正负面情绪刺激下自闭症谱系障碍儿童的脑电信号分析

许琬鸢, 陈靓影*

华中师范大学国家数字化学习工程技术研究中心, 教育大数据国家工程实验室, 武汉 430079

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

2019-12-24 收稿, 2020-02-04 修回, 2020-02-10 接受, 2020-02-11 网络版发表

国家自然科学基金(61977027)、湖北省技术创新专项重大项目(2019AAA044)和中央高校基本科研业务费专项资金(CCNU18KFY02, CCNU19Z02002, CCNU19QN039)资助

摘要 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, 通过脑电活动研究可以对自闭症儿童脑功能发展进行客观评价。在个体社会发展中情绪认知能力十分重要, 自闭症儿童的情绪认知缺陷对其社会互动能力造成了极大的影响, 阻碍了自闭症儿童的社会性发展。本研究主要通过分析情绪视频诱发被试儿童产生正面与负面情绪过程中的额叶、颞叶、枕叶等脑区的脑电活动, 并结合情绪性能指标和认知水平, 探索自闭症儿童和典型发展儿童的各自表现以及其脑电差异性。实验共招募80名儿童(自闭症儿童组: 40名; 典型发展儿童组: 40名), 通过快速傅里叶变换方法对被试儿童脑电分脑区进行功率谱分析, 并探索情绪组别间效应。发现自闭症儿童脑波总体呈现出低频(delta, theta)和高频(beta, gamma)功率过大而Alpha频段功率较低的特点, 且不同脑区的差异程度不同。通过比较正负面两种情绪刺激下基于脑波功率得到的情绪性能指标与认知的问答情况发现, 自闭症儿童在不同情绪刺激下的情绪变化远小于典型发展儿童, 并在正面情绪下有更高的兴趣度与参与度。此外, 其情绪认知、空间认知等6个方面的认知情况均低于典型发展儿童, 认知问答正确率较负面情绪下高。本研究为提高自闭症儿童情绪认知干预训练提供了客观依据。

关键词 自闭症, 脑电信号, 情绪性能指标, 认知水平

自闭症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD, 简称自闭症)是一种典型的广泛性发育障碍(pervasive developmental disorder, PDD), 以社会互动障碍、语言沟通障碍及反复刻板行为和局限性兴趣狭窄为核心特征^[1,2], 自闭症的病症在儿童2~3岁期间表征最为明显, 研究也表明儿童时期是自闭症诊断和行为干预的最为关键的时期。据2016年美国国家卫生统计中心发布报告显示, 3~17岁儿童中自闭症发病率为1/45, 当前自闭症的全球发病率也约为1%~2%, 且呈不断上升趋势^[3], 逐渐引起了社会的广泛关注。

由于自闭症是一种复杂的脑发育障碍, 不少研究者将脑电研究应用于自闭症患者。脑电图(electroence-

phalography, EEG)测量是第一个应用于儿童脑皮层活动检验的方法, 它以无损安全的方式实现对儿童的神经调控^[4]。由于脑电的非侵入性、低成本且有较高的时间精度, 可检测到毫秒级的电位变化的优点^[5], 脑电信号已经成为儿童脑发育障碍诊断及治疗反馈的重要生物学指标^[6~9]。Abdulhay等人^[10]、Capal等人^[11]和Bosl等人^[12]将脑电信号作为特征之一, 进行了辅助自闭症的筛查工作。李炎焯^[13]分析并比较了多类脑电特征, 发现Beta频段的筛查正确率达到了90.11%±4.50%, 通过最大相关与最小冗余进行特征提取后建立的13个最优特征子集的分类正确率高达97.78%。Webb等人^[14]根据对自闭症患者的脑电数据记录、分析与解释, 提出了

引用格式: 许琬鸢, 陈靓影. 正负面情绪刺激下自闭症谱系障碍儿童的脑电信号分析. 科学通报, 2020, 65: 2245~2255

Xu W Y, Chen J Y. Analysis of EEG signals in children with autism spectrum disorder under positive and negative emotional stimuli (in Chinese). Chin Sci Bull, 2020, 65: 2245~2255, doi: 10.1360/TB-2019-0719

一套科学的分析标准,为自闭症诊断评估做出了贡献.在自闭症早期筛查研究中,脑电信号是一个非常有价值的观测指标,利用不同的脑电信号分析方法,尽早地发现异常脑电信号,对于自闭症的早期筛查与识别具有非常重要的意义.

