

· 综述 ·

功能近红外光谱成像在精神分裂症攻击行为中的研究进展

刘凤菊 谢斌 邵阳 乔屹

200030 上海交通大学医学院附属精神卫生中心

通信作者: 谢斌, Email: xiebin@smhc.org.cn; 邵阳, Email: sawyer2002@163.net; 乔屹,

Email: qiaoyi2004@msn.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2020.08.010

【摘要】随着影像技术的发展,精神分裂症攻击或暴力行为的神经生物学研究已取得一定进展。但是由于精神分裂症攻击人群的特殊性,既往的影像学研究存在一定的局限性。功能近红外光谱成像技术在精神分裂症攻击行为患者的研究中有其独特的优势。现就精神分裂症攻击行为的功能近红外光谱成像研究进展进行综述。

【关键词】精神分裂症; 攻击; 近红外光谱成像; 综述

基金项目:上海市科学技术委员会科研项目(19411950800);上海市公共卫生体系建设三年行动计划(GWV-10.2-XD27);国家自然科学基金青年项目(81302624)

Advances in functional near-infrared spectroscopy in aggressive behavior of schizophrenia Liu Fengju, Xie Bin, Shao Yang, Qiao Yi

Shanghai Mental Health Center, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200030, China

Corresponding authors: Xie Bin, Email: xiebin@smhc.org.cn; Shao Yang, Email: sawyer2002@163.net; Qiao Yi, Email: qiaoyi2004@msn.com

【Abstract】With the development of neuroimaging technology, considerable progress has been made on the exploration of aggressive or violence behavior in schizophrenia patients. However, due to the particularity of schizophrenic aggressive patients, there are some limitations in previous neuroimaging studies. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) has its unique strengths in the study of schizophrenic aggressive behavior. This paper reviews the research progress of fNIRS of aggressive behavior in schizophrenia.

【Key words】Schizophrenia; Aggression; Near-infrared spectroscopy; Review

Fund programs: Scientific Research Program of Shanghai Science and Technology Committee (19411950800); Three-Year Action Plan for the Construction of Public Health System in Shanghai (GWV-10.2-XD27); Youth Program of National Natural Science Foundation of China (81302624)

暴力或攻击是一个复杂的多因素问题,对社会以及人类自身的健康均有着严重的影响。多数研究表明,精神分裂症患者比普通人群暴力风险更高^[1-2]。神经影像学技术的快速发展,使精神分裂症患者攻击行为的神经生物学机制研究取得了一定的进展。既往研究发现,与情绪调控、决策过程相关的皮层-边缘系统的结构或功能失衡与攻击行为的发生密切相关,包括眶额回、背外侧前额叶、杏仁核、海马、扣带回等区域^[3-5]。另外,研究还发现额-颞叶回路功能失调在精神分裂症患者的攻击行为中起着重要作用,而药物治疗可能是通过此回路来起效的^[6]。

这些发现为攻击行为的早期识别和干预提供了可能的生物标志物。

由于精神分裂症患者的攻击行为多发生在治疗前或首次发病期间,受阳性精神症状及敌对情绪等诸多因素的影响^[7-8],患者在实施攻击行为后的短时间内往往不能很好地配合检查。因此,既往的影像学研究多集中在药物控制后或慢性稳定期的患者^[9-10],从而使得精神分裂症攻击行为研究的时效性受到影响。另外,其他的影像学技术(如磁共振、电生理、PET等)存在各自的不足,如电生理技术空间分辨率较差,磁共振技术的时间分辨率较差,PET

