

· 综述 ·

童年创伤经历者脑白质异常的弥散张量成像研究进展

李灵洁 乔聚耀 崔燕 程雯雪 张语桐 刘嘉 周聪 徐书尚

272000 济宁医学院精神卫生学院(李灵洁、乔聚耀、崔燕、程雯雪、张语桐、刘嘉、周聪、徐书尚); 272000 济宁医学院附属医院心理科(周聪)

通信作者: 周聪, Email: doctorzhoucong@163.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2025.06.009

【摘要】童年创伤可能会对个体大脑微结构产生影响。弥散张量成像(DTI)是研究脑白质微结构变化的有力手段之一。本文从脑白质的主要结构、功能和不同类型童年创伤经历方面综述了目前童年创伤经历者脑白质异常的DTI相关研究,旨在为进一步探索童年创伤经历者脑白质微结构变化与精神疾病的神经病理学机制之间的关系提供理论基础和研究依据。

【关键词】磁共振成像; 童年创伤; 脑白质; 弥散张量成像; 综述

基金项目: 山东省医药卫生科技项目(202304011343); 济宁市重点研发计划软科学项目(2023JNZC141); 济宁医学院大学生创新项目(cx2023036z)

Progress on diffusion tensor imaging of white matter abnormalities in childhood trauma patients

Li Lingjie, Qiao Juyao, Cui Yan, Cheng Wenxue, Zhang Yutong, Liu Jia, Zhou Cong, Xu Shushang
School of Mental Health, Jining Medical College, Jining 272000, China (Li LJ, Qiao JY, Cui Y, Cheng WX, Zhang YT, Liu J, Zhou C, Xu SS); Department of Psychology, Affiliated Hospital of Jining Medical College, Jining 272000, China (Zhou C)

Corresponding author: Zhou Cong, Email: doctorzhoucong@163.com

【Abstract】Childhood trauma may have an impact on the microstructure of an individual's brain. Diffusion tensor imaging (DTI) is one of the powerful means to study the changes in white matter microstructure. This article summarizes current DTI-related studies on white matter abnormalities in patients with childhood trauma experiences, focusing on the main structures and functions of white matter, as well as different types of childhood trauma. It provides a theoretical foundation and research basis for further exploration of the relationship between white matter microstructure changes and the neuropathological mechanisms of mental illness in childhood trauma patients.

【Key words】Magnetic resonance imaging; Childhood trauma; White matter; Diffusion tensor imaging; Review

Fund programs: Shandong Province Medical and Health Science and Technology Project (202304011343); Jining City Key Research and Development Plan Soft Science Project (2023JNZC141); Jining Medical College Student Innovation Project (cx2023036z)

童年期创伤亦称不良童年经历、早期生活压力等,主要是指发生在儿童时期并导致个体长期处于应激状态的潜在创伤事件。这些经历可能包括但不限于情感和躯体虐待、忽视、缺乏关爱、家庭功能失调以及社会剥夺等,其中以情感虐待、躯体虐待及躯体忽视最为常见^[1]。童年期的创伤经历会对儿童和青少年的身心发展产生显著的负面影响,目前已成为全球广泛关注的重大公共卫生问题^[2]。

大样本的流行病学调查显示,每年儿童期躯体虐待的发生率为4%~16%,忽视或情感虐待的发生率约为10%^[3]。童年创伤可能会对个体大脑微结构产生影响,破坏脑白质神经束,从而影响脑区之间的通信,并最终导致童年创伤的经历者出现精神病理学症状的风险增加^[4-5]。既往基于弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)技术的研究结果提示,有童年期创伤经历个体的胼胝体、扣带束、钩束等

