

论著·临床研究

## 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

许才娟 张玲 潘宁 林琼希 叶俊 静进 金宇

(中山大学公共卫生学院妇幼卫生系 /  
中山大学公共卫生学院儿童青少年心理行为发育研究中心, 广东 广州 510080)

**[摘要]** **目的** 探讨孤独症谱系障碍(ASD)儿童表情面孔工作记忆能力及其事件相关电位(ERP)的特点。**方法** 以中国面孔表情图片系统为测试材料,采用事件相关电位系统分别记录16例6~12岁ASD儿童(ASD组)与14例年龄匹配的正常儿童(对照组)在完成表情面孔延迟样本匹配任务时的脑电成分,分析两组儿童脑电P3b成分的特点。**结果** ASD组儿童在表情面孔工作记忆任务中的总体反应时比对照组长(1527 ms vs 1060 ms,  $P<0.05$ )、正确率比对照组低(76% vs 88%,  $P<0.01$ )。ASD组和对照组间编码加工阶段的P3b成分波幅存在差异。ASD组左侧电极的P3b成分波幅值高于右侧电极波幅( $P<0.05$ ),而对照组无此特点。**结论** 学龄期ASD儿童在表情面孔编码加工阶段的P3b成分异于正常发育儿童,其表情面孔工作记忆过程可能更多地依赖于左半球相关的神经通路。 [中国当代儿科杂志, 2017, 19(3): 280-285]

**[关键词]** 孤独症谱系障碍; 表情面孔; 工作记忆; 事件相关电位; 儿童

### Event-related potential of working memory on emotional faces in children with autism spectrum disorder

XU Cai-Juan, ZHANG Ling, PAN Ning, LIN Qiong-Xi, YE Jun, JING Jin, JIN Yu. Department 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 investigate the characteristics of working memory ability on emotional faces and related event-related potential (ERP) in children with autism spectrum disorder (ASD). **Methods** The Chinese Facial Affective Picture System was used as test material, and the event-related potential system was used to record the electroencephalographic data when 16 ASD children aged 6-12 years (ASD group) and 14 normal children matched for age (control group) were completing the facial emotion delayed match-to-sample task. The characteristics of P3b component were analyzed for both groups. **Results** Compared with the control group, the ASD group had a significantly longer reaction time (1527 ms vs 1060 ms;  $P<0.05$ ) and a significantly lower accuracy rate (76% vs 88%;  $P<0.01$ ) in the facial emotion delayed match-to-sample task. There was a difference in the amplitude of P3b component during the encoding stage between the two groups. In the ASD group, the P3b component on the left side electrode had a higher amplitude than that on the right side electrode ( $P<0.05$ ), while the control group had no such characteristics. **Conclusions** There is a difference in P3b component during the encoding stage between school-aged ASD children and normal children. In ASD children, working memory on emotional faces may depend more on the related neural pathway in the left hemisphere. [Chin J Contemp Pediatr, 2017, 19(3): 280-285]

**Key words:** Autism spectrum disorder; Emotional face; Working memory; Event-related potential; Child

[收稿日期] 2016-10-18; [接受日期] 2016-12-02

[基金项目] 国家自然科学基金(81171293)。

[作者简介] 许才娟,女,硕士研究生。

[通信作者] 金宇,女,副教授。

工作记忆 (working memory, WM) 是指对各种信息进行暂时性编码和存储的过程, 包括“编码加工-复述保持-检索提取”3 个阶段<sup>[1]</sup>; 社会工作记忆则涉及对面孔、身份特征等社会信息的工作记忆, 参与心智化过程 (mentalizing, 即对自己和他人的心理状态的认识, 并对相关的行为作出预测及因果关系解释的能力)<sup>[2-3]</sup>。面孔信息传递着个体特征、情绪状态、心理活动等有利于社交判断的信息, 在社交互动过程中起重要作用<sup>[4]</sup>。而面部表情的认知能力是个体最基本的社会认知技能, 只有具备良好的表情认知才能准确理解、巧妙处理人际关系<sup>[5]</sup>。已有大量事件相关电位 (ERP) 研究证实孤独症谱系障碍 (autism spectrum disorders, ASD) 个体的表情识别能力受损, 表现为关注面孔细节而忽略整体构型的异常的加工特点。目前认为 ASD 面孔识别障碍可能源于早期面孔信息的感知能力受损和社交动机缺乏<sup>[6]</sup>。而新近研究提示表情的认知过程需要社会工作记忆系统对面孔信息进行编码加工及记忆搜索<sup>[7]</sup>, 如果表情面孔的工作记忆能力受损, 也可能导致个体表情面孔识别障碍。因而探讨 ASD 儿童的表情工作记忆水平能深化现有的表情识别研究, 具有一定的理论价值。