则属于有创性研究技术。因此,寻找灵敏度、特异度高的生物学指标,以期早期识别、干预精神分裂症患者的攻击行为非常重要。

一、功能近红外光谱成像技术

功能近红外光谱成像技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)是一种非侵入性的脑成像技术,它主要是利用血红蛋白对不同波长红外光的吸收率不同,从而测量大脑活动时氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白浓度的相对变化,以实时了解大脑的功能状态。近20年来,该技术在多个领域尤其是神经认知领域得以迅速应用^[11-12]。fNIRS具有无创性、便携性、可重复性等优势^[13],且操作相对简单、对受试者配合度要求不高、对受试者的生理和心理负担较小^[14]。因此,fNIRS对那些不能配合完成其他影像技术的受试者有较好的适用性。fNIRS的时间、空间分辨率介于电生理(ERP)技术、磁共振技术(fMRI)之间,有其独特的使用优势。既往的研究发现fMRI的血氧水平依赖成像(BOLD)信号与fNIRS的氧合血红蛋白变化之间存在明显的相关性^[15-16],在特定的认知任务下使用fNIRS测量脑区激活的情况,也可得出与fMRI研究相一致的结果^[16-17]。因此,可以预测fNIRS技术在精神分裂症攻击行为的研究中具有较好的可行性,有望为其神经生物学机制的探索提供新的视角和可能性。

fNIRS在精神疾病中的研究已取得一定进展,现有的研究发现fNIRS可协助精神障碍的早期识别和诊断^[18-19]。然而,截止目前,尚未有fNIRS技术直接应用于精神分裂症攻击行为的研究报道。鉴于这个原因,现通过回顾现有的文献,对涉及精神分裂症攻击行为危险因素的fNIRS研究进行综述,为该技术在精神分裂症攻击行为研究中的应用提供理论支持。

二、fNIRS在攻击行为相关危险因素研究中的应用

多种因素与未来实施攻击行为有关,目前较为公认的临床因素包括阳性精神病性症状、冲动性、缺乏自知力等^[9, 20-21]。另外,认知功能因素在精神分裂症攻击行为的作用也越来越多地被认识到,如执行功能和社会认知功能下降等^[9, 22-23]。对这些因素的干预,有利于减少暴力行为的发生风险。现从临床症状和认知功能两个角度,就目前fNIRS的相关研究进行讨论。

(一)临床因素

1. 阳性精神病性症状:精神分裂症患者的攻击

行为与其精神病性症状之间存在密切联系,尤其是在发病的早期阶段^[24]。阳性精神病性症状,包括被害妄想、命令性幻听等是精神分裂症患者发生攻击行为的危险因素^[8, 24]。Baskak等^[25]利用fNIRS来观察受试者执行概率推理任务(The Beads in a Jar Task, BIJT)期间前额叶氧合血红蛋白浓度的变化(Δ Oxy-Hb),以此来反映有被害妄想症状的患者脑区激活情况。该研究基于以下理论:妄下结论(jumping to conclusions, JTC)是一种概率推理偏差,指倾向于在较少的证据基础上做出决策,被认为是导致妄想形成的原因之一。研究中常采用BIJT来识别这种概率推理中的变异。研究结果显示,在执行任务时,有被害妄想症状的患者与健康对照者之间在前额叶喙部不同亚区存在激活差异,在高概率任务下,健康对照组内侧前额叶区域比患者激活明显(Δ Oxy-Hb均值更高),而在低概率任务下,患者组外侧前额叶的激活程度更高。同样在低概率任务下,健康对照组的外侧前额叶激活明显低于高概率任务,这一差异在精神分裂症组并未出现。研究认为,患者组在低概率任务时外侧前额叶不能有效失活,可能与被害妄想症状导致的过早决策有关。相较于健康对照者,有被害妄想症状的患者往往更早得出结论,研究者推测有被害妄想症状的患者决策障碍可能与其冲动性特质有关。研究为fNIRS应用于被害妄想症状生物标志物的探索提供了初步的依据,遗憾的是该研究没有分析妄想评分与前额叶 Δ Oxy-Hb之间的关系。近期的一项fNIRS研究通过监测有持续幻觉症状的慢性精神分裂症患者静息状态下前额叶低频振幅(ALFF)及低频振幅比率(fALFF)的特点,来反映脑区的自发活动情况^[26]。结果发现,相较于健康对照者,有持续幻觉症状的患者内侧前额叶皮质(medial prefrontal cortex, mPFC)的ALFF和fALFF均降低,且幻觉评分越高,其前额叶ALFF降低的程度越大,提示有持续幻觉症状的精神分裂症患者前额叶自发活动减少,这与以往fMRI的研究结果一致^[27-28]。该研究提示静息态fNIRS可以敏感监测出精神分裂症症状学相关的脑自发活动变化,为静息态fNIRS在症状学中的应用提供了可能性,尤其对于那些不能配合完成任务的受试者有其独特优势。