位置存在白质完整性的改变,这可能构成了其认知、情感和行为困难的基础^[6]。

一、脑白质的定义和功能

脑白质是中枢神经系统内神经纤维聚集的部位,对信息传导起着十分重要的作用^[7]。脑白质神经纤维束可以传递来自大脑皮层的信号,将信息传输到各个脑区域,使不同的脑区之间可以相互协调配合,共同参与各种复杂的认知和行为任务。因脑白质具有较强的可塑性,所以脑白质的微结构可能通过学习训练或因外界负面影响而发生变化^[8]。脑白质病变会引起认知功能的下降也被证实,其异常程度可能与延迟回忆、计算力以及语言功能受损有关系。此外,脑白质病变与AD^[9]、PD^[10]、抑郁症^[11]等神经精神疾病的发病也密切相关。

二、DTI概述

1. DTI技术的原理和测量指标:DTI是MRI的一种,通过量化描述水分子在脑组织的扩散的各向异性,以非入侵性的方式显示神经纤维,追踪神经通路的主要特征^[12],构建结构网络,从而定量描述脑白质的完整性和微观结构的信息^[13],被广泛应用于研究健康和疾病状态下脑结构完整性特点^[14]。由于轴突和髓鞘等结构限制了神经纤维束的扩散,水分子沿着纤维束的轴穿越较纤维束轴更容易扩散,因而可通过不同的参数呈现纤维束的扩散特征以及对结构完整性进行测定。描述DTI图像特征的常用参数包括各向异性分数(fractional anisotropy, FA)、平均扩散系数(mean diffusivity, MD)、轴向扩散系数(axial diffusivity, AD)以及径向扩散系数(radial diffusivity, RD)。(1)FA是DTI最常用的指标,其通过提供脑回路的信息研究神经精神疾病,反映了脑白质纤维束中细胞结构的方向性程度,对脑白质纤维的存在和完整性非常敏感。当神经纤维结构异常时,FA值也会发生改变。FA值降低表明白质完整性受损,反映了脑白质束的变化,包括纤维堆积、纤维直径、髓鞘厚度和纤维方向性的变化^[15]。(2)MD代表分子整体扩散水平,与方向无关,MD值增加提示组织内自由水分子含量增多^[14]。FA值降低和MD值升高被认为脑白质区完整性丧失^[16],而MD在白质网络分析研究中优于FA指标,且MD中位数是一种有用的临床风险预测指标^[16]。(3)AD代表水分子沿扩散主轴方向的扩散速率,是最具有预测性的扩散指标,可反映轴突生长情况,AD值降低提示轴突损伤。(4)RD代表水分子在垂直于扩散主轴方向的扩散速率,反映髓鞘形成情况,髓鞘中髓磷脂减少表明RD值升高^[14]。

2. DTI技术在童年创伤脑白质研究中的应用:既往神经影像学研究表明,童年创伤经历可能对脑结构产生不利影响,童年创伤经历者部分脑白质微结构会发生改变^[17]。本文通过对脑白质的不同神经纤维结构分别进行综述,探讨童年负性经历对神经发育的潜在负面影响。

上纵束、下纵束(inferior longitudinal fasciculus, ILF)、额枕下束(inferior fronto-occipital fasciculus, IFOF)与扣带束都是联络纤维的一部分。在上纵束中,受到FA值变化影响的纤维束主要存在于连接语言功能的大脑区域通路中,Benedetti^[18]的研究也证明了部分人群双侧上纵束白质的完整性受到破坏是因为儿童期的言语虐待。ILF作为视觉边缘通路的关键组成部分为视觉所特有的情感、学习和记忆功能提供支持^[19]。在抑郁、焦虑、躯体化症状以及边缘应激敏感性研究中,DTI技术揭示了FA值与这些症状呈负相关。Choi等^[20]的研究也指出,童年目睹家庭暴力(非遭受躯体或性虐待)的儿童,其ILF的FA值会明显下降。IFOF是后颞叶、枕叶和眶额叶区域之间的直接通路,在情绪评估和视觉感知之间起着桥梁作用^[21],尤其是在处理情绪面孔加工方面。Hanson等^[22]的研究表明,与未经历早期逆境的儿童相比,经历过早期忽视的儿童在IFOF、ILF等附近均表现为FA值相对较低,表明IFOF白质完整性遭到破坏,从而导致个体情绪面孔加工能力受到损害,阻碍了个人识别情绪的能力,进而可能会增加抑郁症状的风险^[23]。扣带束在认知、情绪和行为等方面发挥着关键的作用。在儿童期虐待的情况下,后扣带回的完整性可能会发生变化,这可能与情绪调节障碍有关。这些变化可能会影响个体对情绪刺激的反应,从而影响其情绪状态和行为。一项研究通过FA值的测量发现,PTSD患者表现出后扣带回完整性下降^[21]。此外,Asmal等^[24]提到与经历高水平童年创伤的对照组比较,经历高水平创伤的首发精神分裂症患者ILF、上纵束和IFOF的FA值显著降低;与无性虐待史的患者相比,有儿童期性虐待史的患者IFOF、ILF、上纵束的FA值更低,提示童年创伤可能会导致脑白质完整性遭到破坏。

