, 并设定了明确的诊断标准, 其中关键诊断标准之一是在过去的一年内, 患者需至少有五天出现无自杀意图的自我伤害行为[8]。目前, 对 NSSI 的诊断主要依赖于各类评估量表, 但这些量表存在一定的主观性, 并且由于 NSSI 所表现的症状常常与其他精神障碍等(像抑郁症)很难区分, 这在临床上可能会导致误诊或漏诊的发生。基于血氧水平依赖(Blood Oxygen Level Dependent, BOLD)原理的 fMRI 能够通过检测在静息状态下或是执行特定任务时脑内功能磁共振信号(BOLD 信号)的变化来揭示大脑活动的发生位置及其效应, 展示出相应脑功能区的激活状态和神经活动变化。因此, fMRI 作为一种先进的神经影像学技术, 被广泛应用来探索和揭示精神障碍患者脑部的神经功能异常情况, 这对于深入理解 NSSI 患者的神经机制具有重要作用[9]。本研究系统总结了针对 NSSI 青少年群体在执行特定认知或情绪任务时, fMRI 所捕捉到的大脑激活区域的显著差异。与此同时, 本研究也对 NSSI 青少年在静息状态下的 fMRI 数据进行了详尽解析, 着重探讨了其大脑内部各区域间功能连接(Functional Connectivity, FC)的变化。综合来看, fMRI 为研究 NSSI 提供了一种非侵入性且可靠的工具, 这不仅旨在为临床医生提供客观、精确的诊断依据, 帮助他们准确识别 NSSI 青少年患者, 并且能够有效评估不同治疗策略对改善患者症状、促进康复进程以及优化预后状况的具体效果, 从而为该类疾病的个体化诊疗方案制定提供科学支持。

## 2. 任务态 fMRI 在青少年 NSSI 中的研究

任务态 fMRI 是一种通过设计特定的刺激任务来探测大脑活动的技术, 它依赖于血氧水平的变化, 在给受试者呈现一系列按照预定规则组织的任务事件的同时进行脑功能成像[10]。这种方法能够揭示在不

同时间点下, 与特定任务事件相对应的不同脑皮层区域的激活状态和功能特性, 例如, 可以利用视觉、听觉、嗅觉感知任务, 或手指敲击等运动任务, 来探究涉及视觉处理、听觉处理、嗅觉识别、运动控制、感觉加工及语言功能的大脑皮质区域[11]。近年来, 针对 NSSI 的研究广泛采用了任务态 fMRI 技术, 其主要研究焦点在于探讨在自我意识调节、社交互动、冲动控制、情绪调节、疼痛感知觉以及奖赏系统运作相关情境下, 大脑内哪些区域的激活模式发生了相应的变化。

## 2.1. NSSI 与自我意识、社交活动

先前的研究报道提出, 在正常青少年人群中, 右前岛叶与背侧前扣带皮层被认为是处理关于自我信息的核心区域[12]。Quevedo 等[13]开展了一项研究, 他们纳入了 123 名青少年作为研究样本, 其中包括 36 名抑郁症患者、50 名同时患有抑郁症及 NSSI 的个体以及 37 名健康对照组成员。在实验过程中, 要求被试者从自身的直接视角或他人的间接视角(如母亲、最好的朋友、同学)来认知自我特征, 并同步进行 fMRI 扫描及利用基于全脑的分析方法分析数据。结果显示, 相较于单纯抑郁症患者和健康对照组, 抑郁症合并了 NSSI 的青少年群体在背外侧前额叶皮质(PFC)、楔前叶、后扣带回(PCC)、顶上小叶以及左右两侧颞叶边缘结构(包括杏仁核、海马旁回、海马体)和梭状回、颞中回等多区域都显示出更强的 BOLD 信号。尤其在涉及母亲视角的情境下, 与静息基线状态相比, 在尽量减少思维活动影响的情况下, 抑郁症合并了 NSSI 的患者的杏仁核、海马旁回、海马体以及梭状回相关区域同样出现了增强的 BOLD 信号。这一发现意味着 NSSI 可能与个体在处理自我相关信息时出现异常密切相关, 特别是母亲对个体自我认识的影响显得尤为重要。因此, 对于青少年群体而言, 强化与母亲之间的情感纽带联系, 或许能够有助于降低 NSSI 的发生概率。基于 fMRI 的社会互动实验[14] [15] [16]显示, 在面对社会排斥和包容情境时, NSSI 患者的壳核、右侧前额叶皮质、双侧岛叶、背侧 ACC 及 SMA 区域表现出增强的激活反应; 而另一方面, 内侧前额叶皮质(mPFC)和前扣带回膝上部分则显示出较低程度的激活。关于后扣带回皮质的研究结果存在差异: Malejko 等[16]在研究中发现, 相较于边缘性人格障碍患者, NSSI 患者的后扣带皮质激活更为显著; 然而, Perini 等[15]却发现, 相比于健康对照组, NSSI 患者在后扣带回皮质的激活方面存在水平降低的现象。然而, 目前的研究仅限于对社会排斥和接纳情境任务的探讨, 在 NSSI 领域的研究中, 运用 fMRI 技术对更多元、更广泛的社交任务进行探究尚需进一步深化。