本研究结合具有高时间分辨率的 ERP 技术及表情面孔延迟样本匹配任务 (delayed-match-sample task), 探讨 ASD 儿童的表情面孔工作记忆的行为学特点及其脑电成分变化情况。基于既往研究选取 P3b 成分作为本研究的指标: P3b 是 P300 的亚成分之一, 是在刺激呈现后 300 ms 左右出现的正向波, 与工作记忆的编码加工和信息检索过程中的记忆容量密切相关<sup>[8-9]</sup>。本研究设想 ASD 儿童具有表情面孔工作记忆能力损害, 表现在行为学水平上的落后, 以及面孔信息工作记忆过程中的 P3b 成分异常。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

ASD 组: 2015 年 1~12 月在 ASD 家长团体中发布招募通知, 招募入读小学的 6~12 岁 ASD 儿童, 并由精神科医生根据《精神疾病诊断与统计手册》第 5 版<sup>[10]</sup>对 ASD 进行诊断核实。要求入组 ASD

儿童总智商 >70; 视力正常, 右利手; 排除具有颅脑损伤史、其他神经或精神疾病以及发育行为障碍者。共入组 16 例 (男 15 例, 女 1 例), 平均年龄  $8.9 \pm 1.8$  岁。

对照组: 同期从小学中招募与 ASD 组年龄匹配的正常发育儿童, 要求入组儿童总智商 >70; 视力正常, 右利手; 排除具有颅脑损伤史、神经或精神疾病以及发育行为障碍者; 排除具有 ASD 家族史及其他严重神经精神病家族史者。共入组 14 例 (男 10 例, 女 4 例), 平均年龄  $9.0 \pm 1.3$  岁。

两组儿童年龄、性别、父母生育年龄及父母文化水平、家庭经济状况差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。本研究经中山大学公共卫生学院医学伦理委员会批准, 且获得所有儿童法定监护人的知情同意。

### 1.2 智商评估

由专业人员严格按照儿童韦克斯勒智力测试第 4 版 (Wechsler Intelligence Scale for Children, WISC-IV) 测试手册评估儿童智商, 排除总智商 <70 的儿童。

### 1.3 表情面孔工作记忆任务的 ERP 测试

**1.3.1 试验设计** 从中国面孔表情图片系统 (Chinese Facial Affective Picture System)<sup>[11]</sup> 选取“高兴”“害怕”“中性”3 种表情图像各 60 张作为测试材料, 要求男女比例均衡、免冠、黑白、正面图像, 同时消除头发、耳朵的影响。用 E-prime 软件编写延迟样本匹配任务程序。本程序呈现在 21 寸 CRT 显示器上 (屏幕分辨率为  $1024 \times 768$  像素, 刷新频率为 60 Hz), 所有试验材料均在黑色背景中呈现。具体程序如下: 首先在屏幕显示指导语, 儿童正确理解后按键开始测试; 随后在屏幕中央呈现注视点“+” [500 毫秒 (ms)], 要求被试注视“+”以稳定双眼辐合; → 呈现一张面孔图片 (1000 ms) 作为目标刺激; → 2000 ms 的延迟阶段; → 呈现与目标刺激相同或不不同的面孔图片 (2500 ms) 作为探测刺激。并要求被试判断探测图片与目标图片是否一致, 进行按键反应。→ 1500 ms 或 2000 ms 的间隔时间后, 进行下一次试验。将试验随机分成 4 个区组 (block), 每个区组包括 45 次试验, 两区组之间休息 2 min, 整个试验过程约 25 min。测试示意图见图 1。