2. 冲动性:冲动性在一些精神疾病包括精神分裂症中均可见,且已被证实与攻击等行为问题相关^[6, 20]。冲动性在甲基苯丙胺(冰毒)使用者中表现尤为显著^[29],目前已发现两项fNIRS研究应用于甲基苯丙胺所致的精神障碍(methamphetamine associated psychosis,

MAP)和(或)精神分裂症患者冲动性研究。其中一项研究发现,与健康对照相比,MAP患者在执行Stroop任务时前额叶皮层的活动明显降低(Oxy-Hb浓度变化较小),且Barret冲动量表评分越高,前额叶Oxy-Hb浓度变化越小^[30]。前额叶活动降低可能提示较高的冲动性水平。另外一项研究发现,在执行信号停止的抑制控制任务时,MAP和精神分裂症患者腹外侧前额叶皮层活动均明显下降(Oxy-Hb浓度变化较小)。研究者用PANSS五因素模型的兴奋敌对因子(包括冲动控制障碍、兴奋、敌对性和不合作)评分来反映冲动性水平,发现精神分裂症患者的冲动性水平与前运动皮层(premotor cortex)的Oxy-Hb浓度变化呈负相关^[31]。这与既往的影像学研究相一致^[32],前额叶参与了情绪调控、冲动控制等过程,并且通过与杏仁核等皮层下脑区相互作用,从而导致攻击行为的发生,而fNIRS可以有效监测冲动性相关的前额叶Oxy-Hb浓度变化。

3. 自知力:自知力是指患者能认识到自己的精神疾病并将症状归因于疾病,能意识到疾病的社会后果以及治疗的必要性。自知力受损是精神分裂症的重要临床特征。荟萃分析显示,自知力缺乏是攻击行为发生的重要危险因素,缺乏自知力对暴力的影响似乎比阳性症状更显著^[20]。研究中常采用贝克认知自知力量表(Beck Cognitive Insight Scale, BCIS)来评估患者的认知自知力。fNIRS应用于自知力的研究极少,Pu等^[33]利用多通道fNIRS对稳定期精神分裂症的患者进行了认知自知力的相关研究,该研究通过检测脑内Oxy-Hb浓度变化来反映脑区活动。结果显示,在完成语言流畅性任务(verbal fluency task, VFT)时,精神分裂症患者BCIS中自我反思量表评分与右侧腹外侧前额叶和右侧颞叶Oxy-Hb浓度变化均值呈显著正相关。与此相一致,既往磁共振研究也发现认知自知力主要与腹外侧前额叶皮层和海马区结构和功能相关,这些脑区可能是通过参与自我相关信息的检索与整合而起作用^[34],提示fNIRS信号可以反映精神分裂症患者自知力水平的潜在生物标志。自知力受损的个体常难以检查和纠正自己的思想和信念,从而在妄想的发展和维持中起重要作用^[35],两者均为攻击行为发生的重要因素。

(二) 认知功能

作为精神分裂症的核心症状之一,认知功能障碍引起了人们越来越多的重视。神经认知和社会认知损害相关均与精神分裂症患者的攻击行为有关^[36]。

1. 神经认知:神经认知包括记忆、注意、执行功能等。神经认知障碍作为远端危险因素可能为一系列暴力风险因素的出现奠定了基础,这些危险因素包括社会推理缺陷、精神病性症状和社交功能障碍等^[36-37]。很多研究均发现了精神分裂症合并攻击行为的患者存在执行功能下降^[22-23],发生执行功能障碍的患者更容易对真实线索产生误解,从而导致敌意归因偏差,并且个体无法相应地更新和修正自己的认知,因而更容易有攻击倾向。抑制控制是执行功能的核心部分,多种心理学试验范式可用于抑制控制的研究,如go/no-go、stroop任务、信号停止任务等。Okada等^[31]研究在执行信号停止的抑制控制任务时,相较于健康对照者,精神分裂症患者的腹外侧前额叶皮层活动明显下降。类似地,Nishimura等^[38]使用多通道fNIRS研究精神分裂症患者在执行go/no-go反应抑制任务期间前额叶活动情况,结果发现,相较于“go”任务,健康对照组在执行“no-go”任务时,背外侧前额叶皮层出现了显著的失活,而精神分裂症患者组则未出现这种变化。研究者推测健康对照组具有更强的前额叶活动抑制功能,而精神分裂症患者前额叶抑制活动相对较差。此外,该研究还发现在精神分裂症患者中,PANSS兴奋敌对因子评分与右侧前额皮质和额极区活动呈正相关。PANSS兴奋敌对因子评分与攻击行为有密切相关性^[39],而反应抑制过程中的前额叶活动异常可能与精神分裂症患者的兴奋性症状有关。

