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

王广帅, 陈靓影*, 张坤

华中师范大学国家数字化学习工程技术研究中心, 武汉 430079

* 联系人, E-mail: chenljy@mail.ccnu.edu.cn

2018-07-31 收稿, 2018-09-09 修回, 2018-09-11 接受, 2018-10-10 网络版发表

国家社会科学基金(16BSH107)资助

摘要 自闭症谱系障碍儿童普遍存在情绪面孔识别和理解的缺陷,是导致其社交/沟通障碍的核心来源.本研究选取了82名年龄在2~7岁的儿童,包括自闭症(ASD)儿童31名,典型发展(TD)儿童51名,基于多重因素混合设计实验,探索影响ASD儿童情绪面孔识别的主要因素及其交互作用;通过眼动追踪技术分析ASD儿童情绪面孔识别的注视特征及加工模式,以及其对情绪面孔识别任务的影响.结果发现,被试类型、表情类别及表情强度对识别正确率具有主效应,各因素间存在交互作用并共同影响ASD儿童的情绪面孔识别能力;同时情绪面孔识别正确率及反应时在性别和年龄方面存在显著差异;ASD儿童对动态表情的识别能力显著优于2D和3D静态表情,具有动态加工优势.与TD儿童相比,ASD儿童存在特异性情绪面孔加工方式,对面孔区域的平均注视点及注视时间偏低,并且多关注嘴部及无关背景信息、较少注视眼睛等特征区域,倾向于局部特征加工方式.研究结果表明,表情材料、表情类别、表情强度及被试年龄和性别等因素共同作用并影响ASD儿童的情绪面孔识别能力,并且具有动态加工和嘴部注视的优势效应;动态表情更符合真实生活情境,可以作为情绪面孔识别干预的有效训练材料;特异性的面孔加工方式及眼动特征有助于理解ASD儿童的情绪面孔识别障碍,并可以辅助ASD儿童的早期识别.

关键词 自闭症谱系障碍, 情绪面孔, 眼动追踪, 加工机制

自闭症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)简称自闭症,是一种神经发育障碍,核心症状表现为持久性社会交流/交往障碍及狭隘兴趣和重复刻板的行为模式^[1].据2016年美国国家卫生统计中心发布报告显示,3~17岁儿童中ASD发病率为1/45,而当前ASD的全球发病率也约为1%~2%,且呈不断上升趋势^[2],逐渐引起了社会的关注和重视. ASD儿童多缺乏心理理论(Theory of Mind, ToM),难以理解他人的心理状态,无法以一种统合的方式来加工和理解社会交往和情感信息,社会功能受损被认为是ASD的

核心问题^[3].近期研究指出,难以提取和理解社会性线索,对他人情绪识别和理解能力的缺陷是ASD社会功能受损的重要来源^[4].

情绪作为个体社会心理发展的重要方面,对他人的情绪的识别与理解是个体参与社会沟通和交往的必要前提^[5].面孔表情是情绪和情感的重要外部表现,其识别和理解是个体获取社会信息的重要途径,也是维持正常社会交往的重要基础^[6].对于典型发展(typical developing, TD)儿童来说,情绪面孔识别是一种早期发展的社会技能.婴儿在4个月龄时能够对

引用格式: 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. 科学通报, 2018, 63: 3204–3216

Wang G S, Chen J Y, Zhang K. The perception of emotional facial expressions by children with autism using hybrid multiple factorial design and eye-tracking (in Chinese). Chin Sci Bull, 2018, 63: 3204–3216, doi: 10.1360/N972018-00553

目光凝视和情绪面孔有不同反应,在熟悉的环境中可以区分出恐惧、悲伤、高兴和惊讶等基本表情^[7];在7个月龄时可以区分面部表情,并且在视觉关注模式中,对相同或不同情绪面孔会做出方向性和习惯性反应^[8];在1岁时已能够运用并理解眼神对视、面部表情和肢体语言,采取非言语的沟通形式发起社会互动、参与轮流游戏、表达基本的要求以及和他人分享兴趣,逐渐具备双向社会互动(reciprocal interaction)、共同注意(joint attention)以及行为控制(behavioral regulation)的能力^[9]。另有情绪识别实验研究表明,儿童在4岁时可以熟练地完成快乐、悲伤和愤怒等表情材料的标签任务,尤其善于识别恐惧和惊讶表情^[10];但也有研究认为尽管儿童在10岁时的情绪识别能力接近于成人水平,但其与任务要求高度相关,对于表现不强烈的情绪仍会存在识别困难^[11]。从儿童发展心理学来讲,情绪识别是一个不断发展的心理过程,随着年龄的增长,经验的丰富以及思维品质的提升,儿童识别和产生表情的能力都有所增长。而ASD儿童在社交方面存在质的缺陷,在使用非言语行为(如眼神对视、面部表情)进行社会互动方面存在明显的障碍,缺乏共同注意、社会性交往和情感互动分享。已有研究认为,ASD患者缺乏对表情的敏感性^[12],但其原因并未有一致的结论。目前主要有3种理论解释:(1)“杏仁核功能缺陷”理论^[13]认为,杏仁核功能异常是造成社会交往障碍的主要原因,但无法解释ASD患者对眼部的回避现象;(2)“碎镜理论”^[14]认为,ASD患者的镜像神经元系统损伤阻碍其对他人表情的无意识模仿;(3)神经基础异常是造成ASD患者表情敏感缺陷的可能性因素之一^[15-17]。以上理论从生理和神经基础方面对ASD患者的表情识别缺陷给予了解释,此外基于表情敏感性缺陷的实验证据认为,ASD患者异常的面部表情加工方式和早期情绪唤起受损是导致其社交障碍的重要原因^[18]。

目前,ASD儿童面部表情识别及干预研究主要通过呈现真人照片、简笔画、卡通表情等材料,要求其完成情绪面孔判断任务,包括识别(identification)、匹配(matching)或标签(labeling)等。这一研究范式能够揭示ASD儿童情绪识别能力水平的个体间及与控制组之间的差异^[19],但无法确切描述ASD群体的情绪识别能力的发展轨迹、情绪面孔的加工特征及其影响因素。已有研究认为表情类型、强度以及人口社会学等因素对情绪面孔识别存在一定的影响^[20]。Luyster

