

论著·临床研究

孤独症谱系障碍儿童辨认基本情绪面孔 早期加工阶段的异常特征

林琼希 吴桂花 张玲 王增建 潘宁 许才娟 静进 金宇

(中山大学公共卫生学院妇幼卫生系, 广东 广州 510080)

[摘要] **目的** 探讨孤独症谱系障碍(ASD)儿童对基本情绪面孔的辨认能力以及在辨认基本情绪面孔的早期加工阶段可能存在的异常特征。**方法** 以中国人物静态表情图片为刺激材料,分析25名ASD儿童与22名年龄、性别匹配的普通儿童对4种基本情绪(害怕、高兴、生气和伤心)面孔的文字标签识别能力及脑电反应。**结果** 在总表情和害怕面孔的脑电反应中,对照组表现出大脑左侧颞区的N170潜伏期较右侧短($P<0.05$),而ASD组对情绪面孔的N170反应未显示出对照组的这种差异;且在总表情、害怕和高兴面孔下,ASD组左侧颞区的N170潜伏期较对照组长($P<0.05$),而在生气和害怕表情下也表现出右侧颞区的N170潜伏期长于对照组的趋势。**结论** ASD儿童对基本情绪面孔在早期加工阶段的感知速度总体上偏慢,且对情绪面孔早期加工的偏侧化模式可能存在异常。**[中国当代儿科杂志, 2018, 20(2): 134-139]**

[关键词] 孤独症谱系障碍; 表情识别; 面孔加工; 事件相关电位; 儿童

Abnormal processing characteristics to basic emotional faces in the early phase in children with autism spectrum disorder

LIN Qiong-Xi, WU Gui-Hua, ZHANG Ling, WANG Zeng-Jian, PAN Ning, XU Cai-Juan, JING Jin, JIN Yu. Faculty of Maternal and Child Health, School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China (Jin Y, Email: jinyu@mail.sysu.edu.cn)

Abstract: Objective To explore the recognition ability and abnormal processing characteristics to basic emotional faces in the early phase in children with autism spectrum disorders (ASD). **Methods** Photos of Chinese static faces with four basic emotions (fearful, happy, angry and sad) were used as stimulus. Twenty-five ASD children and twenty-two age- and gender-matched typical developed children (normal controls) were asked to match the emotional faces with words. Event-related potential (ERP) data were recorded concurrently. **Results** N170 latencies for total emotion and fearful face in the left temporal region were faster than in the right one in normal controls ($P<0.05$), but the results were not noted in ASD children. Further, N170 latencies in the left temporal region of ASD children were slower than normal controls for total emotion, fearful and happy faces ($P<0.05$), and their N170 latencies in the right temporal region were prone to slower than normal controls for angry and fearful faces. **Conclusions** The holistic perception speed of emotional faces in the early cognitive processing phase in ASD children is slower than normal controls. The lateralized response in the early phase of recognizing emotional faces may be aberrant in children with ASD.

[Chin J Contemp Pediatr, 2018, 20(2): 134-139]

Key words: Autism spectrum disorder; Face recognition; Facial processing; Event-related potential; Child

孤独症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)是一类以社会交往和交流障碍、兴趣和行为刻板重复为特征的神经发育性障碍^[1]。社交障碍是

ASD最核心的症状之一,第5版《精神疾病诊断与统计手册》已明确提出对社会情绪交往缺陷和非言语性交流的缺失(如缺乏情绪面孔交流)是

[收稿日期] 2017-09-21; **[接受日期]** 2017-12-01

[基金项目] 国家自然科学基金(81171293)。

[作者简介] 林琼希,女,硕士研究生。

[通信作者] 金宇,女,副教授。

ASD的主要症状。儿童发育早期获得对表情线索的识别和理解能力是发展复杂人际交往的重要环节,表情识别功能的异常必然影响到社会交往的质量^[2]。ASD儿童对情绪面孔认知异常极有可能是导致其社交障碍的原因之一,对ASD儿童面孔认知探索具有重要的临床意义^[3]。

