

基于眼动追踪技术的孤独症谱系障碍儿童面孔异常加工识别研究*

康健楠¹ 韩晓雅² 耿新玲³ 李小俚⁴

摘要

目的:研究孤独症儿童对社交面孔的加工特点。**方法:**招募3—6岁孤独症儿童59名和性别年龄相匹配的正常儿童66名,采用眼动追踪技术记录注视过程,比较两组儿童注视差异,计算孤独症儿童眼动注视指标与量表的相关性,以及使用机器学习进行分类的准确率。**结果:**①与正常儿童相比,孤独症儿童更少地注视脸部、眼睛、嘴巴等社会信息丰富区域,而更多地注视背景、身体等社会信息贫乏区域;②孤独症儿童的注视时间与量表分数具有一定的相关性并且孤独症儿童的注视具有一定的偏侧性;③眼动注视时间可以提供较多的信息来区分孤独症儿童和正常儿童,支持向量机(SVM)最高分类准确率为78.60%。**结论:**孤独症儿童在面孔注视上存在缺陷;部分量表得分可以预测孤独症儿童的症状严重程度;SVM算法可以作为对孤独症儿童和正常儿童进行分类的辅助工具。**关键词** 孤独症谱系障碍;面孔加工;相关性;分类;孤独症行为量表;社交反应量表**中图分类号:**R749.9,R496 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2022)-07-0933-04

孤独症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)是一种广泛性发育障碍,其核心症状包括社会交往障碍、兴趣狭窄和重复刻板行为^[1]。美国疾病控制与预防中心2018年报告指出美国孤独症患病率从1/68增加到1/59,比2016年的发病率增加了15%,男女患病比例约为4:1^[2]。

社会交往障碍是ASD的核心特异性障碍,ASD患者在处理人的面孔信息时,会表现出非典型面孔扫描模式^[3]。使用眼动追踪技术测量ASD患者眼球运动已被广泛应用于ASD研究中,可以增加我们对ASD患者注视模式的理解。Jones W等^[4]研究发现后期被诊断为ASD的婴儿在2到6个月大的时候,对眼睛的平均注视时间减少,这种情况在未患ASD的婴儿中未观察到。Chawarska K等^[5]研究发现后期被诊断为ASD的婴儿在6个月时已经表现出对脸部注视减少的异常注意行为。魏玲等^[6]研究也发现ASD儿童对社交场景中脸部、眼睛和嘴巴等社会信息丰富区域注视加工较少,而对背景等非社会信息区域的注视较多。龙细连等^[7]研究发现ASD儿童对面孔中眼睛和嘴巴区域的注视时间均显著少于正常发育(typically developing, TD)儿童。Klin A等^[8]研究也发现ASD患者更多地注视嘴巴区域,而更少地注视眼睛区域。Falck-Ytter T等^[9]研究发现,与TD儿童相比,ASD儿童更少地注视眼睛和脸,更倾向于看不相关的目标。

目前,ASD的病因和病理尚未明确,尚无治愈方法。越

来越多的证据表明,早期诊断和干预可以显著影响ASD患者的预后。近年来,为了能够准确并且高效的对孤独症进行诊断,有研究者使用机器学习对ASD和TD进行区分,具有不错的效果。Jiang M等^[10]使用眼动追踪技术和深度神经网络对ASD儿童和TD儿童的眼动信息进行自动提取特征和分类;Liu W等^[11-12]通过眼动追踪技术,提出了一种基于人脸扫描模式识别ASD儿童的机器学习预测框架;Wan G等^[13]通过10s女性演讲视频的嘴巴和身体的注视时间来区分ASD和TD儿童。他们的研究结果证明,眼动与机器学习的结合可以用于区分ASD和TD儿童。

在本研究中,我们招募了1组3—6岁ASD儿童和1组年龄和性别匹配的TD儿童,通过比较ASD儿童以及TD儿童对陌生面孔的注视,探讨以下问题:①ASD儿童是否具有非典型面部扫描模式;②ASD儿童的注视时间与量表分数之间是否存在一定的关系;③通过眼动分析指标使用机器学习方法是否可以区分ASD和TD儿童。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究共有125名儿童参与眼动数据采集。从特殊教育机构招募59名ASD儿童,其中男生50名,女生9名,年龄3—6周岁(M=4.94, SD=1.04),孤独症行为量表(autism be-