自闭症的核心障碍之一是社会交往障碍,对他人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^[15-18].自闭症儿童通常存在情绪化特征,难以控制自己的情绪,其认知水平会因为受外界情绪干扰随之变化^[19-21].Lartseva等人^[22]利用情绪词汇对自闭症与典型发展两组儿童进行刺激,通过脑电数据分析发现,自闭症儿童对情绪的早期处理完整,但是事件相关电位(event-related potentials, ERPs)中晚期正成分(late positive component, LPC)幅值的组间存在显著性差异,自闭症儿童与典型发展儿童二者大脑对不同情绪的词汇加工处理方式不同.

情绪效价是测量情绪积极和消极状态的通用指标^[23],唤醒度(arousal)表示情绪从平静到兴奋的唤醒程度,作为情绪的重要维度也被广泛研究^[24,25].情绪效价——唤醒度框架通过分析大脑皮层(cerebral cortex)不同位置电极的Alpha波(8~15 Hz)和Beta波(15~30 Hz)的平均频带功率在不同刺激下的数值计算情绪活动状态.目前,许多研究者采用EmotivPRO情绪效价——唤醒度模型进行研究^[26].EmotivPRO是专门用于神经科学和教育研究的模型,模型中的压力值、放松值、兴趣度以及参与度四项情绪性能指标是基于严格的实验得到的,Emotiv情绪性能指标已在许多独立的同行评审研究中得到了验证.

此外,部分研究者对情绪认知进行了研究.情绪认知是心理学中主张情绪产生于对刺激情境或对事物的评价,它是决定情绪性质的关键要素,主要受环境事件、生理状况和认知过程等因素的影响.“叶克斯-道森定律”^[27,28](Yerkes-Dodson Law)表明,正面情绪刺激强度与认知水平效果呈倒“U”型曲线,中等强度情绪刺激下认知水平达到最优水平,过低或过高的情绪刺激均不利于认知操作.曾庆淦等人^[29]通过图片刺激自闭症儿童,经过脑电信号分析,发现自闭症儿童枕叶、颞叶脑区对面孔刺激呈现较低的激活度,影响到了他们社会认知能力以及情绪识别能力的发展.与前人研究不同的是,王瑞玲^[30]通过结合不同情绪图片刺激与认知任务发现,自闭症组儿童的相关脑区并未激活,情绪刺激并没有影响到自闭症儿童的认知加工

过程.

以上研究表明,脑电信号可以有效地应用于自闭症儿童情绪认知的相关研究.目前,研究提取大多是静息态脑电信号,或是简单的视觉刺激任务(如图片识别)^[31-33].本研究通过呈现动态视频刺激材料(包括快乐(happy)和难过(sad)两种情绪)与认知问答材料,研究正负情绪刺激下:(1)自闭症组儿童与典型发展组儿童脑电信号在不同频段以及不同脑区的差异;(2)自闭症组儿童与典型发展组儿童的情绪性能指标;(3)自闭症组儿童与典型发展组儿童的认知水平.一方面探究在不同情绪刺激下,自闭症儿童与典型发展儿童脑电信号的特点及其差异;另一方面通过分析不同频段脑电得到的情绪性能指标,结合差异性显著的脑区,进一步对被试者的情绪状态进行了研究;同时,比较在不同刺激材料下两组儿童情绪认知能力的差异性,为提高自闭症儿童情绪认知干预训练效果提供了客观依据.

1 研究方法

1.1 被试

本研究共招募80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(autistic spectrum disorder, ASD)和典型发展儿童组(typically developing, TD).根据实验人员记录的儿童实验配合情况,筛选配合度高的儿童:其中自闭症儿童组共30名,自闭症男性患病是女性的4~5倍^[34],男孩26名,女孩4名(年龄: $M=4.98$, $SD=1.17$).典型发展儿童组共30名,男孩26名,女孩4名(年龄: $M=5.2$, $SD=0.5$).自闭症儿童入组标准:(1)符合美国精神疾病分类DSM-V的诊断标准;(2)经2名发育行为儿科主任或副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疾病;(5)视觉系统发育正常.典型发展儿童入组标准:(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、学习障碍及广泛性发育障碍等精神疾患;(3)视觉发育正常.

1.2 实验设备

本实验采用由美国Emotiv Systems公司研发出的便携式脑电波检测仪——Emotiv EPOC+,如图1(a),采

图1 (网络版彩色)脑电设备及脑电电极分布情况。(a) Emotiv EPOC+; (b) 电极分布情况

Figure 1 (Color online) Emotiv EPOC+ equipment and the distribution of electroencephalic electrode. (a) Emotiv EPOC+; (b) the distribution of electroencephalic electrode

样频率为128 Hz. Emotiv EPOC+设备由14个数据采集电极(AF3、F7、F3、FC5、T7、P7、O1、O2、P8、T8、FC6、F4、F8和AF4)和2个参考电极(P3和P4)组成,如图1(b)所示,电极分布严格遵照国际10-20系统导联设计.该设备电极安装简单,佩戴方便,将电极棉用生理盐水浸湿后安装于设备上,佩戴后调整参考电极位置至电极指示灯达100%,佩戴成功后通过蓝牙装置实现信号的无线传输.

