

眼动跟踪技术在孤独症谱系障碍诊治中的应用

崔舒 张凯 张超 周晓琴

238000 合肥, 安徽医科大学附属巢湖医院精神科(崔舒、张凯、周晓琴); 238000 合肥, 安徽省精神医学中心(崔舒、张凯、周晓琴); 236000 安徽省阜阳市人民医院儿科(张超)

通信作者: 周晓琴, Email: zhouxqlulu@126.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2020.09.010

【摘要】 在过去的几十年中, 大规模观察性研究中收集的临床和神经影像资料的稳步增加使得人们能够更充分地了解孤独症谱系障碍(ASD)群体社交眼神接触的特异性, 探索了具体的视觉加工认知过程。此外, 这些大规模数据支持了ASD辅助诊断、疗效判断和个性化治疗设施的开发和更广泛的应用, 这对于改善ASD预期临床进展和预后具有很大的帮助, 并为开发个性化精准治疗方法提供了重要方向。现对眼动跟踪技术在ASD诊治中的应用进行综述。

【关键词】 孤独症谱系障碍; 眼动跟踪技术; 眼神接触; 面孔识别; 综述

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(81801341); 安徽省重点研究与开发计划项目(202004j07020030)

Application of eye tracking technique in diagnosis and treatment of autism spectrum disorder Cui Shu, Zhang Kai, Zhang Chao, Zhou Xiaoqin

Department of Psychiatry, Chaohu Hospital of Anhui Medical University, Hefei 238000, China (Cui S, Zhang K, Zhou XQ); Anhui Psychiatric Center, Hefei 238000, China (Cui S, Zhang K, Zhou XQ); Department of Pediatrics, Fuyang People's Hospital, Fuyang 236000, China (Zhang C)

Corresponding author: Zhou Xiaoqin, Email: zhouxqlulu@126.com

【Abstract】 In the past few decades, the steady increase of clinical and neuroimaging data collected in large-scale observational studies has enabled people to better understand the specificity of social eye contact among autism spectrum disorder (ASD) patients and explore the specific cognitive process of visual processing. In addition, these large-scale data support the development and wider application of auxiliary diagnosis, curative effect assessment and personalized treatment facilities for ASD, which is of great help to improve the expected clinical progress and prognosis of ASD, and provide an opportunity for the development of personalized precision therapy, which is also an important direction in the future. This paper will review the application of eye tracking technique in diagnosis and treatment of ASD.

【Key words】 Autism spectrum disorder; Eye tracking technique; Eye contact; Face recognition; Review

Fund programs: National Natural Science Foundation of China Youth Project (81801341); Key Research and Development Projects of Anhui Province (202004j07020030)

孤独症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD), 又称为孤独症, 是一系列广泛的神经发育障碍^[1]。其特征是早发的社会交往与沟通能力低下, 兴趣狭窄, 重复刻板的动作和行为, 并且无法用智力缺陷或全面性发育障碍解释^[1]。ASD在世界范围内的患病率约为1%^[2], 并在过去20年里继续上升^[3]。ASD个体有非典型的认知缺陷^[1], 常并存持续终生的智力残疾^[4-5]和免疫系统疾病、心脏疾病、语言障碍、破坏性行为和焦虑^[1]等, 58%~78%的ASD成人在独立生活、就业和同伴关系方面的结果很差^[6-8], 而

早期和有针对性的干预可以改善社会沟通, 减少焦虑和攻击性^[1]。迄今为止, ASD的临床诊断主要依赖于临床医生和照顾者观察到的临床症状, 轻中度ASD儿童很容易被误诊。这些诊断方法的局限性表明迫切需要客观、定量和可靠的生物标志物来支持和推进临床研究。

儿童精神病学家Leo Kanner博士对ASD儿童首次描述时记载他们先天具有优秀的视觉空间知觉能力, 更善于利用可视的信息。因此, ASD群体常被冠以“视觉思考者”^[9]。ASD儿童独特和非典型的