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.07.012

*基金项目:国家自然科学基金资助项目(62001153)

1 河北大学电子信息工程学院,河北省保定市,071000; 2 燕山大学信息科学与工程学院; 3 首都医科大学生物医学工程学院; 4 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室

第一作者简介:康健楠,女,讲师; 收稿日期:2020-11-30

havior checklist, ABC)平均总分数 62.08(SD=19.05)、社交反应量表(social responsiveness scale, SRS)平均总分数 98.05(SD=18.20)。参与实验的 ASD 儿童均符合美国精神障碍诊断与统计手册第 5 版(DSM-V)相关诊断标准,并排除 Rett 综合征、发育迟缓和癫痫等其他精神发育疾病。儿童家长均知情同意,并且配合提供相关临床资料和填写相关行为量表问卷。从某幼儿园招募 66 名 TD 儿童,其中男生 53 名,女生 13 名,年龄为 3—6 周岁(M=4.95, SD=0.72),排除神经疾病和精神发育障碍疾病,无孤独症相关家族遗传史。两组儿童在年龄和性别上均没有显著性差异($P>0.05$)。两组儿童的视力或者矫正后视力正常。本研究经北京师范大学伦理委员会批准,且由所有被试监护人知情同意。

1.2 实验仪器

本研究使用 Tobii TX 300 眼动仪及其 Tobii Studio 软件包来对每位被试的注视过程进行记录。该眼动仪采样频率为 300Hz,采用双眼追踪。实验中眼动仪与笔记本电脑相连接并用其来操作。

1.3 实验材料

实验材料包括 8 张陌生面孔图片,图片背景均为白色,男性和女性图片各半,图片的亮度等物理因素均有控制。所有实验素材均由实验主试拍摄,图片的大小均为 800×1066px。

1.4 实验程序

整个实验在特殊教育机构或者幼儿园安静的空荡教室里面进行,实验要求每个被试单独采集。被试坐在距离眼动仪 60cm 左右的位置。在正式实验前,先对每位被试进行 5 点校正。实验采用自由观看任务,面孔图片刺激以随机顺序呈现给每位被试,每次呈现 1 张面孔图片,每张面孔图片出现 5s,试次间隔为 3s,间隔时在屏幕中间呈现 1 只配有声音的动态小猫用来吸引被试注意,呈现方式如图 1 所示。实验结束后即可离开。

1.5 分析指标

采用 Tobii 兴趣区(area of interest, AOI)的多边形和圆形

工具确定兴趣区:背景、身体、脸、眼睛、左眼睛、右眼睛、嘴巴和鼻子。基于先前的研究,我们确定了以下分析指标:①注视点持续时间总和:1 个兴趣区组内所有注视点的持续时间之和;②眼睛和脸部注视时间比率^[14];③鼻子和脸部注视时间比率;④嘴巴和脸部注视时间比率。

1.6 统计学分析

统计分析采用 SPSS 23.0 软件中独立样本 t 检验分析 ASD 组和 TD 组的显著性差异。

相关性:为了更加深入理解 ASD 儿童社交与眼动注视之间的关系,我们对 ASD 组陌生面孔的注视时间百分比与 ABC 量表和 SRS 量表的总分以及其分量表得分进行了 Spearman 相关系数计算。症状的严重程度由量表分数体现,量表分数越高,症状越严重。在 ASD 组,陌生面孔各兴趣区注视时间百分比作为自变量,ABC 量表总分以及各分量表得分、SRS 量表总分以及各分量表得分作为因变量,并对具有显著相关的自变量和因变量进行线性回归。

分类:为探讨眼动分析指标是否能够区分 ASD 儿童和 TD 儿童,我们使用逻辑回归、随机森林和支持向量机(support vector machine, SVM)3 种分类算法进行分类。逻辑回归是基于 Sigmoid 函数构建的分类模型,用于估计某件事情发生的可能性,其模型相对简单、解释性强^[15]。随机森林根据训练集构建多棵决策树,最终分类结果通过所需数量的决策树的输出进行投票,将票数最高的类别作为分类结果^[16-17]。SVM 是寻找 1 个最优分类超平面,该超平面使得两类样本数据到超平面的距离最大,从而达到分类的效果^[17]。