等人^[21]通过行为分类任务(behavioral sort task)和ERP实验探讨了表情类型、强度及被试年龄在面部表情处理过程中的效应,在分类任务中各年龄组间并没有显著差异,在神经反应上TD组P1的延迟随着年龄的增长而缩短;而ASD组P1潜伏期没有年龄相关的差异,但P1和N170潜伏期延迟,N170的波幅减小,表明ASD相比TD存在情绪唤起的缺陷。Hoffmann等人^[22]研究发现,女性比男性可以更加准确地识别微弱变化的面孔表情,而在识别高强度的情绪面孔时没有显著差异。Evers等人^[23]针对6~14岁ASD儿童在6种基本的动态面部表情的识别任务研究发现,ASD儿童的情绪识别能力普遍弱于TD组儿童,但是在识别恐惧表情时优于TD组,同时研究表明年龄和IQ等人口学因素与情绪识别的表现并不相关。最近的一些研究表明,面部刺激的动态表现可以更清楚地引起ASD患者的异常行为模式。Kessels等人^[24]认为使用动态面部刺激表达不同强度水平的情绪可能会更有力的揭示ASD是否存在情绪识别缺陷,其通过30名高功能ASD(HF-ASD)和年龄与智力相匹配的TD组儿童对6种基本情绪表情(快乐、厌恶、恐惧、愤怒、惊讶和悲伤)在9等级水平强度下(20%~100%)的识别任务,结果显示HF-ASD儿童除了对恐惧和厌恶表情识别较差,其他与TD组并没有总体上的差异,并且情绪识别和强度水平之间不存在相互作用,这说明HF-ASD儿童情绪识别缺陷可能没有那么严重。由于实验方法和材料的差异,以及参与研究被试年龄范围很广,目前尚未达成一致的结论,并且已有研究多探讨大龄儿童或成人以及高功能ASD患者对静态刺激材料的情绪识别,缺乏针对低龄ASD儿童以及情绪面孔识别影响因素的研究。因此,本研究通过呈现2D、3D和动态视频等3种不同的情绪面孔刺激材料,包括高兴(happy)和恐惧(fear)两种表情,其中2D和3D静态刺激材料均有4种不同强度水平,以此通过多重因素混合设计实验比较在不同刺激材料下ASD儿童情绪面孔识别能力的差异性,为后续干预方案设计以及材料选择提供参考。

个体的面部特征区域的注视时间、注视点与情绪面孔识别的正确率存在密切的关系。不同面孔注视模式会引起不同的面孔认知加工过程。行为研究发现,面孔认知障碍是由加工方式异常造成的^[25]。眼动追踪(eye tracking)是目前研究视觉加工的重要方法之一,具有较高空间分辨率和时间分辨率,可以准

确实时记录注视时间和注视点个数等眼动指标,在研究ASD视觉社会注意和情绪面孔加工方面具有一定的优势^[26]. Klin等人^[27]最早利用眼动追踪报道了ASD特异性面孔加工模式,并得到后续研究证实^[28]. ASD对面孔情绪的识别缺陷,可能来源于该人群对面孔核心情绪特征区域(眼部、嘴部和鼻子等)的注意不足和无序处理^[29,30]. 有眼动研究指出,ASD眼部区域的注视减少很可能是导致该人群观看面部表情时梭状回激活减弱的原因,并且通过设置注视点以维持ASD被试对眼部的注意,结果发现ASD患者的梭状回激活水平与正常被试并无差异^[31]. 同时,相关研究采用眼动技术发现ASD儿童在观看情绪面孔过程中,对面孔的整体及眼部和嘴部特征区域的注视点、注视时间均显著少于智力缺陷及典型发展儿童^[32]. 以上研究提示,眼动技术可以有效应用于ASD儿童在外显表情观察任务的相关研究,用于记录人在处理视觉信息时的眼动轨迹特征. 另外,在ASD及婴幼儿早期注意模式研究中,眼动是一个非常有价值的观测指标. 利用眼动追踪技术,尽早发现异常的眼部注视方式,对于ASD的早期筛查与识别具有非常重要的意义. 本研究拟采用眼动追踪考察ASD儿童对不同呈现形式的高兴(happy)和恐惧(fear)两种面孔表情的加工方式及其特征;并探讨其与ASD儿童情绪面孔识别的正确率及反应时之间是否存在一定的关系;探索辅助早期识别ASD儿童发育异常的眼动注意行为指标.

1 对象与方法

(i) 对象. 本研究共招募82名儿童作为研究对象,实验前与家长签订知情同意书. 研究对象分为自闭症儿童组(ASD)和典型发展儿童组(TD),其中ASD组31名,男25名,女6名,年龄范围2~7岁(4.37 ± 2.00); TD组51名,男29名,女22名,年龄范围2~7岁(5.02 ± 0.63),经检验两组儿童在年龄上不存在显著差异. ASD儿童入组标准: (1) 符合美国精神疾病分类DSM-V的诊断标准; (2) 经发育行为儿科2名副主任或主任级医师双盲确诊; (3) 年龄2~7岁; (4) 排除严重呼吸系统疾病、儿童精神分裂症、癫痫及其他脑器质性病变; (5) 视觉系统发育正常. TD儿童入组标准: (1) 性别和年龄与ASD儿童匹配; (2) 经详细体格检查和精神检查,排除了躯体疾病、神经系统疾病、精神发育迟滞、情绪障碍、注意缺陷多动障碍(attention

deficit hyperactivity disorder, ADHD)、学习障碍及广泛性发育障碍等精神疾患; (3) 视觉发育正常.

(ii) 材料. 实验材料选自纽约州立大学建立的BU-3DFE面部表情数据库,其中包括101个对象,6种基本表情生气、厌恶、恐惧、高兴、悲伤和惊讶,并且包括2D、3D及动态视频(dynamic expression)3种格式^[33]. 本研究从中选取4组对象,其中2个亚裔(1男1女),2个拉美裔(1男1女)的两种基本情绪表情:高兴和恐惧. 使用Fanta Morph软件制作物理差异等距变化的4种不同强度水平(4等距: 1=25%, 2=50%, 3=75%, 4=100%)的表情材料,并且进行归一化处理,只保留正脸,去除头发等冗余背景信息,在训练阶段采用另外2组对象相同条件处理的材料. 本研究共生成静态表情材料64张,高兴及恐惧表情各32张,每种表情包括2D和3D两种格式分别16张;动态视频8段(4段高兴,4段恐惧),每段视频时长2000 ms(图1). 在训练阶段,2D图像直接显示为平面图像,3D图像刺激在屏幕上呈现为去除纹理特征的3D面孔模型. 3D模型的对象文件格式首先转换为开放开发者文件格式(open inventor),然后显示于VRVision,其专门开发用于在Matlab中显示3D刺激^[34]. 实验控制软件采用配有PTB-3 (Psychophysics Toolbox Version 3)开发包的Matlab R2012编写,程序可以记录反应时和正确率.