眼神接触模式被大量报道^[10-11],和典型发育(typical development, TD)儿童不同的是,ASD儿童无法使用自己的眼神注视表达关注和兴趣,无法跟随他人的眼神注视看向同一位置,观看面部时存在着对核心情绪特征区域(眼睛、嘴巴等)的注视不足^[12]等,这种缺陷自1岁时就可以被观察到,并伴随终身。非典型的视觉注意模式和社交困难是ASD个体的核心症状,所以越来越多的研究者认为,视觉注意模式中存在潜在的、客观、定量和可靠的生物标志物来支持ASD研究^[13-15]。

眼动跟踪(eye tracking, ET)技术,即通过眼动检测仪器记录被试者的眼动轨迹,从中提取出注视次数、注视时间、瞳孔大小和眼跳数据等信息,从而研究个体对外界视觉刺激的偏好、加工和认知过程^[16]。ET技术在ASD的临床诊疗中具备很多优势。首先,它是一种便捷而且非侵入性的测量方法,随着技术的发展,测量设备也越来越小巧并易于儿童穿戴;其次,ET技术采集相对客观、量化和精准的数据(时间、空间、生理三个维度)来避免传统主观评价中由于个体(或父母)与检查者之间的信息偏差;再次,眼动任务十分简单,不包含复杂的认知任务,连精神障碍儿童也可执行。近年来,随着对ASD生物标志物的理解进一步提高,一些学者应用ET技术开发设计不同的早期辅助诊断方法,用以在高危人群中开展ASD的早期筛查、辅助诊断^[17-18]和判断疗效^[19-21]。

一、眼动跟踪技术在孤独症领域的应用

1. 面孔识别和视觉加工机制研究:此前的研究者应用ET技术观察ASD儿童在社交场景中的面孔识别过程,发现了特殊凝视模式,并在此基础上进一步探究ASD群体可能的视觉加工机制。

一些利用ET技术的研究表明,ASD组对面面部表情的自发关注和社交识别能力普遍弱于TD组^[22-24]。在观看带有情绪的面孔时,相关研究发现ASD儿童对整体面部、眼部和嘴部特征区域的注视点、注视时间均显著少于TD儿童^[25]。与此同时,在一项横跨儿童早期到青春期探索社会信息注意发展的纵向研究中发现,ASD儿童对眼部区域的注视时间不能像TD儿童那样随年龄增长而增加^[26]。从眼部、嘴部中获取社会信息可以促进人际交流,面孔识别表现与社会适应功能相关^[27]。有研究发现,ASD儿童虽然对面面孔注意时长以及注视次数少于TD儿童,但两组儿童对面面部、眼睛等特征区的首次注视时间没有差异^[28]。研究者由此推论,ASD儿童在视觉观察过程中不存在对眼睛区域线索的忽视,主要问题

在于对表情线索的理解和运用方面。另一项研究结果表明,ASD组对眼睛的注视比TD组少,时间-过程分析进一步揭示了TD组可能存在基于动机的注意力引导来加工眼睛和眼神,而ASD组则没有^[29]。与TD组相比,ASD组儿童扫描脸部的随机程度更高,策略性更低。这可能是导致ASD个体面部表情加工方式异常和情绪识别困难的潜在原因。

关于ASD个体特殊视觉加工机制的病因存在很多假说^[11],虽未有一致的结论,但存在一种共识,即一个或者多个结构功能异常脑区协同作用导致了面孔识别缺陷,且临床表现严重程度主要与异常脑区的数量和损伤水平相关^[30]。比如有关研究发现,ASD组梭状回和杏仁核的激活程度与注视眼睛的时间呈明显正相关,这表明ASD个体和注视相关的情绪反应增强,ASD个体的杏仁核-梭状回路可能存在异常^[31-32]。以后的研究中可以把ASD群体的眼动轨迹这一表型和影像学、电生理学等学科融合在一起,探究这一表型背后的机制,信号传导通路和细胞进程,这对开发相应的ASD治疗新方法有重大意义。