1.3 情绪实验材料

本实验通过情绪视频诱发被试儿童产生积极与消极情绪,实验材料由两部分组成.

(i) 情绪诱发材料. 本实验共包含两段视频材料,请5名心理学工作者根据以下3个标准进行视频材料的初次筛选: (1) 合理的视频时间. 被试在长时间观看后产生的疲劳感会影响情绪主观体验; (2) 易懂的视频含义. 本测试要求在短时间内获取两组儿童的情绪信息,视频材料含义不清会对被试的情绪反应速度造成直接影响; (3) 有效的视频诱发. 视频材料可以有效诱发被试情绪,即快乐和悲伤. 最后得到20段视频进入情绪诱发和评定阶段,视频平均长度28.9 s(4~70 s).

我们共招募10名志愿者以主观报告的方式对视频诱发情绪的效果进行评价,参照Gross评定电影片段时自编的18项情绪类别的报告问卷^[35],剔除与预期诱发情绪类型无关的12项类别,形成包含6项情绪类别情绪主观报告问卷: 快乐(joy)、幸福(happiness)、兴趣(interest)、悲伤(sadness)、厌恶(disgust)、害怕(fear). 对各类别按照Likert 9点计分方式评分,从0(一点也没有)~8(非常强烈)分,分数越高代表被试体验到该情绪的强度越高. 最后,分别选择正负两种刺激下情绪唤醒度高的材料,使用多媒体剪辑软件Premiere将材料剪辑为AVI格式的视频文件,视频分辨率720×576像素(25.0 fps). 第一段视频由6段4~15 s情节简单轻松材料剪辑而成(节选如图2(a)所示),总时长为94 s. 第二段视频由2段1 min左右消极情绪材料剪辑而成(节选如图2(b)所示),总时长为2 min.

(ii) 认知问答材料. 本研究利用E-Prime实验心理专用软件编制程序,实现问题呈现时间的控制、测量相应的反应时以及被试回答情况的记录等. 每段刺激材料呈现后,回答6种认知问题,分别包括人物关系认知、动作推测、情绪认知、原因推理、空间认知以及人物认知6个方面. 回答正确记1分,设置90 s为回答时

图2 (网络版彩色)情绪实验材料节选。(a) 正面情绪节选; (b) 负面情绪节选

Figure 2 (Color online) Excerpts from emotional experiment materials. (a) Excerpts from positive emotional experiment materials; (b) excerpts from negative emotional experiment materials

限,超出时限默认记为0分。

1.4 实验程序

针对自闭症儿童存在情绪认知功能异常的特点,本研究采用双任务实验,实验中主任务为观看情绪诱发视频材料,次任务为观看视频后完成认知问答。每个被试儿童在大小为10 m²的独立教室下进行,实验具体流程如下:(1)坐姿校准。被试者坐在距离屏幕50~60 cm的椅子上,试验人员向家长与儿童说明实验要求与实验流程后,被试双眼平视前方注视星型注视点;(2)实验开始,被试者穿戴好脑电设备,待儿童处于放松状态,静坐于椅子上,开始采集脑电数据;(3)视频(正面/负面)播放,期间不要求被试儿童进行反应,观察并记录被试者反应,剔除误差较大的数据组;(4)结束视频播放,待儿童处于放松状态,打开E-prime问答程序向儿童进行提问;(5)正(负)面情绪实验结束,调整休息;(6)实验完成后,计算机程序、脑电仪与E-prime问答程序记录所有数据,并分开保存在相应的文件夹中^[26]。

1.5 数据记录与分析

对被试者的实验数据进行采集,根据初步筛选,整理出60名被试者以下3项指标数据:脑电信号功率、脑电信号情绪校价以及认知问答数据。

(i) 脑电信号功率。本研究用电信号为Emotiv EPOC+仪器经过CMS/DRL降噪配置处理后的频域信号,设置P3、P4电极作为参照电极,数据采集电极在左脑半球(AF3、F7、F3、FC5、T7、P7、O1)和右脑半球(AF4、F8、F4、FC6、T8、P8、O2)。利用快速傅里叶变换(fast Fourier transform, FFT)得到14导联的Theta(4~6 Hz)、Alpha(6~13 Hz)、Low-Beta(13~20 Hz)、High-Beta(20~30 Hz)以及Gamma(30~45 Hz)五段脑电节律,提取实验有效时间段内的脑电功率数据。