ASD患者对情绪表情的识别和理解存在不同程度的困难,并存在脑部功能异常的神经学基础^[4-5],对ASD儿童表情识别的早期大脑反应的探索可进一步揭示ASD儿童表情识别的神经心理机制。面孔加工包括面孔整体结构感知编码和面孔识别两个阶段,事件相关电位(ERP)技术具有高时间分辨率的特点,通过早期认知成分波P1和面孔特征性成分波N170的潜伏期和波幅可精确测量个体辨识面部表情时早期编码阶段脑电生理反应特征^[6]。近年来,国外研究者们采用多种研究方式和试验材料对ASD儿童表情识别进行了研究^[7-8],但关于ASD患者表情识别缺陷及其早期感知特征的研究目前为止结论不一,其是否存在特征性改变仍需进一步研究确认。本研究旨在通过对ASD和正常儿童对情绪面孔的文字表情识别能力进行比较,并分析ERP成分波P1、N170潜伏期和波幅是否存在差异,探索ASD儿童情绪表情识别过程中可能存在早期认知特征和相应的神经机制,为ASD发病机制的进一步探索提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

ASD组:由三甲医院确诊符合《精神疾病诊断与统计手册》第5版ASD诊断标准^[1]的ASD儿童25例(男19例,女6例),年龄范围为6~12岁,平均年龄为 8.0 ± 2.5 岁,总智商 >70 。对照组:同期在普通学校就读的年龄、性别与ASD组匹配的正常儿童22例(男18例,女4例),平均年龄为 7.7 ± 1.8 岁,总智商 >70 。所有入组的儿童均为右利手,双眼裸眼或矫正视力均在1.0以上,排除其他严重神经精神障碍或躯体疾病。

两组儿童平均年龄和性别分布差异无统计学意义(均 $P>0.05$),说明两组资料具有可比性。

本研究已获得中山大学医学伦理委员会的批准,被试儿童的法定监护人已签署知情同意书。

1.2 研究工具

使用韦氏儿童智力量表第四版(中文版)(WISC-IV)对两组儿童的智力水平进行评估;使用PhotoshopCS5软件对图片进行同质化处理;利用E-Prime程序生成图像刺激序列;Neuroscan64事件相关电位系统记录儿童脑电。

1.3 试验刺激与设计

试验刺激:采用具有良好代表性和较高信度的中国人物静态表情图片^[9],选择4种基本表情,包括一种积极情绪(高兴)和3种消极情绪(生气、伤心、害怕)表情图像各3张,图片中人物男女比例4:8,使用PhotoshopCS5软件去除部分头发、耳朵和肩膀,截图处理为 $13\text{ cm} \times 17\text{ cm}$ 大小的黑白表情图片。

试验设计:高兴、生气、伤心、害怕4种简单表情,每种表情各重复72次,共288次试验。为了防止试验时间过长使被试产生疲劳,将试验随机分成3个区组,每个区组包含96次试验,每两区组间休息2 min。表情辨认的行为学试验采用2(组别:ASD组、对照组) $\times$ 5(情绪:总表情、害怕、高兴、生气和伤心)的试验设计,ERP试验采用2(组别:ASD组、对照组) $\times$ 5(情绪:总表情、害怕、高兴、生气和伤心) $\times$ 2(电极位置:左、右电极)的试验设计。

1.4 试验流程

试验过程中被试坐在隔音、亮度适中且隔离的试验室中,刺激图片均呈现于液晶显示屏。试验过程中,被试就坐于屏幕前,双眼在离屏幕约90 cm远处,双手舒适地置于键盘面。

测试开始,首先在屏幕中央呈现500 ms的注视点“+”,要求被试注视“+”以稳定双眼辐合。随后随机呈现面部表情图片500 ms,接着随机呈现表情名称,要求被试判断呈现的表情名称与上一张呈现的表情图片是否一致,一致则按“√”键,若不一致则按“×”键,随后出现注视点“+”,进入下一次试验。整个反应过程为一次试验,刺激间隔为500~1 500 ms。记录被试的反应情况和脑电数据,试验流程如图1。



图 1 试验刺激流程图

1.5 脑电记录

利用 Neuroscan Inc. 公司的 64 导事件相关电位系统 Scan64、Scan4.5 脑电记录和分析系统、SynAmps2 型号放大器及根据国际 10–20 系统扩展的 32 导电极帽记录 EEG 数据。参考电极 A1、A2 置于被试双侧耳后乳突上，前部 GND 电极接地，并以双极导联 HEOG 和 VEOG 监测眼电变化。采样频率为 200 Hz，带通为 0.05~40 Hz，各导头皮电阻均在 5 K Ω 以下，正式测试前进行基线记录 2 min。完成测试后进行 EEG 数据的离线分析；采用眼动纠正法矫正眼电伪迹，进行 30 Hz 的低通滤波（24 dB/oct），并自动剔除其他波幅大于 $\pm 100 \mu\text{V}$ 的伪迹信号。