2. 辅助诊断工具研究:越来越多的人认为ET技术具有早期发现ASD的潜力,注视点、视觉扫描路径、注视百分比和注视兴趣区等或许可以作为ASD早期识别生物标志物^[13-15, 17-18, 33]。Wan等^[34]的研究表明,给4~6岁儿童观看一段视频短片,可以提供足够的信息来区分ASD和TD儿童,其分类准确率为85.1%,灵敏度为86.5%,特异度为83.8%。Lynch等^[18]应用ET观察瞳孔反应时发现,瞳孔收缩的潜伏期的明显区别能够区别ASD与TD青少年。另一项研究通过给ASD和TD儿童配戴定制眼球跟踪器的可穿戴智能眼镜进行分析,结果显示眼神凝视和情绪识别模式能够区分ASD和TD组^[17]。

Chatterjee等^[35]对大样本的ASD和TD儿童的社交注意技能的ET数据进行了比较并建模。模型对各组感兴趣区的预测准确率均>90%,提示目标凝视模式的客观时间-动态测量可作为有潜力的ASD诊断工具。Kang等^[13]收集了97名3~6岁儿童的静息脑电数据和观察面孔刺激时的ET数据。将最小冗余最大相关特征选择方法与支持向量机分类器相结合,对ASD儿童与TD儿童进行分类,分类准确率最高可达85.44%,AUC值=40.93。Jiang等^[36]使用动态情感识别评估任务对23例ASD受试者和35例TD受试者进行了测试。基于两组的反应时间和眼球运动的差异,他们提出了一种机器学习方法

来区分 ASD 和 TD 个体,分类准确率达到 86%,可与标准化诊断量表相媲美。

3. 预后、疗效评估和个性化治疗的研究: 眼动追踪是一项很有望揭示预后标志物的技术。Klin 等^[37]用眼动跟踪技术测量了 15 例 ASD 儿童和 15 例 TD 儿童的视觉注视并测定了临床资料,不仅发现 ASD 的最佳预测因子是眼睛区域注视时间缩短,而且发现对嘴巴和物体的注视与社会功能显著相关,即对嘴巴的关注越多,预示着社会损害越少,社会适应能力越好,而对物体的注视时间越长,则预示着相反的结果。这一结果提示,观察自然社会情景时,视觉注视模式可作为 ASD 个体社交能力的预测因子。

一项研究发现,使用布美他尼能让 ASD 患者产生更多的眼神接触和更少的杏仁核激活,从而改善社交能力^[19]。Auyeung 等^[20]研究人员发现,在实时的、自然的社交互动中,催产素可增加被试者的眼神交流。一项双盲试验中,研究者使用普萘洛尔对 ASD 个体进行药物干预,发现服用普萘洛尔能减少 ASD 个体对嘴巴的固定凝视时间^[21]。同时发现,嘴固定凝视时间与非语言交流障碍明显相关。在一项经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)治疗 ASD 的研究中,Saitovitch 等^[38]发现,应用抑制性 TMS 抑制右侧的后部颞上沟会导致参与者在观看社交电影时更少地凝视演员的眼睛。这些结果首次表明,干扰正确的后部颞上沟神经活动会短暂地扰乱凝视,为 ASD 的治疗干预开辟新的视角。