(ii) 脑电信号情绪性能指标。情绪效价根据大脑左右半球不对称理论将左脑半球Alpha频谱功率减去右脑半球Alpha频谱功率,正值表示左脑半球比右脑半球有更高的活动反应,表示积极情绪效价状态;同理,负值表示消极情绪效价。在本实验中,提取有效的脑电信号,将脑电连续时域数据通过Hamming窗提取持续时间为1.024 s的波段转换成频域后,在频域中直接读取Alpha波和Beta波的平均频带功率,每一个电极的频带功率在正则化后输入由EmotivPRO软件提供的情绪效价——唤醒度模型,得到被试者的有效情绪性能指

标数据^[26]。

(iii) 认知问答数据。利用E-prime软件编制的程序自动记录被试者回答问题的反应时并予以反馈,同时记录被试者的问题回答情况。分析阶段,整理文字记录材料和测试数据,采用SPSS19.0、Excel、EmotivPRO等软件来进行数据分析。

2 基于正负面情绪刺激下的儿童数据分析

2.1 脑电信号功率分析

为了探究脑电在功率谱上的情绪和自闭症疾病的综合效应^[36~38],本研究通过Emotiv提供的EmotivPRO软件利用快速傅里叶变换方法^[39,40]得到14导联的Theta、Alpha、Low-Beta、High-Beta以及Gamma五段脑电节律。提取实验有效时间段内的功率数据,求取其均值与方差,并对两组儿童数据进行 t 检验,探究在不同情绪刺激下两组儿童的下脑电差异。

设置AF3、F3、F7、FC5导联数据均值为左额叶区;AF4、F4、F8、FC6导联数据均值为右额叶区;T7、T8分别为左颞叶区与右颞叶区;P7与P8导联数据均值为顶叶区;O1、O2导联数据均值为枕叶区。

根据表1~3数据表明,在正面情绪刺激下,自闭症儿童与典型发展儿童相比,Theta波在左额叶区($F=7.38$, $t=5.82$, $P=0.00<0.05$)、右额叶区($F=1.85$, $t=3.02$, $P=0.01<0.05$)、右颞叶区($F=13.53$, $t=2.91$, $P=0.01<0.05$)、顶叶区($F=11.47$, $t=3.67$, $P=0.00<0.05$)以及枕叶区($F=13.50$, $t=4.72$, $P=0.00<0.05$)均存在显著差异,左额叶区差异尤其显著。在负面情绪刺激下,不同脑区Theta波的差异与正面情绪下表现一致,额叶区、右颞叶区、顶叶区以及枕叶区均存在显著差异。自闭症儿童在Theta频段内的功率谱值显著高于典型发展组儿童,与以往自闭症脑电信号功率谱研究一致的是,自闭症患者的Theta脑电信号也多在额叶、颞叶、枕叶区存在着显著性差异^[41]。从生理角度观察数据,Theta波主要与个体体验和感受有一定的联系,自闭症儿童在这方面功能缺失较为严重,除右额叶与左颞叶外各个脑区的Theta波均存在显著性差异。

自闭症儿童与典型发展儿童在两种情绪刺激下的Alpha波与Low-Beta波的波动幅度较Theta小。在正面情绪刺激下,Alpha波在顶叶区($F=7.52$, $t=2.40$, $P=0.02<0.05$)以及枕叶区($F=5.74$, $t=2.91$, $P=0.01<0.05$)均存在显著性差异,Low-Beta波在顶叶区($F=9.16$, $t=2.49$,

表 1 自闭症儿童与典型发展儿童额叶区的节律波*t*检验分析^{a)}

Table 1 Rhythm-*t*-test analysis in frontal lobe of autistic children and typical developmental children

脑电 节律	激励源	左额叶					右额叶				
		<i>F</i> 检验	<i>t</i>	<i>P</i>	平均值 差值	标准误差 差值	<i>F</i> 检验	<i>t</i>	<i>P</i>	平均值 差值	标准误差 差值
θ	正面	7.38	5.82	0.00**	4.55	0.72	1.85	3.02	0.01*	3.46	1.08
	负面	25.64	9.04	0.00**	4.46	0.60	3.74	3.68	0.00**	3.62	1.09
α	正面	0.30	2.01	0.05	1.27	0.63	0.41	1.77	0.09	1.27	0.73
	负面	2.79	2.49	0.02*	1.35	0.55	0.30	1.69	0.10	1.21	0.71
$L-\beta$	正面	1.31	2.75	0.01*	0.86	0.31	2.90	2.92	0.01*	0.95	1.78
	负面	2.74	3.74	0.00**	0.78	0.26	5.03	3.11	0.00**	0.82	0.30
$H-\beta$	正面	1.16	1.80	0.08	0.75	0.40	2.63	1.80	0.08	0.83	0.47
	负面	2.32	2.22	0.03*	0.70	0.36	4.20	1.70	0.10	0.65	0.43
γ	正面	5.09	2.28	0.03*	1.25	0.55	3.16	1.77	0.09	1.32	0.74
	负面	4.33	1.81	0.08	0.94	0.54	5.47	1.61	0.12	0.94	0.59

a) *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$

表 2 自闭症儿童与典型发展儿童颞叶区的节律波*t*检验分析^{a)}

Table 2 Rhythm-*t*-test analysis in temporal lobe of autistic children and typical developmental children