## 2.2. NSSI 与情绪管理、冲动控制

2012 年, Plener 等[17]首次发表了关于青少年 NSSI 患者情绪处理任务下的 fMRI 研究成果。该研究通过对比分析发现, 与对照组相比, NSSI 患者在观看反映情绪内容的图像时, 其杏仁核、海马体和前扣带回皮层的激活水平呈显著的增强趋势; 而在经历与 NSSI 相关的图片刺激的任务时, 其的前额叶及眶额叶的皮质的激活程度也有增加的趋势。这一结果显示了 NSSI 患者可能存在某种程度上的情绪调节功能的障碍。Schmaal 等[18]发现相较于健康对照组, 在面对消极情绪刺激时, NSSI 青少年群体的外侧和内侧眶额皮质、前额叶皮质都表现出了更强的冲动性响应, 这一研究结果揭示了 NSSI 患者在应对消极情绪时可能存在调节功能缺陷, 在有效处理负面情绪方面的能力不足。Dahlgren MK 等[19]的研究指出, 在进行多源冲突任务时, NSSI 患者扣带回皮层活动显示出的显著增强的趋势, 与此同时, 背外侧前额叶皮质激活程度呈明显减弱的趋势。此外, 研究还揭示了 NSSI 患者背外侧前额叶皮质的激活程度与他们的情绪反应性和冲动性之间存在负相关关系。这意味着, NSSI 患者背外侧前额叶皮质激活水平的降低可能直接关联于其较差的情绪调控能力和相对较高的冲动性表现。Westlund 等[20]通过采用情绪面部匹配任务探究了 NSSI 患者杏仁核与全脑 FC 的特征。研究揭示, 相较于健康对照组, NSSI 患者的双侧杏仁核与右侧舌回、双侧枕叶以及顶上小叶间的正向功能连接增强; 与此同时, 左侧杏仁核与双侧额极、内侧额叶以及

扣带旁回之间的负向功能连接也有所增加。总体来看, NSSI 患者更倾向于将信息解读为负面内容, 基于情绪处理任务的 fMRI 能够揭示他们在进行情绪加工时大脑区域异常激活及功能连接的异常模式。因此, 这种方法在未来有望成为深入研究 NSSI 患者情绪调控机制的一种有效辅助手段。