为了评估分类模型的性能,使用十折交叉验证对分类模型的受试者工作特征曲线下的面积(area under curve, AUC)^[18]、准确率和 F_1 分数(F_1 Score)进行评估。 F_1 分数是二元分类分析精度和召回率的调和平均值。

2 结果

2.1 面孔识别结果

两组儿童在陌生面孔背景、身体、眼睛、左眼睛、脸部、嘴巴和鼻子的注视时间百分比有显著性差异($P<0.05$),并且 ASD 儿童对背景和身体区域的注视显著高于 TD 儿童,对眼睛、左眼睛、脸部、嘴巴和鼻子区域的注视显著低于 TD 儿童,见图 2。

2.2 相关性结果

ABC 量表总分以及分量表得分与陌生面孔注视时间百分比的相关性结果显示身体注视时间百分比与 ABC 量表中的语言能力分量表得分呈显著正相关,孤独症儿童注视身体时间越久,语言能力分量表得分越高(图 3)。眼睛和左眼睛的注视时间百分比与语言能力分量表呈显著负相关,孤独症儿童对眼睛和左眼睛的注视时间越少,语言力量表得分越高,但右眼睛的注视时间与语言能力分量表得分无显著相关

图 1 实验执行呈现示意图

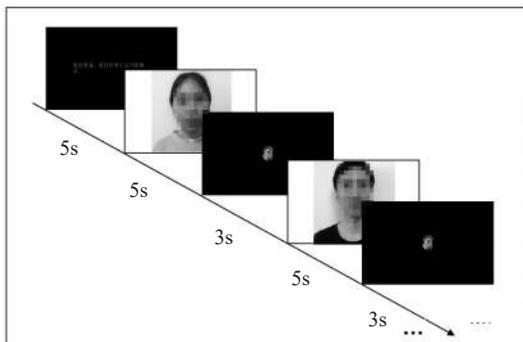
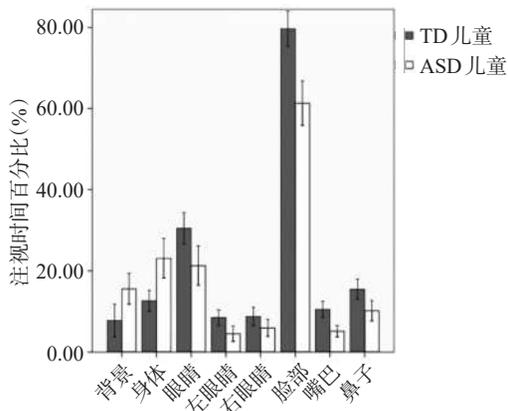


图2 TD儿童与ASD儿童注视时间百分比误差柱形图



性。SRS量表总分以及分量表得分与陌生面孔注视时间百分比的相关性结果显示左眼睛注视时间百分比与SRS量表中的行为方式分量表得分呈显著负相关,孤独症儿童对左眼睛注视时间越少,行为方式分量表得分越高,但对右眼睛的注视时间与行为方式分量表得分无显著相关性。