脑电 节律	激励源	左颞叶					右颞叶				
		<i>F</i> 检验	<i>t</i>	<i>P</i>	平均值 差值	标准误差 差值	<i>F</i> 检验	<i>t</i>	<i>P</i>	平均值 差值	标准误差 差值
θ	正面	1.80	-0.81	0.42	-0.94	1.07	13.53	2.91	0.01*	3.82	1.20
	负面	0.72	-0.03	0.98	-0.02	0.74	21.85	4.04	0.00**	3.58	1.07
α	正面	0.22	-0.86	0.40	-0.49	0.52	0.92	1.10	0.28	0.92	0.84
	负面	6.37	0.34	0.74	0.15	0.44	0.58	0.57	0.57	0.44	0.75
$L-\beta$	正面	1.33	0.36	0.72	0.18	0.50	1.25	1.73	0.09	0.83	0.55
	负面	12.25	1.68	0.10	0.72	0.42	3.51	2.62	0.01*	0.93	0.37
$H-\beta$	正面	4.17	0.78	0.44	0.73	0.88	0.06	0.28	0.79	0.25	0.91
	负面	11.30	1.70	0.10	1.27	0.74	4.58	1.66	0.11	1.08	0.60
γ	正面	0.11	-0.22	0.83	-0.28	1.13	2.28	-0.91	0.37	-1.16	1.14
	负面	12.15	1.51	0.14	1.02	0.66	5.03	1.49	0.15	0.97	0.63

a) *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$

表 3 自闭症儿童与典型发展儿童顶叶与枕叶区的节律波*t*检验分析^{a)}

Table 3 Rhythm-*t*-test analysis in parietal and occipital regions of autistic children and typical developmental children

脑电 节律	激励源	顶叶					枕叶				
		<i>F</i> 检验	<i>t</i>	<i>P</i>	平均值 差值	标准误差 差值	<i>F</i> 检验	<i>t</i>	<i>P</i>	平均值 差值	标准误差 差值
θ	正面	11.47	3.67	0.00**	4.16	1.12	13.50	4.72	0.00**	4.44	0.88
	负面	13.85	4.85	0.00**	3.42	0.78	18.71	5.56	0.00**	4.30	0.86
α	正面	7.52	2.40	0.02*	1.85	0.73	5.74	2.91	0.01*	1.77	0.58
	负面	0.52	2.18	0.04*	1.31	0.61	1.08	2.03	0.05	1.18	0.61
$L-\beta$	正面	9.16	2.49	0.02*	1.94	0.75	8.48	3.65	0.00**	0.87	0.23
	负面	9.24	4.03	0.00**	1.32	0.35	3.22	3.42	0.00**	0.70	0.21
$H-\beta$	正面	5.02	1.59	0.12	1.65	1.00	2.73	1.43	0.16	0.33	0.20
	负面	6.54	2.53	0.02*	1.04	2.25	2.70	1.91	0.07	0.40	0.20
γ	正面	3.69	1.43	0.16	0.95	0.62	1.26	1.09	0.28	0.20	0.16
	负面	3.62	2.16	0.04*	0.72	0.34	1.65	1.34	0.19	0.26	0.19

a) *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$

$P=0.02<0.05$)以及枕叶区($F=8.48$, $t=3.65$, $P=0.00<0.05$)存在显著性差异. 在负面情绪刺激下, Low-Beta波在额叶区($F=2.74$, $t=3.74$, $P=0.00<0.05$; $F=5.03$, $t=3.11$, $P=0.00<0.05$)、右颞叶区($F=3.51$, $t=2.62$, $P=0.01<0.05$)、顶叶区($F=9.24$, $t=4.03$, $P=0.00<0.05$)以及枕叶区($F=3.22$, $t=3.42$, $P=0.00<0.05$)存在显著性差异. Alpha波主要与大脑冷静以及促进深度放松的感觉相关, 自闭症儿童与典型发展儿童在这方面功能存在较小差异. Low-Beta波一般出现在大脑注意力集中的状态, 与提高专注能力有关, 但自闭症儿童较典型发展儿童相比在专注方面的表现更差, t 检验结果同Theta波类似, 即除左颞叶外各个脑区的Alpha波与Low-Beta波均差异显著.