1.6 统计学分析

根据被试的按键反应，分别计算 ASD 组和对照组的表情识别正确率以及反应时。应用 SPSS 22.0 统计软件进行统计学处理与分析。基本资料组间的比较采用独立样本 t 检验或卡方检验；对行为学正确率和反应时采用 2（组别：ASD 组、对照组） $\times$ 5（情绪：总表情、害怕、高兴、生气和伤心）的二因素重复测量方差分析，ERP 成分波的潜伏期和振幅采用 2（组别：ASD 组、对照组） $\times$ 5（情绪：总表情、害怕、高兴、生气和伤心） $\times$ 2（电极位置：左、右电极）的三因素重复测量方差分析，同时将年龄和总智商得分作为协变量控制。

2 结果

2.1 两组儿童基本资料的比较

两组儿童的基本资料比较如表 1 所示，ASD 组总智商低于对照组（ $P<0.05$ ），两组平均年龄及性别分布的比较差异无统计学意义（ $P>0.05$ ）。

表 1 两组儿童基本资料的比较

组别	例数	男性 [n(%)]	年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	总智商 ($\bar{x} \pm s$)
对照组	22	18(82)	7.7 $\pm$ 1.8	117 $\pm$ 12
ASD 组	25	19(76)	8.0 $\pm$ 2.5	95 $\pm$ 16
$t(\chi^2)$ 值		(0.24)	0.45	-5.18
P 值		0.730	0.658	<0.001

2.2 行为学数据

对行为学正确率和反应时采用 2（组别：ASD 组、对照组） $\times$ 5（情绪：总表情、害怕、高兴、生气和伤心）的二因素重复测量方差分析，并将年龄和总智商纳入为协变量控制，研究结果显示，所有主效应、交互效应和组间差异均无统计学意义（ $P>0.05$ ），说明 ASD 儿童对基本表情的文字标签的识别能力不差于正常儿童。

2.3 ERP 数据

两组均能诱发出明显的 P1 和 N170 成分，P1（80~170 ms）在枕区电极 O1、O2 上波幅最大，N170（144~287 ms）在颞区电极 P3、P4 上波幅最大，故本研究选择 O1、O2、P3 和 P4 作为目标电极进行分析。对两组儿童在两侧枕颞区由 4 种表情诱发的早期 ERP 成分分别进行多因素重复测量方差分析。

对 N170 潜伏期进行方差分析，结果发现情绪 $\times$ 位点 $\times$ 组别的交互效应显著（ $F=3.35$ ， $P=0.028$ ）。进一步进行简单效应分析结果显示，在总表情、害怕表情下，对照组表现出左侧颞区电极 P3 位置的 N170 潜伏期显著快于右侧；在高兴和伤心表情下，对照组左侧电极的 N170 潜伏期也表现出快于右侧的趋势，而 ASD 组不存在这些差异（表 2）。

表 3 显示,在总表情、害怕、高兴表情下,ASD 左侧颞区电极 P3 的 N170 潜伏期显著慢于对照组 P3 电极的 N170 潜伏期。图 2 呈现了在总表情下两组儿童左侧颞区电极 P3 的 N170 波形比较,显示 ASD 组 N170 的潜伏期显著慢于对照组。在生气和伤心表情下,ASD 组左侧颞区电极 P3 的 N170 潜伏期有慢于对照组的趋势,但两组比较差

异无统计学意义;在害怕和生气表情下,ASD 右侧颞区电极 P4 的 N170 潜伏期也有慢于对照组的趋势,但两组比较差异无统计学意义(表 3)。对 N170 振幅数据分析未发现显著的主效应和交互效应($P>0.05$)。此外,P1 潜伏期和振幅的主效应和交互效应均不明显($P>0.05$)。

表 2 两组儿童各表情诱发的左右两侧电极 P3 和 P4 的 N170 潜伏期比较 ($\bar{x} \pm s$, ms)