### 2.3. NSSI 与痛觉、知觉

研究表明, NSSI 患者在疼痛感知方面表现出异常的反应, 这可能与他们体内的与疼痛感受直接相关的内源性阿片类药物浓度的变化有着密切联系, 有研究结果显示, 在 NSSI 患者在基线时, 内源性阿片类药物浓度低于健康对照组, 且在实施 NSSI 行为后, 患者的内源性阿片类药物浓度上升[21] [22]。Bonenberger 等[23]在研究中采用电刺激手段来探究 NSSI 患者对疼痛刺激的反应, 结果显示, 相较于健康对照组随着电刺激强度增加而表现出前岛叶激活增强, NSSI 患者的前岛叶激活程度相对减弱。Osuch 等[24]让受试者自我施加及研究者施加不同强度的冷刺激(痛苦与较冷对比), 研究结果显示, NSSI 青少年的右侧眶额皮质与前扣带回皮质之间的 FC 强度减弱。这一现象也提示 NSSI 青少年在感受痛苦刺激时可能表现出较为迟钝的反应, 并且在情绪调节机制上可能存在一定的缺陷。这一发现有助于解释为何这些患者可能会采取自我伤害的方式来应对内在的心理压力和紧张情绪, 即通过疼痛作为一种替代性的应对策略。Dusi 等[25]通过对 NSSI 青少年患者及健康对照组进行 fMRI 分析, 在向其施加疼痛刺激时, 发现 NSSI 患者呈现前额叶过度激活的特点。以上研究所揭示的现象表明, 实施 NSSI 的青少年在情绪调节机制上可能存在神经调控功能的问题, 并且这种缺陷与疼痛相关的神经通路紧密相关。

### 2.4. NSSI 与奖赏环路

在神经反应层面, NSSI 青少年可能对奖赏刺激展现出异常的敏感度, 这意味着他们对于奖赏相关的情境或事件可能会有不同于正常青少年的强烈反应。奖赏相关神经网络的核心组成部分包括腹侧纹状体、腹侧苍白球、眶额皮质以及前扣带回等脑区。相关的 fMRI 研究显示, 在经历金钱奖励后, 与健康对照组相比, 具有 NSSI 倾向的青少年双侧壳核区域出现了显著增强的激活状态, 这表明曾经或现在有 NSSI 想法的青少年, 在心理层面上对奖励刺激可能出现异常敏锐的反应[26]。另一项研究显示, 在面对货币奖励任务时, NSSI 青少年在纹状体、眶额叶及杏仁核区域对于奖赏预期的激活反应呈现减弱的趋势[27]。Vega 等[28]所进行的一项关于边缘性人格障碍(BPD)的研究却揭示了不同的发现: 该研究指出, NSSI 患者在经历意外的奖励时, 其眶额皮层(OFC)的激活反应实际上是增强的。这一差异结果可能源于当同时存在 BPD 和 NSSI 时, 个体在奖赏回路的选择机制上存在着特定的变化或差异。总结当前研究, 基于奖励任务的 fMRI 研究能够揭示 NSSI 患者在奖赏系统中的脑区激活程度存在异常, 然而, 过去的研究所采用的主要是基于种子点的分析方法, 未来的研究可以考虑采用全脑网络分析的策略, 以便更全面地探寻参与奖赏机制的所有脑区是否存在异常激活现象。

## 3. 静息态 fMRI (Resting-State fMRI, RS-fMRI)在青少年 NSSI 中的研究

RS-fMRI 是一种依赖于 BOLD 信号的 MRI 技术, 它揭示了受试者在没有执行特定认知任务时大脑内部正在进行的自发性活动过程。该技术通过捕捉无明显外部刺激和明确目标任务状态下大脑的 BOLD 信号变化, 从而反映出神经元的基础自发活动状态。这一方法已在多种精神及神经系统的疾病诊断与治疗中展现出了初步应用价值, 并且在一些研究中已经开始揭示潜在的神经网络组织结构和功能联系[29] [30]。FC 作为一种 fMRI 数据分析的关键方法, 能够揭示解剖学上相隔较远的脑区之间神经活动在时间维度上的相互关联性, 从而揭示大脑内部各种自发性活动网络结构[31] [32]。FC 分析方法主要包括: 基于种子点的 FC 分析、基于独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)的 FC 分析以及基于图论的