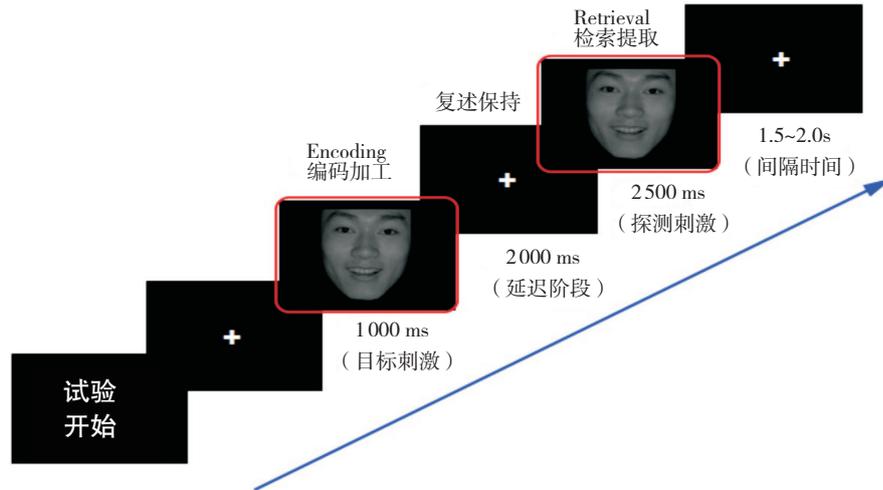


图 1 表情面孔的延迟样本匹配任务程序

**1.3.2 施测过程** 由专业测试员在神经认知心理实验室内操作 ERP 仪器，室内温度适宜、光线充足、隔音效果良好。测试前与儿童进行简单互动以稳定儿童的情绪，并详细讲解测试规则。儿童在正式测试开始前进行相应的练习，确保其理解测试规则并能独立完成，测试员离开此房间到监控室，开始正式测试。

**1.3.3 脑电记录** 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。参考电极置于双侧乳突连线，前额 GND 电极接地，同时记录垂直眼电和水平眼电。使用直流电 (DC) 进行采样，采样频率为 1000 Hz，并保证所有电极与被试头皮间的阻抗均小于 5 K $\Omega$ 。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。

### 1.4 分析指标

**1.4.1 ERP 数据** 本研究选取 P3、PZ、P4 处的 P3b 成分，定义 P3b 潜伏期为刺激呈现后 260~400 ms 间出现最大正向波峰值的时间，波幅值为该最大正向波峰值和其前后两个负向波峰均值之间的差值。脑电成分的潜伏期和波幅分别反映面孔认知的加工速度和神经元参与程度。

**1.4.2 行为学数据** 行为学数据包括表情面孔延迟样本匹配任务中的正确率、反应时间。正确

率是指儿童执行任务时正确的次数占总次数的百分比；反应时间是被试处理工作记忆信息的速度。

### 1.5 统计学分析

采用 SPSS 20.0 统计软件分析，计数资料用频数表示，组间比较采用  $\chi^2$  检验；计量资料用均数  $\pm$  标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示，组间比较采用两独立样本  $t$  检验。对 ERP 成分的波幅和潜伏期进行 3 (表情面孔类型：高兴、害怕、中性)  $\times$  3 (电极位置：P3、PZ、P4 电极) 的两个重复测量因素方差分析，组别因素为 ASD 组、对照组两个水平。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 WISC-IV 得分的组间比较

ASD 组的言语理解、知觉推理、加工速度指数及总智商均低于对照组 ( $P < 0.05$ )；两组工作记忆指数的比较差异无统计学意义 (表 1)。

表 1 两组儿童 WISC-IV 得分比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

变量	对照组 (n=14)	ASD 组 (n=16)	t 值	P 值
总智商	114 $\pm$ 7	92 $\pm$ 13	-5.87	<0.001
言语理解指数	113 $\pm$ 14	94 $\pm$ 14	-3.71	0.001
知觉推理指数	108 $\pm$ 9	99 $\pm$ 13	-2.29	0.03
工作记忆指数	107 $\pm$ 12	98 $\pm$ 16	-1.77	0.087
加工速度指数	113 $\pm$ 11	79 $\pm$ 13	-7.55	<0.001