(iii) 实验程序. 实验程序包括训练阶段和正式测试阶段. 训练阶段随机呈现12段面孔表情刺激材料(2 faces $\times$ 2 expressions $\times$ 3 image formats,与正式测试材料不重叠). 首先,让儿童认识代表高兴和恐惧的表情标签,儿童通过表情标签选择来判断表情类别. 儿童完全认识表情反应标签后,进入训练阶段,12段材料各随机显示一次,要求儿童做出判断,训练过程中纠正错误的选择,直到儿童能够正确完成任务才进入正式测试阶段. 测试阶段流程如图2(a)所示,首先呈现注视点500 ms,然后随机呈现情绪面孔刺激,持续时间2000 ms,随后屏幕出现反应标签(此时开始记录反应时),被试儿童做出选择判断后,进入下一回合,整个测试阶段包括72个回合(trials). 测试电脑配置眼动仪(Tobii Eye Tracker 4C),采样率90 Hz,屏幕分辨率1366像素 $\times$ 768像素,被试眼睛与屏幕中心齐平,距离约50~60 cm,刺激呈15.0°垂直 $\times$ 10.0°水平的视觉角度,并且每一个儿童测试前进行七点校准. 测试场景如图2(b)所示. 测试程序及相关

图1 (网络版彩色)表情材料归一化处理

Figure 1 (Color online) The normalized expression material

设备记录被试表情识别的正确率、反应时(精度为毫秒级)以及在非侵入、自然环境下的实时眼动数据,用以数据分析。

(iv) 统计处理。采用SPSS20.0及Excel整理被试表情识别正确率及反应时数据并进行统计分析;采用OGAMA软件对情绪面孔识别过程中的眼动数据进行可视化分析。

2 结果

2.1 情绪面孔识别正确率及反应时描述性统计

ASD和TD儿童对3种不同刺激材料呈现的高兴和恐惧情绪面孔的识别正确率及反应时的描述性统计如图3所示。

从整体来看,TD组儿童的情绪面孔识别能力优于ASD组儿童,即表情识别正确率较高,反应时也较短。对于ASD儿童,表情识别正确率:动态表情>2D>3D;表情识别反应时长:动态表情<2D<3D;并且对于3种不同刺激材料表情,恐惧表情识别正确率高于高兴表情,但反应时要长于高兴表情。对于TD儿童,表情识别正确率:动态表情>3D>2D;表情识别反应时长:动态表情<3D<2D;恐惧表情的识别正确率及反应时均优于高兴表情。初步结果表明,ASD和TD儿童具有动态表情加工优势。

2.2 多重因素对情绪面孔识别正确率及反应时的影响

本研究通过混合实验设计进一步探究了情绪表

图2 测试流程及场景设置. (a) 测试流程; (b) 场景设置

Figure 2 The test process and scenario. (a) The test process; (b) the setting of scenario

图3 ASD和TD组对3种材料呈现的两种情绪面孔的识别正确率及反应时

Figure 3 The recognition accuracy and reaction time of two emotional faces displayed by three materials in the ASD and TD groups

情类别、刺激材料、表情强度等多重因素对情绪面孔识别的正确率及反应时的影响。以被试类型(ASD, TD)、刺激材料(2D, 3D, 由于动态视频材料不区分强度未纳入分析)和表情类别(高兴, 恐惧)为自变量, 情绪面孔识别正确率和反应时为因变量进行重复测量方差分析, 其中被试类型为被试间因子, 表情类型、表情材料、表情强度为被试内因子。

分析结果发现, 在表情识别正确率上被试类型、

表情类型、刺激材料及表情强度四者间的交互作用不显著, $F(3,240)=0.836$, $P=0.475$, 偏 $\eta^2=0.010$ 。被试类型、刺激材料及表情强度三者间交互作用显著, $F(3,240)=2.911$, $P=0.035$, 偏 $\eta^2=0.035$ 。进一步简单效应检验结果表明, 对于ASD组儿童, 刺激材料和表情强度间交互作用显著, $F(3,240)=3.330$, $P=0.020$; 而对于TD组儿童, 刺激材料与表情强度间的交互作用不显著, $F(3,240)=0.600$, $P=0.617$ 。被试类型、表情

类型及表情强度三者间交互作用不显著, $F(3,240)=0.200$, $P=0.897$. 被试类型存在主效应, $F(1,80)=39.940$, $P=0.000$, 偏 $\eta^2=0.333$, ASD与TD组之间存在显著差异. 表情类型和表情强度二者间交互作用显著, $F(3,240)=7.776$, $P=0.000$, 偏 $\eta^2=0.089$. 进一步简单效应检验结果表明, 对于高兴表情而言, 不同强度水平间差异显著, $F(3,240)=7.776$, $P=0.000$; 对于恐惧表情, 不同强度水平间差异显著, $F(3,240)=4.840$, $P=0.003$. 另外, 对于影响表情识别正确率的主效应分析结果显示, 刺激材料主效应不显著, $F(1,80)=0.442$, $P=0.508$; 表情类型主效应显著, $F(1,80)=5.361$, $P=0.023$, 偏 $\eta^2=0.063$; 表情强度主效应显著, $F(3,240)=9.098$, $P=0.000$, 偏 $\eta^2=0.102$.

在表情识别的反应时方面, 被试类型、表情类型、刺激材料及表情强度四者间交互作用不显著, $F(3,240)=1.136$, $P=0.263$, 偏 $\eta^2=0.016$. 被试类型的主效应显著, $F(1,80)=266.793$, $P=0.000$, 偏 $\eta^2=0.769$, ASD与TD儿童表情识别反应时间之间差异显著, ASD组儿童表情识别反应时要明显长于TD; 表情类型、刺激材料及表情强度的主效应均不显著, 并且各因素间的交互作用也不显著.

同时, 人口社会学因素年龄和性别对表情识别正确率及反应时也有一定的影响. 通过单因素方差分析结果显示, 性别主效应显著, $F(1,80)=83.048$, $P(0.000)<0.001$, 女性的表情识别能力优于男性; 年龄主效应显著, $F(1,80)=4.694$, $P(0.000)<0.05$, 不同年龄段的儿童对面孔表情的识别反应时存在显著差异.