脑网络分析方法[33]。

### 3.1. 基于种子点的 FC 分析

由 Biswal 等人[34]在研究中首次提出基于种子点的 FC 分析技术, 即: 在静息状态下运用相应的网络识别手段选取一个起始的种子点, 以此为基础, 研究全脑的其他所有体素与该种子点间的线性关联性, 以及该种子点与其他的种子点之间的线性相关性, 从而构建出基于种子点对全脑或种子点对种子点的 FC 图谱。尽管此方法具有操作简便、解释直观和直接反映大脑活动特点的优点, 然而其受制于先验知识假设的局限性, 对种子点选择的依赖, 以及无法有效探测非线性交互模式的影响, 因此在揭示非种子点之间潜在的功能连接关系时存在一定局限。Westlund 等[20]在研究中指出, 与健康对照组相比, 在以杏仁核作为种子点进行 FC 分析时, NSSI 青少年显示出前扣带回(ACC)和前额叶运动区域之间的静息态功能连接(Resting-state Functional Connectivity, RSFC)减弱, 而角回及颞回的之间的 RSFC 增强。另外, 一项前瞻性的研究揭示, 在基线状态下, 相较于健康对照群体, NSSI 青少年其杏仁核与 ACC、胼胝体下皮质、扣带旁回以及右侧脑岛之间的 RSFC 显著降低。经过长达 4 个月的心理辅助治疗后, 研究人员发现治疗后 NSSI 患者 NSSI 行为频率的下降与杏仁核 - 脑干/海马旁回以及杏仁核-ACC 之间 RSFC 的增强的关联性呈负相关, 这进一步表明在 NSSI 青少年中, 以杏仁核作为种子点研究的 RSFC 发生了显著改变, 特别是在与 ACC 的 FC 上表现尤为明显[35]。Huang 等[9]在研究中针对梭状回与全脑 FC 进行了深入分析, 结果显示相较于单纯患有重度抑郁障碍的患者, 同时合并有 NSSI 和重度抑郁障碍的患者, 在其右梭状回与双侧额上回、以及右梭状回与双侧后扣带回之间的 FC 显著减弱。考虑到梭状回在视觉信息处理网络中的重要作用, 额上回对于记忆加工的关键参与, 以及扣带回在情绪调控与认知过程中的不可或缺[36] [37], 这些发现提示我们, NSSI 患者与仅患重度抑郁障碍的个体之间可能存在视觉信息加工、情绪调节及认知功能等方面的神经活动差异。Cullen 等[38]在研究中对 NSSI 青少年和健康对照组进行了 RSFC 分析。研究结果显示, NSSI 青少年的杏仁核与伏隔核之间存在异常的功能连接模式。经过 2 个月的药物治疗之后, 研究人员发现 NSSI 青少年减少的 NSSI 频率与左侧杏仁核及右侧前额叶运动区之间的 RSFC 的减弱有关, 而且也与右侧杏仁核及右侧下额叶皮层之间的 RSFC 增强紧密相关。这些研究结果共同表明, 患有 NSSI 的青少年群体在其大脑的部分静息态功能网络连接方面存在异常状况。尽管目前关于这一领域的研究尚不多见, 但现有的研究表明, 伏隔核和杏仁核之间及其分别作为种子点的 RSFC 异常的现象表现得尤为突出。在这些研究里面, 杏仁核相关的功能连接环路可能会成为针对 NSSI 患者治疗的重要靶点, 这将有望在未来的研究中得到进一步的深入探索和确认。

### 3.2. 基于 ICA 的 FC 分析

独立成分分析(ICA)是一种完全基于数据驱动的全脑功能连接(FC)分析技术, 其核心理念是运用盲源线性模型将体素级别的 fMRI 数据分解为一组在空间上相互独立的部分, 这些部分被定义为独立成分网络。在这些独立成分网络内部, 体素间的 BOLD 信号具有高度同步性; 而在不同独立成分网络之间, BOLD 信号的同步性则相对较低甚至无明显同步关系。因此, 通过应用 ICA 方法, 既能够计算同一独立成分网络内部各体素之间的 FC, 也能评估不同独立成分网络之间的 FC [39]。2021 年, HoTC 等[40]进行了一项关于 NSSI 以及自杀意念的 RS-fMRI 脑功能网络的研究, 通过对比分析中央执行网络、突显网络以及默认模式网络内各个体素间的相关性的强度。研究发现, 在患有抑郁障碍而且伴有自杀意念及 NSSI 青少年中, 其腹侧默认模式网络的一致性呈相对较低水平。此外, 仅存在 NSSI 但没有自杀意念的抑郁障碍青少年群体, 他们的前侧默认模式网络以及岛叶与突显网络之间一致性相对较低, 然而, 他们表现出了较高的中央执行网络与默认模式网络之间的连接一致性水平。所有观察到的默认模式网络子网络以及脑岛-突