组别	例数	P3(左侧)	P4(右侧)	F 值	P 值
对照组	22				
总表情		204 ± 15	210 ± 12	5.82	0.020
害怕		201 ± 20	211 ± 14	8.91	0.005
高兴		204 ± 14	211 ± 11	3.23	0.079
生气		207 ± 20	209 ± 14	0.36	0.551
伤心		202 ± 20	211 ± 18	3.91	0.054
ASD 组	25				
总表情		218 ± 19	219 ± 20	0.04	0.843
害怕		222 ± 22	221 ± 22	0.02	0.844
高兴		216 ± 20	218 ± 24	0.57	0.455
生气		219 ± 23	221 ± 25	0.27	0.604
伤心		216 ± 28	214 ± 27	0.22	0.643

注: F 值为控制年龄和总智商后的重复测量方差分析统计值。

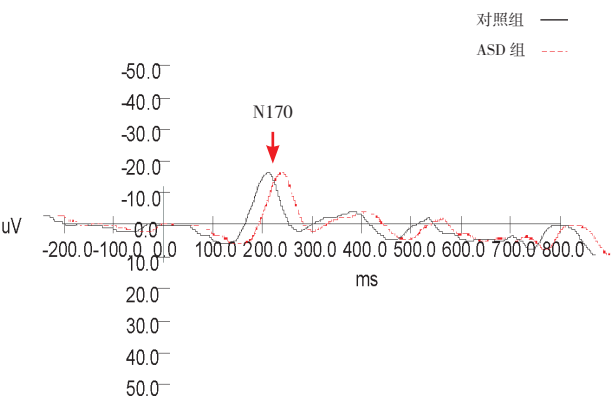


图 2 ASD 组和对照组儿童总表情诱发的左侧 N170 波形的比较 显示 ASD 组 N170 的潜伏期慢于对照组。

表 3 两组儿童各种表情下左右两侧电极 P3 和 P4 的 N170 潜伏期组间比较 ($\bar{x} \pm s$, ms)

组别	例数	总表情		害怕		高兴		生气		伤心	
		P3	P4	P3	P4	P3	P4	P3	P4	P3	P4
对照组	22	204 ± 15	210 ± 12	201 ± 20	211 ± 14	204 ± 14	211 ± 11	207 ± 20	209 ± 14	202 ± 20	211 ± 18
ASD 组	25	218 ± 19	219 ± 20	222 ± 22	221 ± 22	216 ± 20	216 ± 20	219 ± 23	221 ± 25	216 ± 28	214 ± 27
F 值		8.34	2.79	10.97	3.70	5.27	1.75	3.54	3.61	3.72	0.18
P 值		0.006	0.102	0.002	0.061	0.026	0.192	0.067	0.064	0.060	0.670

注: F 值为控制年龄和总智商得分后的重复测量方差分析统计值。

3 讨论

本研究结果显示,ASD 儿童对基本表情的文字标签识别正确率及反应时与对照组的差异均无统计学意义,说明 ASD 儿童对基本表情的文字标签识别能力不比正常儿童差,这与以往的大多数研究结果相符^[10-11]。国外一个较大样本(ASD 组 86 例,对照组 114 例)的研究显示,ASD 儿童在控制言语智商的前提下,对情绪表情的文字标签识别正确率和反应时与对照组儿童的差异不具有

统计学意义,本研究的行为学结果与该研究一致。然而以往的一些研究中也出现了不一致的结果^[12],出现不一致的原因可能与智力控制、年龄差以及试验范式等有关。Dyck 等^[13]的研究显示,在 ASD 群体中个体的表情识别能力相比对照组更依赖于智力水平;Braverman 等^[14]和 Ozonoff 等^[15]的研究发现 ASD 儿童的表情识别能力与非言语智商匹配的正常儿童存在差异,而与言语智商匹配的儿童不存在差异。这说明从某种程度上,智力水平可能会对 ASD 群体的表情识别能力存在一定的影响。

完全匹配两组的智力水平可能从某种程度上影响到 ASD 群体的社会认知^[16]，从而影响试验结果，因此本研究采用协方差分析的方法对两组儿童的智力差异进行控制。此外，以往研究表明，正常群体的情绪编码能力在儿童期会随着年龄的增长而增强，而这种增长轨迹在 ASD 群体可能存在异常现象^[7,17]。相关研究也显示，试验范式的难易可能会对 ASD 个体的表情识别能力产生不同的判断^[18]。综上，根据数据的散点图分布，本研究发现行为学数据中总反应时和总正确率与年龄之间存在线性关系；总正确率与总智商存在线性关系，而总反应时与总智商不存在线性关系，故将年龄与总智商作为协变量进行控制，降低这两者对两组儿童表情文字标签识别能力比较的影响。