胼胝体是大脑内最大的白质纤维束,属于联合纤维,位于大脑半球纵裂底部,连接枕叶,并通过胼胝体压部穿过中线。其不仅在结构方面连接大脑左右两侧半球,且在功能方面参与两个半球体感和视觉信息的整合^[25],是高水平情感和认知能力所

必须的部分,其异常可与情绪问题有关。有报告通过DTI研究发现早期生活虐待与广泛的白质变化有关,尤其体现在胼胝体、内囊,其在额叶边缘和枕叶视觉皮层的连接通路受损后,影响体验的传递和处理^[26]。例如在儿童期遭受过言语虐待的成年人大脑结构的研究中,确实有证据证明经历过童年创伤的个体胼胝体的FA值降低^[27];将海马体与间隔区和乳状体相连接的穹窿也属于联合纤维,该通路的FA值变化主要与焦虑、躯体化等症状有关^[28];暴露于父母言语虐待的年轻人穹窿FA值下降^[20]。

内囊是通过丘脑、尾状核和豆状核之间的投射纤维,主要有3个部分,包括前肢、膝部和后肢。内囊在功能方面与情绪、认知密切相关^[29]。在一项关于儿童创伤的注意缺陷多动障碍(attention-deficit hyperactivity disorder, ADHD)研究中发现,内囊左后肢FA值显著升高,膝部MD值显著降低^[30]。有研究指出,精神分裂症患者的右侧内囊前肢的FA值降低,双侧内囊的后肢MD值增高^[31]。除此之外,抑郁症患者内囊膝部的FA值也低于对照组^[32]。尽管目前的多数研究倾向于认为童年期虐待与脑白质微结构改变之间存在关联,但研究者们对于这一议题的看法并非一致。以Asmal等^[24]针对首发精神分裂症的儿童创伤相关白质异常的研究为例,其研究团队发现,在未患有精神分裂症的健康对照组中,儿童期创伤水平高的受试者和儿童期总创伤水平低的受试者在各脑区的FA值差异均无统计学意义。此外,在Stevellink等^[33]的一项相关研究中,通过DTI技术进行的分层分析同样显示经历过虐待的健康个体与无虐待经历的健康个体的全脑白质平均FA值差异无统计学意义。

三、不同类型童年创伤经历与脑白质结构改变的关系

童年创伤事件通常包括情感和躯体虐待、情感和躯体忽略、性虐待、欺负、社会剥夺、灾难以及家庭功能失调(目睹家庭暴力、犯罪;父母分离、疾病或死亡;贫困以及物质滥用等)^[2]。

1. 早期忽视:既往多项研究提示,不同类型童年创伤对大脑白质微结构影响不尽相同^[18, 20, 22-23, 28]。例如,早期被忽视的儿童的多条白质纤维呈现FA值下降,包括额枕下束、下纵束、皮质脊髓束、扣带、放射状前冠和小脑脚中段附近^[23]。然而,Tatham等^[34]的最新研究发现,经历过严重儿童期身体或情感忽视且抑郁严重程度得分较高的个体在上纵束、钩束、