2.3 ASD儿童情绪面孔识别眼动研究

情绪面孔的加工方式是影响个体表情识别能力的重要因素. 情绪加工尽管处于自动化水平, 但其同时也受到注意力的调制^[35], 因此眼动注视特征对面孔表情识别研究十分必要. 眼动追踪以非侵入方式能够客观、自然、真实地记录被试的注视特征, 为通过面部表情加工方式的行为特征来识别早期ASD提供了一种新途径. 本研究通过眼动追踪记录并分析了ASD和TD组儿童在进行面孔表情识别任务时的注视时间、注视点个数、扫视速度及注视区域等方面的眼动特征, 通过对比以揭示ASD儿童特异性的面孔加工方式, 对情绪面孔识别实验结果作出解释, 为早期识别ASD提供客观依据.

2.3.1 眼动指标: 注视点个数、注视时间及平均扫视速度

ASD组和TD组儿童对情绪面孔的注视点个数(fixations count)、注视时间(fixation duration)和平均扫视速度(average saccade velocity)的描述性统计如下.

如表1的描述性统计结果所示, ASD与TD组儿童对于面孔表情加工过程中的注视点个数平均注视时间和平均扫视速度等眼动指标存在显著的差异. 为了进一步研究ASD儿童对两种情绪表情的注意方式, 对被试观看不同情绪表情时的注视时间、注视点个数及平均扫视速度等眼动指标分别进行了2(被试类型: ASD, TD) $\times$ 2(表情类型: happy和fear)的重复测量方差分析. 结果发现, 对于注视点个数、注视时间及扫视速度, 被试类型及表情类型的交互作用均不显著, $F(1,80)=1.199$, $P=0.303$, 偏 $\eta^2=0.028$, $F(1,80)=1.341$, $P=0.231$, 偏 $\eta^2=0.032$, $F(1,80)=1.511$, $P=0.163$, 偏 $\eta^2=0.035$; 对于注视点个数和扫视速度, 被试类型的主效应显著, $F(1,80)=5.756$, $P=0.017$, 偏 $\eta^2=0.020$, $F(1,80)=12.403$, $P=0.000$, 偏 $\eta^2=0.041$; 对于注视时间, 被试类型的主效应不显著, $F(1,80)=0.969$, $P=0.326$, 偏 $\eta^2=0.003$, 表情类型的主效应边缘性显著, $F(1,80)=1.993$, $P=0.064$, 偏 $\eta^2=0.045$; 对于注视点个数及扫视速度, 表情类型的主效应不显著, $F(1,80)=1.089$, $P=0.371$, 偏 $\eta^2=0.026$, $F(1,80)=0.707$, $P=0.666$, 偏 $\eta^2=0.017$.

实验结果初步表明, ASD儿童存在与TD儿童不同的情绪面孔识别眼动特征, 相关眼动指标或许可以作为识别自闭症的辅助指标.

2.3.2 面部表情识别兴趣区及加工特征

面部表情主要是通过眼部、面部和唇部肌肉的变化而表现出的情绪状态. 眼动追踪可以实时记录情绪面孔的识别过程, 其中, 注视轨迹图(fixation scanpaths)及热点图(heat map)可以比较直观地展现个体在对情绪面孔识别过程中的兴趣区及加工特征. 本研究使用OGAMA软件对情绪面孔识别过程中的眼动数据进行了可视化分析, ASD及TD儿童在识别情绪面孔时, 其关注的兴趣区及加工方式存在显著的差异.

如图4所示, ASD儿童呈现与TD儿童不一样的面孔表情加工方式及特征. TD组儿童主要通过眼部和嘴部的综合特征来识别表情的类别; 注视点多集中于眼部、嘴部和鼻子等特征区; 眼部区域注视点较多(眼部: 41.45 ± 17.56 ; 嘴部: 16.20 ± 3.03), 嘴部区域注视

表 1 不同组被试儿童对情绪面孔的注视点、注视时间及扫视速度描述性统计($\bar{x}\pm s$)^{a)}

Table 1 Descriptive statistics of fixation points, fixation time and scanning speed of emotional facial in different groups of children

情绪	项目	ASD			TD		
		注视点个数 (count)	注视时间(ms)	平均扫视速度 (px/s)	注视点个数 (count)	注视时间(ms)	平均扫视速度 (px/s)
高兴	H1	6.11±1.45	234.97±78.97	3.36±1.11	6.16±1.57	228.60±75.05	3.86±1.00
	H2	4.84±2.52	232.79±114.86	3.04±1.40	6.16±1.50	227.46±74.90	4.34±1.71
	H3	6.05±2.66	233.29±167.97	3.87±1.72	5.74±1.82	252.29±71.15	4.26±1.45
	H4	5.26±2.10	214.77±89.00	3.65±1.67	7.05±1.22	197.32±72.94	3.59±1.09
	总计	5.56±2.18	228.96±112.70	3.48±1.48	6.28±1.53	226.42±73.51	4.01±0.31
恐惧	F1	5.42±1.71	240.22±78.62	3.43±1.48	6.26±2.35	233.71±105.00	4.29±1.85
	F2	6.11±2.33	155.28±74.03	3.27±1.77	6.58±2.17	231.10±78.31	4.30±1.32
	F3	6.47±2.88	176.84±80.50	3.19±1.48	6.63±1.71	212.85±61.54	4.18±1.31
	F4	6.32±1.67	219.79±56.38	3.58±1.12	6.42±1.58	202.58±53.71	3.22±1.02
	总计	6.08±2.15	198.03±72.38	3.37±1.46	6.47±1.95	220.06±74.64	4.00±1.38
总计		5.82±2.23	213.49±100.05	3.43±1.48	6.38±1.71	223.24±72.94	4.00±1.40

a) H1~H4和F1~F4分别代表4组对象(2男2女)的高兴和恐惧两种面孔表情

时间略长(眼部: 235.36±37.87; 嘴部: 346.60±49.89); 视觉搜索路径较为清晰多为直线, 趋向于整体加工方式来识别表情. ASD儿童在情绪面孔加工过程中回避眼神接触, 对眼部注视时间较少(眼部: 189.38±62.21; 嘴部: 203.25±30.11); 多关注嘴部、面部其他部分及无关背景信息; 注视点散乱并且缺少凝视, 眼部特征区注视点个数少于嘴部和其他特征区(眼部: 5.63±2.44; 嘴部: 9.50±4.03); 视觉搜索路径多为曲线, 呈现与TD儿童不同的面孔加工方式, 趋向于局部特征加工方式. 从注视轨迹图显示, TD儿童首先注视的是眼部区域, 其次关注嘴部区域和脸部其他特征区, 并且存在回视; ASD组儿童首先注视的嘴部区域, 然后是脸部其他区域, 回避眼神接触, 较少回视. 并且, 从ASD和TD儿童面孔加工的注视图及搜索路径可以看出, 嘴角变化被应用于早期处理面部表情, 尤其是高兴表情比较显著; 而对于恐惧表情的识别, 眼部特征被更加注意.