ASD 临床指南推荐使用含有 ET 的视觉支持,因其可以减少焦虑,增加可预测性,促进沟通,提高参与度^[9]。Lahiri 等^[39]指出,一种包含虚拟现实技术的系统已经被开发,以治疗 ASD 人群特定的社交缺陷。该系统能够通过 ET 测量实时观看中眼睛生理响应的细微变化以及客观地识别和量化一个人的参与水平,以便以个性化的方式自动响应,培养改进参与者的社交技能。对 8 例 ASD 青少年进行测试后,研究人员发现,该系统具有改善社会任务表现和社会适应机制的潜力。另一些研究者对 ASD 青少年设计了一款干预游戏^[40]。参与者将被指导在家中用电脑玩电脑游戏,通过 ET 测量对眼睛凝视暗示和对面部的视觉关注的敏感度,结合问卷评估社交技能和类似 ASD 的行为,研究者预测这款游戏将增加 ASD 青少年对凝视暗示的理解和对面孔的关注。Liu 等^[41]报道了一种具有定量数据收集和报告功能的智能眼镜,能通过一系列人工智能的游戏程序提供有情感识别、面部定向凝视、眼神接触和行为自

我调节方面的指导。研究中对 2 例临床诊断为 ASD 的男孩进行干预,照顾者报道在干预期间他们的非语言交流、眼神交流和社交活动均得到了改善。

二、总结与展望

在神经生理测量这一领域中,ET 这种分析方式经济、高度可扩展、任务十分简单,适用于各个发育阶段(例如从婴儿期到成年期),有合并神经发育疾病和智力残疾的个人。随着 ASD 研究的指数级增长和更多学科的研究人员加入,眼动跟踪技术在 ASD 中的应用已经取得不少成绩。它找到了 ASD 特殊的眼动模式,并通过这一表型找到了与疾病相关的异常发育的脑区;越来越清晰的是,社交场景中的儿童的眼动和瞳孔反应数据可以较为准确地将 ASD 和 TD 儿童分类;它作为 ASD 社交能力严重程度的指标,可以揭示预后,评估临床疗效。虽然迄今为止,还没有一项 ET 生物学标志物被 FDA 的生物标志物鉴定计划所接受,但美国 Autism Biomarkers Consortium for Clinical Trials(一项旨在评估一系列有前途的 ASD 生物标志物的多点研究)^[15]在 2019 年 10 月向 FDA 的生物标志物鉴定计划所提交了 ET 生物标志物,即面向人脸的眼动指数,目前正在评审当中,相信不久的将来这一愿景将被实现。

目前,国内有关 ASD 人群的 ET 生物标志物的研究尚不充分,国外研究在汉族人群中的可复制性尚未可知。另外,在神经发育过程中,症状会在整个生命周期内演变和变化,生物标志物在不同年龄的适用性是不确定的。为了推进 ET 研究,许多方面还需要进一步的工作:第一,建立共享的数据库,积累足够的 ASD 临床样本与 ET 原始数据,利用生物信息学团队对原始数据进行分析,从中挖掘出有价值的生物学标志物;第二,在汉族人群的临床实践中验证国外研究明确的 ET 生物标志物的可靠性、有效性、个体差异和个体内随时间的稳定性,以提供更确凿的可行性证据;第三,合力推进国家级机构的生物标志物评审鉴定,鉴定出可靠严谨的 ET 生物标志物,这对于推广 ET 在临床中的使用至关重要。

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 论文撰写为崔蔚、张超,论文修订为张凯、周晓琴

参 考 文 献

- [1] Lai MC, Lombardo MV, Baron-Cohen S. Autism[J]. Lancet (London, England), 2014, 383(9920): 896-910. DOI: 10.1016/s0140-6736(13)61539-1.
- [2] Lord C, Brugha TS, Charman T, et al. Autism spectrum disorder[J]. Nature Reviews Disease Primers, 2020, 6(1): 5. DOI: 10.1038/s41572-019-0138-4.