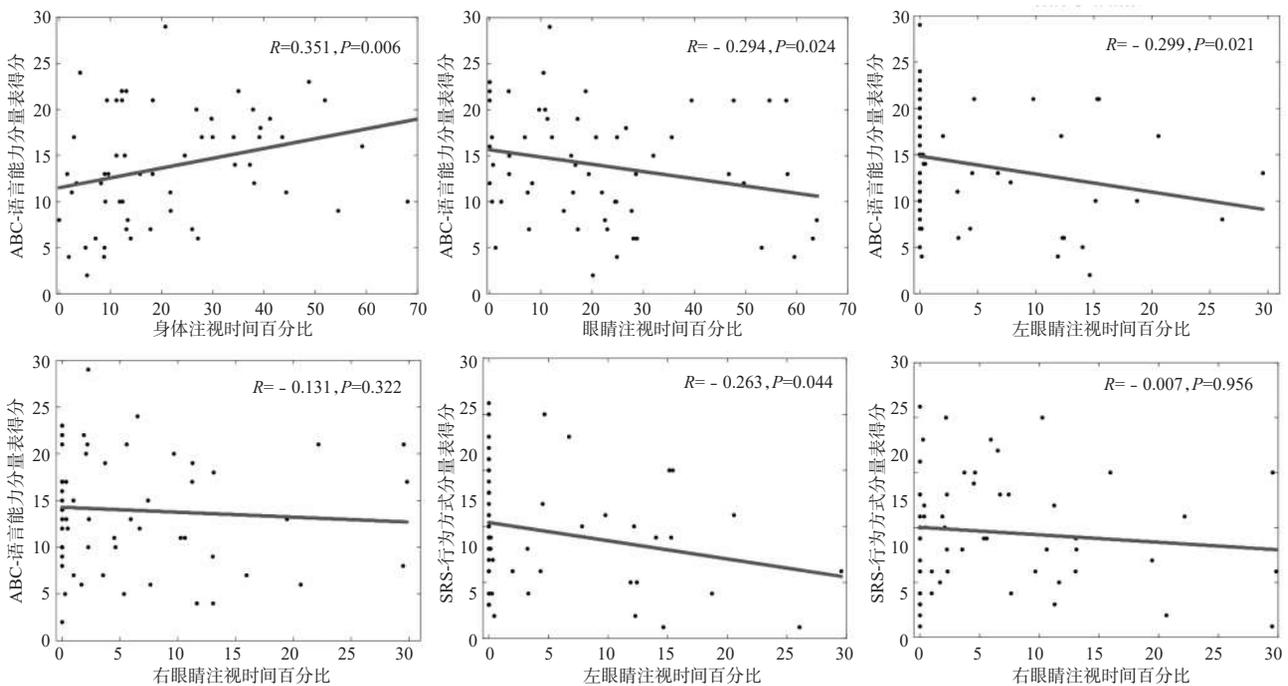
2.3 分类结果

基于眼动数据分类结果(表1),3种分类器中,SVM的分类准确率最高,性能最好,准确率为78.60%,AUC为0.8154,F₁分数为0.7706。

表1 眼动数据分类结果

分类模型	准确率(%)	AUC	F ₁ 分数
逻辑回归	68.85	0.7641	0.6521
随机森林	69.74	0.7956	0.6807
SVM	78.60	0.8154	0.7706

图3 注视时间与量表的相关性



3 讨论

3.1 孤独症儿童对陌生面孔的加工

面孔是蕴含丰富信息的非言语刺激,人们总是通过眼睛和嘴巴来获取社交信息。本研究中,ASD儿童对脸部、眼睛、左眼睛、嘴巴和鼻子等社会信息丰富区域的注视显著低于TD儿童,而对背景和身体等社会信息贫乏区域的注视显著高于TD儿童,这与之前的研究结果相一致^[19-21]。ASD儿童对脸部以及脸部三角区域等社交有用信息注视过少,对背景

和身体等无关信息注视过多,说明ASD儿童存在一定的注视缺陷,即与TD儿童相比,ASD儿童不能从社交面孔中获取相关的信息,从而可能导致ASD儿童产生社交障碍,难以建立正常的社会关系^[22]。

3.2 孤独症儿童注视时间与量表分数的相关性

本研究中,ASD儿童的ABC量表中的语言能力分量得分与陌生面孔身体、眼睛和左眼睛注视时间有显著的相关性。通过身体、眼睛和左眼睛的注视时间可以预测ASD儿

童的语言能力。语言能力分量表得分与左眼睛的注视时间呈现显著的相关性,但与右眼睛的注视时间却无显著相关性,说明ASD儿童在陌生面孔注视上有一定的偏侧性。ASD儿童的SRS量表中的行为方式分量表得分与陌生面孔左眼睛注视时间呈现显著相关性,但与右眼睛的注视时间无显著相关性。左眼睛注视时间可以预测ASD儿童的异常行为方式,并且也说明了ASD儿童在陌生面孔注视上有一定的偏侧性。

3.3 孤独症儿童分类

通过筛查和监测进行早期识别对于早期干预至关重要,这可能会改善ASD儿童的预后^[23]。目前临床上主要依靠医生的经验以及相关的量表进行诊断,具有一定的主观性。本研究中,通过机器学习算法对ASD儿童和TD儿童进行区分,两组对陌生面孔的背景、身体、脸部、眼睛、左眼睛、嘴巴和鼻子的注视时间百分比具有显著性差异,将其作为特征,使用逻辑回归、随机森林和SVM分类算法将ASD与TD儿童进行区分,SVM分类准确率最高为78.60%,AUC为0.8154,F1分数为0.7706。我们的研究结果与之前研究的结果相当^[11,13],说明机器学习与眼动结合可用于ASD儿童的早期检测,并可作为临床的辅助评价指标。