## 2.2 行为学结果

与对照组相比, ASD组在表情面孔工作记忆任务中的总体反应时及各表情的反应时均较长, 总体正确率及各表情的正确率均较低, 两独立样本  $t$  检验提示差异均具有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 分别

控制“言语理解指数”“知觉推理指数”后的协方差检验显示, 除高兴面孔正确率外, 其余各指标差异依然有统计学意义, 而控制“加工速度指数”后两组行为学差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见表2。

表2 两组儿童表情面孔工作记忆的行为学结果比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

变量	对照组 (n=14)	ASD组 (n=16)	t 值	F <sub>1</sub> 值	F <sub>2</sub> 值	F <sub>3</sub> 值
反应时 (ms)						
总体	1060 ± 288	1527 ± 341	4.16**	1.55	25.81**	13.85**
害怕	1020 ± 283	1473 ± 349	3.88**	1.34	24.73**	12.24**
高兴	1040 ± 275	1499 ± 356	3.91**	1.16	24.74**	12.24**
中性	1076 ± 306	1569 ± 337	4.17**	1.92	25.51**	14.57**
正确率 (%)						
总体	88 ± 7	76 ± 15	2.86*	0.21	4.33*	4.35*
害怕	91 ± 5	78 ± 16	3.07**	0.23	5.21*	4.78*
高兴	89 ± 7	78 ± 15	2.36*	0.04	3.02	2.7
中性	84 ± 9	70 ± 15	3.13**	0.62	4.23*	5.78*

注:  $t$  值是两独立样本  $t$  检验的结果;  $F_1, F_2, F_3$  值分别为控制“加工速度指数”“言语理解指数”“知觉推理指数”后协方差分析的  $F$  值。  
\* $P < 0.05$ ; \*\* $P < 0.01$ 。

## 2.3 ERP 结果

ERP 数据重复测量方差分析包括两部分:

- (1) 纳入加工速度指数作为协变量进行分析;
- (2) 不控制加工速度指数。结果报告中, 如果加工速度指数有统计学意义或两部分结果相近, 只汇报控制了加工速度指数的结果; 如果两部分结果差别较大, 则同时汇报两部分的结果。

**2.3.1 编码加工 (encoding) 阶段** 图2为编码加工阶段 P3b 成分总平均图。(1) P3b 成分潜伏期 (latency): 面孔类型、电极位点与加工速度指数之间的交互作用有统计学意义 ( $F = 3.83, P = 0.006$ )。表情面孔主效应显著 ( $F = 9.88, P = 0.001$ ), 电极位置主效应显著 ( $F = 3.91, P = 0.033$ ), 但组别主效应没有统计学意义 ( $F = 0.33, P = 0.573$ )。进一步简单效应分析提示, 中性面孔的潜伏期比高兴面孔、害怕面孔潜伏期长

(中性 = 312 ms, 高兴 = 303 ms, 害怕 = 299 ms,  $P = 0.001$ )。PZ 位置的 P3b 潜伏期较 P4 位置的潜伏期短 (PZ = 300 ms, P4 = 309 ms,  $P = 0.008$ )。

(2) P3b 成分波幅 (amplitude): ① 控制加工速度指数时, 各因素间的效应均无统计学意义。② 不控制加工速度指数时, 组别和电极位置的交互作用显著 ( $F = 6.64, P = 0.003$ ), 提示两组儿童在不同电极位置的反应不同。ASD 组儿童在不同电极的 P3b 波幅存在差异, P3 电极的 P3b 波幅高于 P4 电极的波幅 (11  $\mu V$  vs 9  $\mu V, P = 0.018$ ); PZ 电极处的波幅高于 P4 电极处的波幅 (11  $\mu V$  vs 9  $\mu V, P = 0.011$ )。而对照组各电极间的 P3b 波幅无明显差异 (P3、PZ、P4 波幅分别为 12、12、13  $\mu V; P = 0.11$ )。此外, 虽然 ASD 组 P3b 波幅数值低于对照组, 但差异未达到统计学意义 (10  $\mu V$  vs 12  $\mu V, F = 3.05, P = 0.092$ )。