显网络一致性降低的现象均与强烈的自杀意念和 NSSI 存在显著关联。据此, 作者指出自杀意念和 NSSI 可能都与涉及自我参照加工、未来规划困难的大脑网络有关联; 而 NSSI 尤其与内在感受觉察过程受损相关的神经网络有紧密联系。因此, 这些内部网络模式可能是识别青少年自杀意念和 NSSI 潜在生物标志物的有效途径。后续的研究可以在此基础上进一步探索青少年自杀意念、自杀行为与神经生物学机制之间的深层关系。

### 3.3. 基于图论的脑网络分析

基于图论的分析方法是一种应用于脑成像数据解析的重要手段, 它能够定量地描述和揭示大脑网络、结构以及功能之间的静态连接模式, 同时也能探究这些连接在时间进程中的动态演变特征, 以及与特定疾病状态相关的脑系统性变化规律[41]。Mürner-Lavanchy 等[42]运用图论分析技术揭示, 相较于健康对照组, NSSI 青少年的中央旁回、运动前区(SMA)、内侧眶额叶区域在脑网络中的节点度相对较低。这一发现揭示了 NSSI 患者这些特定脑区的信息整合中心数量可能减少, 信息传递效率低下; 同时, 该研究还发现距状旁回的加权节点数较高, 这表明该脑区可能存在一个连接强度较强的局部子网络。尽管目前基于图论方法对 NSSI 患者 FC 进行分析的研究尚不多见, 但这种方法在探究 NSSI 患者大脑网络的整体性和分离性特征上具有广阔的应用潜力。因此, 在未来的研究中, 采用图论分析手段可以更深入地探索 NSSI 患者脑网络特性的变化情况。

## 4. 总结与展望

综上所述, NSSI 具体的神经机制复杂多样, 而 fMRI 作为一种无创的脑成像技术, 在揭示 NSSI 患者大脑异常活动特征方面具有重要作用, 目前, 针对青少年 NSSI 的神经影像学的研究仍然处于初始的阶段, 但是, 现有的关于 NSSI 青少年神经影像学研究的结果表明, 其 NSSI 行为的发生与相应脑区结构及功能的改变密切相关。目前关于 NSSI 青少年研究中存在女性 NSSI 样本偏多、针对性研究不足等问题, 这可能会限制研究结果的适应性和一致性。为了更加深入地揭示 NSSI 患者独特的神经生物学机制, 未来的研究可以多选择从以下几方面展开: 首先, 应当扩大样本的规模, 在研究中纳入更多具有代表性的受试者, 可以通过多中心研究的方式进一步验证和完备先前的研究成果; 其次, 先前的研究主要是通过横断面设计来比较有或无 NSSI 的个体之间的脑功能差异, 今后应当在横向设计的基础上增加纵向研究设计, 密切地追踪 NSSI 患者是否会随时间的推移发生自杀或自杀未遂行为, 并探究它们之间是否存在潜在的脑神经机制联系; 最后, 未来针对 NSSI 的研究可以结合多种模态 MRI 技术, 从功能及结构的不同方面应用不同的分析方法, 使得不同类型的 MRI 结果能够相互验证和补充, 从而为临床提供更加详尽、准确的诊断线索和影像学依据, 以便更深入地探究 NSSI 神经机制及病理生理过程, 并促进相关疾病的早期识别、精准治疗与预后评估。