- [3] Keyes KM, Bearman P. Authors' Response to: Cohort effects explain the increase in autism diagnosis among children born from 1992 to 2003 in California[J]. *Int J Epidemiol*, 2013, 42(5): 1521. DOI: 10.1093/ije/dyt030.
- [4] Zwaigenbaum L, Penner M. Autism spectrum disorder: advances in diagnosis and evaluation[J]. *BMJ*, 2018, 361(361): k1674. DOI: 10.1136/bmj.k1674.
- [5] Barger BD, Campbell JM, McDonough JD. Prevalence and onset of regression within autism spectrum disorders: a meta-analytic review[J]. *J Autism Dev Disord*, 2013, 43(4): 817-828. DOI: 10.1007/s10803-012-1621-x.
- [6] Sevaslidou I, Chatzidimitriou C, Abatzoglou G. The long-term outcomes of a cohort of adolescents and adults from Greece with autism spectrum disorder[J]. *Ann Gen Psychiatry*, 2019(18): 26. DOI: 10.1186/s12991-019-0250-6.
- [7] Howlin P, Moss P, Savage S, et al. Social outcomes in mid-to later adulthood among individuals diagnosed with autism and average nonverbal IQ as children[J]. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 2013, 52(6): 572-581.e1. DOI: 10.1016/j.jaac.2013.02.017.
- [8] Dunn K, Ryzewska E, Fleming M, et al. Prevalence of mental health conditions, sensory impairments and physical disability in people with co-occurring intellectual disabilities and autism compared with other people: a cross-sectional total population study in Scotland[J]. *BMJ open*, 2020, 10(4): e035280. DOI: 10.1136/bmjopen-2019-035280.
- [9] Rutherford M, Baxter J, Grayson Z, et al. Visual supports at home and in the community for individuals with autism spectrum disorders: A scoping review[J]. *Autism: the international journal of research and practice*, 2020, 24(2): 447-469. DOI: 10.1177/1362361319871756.
- [10] Falck-Ytter T, von Hofsten C, Gillberg C, et al. Visualization and analysis of eye movement data from children with typical and atypical development[J]. *J Autism Dev Disord*, 2013, 43(10): 2249-2258. DOI: 10.1007/s10803-013-1776-0.
- [11] Senju A, Johnson MH. Atypical eye contact in autism: models, mechanisms and development[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2009, 33(8): 1204-1214. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2009.06.001.
- [12] Dalton KM, Nacewicz BM, Johnstone T, et al. Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism[J]. *Nat Neurosci*, 2005, 8(4): 519-526. DOI: 10.1038/nn1421.
- [13] Kang J, Han X, Song J, et al. The identification of children with autism spectrum disorder by SVM approach on EEG and eye-tracking data[J]. *Comput Biol Med*, 2020, 120: 103722. DOI: 10.1016/j.combiomed.2020.103722.
- [14] Chatterjee M, Manyakov NV, Bangertner A, et al. Learning Scan Paths of Eye Movement in Autism Spectrum Disorder[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2020, 270: 287-291. DOI: 10.3233/SHTI200168.
- [15] McPartland JC, Bernier RA, Jeste SS, et al. The Autism Biomarkers Consortium for Clinical Trials (ABC-CT): Scientific Context, Study Design, and Progress Toward Biomarker Qualification[J]. *Front Integr Neurosci*, 2020, 9(14): 16. DOI: 10.3389/fnint.2020.00016.
- [16] 吴丹,刘春香.交互式信息检索研究中的眼动追踪分析[J]. *中国图书馆学报*, 2019, 45(2): 111-130. DOI: 10.13530/j.cnki.jlis.190017.