综上所述, ASD儿童在进行情绪面孔识别加工时呈现与TD儿童不同的注视模式, 注视点、注视时间、视觉扫描路径、注视兴趣区等特征或许可以作为自闭症儿童早期识别的辅助参考指标.

3 讨论

本研究旨在利用多因素混合设计实验和眼动追踪技术, 探究影响ASD儿童情绪面孔识别的主要因

素以及在完成情绪面孔识别加工过程中的眼动特征. 通过分析表明, ASD儿童情绪面孔识别受多重因素影响, 并且表情识别能力与其面孔加工方式及注视模式存在相关性; 同时研究结果为ASD儿童情绪面孔识别能力的有效干预及早期识别提供有益参考.

3.1 影响ASD儿童情绪面孔识别的主要因素及作用

通过对实验和行为数据的分析可知, 面孔表情刺激材料的呈现方式与表情强度、表情类别、儿童性别和年龄变量共同影响ASD儿童的情绪面孔识别能力, 但对正确率和反应时的作用有所差异.

面部表情刺激材料是影响ASD和TD儿童情绪面孔识别正确率和反应时的重要因素. 本研究发现, ASD和TD组儿童对动态表情的识别能力均优于2D和3D静态表情, 正确率较高, 反应时较短. 尽管有研究认为动态表情和静态表情两者并没有差异^[36], 也有研究认为静态表情存在加工优势. 而事实上, 在日常生活中面部表情通常是动态变化的, 不仅包含静态形式的信息, 而且蕴含丰富的动态社会线索信息, 人们对于动态面孔表情更为敏感, 具有“动态加工优势”. 相关研究认为刺激的动态特性会影响面部表情的处理^[37], 在同等时间内呈现动态面部表情的加工更有效率^[38], 这也支持本研究的结果. 同时, TD组儿童对3D表情的识别正确率要高于2D表情, 且反应时

图 4 ASD和TD组儿童情绪面孔识别特征区域及特征。颜色区域代表兴趣区，颜色越深代表对这个区域越感兴趣；连线代表视觉搜索路径；数字代表注视点；红色方框代表眼部(eye)和嘴部(mouth)特征区，eye/mouth[- : -]表示特征区域注视点个数和平均注视时间

Figure 4 The areas and features of emotional face recognition in children of ASD and TD group. The color area represents the interest area. The darker the color is, the more interested it is. The line represents visual search path. The number represents fixation points; the red square represents the eye and mouth feature areas, and the data means that eye/mouth [fixation points, average fixation time]

略短，而ASD儿童对3D和2D表情识别的正确率与表情的类别有关，识别恐惧表情的正确率略高于高兴表情。3D面孔所包含的立体深度信息促进了表情加工的速度，而对表情识别正确率上的效应取决于情绪类别，并且3D面孔尤其能提高TD儿童识别恐惧表情的正确率，这与已有研究结果一致^[39]。

ASD儿童对动态表情的识别能力明显低于TD儿童。在实验过程中发现，ASD儿童与TD儿童相比存在一定的动态回避反应，动态呈现刺激材料并没有吸引ASD儿童更多的注意资源促进表情加工。本研究通过ASD与TD儿童在识别动态表情时的正确率和反应时的对比分析说明，ASD儿童可能存在快速视觉整合缺陷(visual-motion integration)^[40]，难以注意

到刺激物内在的多重特征，不擅长获取快速变化的与社交相关的表情信息。对于2D和3D静态面孔刺激材料的高兴和恐惧表情，ASD儿童的情绪表情识别能力也都显著低于TD儿童。本研究通过眼动追踪发现，ASD儿童对面部特征区(眼部、嘴部)的注视时间、注视点显著少于非特征区、回避表情面孔、缺乏注视等异常的面孔表情加工方式可能是导致其表情识别能力不足的重要原因。另有研究认为，TD和ASD使用不同的神经机制进行情绪识别^[41,42]。

被试类型、表情类别及表情强度对于情绪面孔识别正确率存在主效应，但对反应时的主效应不显著。本研究发现，ASD儿童在完成相同材料呈现的表情识别任务时，恐惧表情的识别正确率略高于高兴表情，

但是反应时略长. 已有研究认为, 威胁性情绪面孔(如愤怒、恐惧)比情绪上的正面表情更能吸引人的注意力, 视觉系统会更为敏感, 且处理速度快、效率高, 这一现象称为威胁面孔加工的优势效应(ASE)^[43]. 本研究表明, 自闭症儿童具有威胁面孔加工的优势效应, 但与TD儿童不同, 其处理过程中需要更多局部特征的处理来提取情感信息, 而不是结构信息(面部整体特征)处理, 因此, ASE优势效应还不够强烈, 在识别反应时上并没有体现出明显的优势. 另一方面, 通过眼动追踪实验也发现, ASD儿童在识别情绪面孔时会回避眼神接触, 更多的会注视嘴部区域进行社会信息补偿.