胼胝体的体部和膝部以及下枕额束中都表现出较高的FA值,这一发现与先前的研究结果有所不同。不同的发现可能是由样本的异质性导致,例如Tatham等^[34]的样本包括有严重早期忽视经历的抑郁症患者,而其他研究的样本则是由具有逆境经历的健康被试组成,或由具有更严重的虐待经历而非忽视经历的个体组成。

2. 虐待:Choi等^[28]通过对儿童期目睹家庭暴力事件的个体和遭受父母言语虐待的个体的神经影像研究揭示童年期情感虐待对白质的影响,结果发现儿童期目睹家庭暴力的个体左侧下纵束FA值与健康对照比较降低,而遭受父母语言虐待的个体的左侧弓状纤维(左侧颞上回)、左侧扣带束(海马尾部的梭状回)以及左侧穹窿体部白质FA值下降,且这些区域的白质FA值与受试者抑郁、焦虑、躯体化症状等评分均呈显著的负相关。有研究对17例因家庭内部虐待而罹患PTSD的儿童的DTI进行研究,发现这些被试胼胝体内侧和后侧白质的FA值显著下降^[35]。Lu等^[36]对不同年龄、早期生活压力事件数量与胼胝体结构研究分析发现,尽管早期生活压力事件的数量与胼胝体的大体结构间无相关性,但与胼胝体FA值间存在显著相关性,早期生活压力事件经历越多,胼胝体FA值越低,尤其是胼胝体的膝部最为明显。

3. 早期剥夺:Govindan等^[37]在研究中将经历早期剥夺的受试者与健康个体进行比较,发现有早期重度剥夺史儿童的额叶、颞叶和顶叶白质FA值降低,包括钩状束和上纵束的成分;同时,在任何区域均未发现FA值显著增高。此外,一个小样本的研究发现,存在早期社会情绪剥夺的孤儿左侧钩束的FA值明显降低^[35]。Govindan等^[37]的一项小样本研究也得出类似的结论,发现与健康对照组比较,经历过早期童年剥夺的儿童左钩束中的FA值降低,进一步支持了此类病史儿童的边缘系统和边缘系统旁路异常^[37]。

童年期创伤很少以单一亚型的形式存在,相反,多数情况下,儿童会同时经历多种形式的虐待,这使得很难明确任何单一的虐待亚型对大脑发育的特定影响^[38]。但近期有研究比较了经历儿童期多种创伤类型和单种创伤类型个体白质FA值的改变,结果未发现两者差异有统计学意义^[35]。Stevellink等^[33]所调查的小样本研究提到,在77例经历过童年虐待的患者中,有47例同样也经历过忽视。该研究比较

了仅遭受虐待的患者与遭受虐待和忽视的患者的全脑 FA 值,发现两组的 FA 值差异无统计学意义^[33]。因此,单一的童年创伤类型与大脑发育结构改变之间的特定关系有待确定。

四、总结与展望

童年创伤在人群中存在一定发生率,且对经历者的心理健康和生活产生了十分严重的影响,而 DTI 技术能够可视化大脑细微的结构变化,在评估童年创伤者的神经病理学改变中发挥着至关重要的作用。通过对特定部位的定量分析,可以更加准确地揭示其童年创伤经历对神经发育的影响,这对于临床的早期预警和个体化治疗有着重要的指导意义。随着技术的不断进步,DTI 技术有望为童年创伤经历者提供更加有价值的参考信息。关于童年创伤对脑白质的纵向影响,目前的研究还相对有限,缺乏足够的数据和文献支撑。因此,这一领域亟须更多的关注和深入探讨,以便更好地理解童年创伤对神经发育的影响。

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 文章设计为崔燕、张语桐、周聪,文献收集与分析为李灵洁、程雯雪、刘嘉、徐书尚,文章撰写为李灵洁、崔燕、程雯雪、张语桐、刘嘉、周聪,文章修订、审校为乔聚耀、周聪