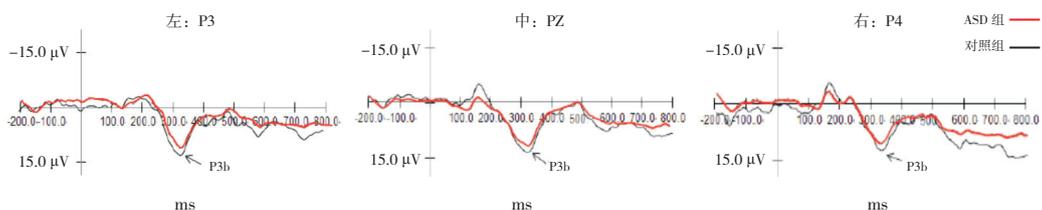


图2 编码加工阶段 P3、P4、PZ 电极处 P3b 成分的 ERP 总平均图 ASD 组不同电极的 P3b 波幅均小于对照组, 但差异无统计学意义。

2.3.2 检索提取 (retrieval) 阶段 (1) P3b 潜伏期的重复测量协方差分析显示, 表情面孔类型、电极位点及加工速度指数的交互效应显著 ( $F=4.334, P=0.007$ )。PZ 位置的 P3b 潜伏期比 P4 位置的潜伏期短 (316 ms vs 321 ms,

$P=0.027$ )。表情类型、电极位点、组别主效应无统计学意义 ( $P>0.05$ )。(2) P3b 波幅: 各因素间的交互效应、各因素及组别的主效应差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。见表 3。

表 3 检索提取阶段两组儿童 3 种表情面孔中 P3b 成分的平均潜伏期及波幅 ( $\bar{x} \pm s$ )

P3b	对照组 (n=14)			ASD 组 (n=16)			表情面孔 × 电极位点 × 加工速度指数	
	害怕	高兴	中性	害怕	高兴	中性	F 值	P 值
潜伏期 (ms)								
P3	301 ± 26	311 ± 22	310 ± 25	329 ± 57	327 ± 54	321 ± 42	4.334	0.007
PZ	302 ± 28	310 ± 26	315 ± 23	324 ± 52	321 ± 46	321 ± 50		
P4	303 ± 28	318 ± 28	317 ± 22	325 ± 52	337 ± 52	325 ± 47		
波幅 (μV)								
P3	13 ± 5	11 ± 5	13 ± 8	11 ± 4	11 ± 4	10 ± 4	0.20	0.94
PZ	11 ± 6	12 ± 6	14 ± 6	11 ± 6	11 ± 5	10 ± 4		
P4	12 ± 5	13 ± 6	13 ± 7	10 ± 4	10 ± 3	9 ± 4		

### 3 讨论

本研究通过 ERP 记录儿童在表情面孔工作记忆任务中的表现, 结果显示, ASD 组的害怕、高兴及中性面孔的工作记忆正确率比对照组低, 反应时长于对照组, 提示 ASD 儿童表情面孔工作记忆能力落后于正常儿童。控制了加工速度指数后, 两组行为学表现无显著差异; 但加工速度对编码加工阶段 P3b 潜伏期及波幅、检索提取阶段 P3b 潜伏期均有影响, 提示加工速度的劣势是 ASD 儿童表情面孔工作记忆能力不足的重要原因, 与既往研究结果一致<sup>[12]</sup>。

加工速度综合反映个体视觉记忆及视知觉信息的处理能力, 对个体的认知发展起重要作用, 与工作记忆能力密切相关<sup>[13]</sup>。表情面孔的识别涉及对面孔信息的感知和对相关信息长时记忆的激活, 并将感知到的信息与从长时记忆中提取的信息进行匹配。而 ASD 智力结构具有加工速度明显落后的特点<sup>[14]</sup>, 加工速度不足可能影响其对感知信息的暂时性存储和加工过程, 从而导致其表情面孔工作记忆能力下降。

本研究显示, 两组儿童均表现出中性面孔的 P3b 成分潜伏期比高兴、害怕面孔的潜伏期长, 提示儿童对不同表情面孔的工作记忆能力不同, 对中性面孔的工作记忆认知速率较低。既往研究提