本研究实验发现, 情绪强度与表情识别正确率并不成线性正相关关系. ASD和TD儿童对四种不同强度水平的高兴和恐惧表情的识别正确率统计分析表明, 在同一水平强度下, TD组表情识别能力要显著高于ASD组, 即表情识别正确率较高. 对于TD儿童而言, 3D表情的识别正确率略高于2D表情; 相同刺激材料呈现表情的识别正确率与表情强度之间的关系并不成正比, 表情强度 $Intensity=[2, 4]$ 水平时的识别正确率略高于 $Intensity=[1, 3]$. 而对于ASD组儿童来说, 不同强度水平间, 同一类型表情的识别正确率存在显著差异, 在低强度水平下($Intensity=[1, 2]$)时, 2D材料表情识别正确率略高; 在高强度水平下($Intensity=[3, 4]$), 3D表情识别正确率略高. 相关研究认为面部表情在人类大脑中是按照类别表征的, 而不是按照连续的物理信号表征的, 并且不同类别的表情之间存在明显的类别界线, 称之为面部表情的类别知觉效应^[44]. 这可以解释, 在表情识别任务中, 识别正确率与表情强度并不是线性正相关, 表情识别正确率随刺激材料强度的提高呈类似S型曲线提高. 同时本研究发现, 在实验过程中如果前后呈现的是不同类型两个面孔表情, 识别正确率会更高, 这也说明ASD儿童具有面孔表情的类别知觉能力, 并且类间表情的识别正确率高于类内表情. 但是ASD的类别知觉能力不如TD明显, 表情知觉类别界线发生偏移^[45], 需要更大的情绪强度才能正确识别表情, 对于情绪表情的微弱变化不够敏感. ASD儿童的类别知觉能力是否存在与TD儿童的差异, 是未来研究中值得深入探究的.

被试的年龄和性别也是影响情绪面孔识别正确率和反应时的重要因素. 本研究结果表明, 女性的面

孔表情识别能力要优于男性; 年龄对于不同类别表情的影响作用不一, 其中恐惧表情的识别正确率与年龄成正比. 已有研究报告了类似的结果, Uljarevic等人^[46]对48篇关于ASD儿童情绪识别文献meta分析结果指出, 没有研究表明ASD儿童情绪识别能力与年龄存在实质性的联系, 但这并不意味着随着年龄的增长, 个体的表情识别能力无法改善, 而是在总体上没有改善. 根据ASD与TD组儿童的对比实验结果, 本研究认为, 年龄在一定程度上会影响面部表情的知觉效应, 具有一定的神经生理基础, 但并不精细和完善; 经验可以提高面部表情知觉能力, 使个体能够敏锐地觉察他人情绪的变化, 并及时做出恰当反应以适应环境; 早期的干预训练有利于提高儿童情绪社交能力. 另外, 性别可能会影响面部表情加工, 本研究在组成性别匹配的样本方面存在一些限制, ASD组中男女比例为4.2:1. 事实上, ASD在男性中的发病比例要高于女性, 这在本研究的样本中可以明显体现. 元分析研究发现, 从婴儿到青少年阶段, 女性的面孔表情识别能力都优于男性^[47], 这与本研究结果具有一致性.

3.2 ASD儿童特异性面孔注视模式及加工方式

本研究利用眼动追踪技术分析了ASD儿童对情绪面孔的识别特征和加工方式, 研究发现, ASD儿童呈现与TD儿童不一样的面孔表情加工方式. TD组儿童主要通过眼部和嘴角特征来识别不同类别的表情; 注视点多集中于眼、嘴、鼻区域; 视觉搜索范式采用直接凝视, 而不是避免凝视刺激. ASD组儿童则回避眼神接触, 注视点漂移不定; 缺乏注视和共同注意, 多关注嘴部区域; 视觉搜索路径较少, 关注局部特征. 已有研究认为, 正常发展个体在面孔表情识别任务时, 总是利用眼部信息或者综合面部特征区(眼部和嘴部)的整体信息进行判断^[48]; 但ASD个体对面部特征区的注视时间显著少于非特征区, 其中对眼睛的注视时间最少^[49,50], 而且这种注视差异在婴儿时期就已显现^[51]. 由此可以说明, ASD儿童表情识别能力的显著低于TD组儿童可能与其特异的面孔加工方式有关, ASD儿童从眼睛区域获取社会信息(如: 识别情绪)的能力极其有限, 或将该区域信息视为无意义; 嘴部信息则是辨别面孔或情绪等社会信息的主要来源. 同时, 从搜索路径及注视图可以看出嘴角变化被应用于早期处理面部表情, 尤其是在识别高兴表情比较显著; 而对于恐惧表情的识别, 眼部特征被更加

注意。眼睛和嘴巴在辨别情绪表情方面起着重要作用,已有研究认为,口部肌肉对表达喜悦、怨恨等少数情绪比眼部肌肉重要;而眼部肌肉对表达其他情绪如恐惧、忧愁则比口部肌肉重要^[52,53]。眼睛和凝视是人类社会互动中的重要线索。最近研究表明,在识别面部特征、面部表情或推断他人注意力和意图方面的缺陷可能与从眼部区域(包括凝视方向)提取相关特征信息困难存在联系^[54]。相关研究发现,ASD儿童在出生后2~6个月的眼部注视正常,6个月以后开始衰退^[55],这一研究结果解释了实验中ASD儿童情绪面孔识别异常的原因,也支持了本研究的结果,并且为通过眼动追踪辅助识别早期ASD的设想提供了科学基础。

4 结论

(1) 面孔表情材料、表情类别及表情强度的主效

应显著,共同影响ASD儿童的情绪面孔识别能力,并且在性别和年龄上存在差异。

(2) ASD儿童对动态表情的识别能力优于2D和3D材料的静态表情,具有动态加工优势,并且对恐惧表情的识别正确率高于高兴表情,但反应时略长,具有威胁面孔检测优势效应,但不够强烈。

(3) ASD儿童情绪面孔识别能力与特异性面孔加工方式有关,主要表现为缺乏对面部特征区的注视,尤其是回避眼神,对眼部与嘴部的注视时间、注视点的个数均显著低于TD儿童。