2. 社会认知:社会认知包括同理心(empathy)、心智化(mentalisation)、心智理论(theory of mind)等,是攻击行为的重要危险因素^[9,37]。社会认知功能障碍是攻击行为的直接危险因素,不受神经认知、暴力倾向和精神病性症状严重程度影响^[36]。社会认知障碍的患者在情感感知、情绪觉察、想法解读、情境敏感性加工、情绪性推理等方面常表现欠佳^[40]。由于开发社会认知各个维度的评估工具存在一定困难,目前关于社会认知功能的研究较少^[36,41]。

符合冷漠无情特质的个体通常存在某些社会认知功能缺陷,比如缺乏同理心、缺乏负罪感等^[42]。高冷漠无情特质的个体存在较高的严重暴力或犯罪风险^[43]。2016年的一项fNIRS研究发现,在观看喜剧或暴力场景的视频时,高冷漠无情特质的个体内侧前额叶皮层的激活程度均较低,且两者之间无明显差异^[42]。低冷漠无情特质的个体在观看喜剧视频时前额叶皮层的激活更强,提示高冷漠无情特质的个体存在特定的情感加工缺陷。高冷漠无情特质

个体的低情感反应和对受害者痛苦的低反应性可能与攻击行为有关。

情感调节障碍是冲动性攻击的特点之一^[5, 44], 精神分裂症患者存在情绪识别障碍, 而多通道近红外光谱法可以有效测量这种功能损害^[45]。Egashira等^[46]的研究使用fNIRS来测量受试者在负性情绪面孔(恐惧和愤怒)刺激和非情绪面孔刺激下的go/no-go任务期间额颞区激活情况。结果发现, 与健康对照者相比, 精神分裂症患者在情绪刺激和非情绪刺激期间均出现较多的错误, 且按键反应时间更长。相较于健康对照者, 精神分裂症患者在情绪面孔刺激的任务期间, 额叶及颞叶脑区激活程度较弱。精神分裂症患者在情绪刺激和非情绪刺激期间的脑区激活无差异。提示精神分裂症患者的额-颞叶功能障碍是由负性情绪面孔的处理异常与认知抑制异常的交互作用引起的, 但是该研究没有评估精神分裂症患者的攻击或冲动性特质。

三、应用展望

fNIRS技术对运动伪迹相对不敏感, 且具有较高的时间分辨率, 是一种可靠的监测认知活动过程中大脑皮层活动进程的工具^[47-48]。但是该技术有一定局限性, 比如空间分辨率相对较低, 不能测量深部脑组织血氧的变化。未来的研究可以结合其他影像技术, 使fNIRS具有更大的推广意义。例如, 一些研究采用了fNIRS与fMRI相结合的方法, 一方面通过利用fMRI这个“金标准”来验证fNIRS技术在脑功能监测中的可靠性^[49], 且目前的研究已证实fNIRS技术在运动感知任务^[50]、认知任务^[51]以及静息态的脑功能监测^[52]等方面与fMRI具有较好的一致性; 另一方面, fNIRS技术可以弥补fMRI的限制, 它对运动没有严格的限制, 对电或磁(如起搏器)不敏感, 对更复杂、自然的行为神经机制的研究有更好的适用性^[49, 53]。两种技术的结合, 可以更全面地探索精神分裂症攻击行为的状态性和特质性神经生物学机制。而fNIRS与ERP技术的结合, 则能够动态测量情绪演变(ERP和fNIRS)和特定皮层区域在处理情绪过程中的作用(fNIRS)^[14], 可以用来实现任务诱发下精神分裂症攻击行为的异常情感调节模式的监测。另外, fNIRS不仅可以用来成像, 也可用于进一步阐明经颅直流电刺激等神经刺激技术的潜在机制^[54], 将来的研究可以通过纵向随访研究, 探索电休克等物理治疗手段在精神分裂症攻击行为中的作用机制及疗效。随着技术的不断进步, 基于fNIRS的脑网络、脑区关联性等多种研究方法的开