面孔加工分两个阶段进行，第一阶段为面孔整体感知和结构编码阶段，以 P1、N170 成分为主要代表；第二阶段为面孔识别阶段，以 300~500 ms 慢成分和慢波为主要关注部分^[19]。国内外关于 ASD 患者面孔整体感知和结构编码阶段的 ERP 研究结果不一，部分结果显示，ASD 患者面孔整体感知和结构编码时间延长^[20-21]。本研究同样发现 ASD 儿童面部表情的整体感知阶段出现潜伏期较对照组长类似结果，在情绪面孔下，对照组儿童会表现出左侧颞区 N170 反应较右侧快，而 ASD 儿童对情绪面孔的 N170 反应未显示出对照组的这种不平衡性；且 ASD 儿童左侧颞区的 N170 反应较对照组慢，而部分情绪下表现出右侧 N170 慢于对照儿童的趋势，由此可见 ASD 儿童对情绪面孔的 N170 的总体反应较对照组慢，说明 ASD 儿童对基本情绪面孔的早期认知加工阶段的面孔整体感知速度比正常儿童慢，并提示对情绪面孔信息早期加工的整体感知模式存在异常，这可能是 ASD 儿童表情识别的特征性神经心理学改变，与 ASD 面部表情识别加工过程中梭状回面孔区和杏仁核激活异常有关^[3,22]。这也解释了 ASD 儿童在面部表情识别行为学试验中表现正常，但在日常人际交往中仍表现明显困难，可能是因为表情认知加工速度较慢，不能及时回应的结果。

除此之外，以往的研究显示左侧 N170 反应与语义理解有关^[23]，本研究范式需要被试对情绪词汇进行理解，故有可能是对照组在试验过程中表现出这种优势，提前对情绪面孔做出语义理解的

准备，从而出现左侧大脑 N170 反应较右侧快，而 ASD 组未表现出来。同时，情绪信息也有可能干扰被试右侧 N170 对面孔构型的反应^[24]，并导致对照组的右侧 N170 反应较慢，而在 ASD 组情绪信息未表现出这种影响。本中心既往的研究也显示，ASD 儿童在对情绪面孔的记忆编码过程中表现大脑偏侧化模式异常于正常儿童，更多地依赖于左半球相关的神经通路^[25]。国外的眼动研究显示，正常人注意更多偏向于左侧视野的面孔信息（left visual field, LVF），这种偏向反映了与面孔加工能力相关联的大脑右半球的右侧梭状回偏侧优势，而 ASD 个体中这种偏侧优势显著减少，提示这种偏右侧优势的缺失很可能是该群体面孔加工的主要缺陷^[26]。

综上，在控制智力和年龄因素的干扰下，ASD 儿童对基本表情的文字标签识别能力不差于正常儿童，而在情绪面孔下脑电反应中，ASD 儿童对情绪面孔早期认知加工阶段的面孔整体感知速度总体上比正常儿童慢，对情绪面孔信息早期加工的整体感知模式存在异常。本研究样本量较少且主要涉及 ASD 儿童对简单情绪表情的辨识特征和早期 ERP 反应，尚未对一些复杂高级情绪表情进行探索研究。在日后的研究中可扩大样本量以探讨不同症状程度、不同年龄段间 ASD 个体的高级情绪表情的辨识特征反应和早期脑电生理反应。

[参 考 文 献]

- [1] Huerta M, Bishop SL, Duncan A, et al. Application of DSM-5 criteria for autism spectrum disorder to three samples of children with DSM-IV diagnoses of pervasive developmental disorders[J]. *Am J Psychiatry*, 2012, 169(10): 1056-1064.
- [2] Williams BT, Gray KM. The relationship between emotion recognition ability and social skills in young children with autism[J]. *Autism*, 2013, 17(6): 762-768.
- [3] Pierce K, Redcay E. Fusiform function in children with an autism spectrum disorder is a matter of "who"[J]. *Biol Psychiatry*, 2008, 64(7): 552-560.
- [4] Neuhaus E, Jones EJ, Barnes K, et al. The relationship between early neural responses to emotional faces at age 3 and later autism and anxiety symptoms in adolescents with autism[J]. *J Autism Dev Disord*, 2016, 46(7): 2450-2463.
- [5] Tseng A, Wang Z, Huo Y, et al. Differences in neural activity when processing emotional arousal and valence in autism spectrum disorders[J]. *Hum Brain Mapp*, 2016, 37(2): 443-461.