示高兴及害怕面孔的眼睛及嘴巴部位提供了较多情绪信息, 因而个体更容易判断这两种表情<sup>[15]</sup>; 而中性面孔所提供的特征信息较少, 需要个体使用更多时间进行面孔信息的提取和编码加工, 即表现为较长的 P3b 潜伏期。Dolcos 等<sup>[16]</sup>提出情绪刺激蕴含着与生存密切相关的信息, 因而个体对害怕、高兴等情绪信息警觉性更高。Feldmann-Wüstefeld 等<sup>[17]</sup>对不同表情的识别研究也提示, 相对于中性面孔, 个体具有对负性面孔的优先加工趋势; 另一方面, Johnson 等<sup>[18]</sup>的研究显示正性面孔能提高个体注意的灵活性, 对注意资源的分配具有导向作用。这些证据均支持本研究的推论, 即相对于中性面孔, 个体对情绪面孔的加工速度更快。即使采用的试验范式不同, 大部分面孔识别的 ERP 研究均认为情绪面孔比中性面孔能更快地吸引个体的注意资源, 从而使个体对这些情绪信息进行优先选择和加工<sup>[19-20]</sup>。

本研究发现编码加工阶段的 P3b 成分波幅存在组间差异, ASD 儿童在左侧顶叶区 (P3 电极) 诱发的 P3b 波幅值显著高于右侧顶叶区 (P4 电极), 提示其可能存在左侧大脑的加工优势。既往研究发现正常个体的视觉工作记忆过程主要激活右侧大脑半球的相关神经环路<sup>[21]</sup>, 存在右侧半球的加工优势。面孔工作记忆的 ERP 研究也提示, 参与刺激评估过程的 P3b 成分在右侧电极更明显<sup>[7]</sup>, 与

面孔加工更多依赖于右侧大脑半球的观点一致<sup>[22]</sup>。本研究中对照组儿童虽无明显的右侧优势,但表现出右侧顶叶区(P4 电极)的 P3b 波幅值高于左中侧顶叶区(P3、PZ 电极)的趋势。然而 ASD 儿童表现出相反的结果,推测其表情面孔信息的注意、刺激评估及记忆搜索等工作记忆认知过程涉及异常的神经活动,可能更多地依赖于左半球的相关神经通路。而 Koshino 等<sup>[23]</sup>通过功能性磁共振成像探讨面孔工作记忆时的脑区激活情况发现,高功能孤独症个体的大脑区域激活模式及功能连接异常,为 ASD 表情面孔工作记忆的异常加工模式提供了影像学证据。

此外,本研究发现 ASD 儿童的 P3b 波幅数值小于对照组,但差异未达统计学意义。Gunji 等<sup>[24]</sup>研究孤独症识别熟悉面孔及陌生面孔时的 ERP 显示,相应面孔刺激所诱发的 P3b 潜伏期与正常对照组无差异,而波幅明显降低;随后另一个同类研究却发现 P3b 潜伏期及波幅均无组间差异,但孤独症组的 P3b 波幅值也同样具有低于正常组的趋势<sup>[25]</sup>。学者通过综合分析认为 P3b 成分的波幅值是信息加工容量的指标<sup>[9]</sup>。ASD 儿童 P3b 波幅值倾向于比正常儿童低,可能与其加工速度不足的特点密切相关。

综上所述,本研究提示学龄期 ASD 儿童的表情面孔工作记忆能力落后,其在编码加工阶段的 P3b 成分可能存在异常;而加工速度的劣势是 ASD 儿童表情面孔工作记忆能力不足的重要原因。本研究不足之处为:其一,样本量较小,年龄范围局限,日后需扩大样本量及年龄范围进一步研究;其二,只选取了 3 种表情面孔作为测试材料,今后可纳入其他表情类型,进一步考察 ASD 儿童对不同表情面孔的工作记忆情况;同时进一步探讨加工速度影响表情面孔工作记忆的神经机制。

#### [参 考 文 献]

[1] Baddeley A, Hitch G. Working memory[M]// Bower G. The Psychology of Learning and Motivation. New York: Academy Press, 1974: 47-89.  
[2] Meyer ML, Lieberman MD. Social working memory: neurocognitive networks and directions for future research[J]. Front Psychol, 2012, 3: 571.  
[3] Frith U, Frith CD. Development and neurophysiology of mentalizing[J]. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2003, 358(1431): 459-473.  
[4] 金宇, 苏林雁, 静进. 孤独症谱系障碍患者情感信息加工特征的研究进展[J]. 中国心理卫生杂志, 2008, 22(8): 566-569.  
[5] 顾莉萍, 静进, 金宇, 等. 孤独症儿童对人物面孔图表情识