展, 可以为精神分裂症攻击行为的神经环路研究提供更多的可能^[55-56]。

鉴于目前尚缺乏fNIRS技术应用于精神分裂症攻击行为的研究, 而关于攻击相关危险因素的研究也较少, 目前的研究尚不能形成系统的结论, 但是已有研究发现为将来fNIRS在精神分裂症攻击行为研究中的应用提供了技术支持及潜在的生物标志物。fNIRS技术虽有一定局限性, 但是在精神分裂症攻击行为的研究中有其独特的优势。fNIRS技术的发展、fNIRS与其他技术的融合可能为精神分裂症患者攻击行为的预测、早期识别以及疗效的评估提供新的视角。

利益冲突 文章所有作者共同认可文章无相关利益冲突

作者贡献声明 文献调研与整理、文献检索及复习、论文撰写为刘凤菊, 构思与设计、论文修订、整理和审校为谢斌、邵阳、乔屹

参 考 文 献

- [1] Nederlof AF, Muris P, Hovens JE. The epidemiology of violent behavior in patients with a psychotic disorder: A systematic review of studies since 1980 [J]. *Aggress Violent Beh*, 2013, 18(1): 183-189. DOI: 10.1016/j.avb.2012.11.018.
- [2] Fazel S, Gulati G, Linsell L, et al. Schizophrenia and violence: systematic review and meta-analysis [J]. *PLoS Med*, 2009, 6(8): e1000120. DOI: 10.1371/journal.pmed.1000120.
- [3] Leclerc MP, Regenbogen C, Hamilton RH, et al. Some neuroanatomical insights to impulsive aggression in schizophrenia [J]. *Schizophr Res*, 2018, 201: 27-34. DOI: 10.1016/j.schres.2018.06.016.
- [4] Soyka M. Neurobiology of aggression and violence in schizophrenia [J]. *Schizophr Bull*, 2011, 37(5): 913-920. DOI: 10.1093/schbul/sbr103.
- [5] Coccaro EF, Sripada CS, Yanowitch RN, et al. Corticolimbic function in impulsive aggressive behavior [J]. *Biol Psychiatry*, 2011, 69(12): 1153-1159. DOI: 10.1016/j.biopsych.2011.02.032.
- [6] Hoptman MJ. Impulsivity and aggression in schizophrenia: a neural circuitry perspective with implications for treatment [J]. *CNS Spectr*, 2015, 20(3): 280-286. DOI: 10.1017/S1092852915000206.
- [7] Large MM, Niessen O. Violence in first-episode psychosis: a systematic review and meta-analysis [J]. *Schizophr Res*, 2011, 125(2/3): 209-220. DOI: 10.1016/j.schres.2010.11.026.
- [8] Hodgins S, Riaz M. Violence and phases of illness: differential risk and predictors [J]. *Eur Psychiatry*, 2011, 26(8): 518-524. DOI: 10.1016/j.eurpsy.2010.09.006.
- [9] Rund BR. The association between schizophrenia and violence [J]. *Schizophr Res*, 2018, 199: 39-40. DOI: 10.1016/j.schres.2018.02.043.
- [10] Hoptman MJ, Volavka J, Weiss EM, et al. Quantitative MRI measures of orbitofrontal cortex in patients with chronic schizophrenia or schizoaffective disorder [J]. *Psychiatry Res*, 2005, 140(2): 133-145. DOI: 10.1016/j.psychres.2005.07.004.
- [11] Yan WW, Zheng KY, Weng LM, et al. Bibliometric evaluation of 2000-2019 publications on functional near-infrared spectroscopy [J]. *Neuroimage*, 2020, 220: 117121. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2020.117121.