参 考 文 献

- [1] Wang Q. Childhood trauma and non-suicidal self-injury among Chinese adolescents: the chain-mediated role of alexithymia and rumination[J]. *Psychiatry Investig*, 2024, 21(7): 726-735. DOI: 10.30773/pi.2024.0041.
- [2] 周彩萍,周玉霞,李海斌.领悟社会支持与童年创伤经历大学生创伤后成长的关系:有调节的中介模型[J].*中国临床心理学杂志*, 2024, 32(4): 755-760, 798. DOI: 10.16128/j.cnki.1005-3611.2024.04.007.
Zhou CP, Zhou YX, Li HB. Perceived social support and post-traumatic growth in college students experienced childhood trauma: a moderated mediating model[J]. *Chinese Journal of Clinical Psychology*, 2024, 32(4): 755-760, 798.
- [3] He J, Zhong X, Cheng C, et al. Characteristics of white matter structural connectivity in healthy adults with childhood maltreatment[J]. *Eur J Psychotraumatol*, 2023, 14(1): 2179278. DOI: 10.1080/20080666.2023.2179278.
- [4] 吴艳凯,冯旭然,王玉昭,等.儿童期创伤对健康青年脑结构和功能改变的研究[J].*河北医药*, 2023, 45(4): 576-578. DOI: 10.3969/j.issn.1002-7386.2023.04.024.
Wu YK, Feng XR, Wang YZ, et al. The changes of brain structure and function in healthy youths caused by childhood trauma[J]. *Hebei Medical Journal*, 2023, 45(4): 576-578.
- [5] Rong B, Gao G, Sun L, et al. Preliminary findings on the effect of childhood trauma on the functional connectivity of the anterior cingulate cortex subregions in major depressive disorder[J]. *Front Psychiatry*, 2023, 14: 1159175. DOI: 10.3389/fpsy.2023.1159175.
- [6] Kanel D, Fox NA, Pine DS, et al. Altered associations between white matter structure and psychopathology in previously institutionalized adolescents[J]. *Dev Cogn Neurosci*, 2024, 69: 101440. DOI: 10.1016/j.den.2024.101440.
- [7] 丁文龙,刘学政,孙晋浩,等.系统解剖学[M].7版.北京:人民卫生出版社,2018:436.
- [8] 赵纳,孟令惠,张英东,等.基于弥散张量成像对急性精神创伤后早期脑白质变化的研究[J].*磁共振成像*, 2023, 14(9): 39-43. DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2023.09.007.
Zhao N, Meng LH, Zhang YD, et al. White matter microstructural changes shortly after acute stress: a DTI study[J]. *Chin J Magn Reson Imaging*, 2023, 14(9): 39-43.
- [9] 陈娜,张森,王艳,等.阿尔茨海默病伴脑白质病变患者认知功能及精神行为特征[J].*中国现代神经疾病杂志*, 2021, 21(11): 951-959. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6731.2021.11.006.
Chen Y, Zhang M, Wang Y, et al. Characteristics of cognitive and neuropsychiatric behavioral features of Alzheimer's disease with white matter lesion[J]. *Chin J Contemp Neurol Neurosurg*, 2021, 21(11): 951-959.
- [10] 黄广苏,陈红,覃彬,等.脑白质病变对帕金森疾病严重程度和认知功能障碍的影响[J].*吉林医学*, 2022, 43(7): 1753-1756. DOI: 10.3969/j.issn.1004-0412.2022.07.006.
- [11] 姚雷,牟英峰,李皖院,等.抑郁症患者脑白质病变与认知功能的相关性研究[J].*国际精神病学杂志*, 2020, 47(2): 267-270, 278. DOI: 10.13479/j.cnki.jip.2020.02.022.
Yao L, Mou YF, Li WL, et al. Correlation between white matter lesions and cognitive function in patients with depression[J]. *Journal of International Psychiatry*, 2020, 47(2): 267-270, 278.
- [12] 王国杰.磁共振 DTI 技术在中枢神经系统疾病中的应用现状及进展[J].*中国医疗设备*, 2024, 39(2): 171-178. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2024.02.029.
Wang GJ. Application and progress of magnetic resonance DTI in central nervous system diseases[J]. *China Med Devices*, 2024, 39(2): 171-178.
- [13] Le Bihan D, Mangin JF, Poupon C, et al. Diffusion tensor imaging: concepts and applications[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2001, 13(4): 534-546. DOI: 10.1002/jmri.1076.
- [14] 邓杰,邱丽华.磁共振扩散张量成像在青少年抑郁症中的研究进展[J].*中国医学影像学杂志*, 2024, 32(8): 850-854. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2024.08.018.
Deng J, Qiu LH. Advances in magnetic resonance diffusion tensor imaging of adolescent depression[J]. *Chin J Med Imaging*, 2024, 32(8): 850-854.
- [15] 张郁,苏丁勇,罗莎,等.弥散张量成像在抑郁障碍、焦虑障碍和强迫障碍中的应用研究进展[J].*现代医药卫生*, 2024, 40(2): 293-298. DOI: 10.3969/j.issn.1009-5519.2024.02.025.
Zhang Y, Su DY, Luo S, et al. Research progress on the application of diffusion tensor imaging in depression disorder, anxiety disorder, and obsessive-compulsive disorder[J]. *J Mod Med Health*, 2024, 40(2): 293-298.
- [16] 韩英妹,李一杰,张衡,等. AD 相关认知障碍脑白质微结构的 DTI 和 NODDI 研究进展[J].*医学影像学杂志*, 2024, 34(8): 134-137.
Han YM, Li YJ, Zhang H, et al. Research progress in DTI and ODDI on microscopic structure of AD-related cognitive impairment[J]. *J Med Imaging*, 2024, 34(8): 134-137.