## 参考文献

- [1] Nitkowski, D. and Petermann, F. (2011) Non-Suicidal Self-Injury and Comorbid Mental Disorders: A Review. *Fortschritte Der Neurologie-Psychiatrie*, **79**, 9-20. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1245772>
- [2] Klonsky, E.D. and Muehlenkamp, J.J. (2007) Self-Injury: A Research Review for the Practitioner. *Journal of Clinical Psychology*, **63**, 1045-1056. <https://doi.org/10.1002/jclp.20412>
- [3] Tatnell, R., Kelada, L., Hasking, P., et al. (2014) Longitudinal Analysis of Adolescent NSSI: The Role of Intrapersonal and Interpersonal Factors. *Journal of Abnormal Child Psychology*, **42**, 885-896. <https://doi.org/10.1007/s10802-013-9837-6>
- [4] Vergara, G.A., Stewart, J.G., Cosby, E.A., et al. (2019) Non-Suicidal Self-Injury and Suicide in Depressed Adolescents: Impact of Peer Victimization and Bullying. *Journal of Affective Disorders*, **245**, 744-749.

- <https://doi.org/10.1016/j.jad.2018.11.084>
- [5] Glenn, C.R. and Klonsky, E.D. (2011) One-Year Test-Retest Reliability of the Inventory of Statements about Self-Injury (ISAS). *Assessment*, **18**, 375-378. <https://doi.org/10.1177/1073191111411669>
- [6] Buelens, T., Luyckx, K., Kiekens, G., *et al.* (2020) Investigating the DSM-5 Criteria for Non-Suicidal Self-Injury Disorder in a Community Sample of Adolescents. *Journal of Affective Disorders*, **260**, 314-322. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2019.09.009>
- [7] Aboussouan, A., Snow, A., Cerel, J., *et al.* (2019) Non-Suicidal Self-Injury, Suicide Ideation, and Past Suicide Attempts: Comparison between Transgender and Gender Diverse Veterans and Non-Veterans. *Journal of Affective Disorders*, **259**, 186-194. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2019.08.046>
- [8] Battle, D.E. (2013) Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM). *CoDAS*, **25**, 191-192.
- [9] Huang, Q., Xiao, M., Ai, M., *et al.* (2021) Disruption of Neural Activity and Functional Connectivity in Adolescents with Major Depressive Disorder Who Engage in Non-Suicidal Self-Injury: A Resting-State fMRI Study. *Frontiers in Psychiatry*, **12**, Article ID: 571532. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.571532>
- [10] Teterewa, A., Li, J., Deng, J.D., *et al.* (2022) Capturing Brain-Cognition Relationship: Integrating Task-Based fMRI across Tasks Markedly Boosts Prediction and Test-Retest Reliability. *NeuroImage*, **263**, Article ID: 119588. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119588>
- [11] Elliott, M.L., Knodt, A.R., Ireland, D., *et al.* (2020) What Is the Test-Retest Reliability of Common Task-Functional MRI Measures? New Empirical Evidence and a Meta-Analysis. *Psychological Science*, **31**, 792-806. <https://doi.org/10.1177/0956797620916786>
- [12] Dubois, C., Bennett, J., Dens, J., *et al.* (2016) Complex Coronary Bifurcation Lesions: Randomized Comparison of a Strategy Using a Dedicated Self-Expanding Biolimus-Eluting Stent versus a Culotte Strategy Using Everolimus-Eluting Stents: Primary Results of the COBRA Trial. *EuroIntervention: Journal of EuroPCR in Collaboration with the Working Group on Interventional Cardiology of the European Society of Cardiology*, **11**, 1457-1467. [https://doi.org/10.4244/EIJY15M05\\_02](https://doi.org/10.4244/EIJY15M05_02)