- Wu D, Liu CX. Eye-Tracking Analysis in Interactive Information Retrieval[J]. *Journal of Library Science in China*, 2019, 45(2): 111-130.
- [17] Nag A, Haber N, Voss C, et al. Toward Continuous Social Phenotyping: Analyzing Gaze Patterns in an Emotion Recognition Task for Children With Autism Through Wearable Smart Glasses[J]. *J Med Internet Res*, 2020, 22(4): e13810. DOI: 10.2196/13810.
- [18] Lynch GTF, James SM, VanDam M. Pupillary Response and Phenotype in ASD: Latency to Constriction Discriminates ASD from Typically Developing Adolescents[J]. *Autism Research*, 2018, 11(2): 364-375. DOI: 10.1002/aur.1888.
- [19] Hadjikhani N, Åsberg Johnels J, Lassalle A, et al. Bumetanide for autism: more eye contact, less amygdala activation[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 3602. DOI: 10.1038/s41598-018-21958-x.
- [20] Auyeung B, Lombardo MV, Heinrichs M, et al. Oxytocin increases eye contact during a real-time, naturalistic social interaction in males with and without autism[J]. *Translational Psychiatry*, 2015, 5(2): e507. DOI: 10.1038/tp.2014.146.
- [21] Zamzow RM, Christ SE, Saklayen SS, et al. Effect of propranolol on facial scanning in autism spectrum disorder: a preliminary investigation[J]. *J Clin Exp Neuropsychol*, 2014, 36(4): 431-445. DOI: 10.1080/13803395.2014.904844.
- [22] Chawarska K, Macari S, Shic F. Decreased spontaneous attention to social scenes in 6-month-old infants later diagnosed with autism spectrum disorders[J]. *Biol Psychiatry*, 2013, 74(3): 195-203. DOI: 10.1016/j.biopsych.2012.11.022.
- [23] 王广帅,陈靓影,张坤.基于多重因素混合设计和眼动追踪的自闭症谱系障碍儿童情绪面孔识别[J]. *科学通报*, 2018, 63(31): 3204-3216. DOI: 10.1360/N972018-00553.
- Wang GS, Chen JY, Zhang K. The perception of emotional facial expressions by children with autism using hybrid multiple factorial design and eye-tracking (in Chinese)[J]. *Chin Sci Bull*, 2018, 63(31): 3204-3216.
- [24] Evers K, Steyaert J, Noens I, et al. Reduced recognition of dynamic facial emotional expressions and emotion-specific response bias in children with an autism spectrum disorder[J]. *J Autism Dev Disord*, 2015, 45(6): 1774-1784. DOI: 10.1007/s10803-014-2337-x.
- [25] 马伟娜,朱蓓蓓.孤独症儿童的情绪共情能力及情绪表情注意方式[J]. *心理学报*, 2014, 46(4): 528-539.
- Ma WN, Zhu BB. Psychology DO, et al. Emotional Empathy in Children with Autism Spectrum Disorder: Evidence from Biofeedback Measurement and Eye Movements[J]. *Acta Psychologica Sinica*, 2014, 46(4): 528-539.
- [26] Fujioka T, Tsuchiya KJ, Saito M, et al. Developmental changes in attention to social information from childhood to adolescence in autism spectrum disorders: a comparative study[J]. *Mol Autism*, 2020, 11(1): 24. DOI: 10.1186/s13229-020-00321-w.
- [27] McPartland JC, Webb SJ, Keehn B, et al. Patterns of visual attention to faces and objects in autism spectrum disorder[J]. *J Autism Dev Disord*, 2011, 41(2): 148-157. DOI: 10.1007/s10803-010-1033-8.
- [28] 金丽,陈顺森.自闭症儿童面孔加工的异常:来自眼动的证据[J]. *闽南师范大学学报(自然科学版)*, 2011, 24(4): 128-132. DOI: 10.16007/j.cnki.issn2095-7122.2011.04.020.
- Li J, Chen SS. Abnormal Face Processing in Children with