- [17] 杨勇.伴有童年创伤青少年抑郁症弥散张量成像的初步研究[D].遵义:遵义医科大学, 2023.
- [18] Benedetti F. Placebo effects: from the neurobiological paradigm to translational implications[J]. *Neuron*, 2014, 84(3): 623-637. DOI: 10.1016/j.neuron.2014.10.023.
- [19] Zhao H, Cheng J, Liu T, et al. Orientational changes of white matter fibers in Alzheimer's disease and amnesic mild cognitive impairment[J]. *Hum Brain Mapp*, 2021, 42(16): 5397-5408. DOI: 10.1002/hbm.25628.
- [20] Choi J, Jeong B, Rohan ML, et al. Preliminary evidence for white matter tract abnormalities in young adults exposed to parental verbal abuse[J]. *Biol Psychiatry*, 2009, 65(3): 227-234. DOI: 10.1016/j.biopsych.2008.06.022.
- [21] Tendolkar I, Mårtensson J, Kühn S, et al. Physical neglect during childhood alters white matter connectivity in healthy young males[J]. *Hum Brain Mapp*, 2018, 39(3): 1283-1290. DOI: 10.1002/hbm.23916.
- [22] Hanson JL, Adluru N, Chung MK, et al. Early neglect is associated with alterations in white matter integrity and cognitive functioning[J]. *Child Dev*, 2013, 84(5): 1566-1578. DOI: 10.1111/cdev.12069.
- [23] 金晓康.童年期情感忽视经历对大学生情绪面孔加工和脑白质结构的影响[D].天津:天津师范大学, 2023.
- [24] Asmal L, Kilian S, du Plessis S, et al. Childhood trauma associated white matter abnormalities in first-episode schizophrenia[J]. *Schizophr Bull*, 2019, 45(2): 369-376. DOI: 10.1093/schbul/sby062.
- [25] McCarthy-Jones S, Oestreich L, Lyall AE, et al. Childhood adversity associated with white matter alteration in the corpus callosum, corona radiata, and uncinate fasciculus of psychiatrically healthy adults[J]. *Brain Imaging Behav*, 2018, 12(2): 449-458. DOI: 10.1007/s11682-017-9703-1.
- [26] Lim L, Howells H, Radua J, et al. Aberrant structural connectivity in childhood maltreatment: a meta-analysis[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2020, 116: 406-414. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2020.07.004.
- [27] Corbo V, Amick MA, Milberg WP, et al. Early life trauma is associated with altered white matter integrity and affective control[J]. *J Psychiatr Res*, 2016, 79: 70-77. DOI: 10.1016/j.jpsychires.2016.05.001.
- [28] Choi J, Jeong B, Polcari A, et al. Reduced fractional anisotropy in the visual limbic pathway of young adults witnessing domestic violence in childhood[J]. *Neuroimage*, 2012, 59(2): 1071-1079. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.09.033.
- [29] 于添,温世荣,潘玉君.内囊梗死的研究进展[J].*中国临床神经科学*, 2022, 30(6): 696-699.