- [12] Pinti P, Tachtsidis I, Hamilton A, et al. The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2020, 1464(1): 5-29. DOI: 10.1111/nyas.13948.
- [13] Kono T, Matsuo K, Tsunashima K, et al. Multiple-time replicability of near-infrared spectroscopy recording during prefrontal activation task in healthy men[J]. *Neurosci Res*, 2007, 57(4): 504-512. DOI: 10.1016/j.neures.2006.12.007.
- [14] Balconi M, Tirelli S, Frezza A. Event-related potentials (ERPs) and hemodynamic (functional near-infrared spectroscopy, fNIRS) as measures of schizophrenia deficits in emotional behavior[J]. *Front Psychol*, 2015, 6: 1686. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.01686.
- [15] Alderliesten T, De Vis JB, Lemmers PMA, et al. Simultaneous quantitative assessment of cerebral physiology using respiratory-calibrated MRI and near-infrared spectroscopy in healthy adults[J]. *Neuroimage*, 2014, 85(1): 255-263. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.07.015.
- [16] Heinzel S, Haeussinger FB, Hahn T, et al. Variability of (functional) hemodynamics as measured with simultaneous fNIRS and fMRI during intertemporal choice[J]. *Neuroimage*, 2013, 71: 125-134. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.12.074.
- [17] Monden Y, Dan H, Nagashima M, et al. Right prefrontal activation as a neuro-functional biomarker for monitoring acute effects of methylphenidate in ADHD children: An fNIRS study[J]. *Neuroimage Clin*, 2012, 1(1): 131-140. DOI: 10.1016/j.nicl.2012.10.001.
- [18] Wei YY, Chen Q, Curtin A, et al. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) as a tool to assist the diagnosis of major psychiatric disorders in a Chinese population[J]. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*, 2020. DOI: 10.1007/s00406-020-01125-y.
- [19] Kumar V, Shivakumar V, Chhabra H, et al. Functional near infrared spectroscopy (fNIRS) in schizophrenia: A review[J]. *Asian J Psychiatr*, 2017, 27: 18-31. DOI: 10.1016/j.ajp.2017.02.009.
- [20] Witt K, Van Dorn R, Fazel S. Risk factors for violence in psychosis: systematic review and meta-regression analysis of 110 studies[J]. *PLoS One*, 2013, 8(2): e55942. DOI: 10.1371/journal.pone.0055942.
- [21] Shad MU, Muddasani S, Prasad K, et al. Insight and prefrontal cortex in first-episode Schizophrenia[J]. *Neuroimage*, 2004, 22(3): 1315-1320. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2004.03.016.
- [22] Harris ST, Oakley C, Picchioni MM. A systematic review of the association between attributional bias/interpersonal style, and violence in schizophrenia/psychosis[J]. *Aggress Violent Beh*, 2014, 19(3): 235-241. DOI: 10.1016/j.avb.2014.04.009.
- [23] Krakowski MI, Czobor P. Executive function predicts response to antiaggression treatment in schizophrenia: a randomized controlled trial[J]. *J Clin Psychiatry*, 2012, 73(1): 74-80. DOI: 10.4088/JCP.11m07238.
- [24] Bo S, Abu-Akel A, Kongerslev M, et al. Risk factors for violence among patients with schizophrenia[J]. *Clin Psychol Rev*, 2011, 31(5): 711-726. DOI: 10.1016/j.cpr.2011.03.002.
- [25] Baskak B, Baran Z, Ozguven HD, et al. Prefrontal activity measured by functional near infrared spectroscopy during probabilistic inference in subjects with persecutory delusions[J]. *Schizophr Res*, 2015, 161(2/3): 237-243. DOI: 10.1016/j.schres.2014.11.011.