- [13] Quevedo, K., Martin, J., Scott, H., *et al.* (2016) The Neurobiology of Self-Knowledge in Depressed and Self-Injurious Youth. *Psychiatry Research. Neuroimaging*, **254**, 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2016.06.015>
- [14] Brown, R.C., Plener, P.L., Groen, G., *et al.* (2017) Differential Neural Processing of Social Exclusion and Inclusion in Adolescents with Non-Suicidal Self-Injury and Young Adults with Borderline Personality Disorder. *Frontiers in Psychiatry*, **8**, Article No. 267. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2017.00267>
- [15] Perini, I., Gustafsson, P.A., Hamilton, J.P., *et al.* (2019) Brain-Based Classification of Negative Social Bias in Adolescents with Nonsuicidal Self-Injury: Findings from Simulated Online Social Interaction. *EClinicalMedicine*, **13**, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2019.06.016>
- [16] Malejko, K., Neff, D., Brown, R.C., *et al.* (2019) Neural Signatures of Social Inclusion in Borderline Personality Disorder versus Non-Suicidal Self-Injury. *Brain Topography*, **32**, 753-761. <https://doi.org/10.1007/s10548-019-00712-0>
- [17] Plener, P.L., Bubalo, N., Fladung, A.K., *et al.* (2012) Prone to Excitement: Adolescent Females with Non-Suicidal Self-Injury (NSSI) Show Altered Cortical Pattern to Emotional and NSS-Related Material. *Psychiatry Research*, **203**, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2011.12.012>
- [18] Schmaal, L., Van Harmelen, A.-L., Chatzi, V., *et al.* (2020) Imaging Suicidal Thoughts and Behaviors: A Comprehensive Review of 2 Decades of Neuroimaging Studies. *Molecular Psychiatry*, **25**, 408-427. <https://doi.org/10.1038/s41380-019-0587-x>
- [19] Dahlgren, M.K., Hooley, J.M., Best, S.G., *et al.* (2018) Prefrontal Cortex Activation during Cognitive Interference in Nonsuicidal Self-Injury. *Psychiatry Research. Neuroimaging*, **277**, 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.04.006>
- [20] Westlund, S.M., Klimes-Dougan, B., Mueller, B.A., *et al.* (2017) Multi-Modal Neuroimaging of Adolescents with Non-Suicidal Self-Injury: Amygdala Functional Connectivity. *Journal of Affective Disorders*, **221**, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.06.004>
- [21] Kirtley, O.J., O'Carroll, R.E. and O'Connor, R.C. (2015) The Role of Endogenous Opioids in Non-Suicidal Self-Injurious Behavior: Methodological Challenges. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **48**, 186-189. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.11.007>
- [22] Bresin, K. and Gordon, K.H. (2013) Endogenous Opioids and Nonsuicidal Self-Injury: A Mechanism of Affect Regulation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **37**, 374-383. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.01.020>
- [23] Bonenberger, M., Plener, P.L., Groschwitz, R.C., *et al.* (2015) Differential Neural Processing of Unpleasant Haptic Sensations in Somatic and Affective Partitions of the Insula in Non-Suicidal Self-Injury (NSSI). *Psychiatry Research*, **234**, 298-304. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2015.10.013>
- [24] Osuch, E., Ford, K., Wrath, A., *et al.* (2014) Functional MRI of Pain Application in Youth Who Engaged in Repetitive