别特征及情绪归因特点[J]. 中国儿童保健杂志, 2012, 20(4): 302-305.  
[6] Dawson G, Webb SJ, Mcpartland J. Understanding the nature of face processing impairment in autism: insights from behavioral and electrophysiological studies[J]. Dev Neuropsychol, 2005, 27(3): 403-424.  
[7] Morgan HM, Klein C, Boehm SG, et al. Working memory load for faces modulates P300, N170, and N250r[J]. J Cogn Neurosci, 2008, 20(6): 989-1002.  
[8] Morgan HM, Klein C, Boehm SG, et al. Working memory load for faces modulates P300, N170, and N250r [J]. J Cogn Neurosci, 2008, 20(6): 989-1002.  
[9] Kok A. On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity[J]. Psychophysiology, 2001, 38(3): 557-577.  
[10] American Psychiatric Association. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders[M]. 5th ed. Arlington, VA: American Psychiatric Publishing, 2013: 50-59.  
[11] 龚栩, 黄宇霞, 王妍, 等. 中国面孔表情图片系统的修订[J]. 中国心理卫生杂志, 2011, 25(1): 40-46.  
[12] 张玲, 潘宁, 许才娟, 等. 高功能孤独症儿童表情面孔工作记忆的损害特征[J]. 中国儿童保健杂志, 2016, 24(5): 475-478.  
[13] Baddeley A. The concept of working memory: a view of its current state and probable future development[J]. Cognition, 1981, 10(1-3): 17-23.  
[14] 林力孜, 戴美霞, 肖启蓬, 等. 高功能孤独症谱系障碍儿童智力结构及其特征的测试分析[J]. 中国儿童保健杂志, 2016, 24(9): 906-909.  
[15] Neath-Tavares KN, Itier RJ. Neural processing of fearful and happy facial expressions during emotion-relevant and emotion-irrelevant tasks: A fixation-to-feature approach[J]. Biol Psychol, 2016, 119: 122-140.  
[16] Dolcos F, Iordan AD, Dolcos S. Neural correlates of emotion-cognition interactions: A review of evidence from brain imaging investigations[J]. J Cogn Psychol (Hove), 2011, 23(6): 669-694.  
[17] Feldmann-Wüstefeld T, Schmidt-Daffy M, Schubö A. Neural evidence for the threat detection advantage: differential attention allocation to angry and happy faces[J]. Psychophysiology, 2011, 48(5): 697-707.  
[18] Johnson KJ, Waugh CE, Fredrickson BL. Smile to see the forest: Facially expressed positive emotions broaden cognition[J]. Cogn Emot, 2010, 24(2): 299-321.  
[19] Codispoti M, Ferrari V, Bradley MM. Repetitive picture processing: autonomic and cortical correlates[J]. Brain Res, 2006, 1068(1): 213-220.  
[20] 王敬欣, 贾丽萍, 白学军, 等. 返回抑制过程中情绪面孔加工优先: ERPs 研究[J]. 心理学报, 2013, 45(1): 1-10.  
[21] Ranganath C, D'Esposito M. Directing the mind's eye: prefrontal, inferior and medial temporal mechanisms for visual working memory[J]. Curr Opin Neurobiol, 2005, 15(2): 175-182.  
[22] Kanwisher N, McDermott J, Chun MM. The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception[J]. J Neurosci, 1997, 17(11): 4302-4311.  
[23] Koshino H, Kana RK, Keller TA, et al. fMRI investigation of working memory for faces in autism: visual coding and underconnectivity with frontal areas[J]. Cerebral Cortex, 2008, 18(2): 289-300.  
[24] Gunji A, Inagaki M, Inoue Y, et al. Event-related potentials of self-face recognition in children with pervasive developmental disorders[J]. Brain Dev, 2009, 31(2): 139-147.  
[25] Gunji A, Goto T, Kita Y, et al. Facial identity recognition in children with autism spectrum disorders revealed by P300 analysis: a preliminary study[J]. Brain Dev, 2013, 35(4): 293-298.

( 本文编辑: 邓芳明 )