- [26] Yanagi M, Hosomi F, Kawakubo Y, et al. A decrease in spontaneous activity in medial prefrontal cortex is associated with sustained hallucinations in chronic schizophrenia: An NIRS study[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 9569. DOI: 10.1038/s41598-020-66560-2.
- [27] Ren WT, Lui S, Deng W, et al. Anatomical and functional brain abnormalities in drug-naive first-episode schizophrenia[J]. *Am J Psychiatry*, 2013, 170(11): 1308-1316. DOI: 10.1176/appi.ajp.2013.12091148.
- [28] He Z, Deng W, Li M, et al. Aberrant intrinsic brain activity and cognitive deficit in first-episode treatment-naive patients with schizophrenia[J]. *Psychol Med*, 2013, 43(4): 769-780. DOI: 10.1017/S0033291712001638.
- [29] Payer DE, Lieberman MD, London ED. Neural correlates of affect processing and aggression in methamphetamine dependence[J]. *Arch Gen Psychiatry*, 2011, 68(3): 271-282. DOI: 10.1001/archgenpsychiatry.2010.154.
- [30] Yamamuro K, Kimoto S, Iida J, et al. Reduced Prefrontal Cortex Hemodynamic Response in Adults with Methamphetamine Induced Psychosis: Relevance for Impulsivity[J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): e0152373. DOI: 10.1371/journal.pone.0152373.
- [31] Okada N, Takahashi K, Nishimura Y, et al. Characterizing prefrontal cortical activity during inhibition task in methamphetamine-associated psychosis versus schizophrenia: a multi-channel near-infrared spectroscopy study[J]. *Addict Biol*, 2016, 21(2): 489-503. DOI: 10.1111/adb.12224.
- [32] Leclerc MP, Regenbogen C, Hamilton RH, et al. Some neuroanatomical insights to impulsive aggression in schizophrenia[J]. *Schizophr Res*, 2018, 201: 27-34. DOI: 10.1016/j.schres.2018.06.016.
- [33] Pu SH, Nakagome K, Yamada T, et al. Association between cognitive insight and prefrontal function during a cognitive task in schizophrenia: a multichannel near-infrared spectroscopy study[J]. *Schizophr Res*, 2013, 150(1): 81-87. DOI: 10.1016/j.schres.2013.07.048.
- [34] Pijnenborg GHM, Larabi DI, Xu P, et al. Brain areas associated with clinical and cognitive insight in psychotic disorders: A systematic review and meta-analysis[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2020, 116: 301-336. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2020.06.022.
- [35] Ifrah C, Ospina LH, Shagalow S, et al. Cognitive insight and autonomic regulation during daily functioning in individuals with schizophrenia[J]. *Schizophr Res*, 2020, 218: 300-301. DOI: 10.1016/j.schres.2020.03.013.
- [36] O'Reilly K, Donohoe G, Coyle C, et al. Prospective cohort study of the relationship between neuro-cognition, social cognition and violence in forensic patients with schizophrenia and schizoaffective disorder[J]. *BMC Psychiatry*, 2015, 15: 155. DOI: 10.1186/s12888-015-0548-0.
- [37] Abu-Akel A, Abushua'leh K. 'Theory of mind' in violent and nonviolent patients with paranoid schizophrenia[J]. *Schizophr Res*, 2004, 69(1): 45-53. DOI: 10.1016/S0920-9964(03)00049-5.
- [38] Nishimura Y, Takizawa R, Muroi M, et al. Prefrontal cortex activity during response inhibition associated with excitement symptoms in schizophrenia[J]. *Brain Res*, 2011, 1370: 194-203. DOI: 10.1016/j.brainres.2010.11.003.
- [39] Sakanaka S, Tsujii N, Morimoto H, et al. Aggressiveness is associated with excitement on the five-factor model of the positive and negative syndrome scale and prefrontal function in patients with stable schizophrenia[J]. *Psychiatry Res*, 2020, 290: 113054. DOI: 10.1016/j.psychres.2020.113054.