- Autism: Evidence from Eye Movements[J]. Journal of Zhangzhou Normal University(Natural ence), 2011, 24(4): 128-132.
- [29] Wang Q, Hoi SP, Wang Y, et al. Out of mind, out of sight? Investigating abnormal face scanning in autism spectrum disorder using gaze-contingent paradigm[J]. Developmental Science, 2020, 23(1): e12856. DOI: 10.1111/desc.12856.
- [30] 王丽娟, 罗红格, 姚雪. 自闭症谱系障碍者面孔识别的神经机制[J]. 心理科学进展, 2009, 17(6): 1177-1184. DOI: 10.1360/972009-782.
Wang LJ, Lu HG, Yao X. The Neural Mechanisms of Face Recognition in Autism Spectrum Disorders[J]. Advances in Psychological, 2009, 17(6): 1177-1184.
- [31] Lew CH, Groeniger KM, Hanson KL, et al. Serotonergic innervation of the amygdala is increased in autism spectrum disorder and decreased in Williams syndrome[J]. Mol Autism, 2020, 11(1): 12. DOI: 10.1186/s13229-019-0302-4.
- [32] Tottenham N, Hertzog ME, Gillespie-Lynch K, et al. Elevated amygdala response to faces and gaze aversion in autism spectrum disorder[J]. Soc Cogn Affect Neurosci, 2014, 9(1): 106-117. DOI: 10.1093/scan/nst050.
- [33] Fujioka T, Inohara K, Okamoto Y, et al. Gazefinder as a clinical supplementary tool for discriminating between autism spectrum disorder and typical development in male adolescents and adults[J]. Mol Autism, 2016, 7: 19. DOI: 10.1186/s13229-016-0083-y.
- [34] Wan G, Kong X, Sun B, et al. Applying Eye Tracking to Identify Autism Spectrum Disorder in Children[J]. J Autism Dev Disord, 2019, 49(1): 209-215. DOI: 10.1007/s10803-018-3690-y.
- [35] Chatterjee M, Manyakov NV, Bangerter A, et al. Learning Scan Paths of Eye Movement in Autism Spectrum Disorder[J]. Stud Health Technol Inform, 2020, 270: 287-291. DOI: 10.3233/shti200168.
- [36] Jiang M, Francis SM, Srishyla D, et al. Classifying Individuals with ASD Through Facial Emotion Recognition and Eye-Tracking[J]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2019, 2019: 6063-6068. DOI: 10.1109/EMBC.2019.8857005.
- [37] Klin A, Jones W, Schultz R, et al. Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism[J]. Arch Gen Psychiatry, 2002, 59(9): 809-816. DOI: 10.1001/archpsyc.59.9.809.
- [38] Saitovitch A, Popa T, Lemaitre H, et al. Tuning Eye-Gaze Perception by Transitory STS Inhibition[J]. Cerebral Cortex, 2016, 26(6): 2823-2831. DOI: 10.1093/cercor/bhw045.
- [39] Lahiri U, Bekele E, Dohrmann E, et al. Design of a virtual reality based adaptive response technology for children with autism[J]. IEEE T Neur Sys Reh, 2013, 21(1): 55-64. DOI: 10.1109/tmsre.2012.2218618.
- [40] Scherf KS, Griffin JW, Judy B, et al. Improving sensitivity to eye gaze cues in autism using serious game technology: study protocol for a phase I randomised controlled trial[J]. BMJ Open, 2018, 8(9): e023682. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-023682.
- [41] Liu R, Salisbury JP, Vahabzadeh A, et al. Feasibility of an Autism-Focused Augmented Reality Smartglasses System for Social Communication and Behavioral Coaching[J]. Front Pediatr, 2017, 5: 145. DOI: 10.3389/fped.2017.00145.

(收稿日期: 2020-07-24)

(本文编辑: 戚红丹)

· 消息 ·

《神经疾病与精神卫生》杂志在线采编系统启用公告

为了更好地服务于广大读者、作者及审稿专家,方便查询论文信息、投稿、询稿及审稿,提高杂志工作效率,《神经疾病与精神卫生》编辑部已开通期刊采编系统。系统入口位于我刊官方网站(www.ndmh.com)首页。作者投稿,请首先在本刊网站在线注册账号,以该账号登录稿件采编系统投稿,并可随时了解稿件编审进度。如您在操作中碰到任何问题,请与编辑部联系(010-83191160)。

本刊编辑部