自闭症儿童与典型发展儿童High-Beta的区别主要在负面情绪下, 在左额叶区($F=2.32$, $t=2.22$, $P=0.03<0.05$)以及顶叶区($F=6.54$, $t=2.53$, $P=0.02<0.05$)存在显著性差异, 正面情绪下不存在显著性差异. High-Beta波主要与产生激动的情绪有关, 自闭症儿童与典型发展儿童在遇到受刺激事物均会产生或强或弱的冲动, 与正面情绪材料刺激下儿童表现情况较好相符.

在正面情绪下自闭症儿童与典型发展儿童的Gamma波仅左额叶区($F=5.09$, $t=2.28$, $P=0.03<0.05$)存在显著性差异. 在负面情绪刺激下, 两组儿童的Gamma波在顶叶区($F=3.62$, $t=2.16$, $P=0.04<0.05$)存在显著性差异. Gamma波主要与学习、记忆、信息处理等功能有关, 实验结果证明了自闭症组儿童与典型发展组儿童的学习、处理信息能力之间存在显著性差异.

2.2 脑电信号情绪性能指标分析

本研究选定以下四类情绪性能指标(取值范围为0~100), 分别为压力值、放松值、兴趣度、参与度. 在基于计算机的学习环境中, 有研究表明参与、兴趣以及压力的情感状态可以用来分析不同学习情况和学习

者的有用学习经验^[42]. 因此, 我们选择这四项指标来分析儿童状态, 各指标具体含义如下:

(1) 压力值(stress, FRU). 衡量被试无法应对任务或环境要求时产生的负面感受. 高等水平的压力值可能是由于无法完成一项困难任务而感到无法完成任务的负面情绪, 过高的压力值会降低效率. 通常, 低、中等水平的压力值可以适当提高效率. (2) 放松值(relaxation, MED). 衡量被试从紧张情绪中恢复的能力, 训练有素的冥想者可以获得极高的放松值. (3) 兴趣度(interest, VAL). 衡量被试对当前刺激、环境或者活动的吸引或厌恶程度. 兴趣得分越低, 表明被试者越厌恶该任务; 得分越高, 则表明被试越喜欢该任务. (4) 参与度(engagement, ENG). 衡量被试与任务刺激相关的意识. 当注意力、专注度以及工作负荷越大时, 参与分数越高.

通过对EmotivPRO得到的性能指标, 提取实验有效时间范围内数据, 进行运算求得均值和方差. 并对两组儿童的数据进行 t 检验, 分析其情绪性能指标在正负面情绪下的差异.

对自闭症儿童与典型发展儿童之间的情绪性能指标进行 t 检验(表4), 发现在正负面两种情绪刺激下, 自闭症儿童与典型发展儿童之间的压力值($P=0.005<0.05$; $P=0.04<0.05$)以及放松值($P=0.03<0.05$; $P=0.04<0.05$)均有显著性差异. 结合表5我们发现, 在正面情绪下, 自闭症儿童的压力值要显著高于典型发展儿童, 放松值则显著低于典型发展儿童; 在负面情绪下差异相反. 自闭症组儿童所表现出的兴趣度没有典型发展儿童高, 压力值会影响儿童的注意力、学习等能力. 就自闭症儿童自身而言在正面情绪下有着更高水平的参与度与兴趣度.

2.3 认知问答数据分析

认知问题分别包括人物关系认知、动作推测、情

表4 自闭症儿童与典型发展儿童的情绪性能指标 t 检验分析^{a)}

Table 4 Performance metrics t -test analysis of autistic children and typical developmental children

情绪性能指标	ASD儿童与TD儿童之间的 P 值		正面情绪与负面情绪之间的 P 值	
	正面情绪	负面情绪	ASD儿童	TD儿童
压力值	0.00**	0.04*	0.75	0.00**
放松值	0.03*	0.04*	0.74	0.00**
参与度	0.68	0.47	0.14	0.13
兴趣度	0.31	0.11	0.21	0.35

a) *: $P<0.05$; **: $P<0.01$

表5 自闭症儿童与典型发展儿童的情绪性能指标($M\pm SD$)

Table 5 Performance metrics of autistic children and typical developmental children