(4) 动态表情更符合真实的社会情境,可以作为刺激材料用以ASD儿童的教育干预训练,更有利于提高ASD儿童情绪面孔识别能力。

(5) 眼动追踪作为一种技术手段有望在临床上辅助ASD儿童早期识别与诊断。

参考文献

- 1 Association A P. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th Ed: DSM-5. Washington: American Psychiatric Publishing, 2013
- 2 Zablotsky B, Black L I, Maenner M J, et al. Estimated prevalence of autism and other developmental disabilities following questionnaire changes in the 2014 National Health Interview Survey. Natl Health Stat Rep, 2015, 87: 1-20
- 3 Kouklari E C, Tsermentseli S, Auyeung B. Executive function predicts theory of mind but not social verbal communication in school-aged children with autism spectrum disorder. Res Dev Disabil, 2018, 76: 12-24
- 4 Bons D, Broek E V D, Scheepers F, et al. Motor, emotional, and cognitive empathy in children and adolescents with autism spectrum disorder and conduct disorder. J Abnorm Child Psychol, 2013, 41: 425-443
- 5 Peng D L. General Psychology (in Chinese). Beijing: Beijing Normal University Press, 2004. 352-353 [彭聃龄. 普通心理学. 北京: 北京师范大学出版社, 2004. 352-353]
- 6 Liu H Y, Ge L Z. Effect of facial expression recognition on social competence (in Chinese). Chin J Clin Psychol, 2014, 22: 413-417 [刘宏艳, 葛列众. 面部表情识别对社会交往能力的影响作用. 中国临床心理学志, 2014, 22: 413-417]
- 7 Walker Andrews A S. Emotions and social development: Infants' recognition of emotions in others. Pediatrics, 1998, 102: 1268-1271
- 8 Mason W A, Capitanio J P. Basic emotions: A reconstruction. Emot Review J Int Soc Res Emot, 2012, 4: 238
- 9 Guo J, Jing J. Research progress on facial expression cognitive characteristics of autism spectrum disorder (in Chinese). Chin J Evidence-based Med, 2009, 4: 543-547 [郭嘉, 静进. 孤独症谱系障碍的面部表情认知特征研究进展. 中国循证儿科杂志, 2009, 4: 543-547]
- 10 Widen S C, Russell J A. A closer look at preschoolers' freely produced labels for facial expressions. Dev Psychol, 2003, 39: 114-128
- 11 Durand K, Gallay M, Seigneure A, et al. The development of facial emotion recognition: The role of configural information. J Exp Child Psychol, 2007, 97: 14-27
- 12 Yang J M, Huang X, Shao Z, et al. The deficit of emotional sensitivity to facial expression in autism spectrum disorder: Task-based analyses and insights into intervention (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2017, 47: 443-452 [杨洁敏, 黄杏, 邵智, 等. 孤独症谱系障碍患者的面部表情敏感性缺陷: 任务性质的影响与干预启示. 中国科学: 生命科学, 2017, 47: 443-452]
- 13 Baron-Cohen S, Ring H A, Bullmore E T, et al. The amygdala theory of autism. Neurosci Biobehav Rev, 2000, 24: 355-364
- 14 Williams J H G, Whiten A, Suddendorf T, et al. Imitation, mirror neurons and autism. Neurosci Biobehav Rev, 2001, 25: 287-295
- 15 Kleinhans N M, Johnson L C, Richards T, et al. Reduced neural habituation in the amygdala and social impairments in autism spectrum disorders. Am J Psychiatry, 2009, 166: 467-475
- 16 Yamasaki T, Maekawa T, Takahashi H, et al. Electrophysiology of visual and auditory perception in autism spectrum disorders. Comprehensive Guide to Autism. New York: Springer, 2014. 791-808

- 17 Modi M E, Young A L J. Oxytocin, Vasopressin, and Social Behavior: Implications for Autism Spectrum Disorders. New York: Oxford University Press, 2011. 593–610
- 18 Perlman S B, Hudac C M, Pegors T, et al. Experimental manipulation of face-evoked activity in the fusiform gyrus of individuals with autism. *Soc Neurosci*, 2011, 6: 22–30
- 19 Walsh J A, Creighton S E, Rutherford M D. Emotion perception or social cognitive complexity: What drives face processing deficits in autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord*, 2015, 15: 1–9
- 20 Herba C M, Landau S, Russell T, et al. The development of emotion-processing in children: Effects of age, emotion, and intensity. *J Child Psychol Psychiatry*, 2006, 47: 1098–1106
- 21 Luyster R J, Bick J, Westerlund A, et al. Testing the effects of expression, intensity and age on emotional face processing in ASD. *Neuropsychologia*, 2017, doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.06.023
- 22 Hoffmann H, Kessler H, Eppel T, et al. Expression intensity, gender and facial emotion recognition: Women recognize only subtle facial emotions better than men. *Acta Psychol (Amst)*, 2010, 135: 278–283
- 23 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 Autism Dev Disord*, 2015, 45: 1774–1784
- 24 Kessels R P C, Spee P, Hendriks A W. Perception of dynamic facial emotional expressions in adolescents with autism spectrum disorders (ASD). *Transl Neurosci*, 2010, 1: 228–232
- 25 Adams H L, Matson J L, Cervantes P E, et al. The relationship between autism symptom severity and sleep problems: Should bidirectionality be considered. *Res Autism Spect Dis*, 2014, 8: 193–199
- 26 Guillon Q, Hadjikhani N, Baduel S, et al. Visual social attention in autism spectrum disorder: Insights from eye tracking studies. *Neurosci Biobehav Rev*, 2014, 42: 279–297
- 27 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. *Arch Gen Psychiatry*, 2002, 59: 809–816
- 28 Gross T F. Recognition of immaturity and emotional expressions in blended faces by children with autism and other developmental disabilities. *J Autism Dev Disord*, 2008, 38: 297–311
- 29 Pelphrey K A, Sasson N J, Reznick J S, et al. Visual scanning of faces in autism. *J Autism Dev Disord*, 2002, 32: 249–261
- 30 Schwartzman J S, Velloso R L, D'Antino M E, et al. The eye-tracking of social stimuli in patients with Rett syndrome and autism spectrum disorders: A pilot study. *Arq Neuro-Psiquiat*, 2015, 73: 402–407
- 31 Dalton K M, Nacewicz B M, Johnstone T, et al. Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism. *Nat Neurosci*, 2005, 59: 519–526
- 32 Ma W N, Zhu B B. Emotional empathy and emotional expression in autistic children (in Chinese). *Acta Psychol Sin*, 2014, 46: 528–539 [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. *心理学报*, 2014, 46: 528–539]
- 33 Yin L, Wei X, Sun Y, et al. A 3D facial expression database for facial behavior research. In: 7th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. IEEE, 2006. 211–216
- 34 Ward J, Liu C H. VRVision: A new tool for the display of 3-D images in behavioral research. *Behav Res Meth*, 2005, 37: 464–469
- 35 Qian L, Peng D L, Liu H Y. Spatiotemporal dynamics for emotional processing. *Adv Psychol Sci*, 2011, 19: 1099–1103
- 36 Moore D G. Reassessing emotion recognition performance in people with mental retardation: A review. *Am J Ment Retard*, 2001, 106: 481–502
- 37 Sato W, Uono S, Toichi M. Atypical recognition of dynamic changes in facial expressions in autism spectrum disorders. *Res Autism Spect Dis*, 2013, 7: 906–912
- 38 Li W H, Liu L S, Lü B, et al. Comparison of dynamic and static facial expression processing: Evidence from eye movement (in Chinese). *Chin J Health Psychol*, 2014, 22: 700–702 [李文辉, 刘丽莎, 吕博, 等. 动态与静态面部表情加工的比较: 来自眼动的证据. *中国健康心理学杂志*, 2014, 22: 700–702]
- 39 Wang L, Chen W, Li H. Use of 3D faces facilitates facial expression recognition in children. *Sci Rep*, 2017, 7: 45464
- 40 Gepner B, Mestre D. Rapid visual-motion integration deficit in autism. *Trends Cogn Sci*, 2002, 6: 455
- 41 Malaia E, Cockerham D, Rublein K. Visual integration of fear and anger emotional cues by children on the autism spectrum and neurotypical peers: An EEG study. *Neuropsychologia*, 2017, doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.06.014
- 42 Batty M, Meaux E, Wittemeyer K, et al. Early processing of emotional faces in children with autism: An event-related potential study. *J Exp Child Psychol*, 2011, 109: 430–444
- 43 Isomura T, Ogawa S, Yamada S, et al. Preliminary evidence that different mechanisms underlie the anger superiority effect in children with and without autism spectrum disorders. *Front Psychol*, 2014, 5: 461–468
- 44 Qiu F H, Luo Y J, Jia S W. Category perception of facial expressions and their individual differences (in Chinese). *Adv Psychol Sci*, 2015, 23: 946–958 [邱方晖, 罗跃嘉, 贾世伟. 面部表情的类别知觉及其个体差异. *心理科学进展*, 2015, 23: 946–958]