4 结论

在本研究中,我们使用了1个简短的陌生面孔范式,发现ASD儿童更多地注视非特征区域,而更少地注视特征区域,并且注视具有一定的偏侧性。通过背景、身体、脸部、眼睛、左眼睛、嘴巴和鼻子的注视时间可以区分ASD儿童和TD儿童,其分类精度最高为78.60%。孤独症面孔加工异常以及机器学习能够为临床诊断提供客观的评价指标,尽早发现注视异常,对于后期的干预和训练有着重大的意义。

参考文献

[1] 杨友,金星明.美国精神障碍诊断和统计手册第五版对儿童孤独症谱系障碍诊治的影响[J].中国儿童保健杂志,2015,23(12):1278—1280.

[2] Baio J, Wiggins L, Christensen DL, et al. Prevalence of autism spectrum disorder among children aged 8 years—autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, United States, 2014[J]. MMWR Surveillance Summaries, 2018, 67(6):1—23.

[3] 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].漳州师范学院学报:自然科学版,2011,24(4):128—132.

[4] Jones W, Klin A. Attention to eyes is present but in decline in 2-6-month-old infants later diagnosed with autism[J]. Nature, 2013, 504(7480):427—431.

[5] 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.

[6] 魏玲,连榕,余宥依,等.自闭症谱系障碍儿童对不同类型社交

场景注意模式的眼动差异[J].心理与行为研究,2017,15(4):536—543.

[7] 龙细连,陈顺森,白学军.自闭症儿童对社交面孔的加工特点[J].信阳师范学院学报:哲学社会科学版,2015,35(3):23—28.

[8] 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.

[9] Falck-Ytter T, Fernell E, Hedvall AL, et al. Gaze performance in children with autism spectrum disorder when observing communicative actions[J]. J Autism Dev Disord, 2012, 42(10):2236—2245.

[10] Jiang M, Zhao Q. Learning Visual Attention to Identify People With Autism Spectrum Disorder[C]. The IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017: 3287—3296.

[11] Liu W, Li M, Yi L. Identifying children with autism spectrum disorder based on their face processing abnormality: a machine learning framework[J]. Autism Res, 2016, 9(8): 888—898.

[12] Liu W, Yu X, Raj B, et al. Efficient autism spectrum disorder prediction with eye movement: a machine learning framework[C]. 2015 International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction(ACII), 2015:649—655.

[13] 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.

[14] Shic F, Macari S, Chawarska K. Speech disturbs face scanning in 6-month-old infants who develop autism spectrum disorder[J]. Biol Psychiatry, 2014, 75(3):231-237.

[15] Antiguada, I. Landslide susceptibility maps using logistic regression model for the Oria river catchment. Strategies for variables processing[J]. Cuaternario Y Geomorfologia, 2018, 32:7—29.

[16] Breiman L. Random Forests[J]. Machine Learning, 2001, 45(1):5—32.

[17] Burges C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 1998, 2(2):121—167.

[18] Fawcett T. An introduction to ROC analysis[J]. Pattern recognition Letters, 2006, 27(8):861—874.

[19] Yi L, Fan Y, Quinn PC, et al. Abnormality in face scanning by children with autism spectrum disorder is limited to the eye region: evidence from multi-method analyses of eye tracking data[J]. J Vis, 2013, 13(10):5.

[20] 樊越波,侯锁枝,易莉,等.孤独症谱系障碍儿童面孔识别的眼动研究[J].中国儿童保健杂志,2012,20(4):323—326.

[21] Pelphrey KA, Sasson NJ, Reznick JS, et al. Visual scanning of faces in autism[J]. J Autism Dev Disord, 2002, 32(4):249—261.

[22] Riby DM, Hancock PJ. Viewing it differently: social scene perception in Williams syndrome and autism[J]. Neuropsychologia, 2008, 46(11):2855—2860.

[23] Delahunty C. Developmental delays and autism: screening and surveillance[J]. Cleve Clin J Med, 2015, 82(11 Suppl 1): S29—S32.