情绪性能指标	自闭症儿童		典型发展儿童	
	正面情绪	负面情绪	正面情绪	负面情绪
压力值	57.09 $\pm$ 15.57	58.51 $\pm$ 11.86	42.52 $\pm$ 10.99	64.86 $\pm$ 14.41
放松值	46.18 $\pm$ 14.74	43.83 $\pm$ 14.64	51.03 $\pm$ 12.74	35.78 $\pm$ 9.9
参与度	66.46 $\pm$ 15.03	61.13 $\pm$ 11.78	67.95 $\pm$ 12.48	63.29 $\pm$ 11.11
兴趣度	62.73 $\pm$ 6.37	59.64 $\pm$ 6.98	65.6 $\pm$ 9.76	63.38 $\pm$ 7.58

绪认知、原因推理、空间认知以及人物认知6个方面。回答正确记1分,设置90 s为回答时限,超出时限默认为0分。

从表6中可以看出,自闭症儿童在正面情绪下的认知效果优于负面情绪,特别是两种情绪刺激下的情绪认知($P=0.00<0.05$)、空间认知方面($P=0.00<0.05$)差异显著(表7)。但相比于典型发展儿童,其6个方面的认知情况均显著低于典型发展儿童,和上文中分析的自闭症儿童的学习、信息处理等能力较典型发展儿童弱吻

合且波动幅度较大,负面情绪刺激较正面情绪刺激波动更大,表明自闭症儿童的学习、信息处理等能力不仅本身不够稳定且受环境影响较大。

3 讨论

本研究基于在正负面情绪刺激下的脑电信号分析并结合情绪性能指标以及认知问答情况,旨在探究自闭症儿童与典型发展儿童在不同情绪刺激下的情绪与认知水平。本实验入组的对象年龄为2~7岁儿童,该年

表6 自闭症儿童与典型发展儿童的认知问答情况($M\pm SD$)

Table 6 Cognitive question of autistic children and typical developmental children

认知问答	自闭症儿童		典型发展儿童	
	正面情绪	负面情绪	正面情绪	负面情绪
人物关系认知	0.37 $\pm$ 0.49	0.33 $\pm$ 0.48	0.77 $\pm$ 0.43	0.77 $\pm$ 0.43
动作推测	0.43 $\pm$ 0.5	0.27 $\pm$ 0.45	0.83 $\pm$ 0.38	0.77 $\pm$ 0.43
情绪认知	0.57 $\pm$ 0.5	0.13 $\pm$ 0.35	0.97 $\pm$ 0.18	0.87 $\pm$ 0.35
原因推理	0.4 $\pm$ 0.5	0.37 $\pm$ 0.49	0.77 $\pm$ 0.43	0.77 $\pm$ 0.43
空间认知	0.6 $\pm$ 0.5	0.17 $\pm$ 0.38	0.97 $\pm$ 0.18	0.97 $\pm$ 0.18
人物认知	0.53 $\pm$ 0.51	0.33 $\pm$ 0.48	0.77 $\pm$ 0.43	0.63 $\pm$ 0.49

表7 自闭症儿童与典型发展儿童的认知问答 t 检验分析^{a)}Table 7 Cognitive question t -test analysis of autistic children and typical developmental children

认知问答	ASD儿童与TD儿童之间的 P 值		正面情绪与负面情绪之间的 P 值	
	正面情绪	负面情绪	ASD儿童	TD儿童
人物关系认知	0.00**	0.00**	0.79	1.00
动作推测	0.00**	0.00**	0.18	0.53
情绪认知	0.00**	0.00**	0.00**	0.17
原因推理	0.00**	0.00**	0.79	1.00
空间认知	0.00**	0.00**	0.00**	1.00
人物认知	0.06	0.02*	0.12	0.27

a) *: $P<0.05$; **: $P<0.01$

龄阶段是儿童大脑的发展关键时期,通过对脑电信号功率分析、脑电信号情绪性能指标以及认知问答三类数据指标之间的对比,设置对照组进行数据采集,得出自闭症儿童与典型发展儿童的显著性差异。

本研究通过快速傅里叶变换方法,提取了自闭症儿童与典型发展儿童的脑电信号特征,结果表明,自闭症儿童在额叶区Theta频段内的功率谱值显著高于典型发展儿童,Alpha频段内的功率谱值低于典型发展儿童;在颞叶区二组之间的脑电信号差异较其他脑区小;在枕叶区、顶叶区自闭症儿童的Theta、Alpha、Low-Beta波段均与典型发展儿童存在显著性差异。以上结果表明,自闭症儿童与典型发展儿童脑电信号之间存在差异性且不同脑区差异程度不同。

从脑区功能来看,大脑额叶皮层与执行控制和问题行为具有直接的相关性,通常人的注意力、社会交往和情感问题大多与前额叶皮层相关^[43,44]。颞叶区主要处理听觉刺激,顶叶区可以处理压力以及调节或分配空间注意力,枕叶区主要处理视觉。自闭症儿童与典型发展儿童的颞叶区尤其是左颞叶较其他脑区差异较小,额叶、顶叶与枕叶这些区域两组儿童的脑波存在显著性差异,表现两组儿童为对于学习、信息处理、处理压力以及注意力集中等能力差异较大。