- 45 Humphreys K, Minshew N, Lee Leonard G, et al. A fine-grained analysis of facial expression processing in high-functioning adults with autism. *Neuropsychologia*, 2007, 45: 685–695
- 46 Uljarevic M, Hamilton A. Recognition of emotions in autism: A formal meta-analysis. *J Autism Dev Disord*, 2013, 43: 1517–1526
- 47 McClure E B. A meta-analytic review of sex differences in facial expression processing and their development in infants, children, and adolescents. *Psychol Bull*, 2000, 126: 424–453
- 48 Rutherford M D, Clements K A, Sekuler A. Differences in discrimination of eye and mouth displacement in autism spectrum disorders. *Vis Res*, 2007, 47: 2099–2110
- 49 Wagner J B, Hirsch S B, Vogel-Farley V K, et al. Eye-tracking, autonomic, and electrophysiological correlates of emotional face processing in adolescents with autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord*, 2013, 43: 188–199
- 50 Anderson C J, Colombo J, Shaddy D J. Visual scanning and pupillary responses in young children with autism spectrum disorder. *J Clin Exp Neuropsychol*, 2006, 28:1238–1256
- 51 Merin N, Young G S, Ozonoff S, et al. Visual fixation patterns during reciprocal social interaction distinguish a subgroup of 6-month-old infants at-risk for autism from comparison infants. *J Autism Dev Disord*, 2007, 37: 108–121
- 52 Neath-Tavares K N, Itier R J. Neural processing of fearful and happy facial expressions during emotion-relevant and emotion-irrelevant tasks: A fixation-to-feature approach. *Biol Psychol*, 2016, 119: 122–140
- 53 Eisenbarth H, Alpers G W. Happy mouth and sad eyes: Scanning emotional facial expressions. *Emotion*, 2011, 11: 860–865
- 54 Itier R J, Batty M. Neural bases of eye and gaze processing: The core of social cognition. *Neurosci Biobehav R*, 2009, 33: 843–863
- 55 Jones W, Klin A. Attention to eyes is present but in decline in 2–6-month-old infants later diagnosed with autism. *Nature*, 2013, 504: 427–431

Summary for “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”

The perception of emotional facial expressions by children with autism using hybrid multiple factorial design and eye-tracking

Guangshuai Wang, Jingying Chen^{*} & Kun Zhang

National Engineering Research Center for E-Learning, Central China Normal University, Wuhan 430079, China

^{*} Corresponding author, E-mail: chenjy@mail.ccnu.edu.cn

Children with autism spectrum disorder (ASD) have the deficits in emotional facial expression recognition and understanding, which is considered as the core source of their social communication disorder and stereotype behaviour. Previous studies have suggested that individuals with ASD have the deficits in the perception of static emotional facial expressions, but results are inconclusive. The use of 3D or dynamic facial stimuli that express emotions at different levels of intensities may produce more robust results, since these resemble the expression of emotions in daily life to a greater extent. In this study, 30 children (aged 2–7 years) with ASD and 51 age-matched children with typical development (TD) performed an emotion recognition (ER) task, in which morphs, presented on a computer screen, depicted facial expressions associated with two basic emotions (happiness and fear) at four levels of emotional intensity (25%–100%). Using a hybrid-design experiment and eye-tracking technology, we explored the influencing factors of ER in children with ASD and their interaction. In addition, we analyzed the gaze characteristics and processing patterns of children with ASD during the ER, and their impact on ER. The results showed that the type of subject, expression category, and intensity of expression had the main effect on recognition accuracy, and there was interaction among the factors that affected the emotional face recognition ability of the children with ASD. Moreover, children with ASD and TD both had an advantage when recognizing dynamic expressions rather than static expressions in 2D or 3D. The recognition accuracy of 3D expressions of children with TD was higher than that of 2D expressions, but children with ASD had the opposite result. The recognition accuracy of fearful expression for both ASD and TD groups was significantly better than that of happy expression. There was an interaction effect between gender and expression category, but age was not significant. In particular, girls' facial expression recognition ability was superior to that of boys. The eye-tracking results showed that children with ASD have face-specific processing mechanisms: avoidance of eye contact, increased focus on the mouth and background information, and a preference for local feature processing. In conclusion, this study suggests that the material, category, and intensity of facial expression combines with the age and gender of subjects to affect the emotional expression recognition ability of children with ASD. Children with autism have the advantage of dynamic processing and mouth-directed gaze. In addition, dynamic facial expressions may be used as effective training and intervention materials for ER. Abnormal face processing and eye-tracking characteristics can help to understand the social disorders of ASD and provide behavioral characteristic indicators for early identification of ASD.

autism spectrum disorder, emotional face, eye tracking, processing mechanism

doi: 10.1360/N972018-00553