- [6] 赵仑. ERPs 实验教程 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2010: 20-44.
- [7] Harms MB, Martin A, Wallace GL. Facial emotion recognition in autism spectrum disorders: a review of behavioral and neuroimaging studies[J]. *Neuropsychol Rev*, 2010, 20(3): 290-322.
- [8] Uljarevic M, Hamilton A. Recognition of emotions in autism: a formal meta-analysis[J]. *J Autism Dev Disord*, 2013, 43(7): 1517-1526.
- [9] 顾莉萍, 静进, 金宇, 等. 制备中国人物静态面部表情图片及信度效度的初探 [J]. *中国循证儿科杂志*, 2009, 4(5): 442-447.
- [10] Tracy JL, Robins RW, Schriber RA, et al. Is emotion recognition impaired in individuals with autism spectrum disorders?[J]. *J Autism Dev Disord*, 2011, 41(1): 102-109.
- [11] Fink E, de Rosnay M, Wierda M, et al. Brief report: accuracy and response time for the recognition of facial emotions in a large sample of children with autism spectrum disorders[J]. *J Autism Dev Disord*, 2014, 44(9): 2363-2368.
- [12] Griffiths S, Jarrold C, Penton-Voak IS, et al. Impaired recognition of basic emotions from facial expressions in young people with autism spectrum disorder: assessing the importance of expression intensity[J]. *J Autism Dev Disord*, 2017: 1-11.
- [13] Dyck MJ, Piek JP, Hay D, et al. Are abilities abnormally interdependent in children with autism?[J]. *J Clin Child Adolesc*, 2006, 35(1): 20-33.
- [14] Braverman M, Fein D, Lucci D, et al. Affect comprehension in children with pervasive developmental disorders[J]. *J Autism Dev Disord*, 1989, 19(2): 301-316.
- [15] Ozonoff S, Pennington BF, Rogers SJ. Are there emotion perception deficits in young autistic children?[J]. *J Child Psychol Psych*, 1990, 31(3): 343-361.
- [16] Rutherford MD, Troje NF. IQ predicts biological motion perception in autism spectrum disorders[J]. *J Autism Dev Disord*, 2012, 42(4): 557-565.
- [17] Rump KM, Giovannelli JL, Minshew NJ, et al. The development of emotion recognition in individuals with autism[J]. *Child Dev*, 2009, 80(5): 1434-1447.
- [18] Harms MB, Martin A, Wallace GL. Facial emotion recognition in autism spectrum disorders: a review of behavioral and neuroimaging studies[J]. *Neuropsychol Rev*, 2010, 20(3): 290-322.
- [19] Eimer M. Event-related brain potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition[J]. *Clin Neurophysiol*, 2000, 111(4): 694-705.
- [20] Batty M, Meaux E, Wittemeyer K, et al. Early processing of emotional faces in children with autism: An event-related potential study[J]. *J Exp Child Psychol*, 2011, 109(4): 430-444.
- [21] Wong TK, Fung PC, Chua SE, et al. Abnormal spatiotemporal processing of emotional facial expressions in childhood autism: dipole source analysis of event-related potentials[J]. *Eur J Neurosci*, 2008, 28(2): 407-416.
- [22] Apicella F, Sicca F, Federico RR, et al. Fusiform gyrus responses to neutral and emotional faces in children with autism spectrum disorders: a high density ERP study[J]. *Behav Brain Res*, 2013, 251: 155-162.
- [23] Polk TA, Stallcup M, Aguirre GK, et al. Neural specialization for letter recognition[J]. *J Cogn Neurosci*, 2002, 14(2): 145-159.
- [24] Bentin S, Allison T, Puce A, et al. Electrophysiological studies of face perception in humans[J]. *J Cogn Neurosci*, 1996, 8(6): 551-565.
- [25] 许才娟, 张玲, 潘宁, 等. 孤独症谱系障碍儿童表情面孔工作记忆的事件相关电位研究 [J]. *中国当代儿科杂志*, 2017, 19(3): 280-285.
- [26] Curby KM, Willenbockel V, Tanaka JW, et al. Face processing in autism: insights from the perceptual expertise framework[M]// Gauthier I, Tarr MJ. *Perceptual Expertise: Bridging Brain and Behavior*. New York: Oxford University Press, 2010: 139-166.

(本文编辑: 邓芳明)