- Non-Suicidal Self-Injury vs. Psychiatric Controls. *Psychiatry Research*, **223**, 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2014.05.003>
- [25] Dusi, N., Bracco, L., Bressi, C., *et al.* (2021) Imaging Associations of Self-Injurious Behaviours amongst Patients with Borderline Personality Disorder: A Mini-Review. *Journal of Affective Disorders*, **295**, 781-787. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.08.074>
- [26] Poon, J.A., Thompson, J.C., Forbes, E.E., *et al.* (2019) Adolescents' Reward-Related Neural Activation: Links to Thoughts of Nonsuicidal Self-Injury. *Suicide & Life-Threatening Behavior*, **49**, 76-89. <https://doi.org/10.1111/sltb.12418>
- [27] Sauder, C.L., Derbidge, C.M. and Beauchaine, T.P. (2018) Neural Responses to Monetary Incentives among Self-Injuring Adolescent Girls-CORRIGENDUM. *Development and Psychopathology*, **30**, 1543. <https://doi.org/10.1017/S0954579417001869>
- [28] Vega, D., RipollÉS, P., Soto, À., *et al.* (2018) Orbitofrontal Overactivation in Reward Processing in Borderline Personality Disorder: The Role of Non-Suicidal Self-Injury. *Brain Imaging and Behavior*, **12**, 217-228. <https://doi.org/10.1007/s11682-017-9687-x>
- [29] Khosla, M., Jamison, K., Ngo, G.H., *et al.* (2019) Machine Learning in Resting-State FMRI Analysis. *Magnetic Resonance Imaging*, **64**, 101-121. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2019.05.031>
- [30] Thompson, G.J. (2018) Neural and Metabolic Basis of Dynamic Resting State FMRI. *NeuroImage*, **180**, 448-462. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.09.010>
- [31] Van Den Heuvel, M.P. and Hulshoff Pol, H.E. (2010) Exploring the Brain Network: A Review on Resting-State FMRI Functional Connectivity. *European Neuropsychopharmacology: The Journal of the European College of Neuropsychopharmacology*, **20**, 519-534. <https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2010.03.008>
- [32] Smitha, K.A., Akhil Raja, K., Arun, K.M., *et al.* (2017) Resting State FMRI: A Review on Methods in Resting State Connectivity Analysis and Resting State Networks. *The Neuroradiology Journal*, **30**, 305-317. <https://doi.org/10.1177/1971400917697342>
- [33] Du, Y., Fu, Z. and Calhoun, V.D. (2018) Classification and Prediction of Brain Disorders Using Functional Connectivity: Promising but Challenging. *Frontiers in Neuroscience*, **12**, Article No. 525. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00525>
- [34] Biswal, B., Yetkin, F.Z., Haughton, V.M., *et al.* (1995) Functional Connectivity in the Motor Cortex of Resting Human Brain Using Echo-Planar MRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, **34**, 537-541. <https://doi.org/10.1002/mrm.1910340409>
- [35] Santamarina-Perez, P., Romero, S., Mendez, I., *et al.* (2019) Fronto-Limbic Connectivity as a Predictor of Improvement in Nonsuicidal Self-Injury in Adolescents Following Psychotherapy. *Journal of Child and Adolescent Psychopharmacology*, **29**, 456-465. <https://doi.org/10.1089/cap.2018.0152>
- [36] Geday, J., Gjedde, A., Boldsen, A.S., *et al.* (2003) Emotional Valence Modulates Activity in the Posterior Fusiform Gyrus and Inferior Medial Prefrontal Cortex in Social Perception. *NeuroImage*, **18**, 675-684. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(02\)00038-1](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(02)00038-1)
- [37] Alagapan, S., Lustenberger, C., Hadar, E., *et al.* (2019) Low-Frequency Direct Cortical Stimulation of Left Superior Frontal Gyrus Enhances Working Memory Performance. *NeuroImage*, **184**, 697-706. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.09.064>
- [38] Cullen, K.R., Schreiner, M.W., Klimes-Dougan, B., *et al.* (2020) Neural Correlates of Clinical Improvement in Response to N-Acetylcysteine in Adolescents with Non-Suicidal Self-Injury. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, **99**, Article ID: 109778. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2019.109778>
- [39] Jarrahi, B. (2021) An ICA Investigation into the Effect of Physiological Noise Correction on Dimensionality and Spatial Maps of Intrinsic Connectivity Networks. 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC), Mexico, 1-5 November 2021, 3145-3148. <https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9629877>
- [40] Ho, T.C., Walker, J.C., Teresi, G.I., *et al.* (2021) Default Mode and Salience Network Alterations in Suicidal and Non-Suicidal Self-Injurious Thoughts and Behaviors in Adolescents with Depression. *Translational Psychiatry*, **11**, Article No. 38. <https://doi.org/10.1038/s41398-020-01103-x>
- [41] Yu, Q., Du, Y., Chen, J., *et al.* (2018) Application of Graph Theory to Assess Static and Dynamic Brain Connectivity: Approaches for Building Brain Graphs. *Proceedings of the IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers*, **106**, 886-906. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2018.2825200>
- [42] Mürner-Lavanchy, I., Koenig, J., Reichl, C., *et al.* (2022) Altered Resting-State Networks in Adolescent Non-Suicidal Self-Injury—A Graph Theory Analysis. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, **17**, 819-827. <https://doi.org/10.1093/scan/nsac007>