- Yu T, Wen SR, Pan YJ. Research progress on infarction of the internal capsule[J]. *Chin J Clin Neurosci*, 2022, 30(6): 696-699.
- [30] Park S, Lee JM, Kim JW, et al. Increased white matter connectivity in traumatized children with attention deficit hyperactivity disorder[J]. *Psychiatry Res Neuroimaging*, 2016, 247: 57-63. DOI: 10.1016/j.psychresns.2015.09.012.
- [31] 李本亮,杨勇锋,张红星,等.成年早期起病精神分裂症患者脑白质弥散张量研究[J].*新乡医学院学报*, 2017, 34(11): 974-977. DOI: 10.7683/xyxyxb.2017.11.005.
Li BL, Yang YF, Zhang HX, et al. Diffusion tensor imaging study of white matter fiber in patients with schizophrenia episode in early adulthood[J]. *Journal of Xinxiang Medical College*, 2017, 34(11): 974-977.
- [32] 杨伟毅,邹慧莉,胡晓辉. DTI 在评估抑郁症患者脑白质微结构改变的初步研究[J].*中国 CT 和 MRI 杂志*, 2020, 18(12): 1-3, 6. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2020.12.001.
Yang WY, Zou HL, Hu XH. Preliminary study of DTI in the evaluation of changes of white matter microstructure in patients with depression[J]. *Chinese Journal of CT and MRI*, 2020, 18(12): 1-3, 6.
- [33] Stevelink R, Abramovic L, Verkooijen S, et al. Childhood abuse and white matter integrity in bipolar disorder patients and healthy controls[J]. *Eur Neuropsychopharmacol*, 2018, 28(7): 807-817. DOI: 10.1016/j.euroneuro.2018.05.003.
- [34] Tatham EL, Ramasubbu R, Gaxiola-Valdez I, et al. White matter integrity in major depressive disorder: implications of childhood trauma, 5-HTTLPR and BDNF polymorphisms[J]. *Psychiatry Res Neuroimaging*, 2016, 253: 15-25. DOI: 10.1016/j.psychresns.2016.04.014.
- [35] 陆邵佳.伴儿童期创伤健康成人的HPA轴功能以及脑影像学特征[D].长沙:中南大学, 2014.
- [36] Lu S, Wei Z, Gao W, et al. White matter integrity alterations in young healthy adults reporting childhood trauma: a diffusion tensor imaging study[J]. *Aust N Z J Psychiatry*, 2013, 47(12): 1183-1190. DOI: 10.1177/0004867413508454.
- [37] Govindan RM, Behen ME, Helder E, et al. Altered water diffusivity in cortical association tracts in children with early deprivation identified with Tract-Based Spatial Statistics (TBSS) [J]. *Cereb Cortex*, 2010, 20(3): 561-569. DOI: 10.1093/cercor/bhp122.
- [38] McLaughlin KA, Sheridan MA, Lambert HK. Childhood adversity and neural development: deprivation and threat as distinct dimensions of early experience[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2014, 47: 578-591. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2014.10.012.

(收稿日期: 2024-05-20)

(本文编辑: 王影)