- [40] Ochsner KN. The social-emotional processing stream: five core constructs and their translational potential for schizophrenia and beyond[J]. *Biol Psychiatry*, 2008, 64(1): 48-61. DOI: 10.1016/j.biopsych.2008.04.024.
- [41] Nuechterlein KH, Green MF, Kern RS, et al. The MATRICS Consensus Cognitive Battery, part 1: test selection, reliability, and validity[J]. *Am J Psychiatry*, 2008, 165(2): 203-213. DOI: 10.1176/appi.ajp.2007.07010042.
- [42] Fantl KA, Panayiotou G, Lombardo MV, et al. Unemotional on all counts: Evidence of reduced affective responses in individuals with high callous-unemotional traits across emotion systems and valences[J]. *Soc Neurosci*, 2016, 11(1): 72-87. DOI: 10.1080/17470919.2015.1034378.
- [43] Byrd AL, Loeber R, Pardini DA. Understanding desisting and persisting forms of delinquency: the unique contributions of disruptive behavior disorders and interpersonal callousness[J]. *J Child Psychol Psychiatry*, 2012, 53(4): 371-380. DOI: 10.1111/j.1469-7610.2011.02504.x.
- [44] Alcázar-Córcoles MA, Verdejo-García A, Bouso-Saiz JC, et al. Neuropsychology of impulsive aggression[J]. *Rev Neurol*, 2010, 50(5): 291-299.
- [45] Shoji Y, Morita K, Mori K, et al. Characteristics of single event-related cerebral hemodynamics during verbal task in emotionally charged state measured by multi-channel near-infrared spectroscopy (NIRS) in patients with schizophrenia: comparison with healthy subjects[J]. *Seishin Shinkeigaku Zasshi*, 2013, 115(8): 853-862.
- [46] Egashira K, Matsuo K, Nakashima M, et al. Blunted brain activation in patients with schizophrenia in response to emotional cognitive inhibition: a functional near-infrared spectroscopy study[J]. *Schizophr Res*, 2015, 162(1/3): 196-204. DOI: 10.1016/j.schres.2014.12.038.
- [47] Kameyama M, Fukuda M, Yamagishi Y, et al. Frontal lobe function in bipolar disorder: a multichannel near-infrared spectroscopy study[J]. *Neuroimage*, 2006, 29(1): 172-184. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2005.07.025.
- [48] Suto T, Fukuda M, Ito M, et al. Multichannel near-infrared spectroscopy in depression and schizophrenia: cognitive brain activation study[J]. *Biol Psychiatry*, 2004, 55(5): 501-511. DOI: 10.1016/j.biopsych.2003.09.008.
- [49] Scarapicchia V, Brown C, Mayo C, et al. Functional Magnetic Resonance Imaging and Functional Near-Infrared Spectroscopy: Insights from Combined Recording Studies[J]. *Front Hum Neurosci*, 2017, 11: 419. DOI: 10.3389/fnhum.2017.00419.
- [50] Anwar AR, Muthalib M, Perrey S, et al. Effective Connectivity of Cortical Sensorimotor Networks During Finger Movement Tasks: A Simultaneous fNIRS, fMRI, EEG Study[J]. *Brain Topogr*, 2016, 29(5): 645-660. DOI: 10.1007/s10548-016-0507-1.
- [51] Sato H, Yahata N, Funane T, et al. A NIRS-fMRI investigation of prefrontal cortex activity during a working memory task[J]. *Neuroimage*, 2013, 83: 158-173. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.06.043.
- [52] Sasai S, Homae F, Watanabe H, et al. A NIRS-fMRI study of resting state network[J]. *Neuroimage*, 2012, 63(1): 179-193. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.06.011.
- [53] Noah JA, Ono Y, Nomoto Y, et al. fMRI Validation of fNIRS Measurements During a Naturalistic Task[J]. *J Vis Exp*, 2015, 100: e52116. DOI: 10.3791/52116.
- [54] Mckendrick R, Parasuraman R, Ayaz H. Wearable functional near infrared spectroscopy (fNIRS) and transcranial direct current stimulation (tDCS): expanding vistas for neurocognitive augmentation[J]. *Front Syst Neurosci*, 2015, 9: 27. DOI: 10.3389/fnsys.2015.00027.
- [55] Niu HJ, Li Z, Liao XH, et al. Test-retest reliability of graph metrics in functional brain networks: a resting-state fNIRS study[J]. *PLoS One*, 2013, 8(9): e72425. DOI: 10.1371/journal.pone.0072425.
- [56] White BR, Snyder AZ, Cohen AL, et al. Resting-state functional connectivity in the human brain revealed with diffuse optical tomography[J]. *Neuroimage*, 2009, 47(1): 148-156. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2009.03.058.

(收稿日期: 2020-07-07)

(本文编辑: 戚红丹)