根据不同脑区的功率差异性,我们进一步对被试者的情绪状态进行了分析。情绪性能指标是情绪属性基于脑电信号的客观评估,情绪能间接影响到儿童认知功能的实现,且正面情绪刺激能在某种程度改善脑波曲线,认知水平能较为直观的展现出功能的强弱,辅助自闭症干预训练可以从影响情绪改善脑波曲线、观测认知水平入手。通过对比正面情绪与负面情绪之间情绪性能指标的 t 检验可以看出,自闭症儿童在正负面不同情绪刺激下的压力与放松情绪没有较大差异,其情绪变化远小于典型发展儿童,与实际情况吻合较好。不同情绪刺激对自闭症儿童的兴趣度和参与度有着较大的影响,自闭症儿童在正面情绪刺激下有更高的兴趣度、参与度。当处于负面情绪刺激下,典型发展儿童自身能较好地调节情绪状态与放松状态来应对消极环境,自闭症儿童本身情绪则受环境影响较大,很难靠自身调节来适应消极环境。

结合不同情绪刺激下两组儿童的脑电分析,我们进一步对两组儿童情绪认知情况进行了对比。自闭症儿童在正负面情绪刺激下,人物关系认知、动作推测、情绪认知、原因推理、空间认知以及人物认知6个方面的

认知情况均低于典型发展儿童。认知问答正确率较负面情绪下高,特别是两种情绪刺激下的情绪认知、空间认知方面差异显著,表明自闭症儿童的学习、信息处理等能力不仅本身不稳定且受环境影响较大。

综上所述,本研究分析了在正负面情绪刺激下,自闭症儿童和典型发展儿童不同脑区脑电信号的特征及差异性,并基于脑波功率得到的情绪性能指标与认知的问答情况,对儿童在两种情绪刺激下的表现进行了讨论。我们发现两组儿童多频段的脑电信号均存在着显著性差异,且自闭症儿童在正负面不同情绪刺激下的情绪变化远小于典型发展儿童。自闭症儿童在正面情绪下有更高的兴趣度与参与度,认知问答的正确率也更高。相关研究发现,自闭症儿童在不同情绪刺激下枕叶、颞叶部位对刺激呈现出较低的激活状态,影响到了他们社会认知能力以及情绪识别能力的发展^[29]。经研究表明,这种对自闭症疾病脑活动状态的无损伤研究,揭示了脑电信号在正负两种情绪下的规律,可以用于客观评价儿童发展。研究发现通过适当的情绪诱导能够提高自闭症儿童的记忆能力,从而提高他们的认知水平^[45]。将来的研究可以通过训练(如冥想训练^[46-48])提高额叶脑电信号左侧化的趋势,增强儿童的情绪灵活性,进而提高儿童的认知水平。儿童时期是自闭症诊断和行为干预的最为关键的时期,本研究为提高自闭症儿童情绪认知干预训练提供了客观依据。

4 结论

本研究主要关注儿童阶段的非静息态脑电发展规律,对自闭症儿童与典型发展儿童在正负面情绪刺激下的大脑活动进行了研究,我们发现:(1)处于刺激状态自闭症儿童的颞叶区和枕叶区的脑电功率低于典型发展儿童,自闭症儿童存在着过多的慢波;(2)自闭症儿童在正负面不同情绪刺激下的压力、放松等情绪均没有较大差异,其情绪变化远小于典型发展儿童,与前人研究一致^[30];(3)在正负面情绪刺激下自闭症儿童的适应性较典型发展儿童弱,自闭症儿童存在认知方面的障碍^[49-51];(4)在正负面情绪刺激下,自闭症儿童在正面情绪下有更高的兴趣度与参与度,且认知问答正确率较负面情绪下高。研究结果表明了实验中自闭症儿童与典型发展儿童的脑电信号在不同情绪刺激下存在显著差异以及不同情绪对儿童认知水平的影响,并为通过脑电信号辅助检测自闭症儿童的情绪认知干预训练效果提供了理论依据。

参考文献

- 1 Association A P. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM-5™. 5th Ed. Washington DC: American Psychiatric Publishing, 2013. 133–137
- 2 Lord C, Cook E H, Leventhal B L, et al. Autism spectrum disorders. *Neuron*, 2000, 28: 355–363
- 3 Zablotzky 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
- 4 Wen F, Pang J, Li X L, et al. Research on effects of transcranial direct current stimulation on EEG in children with autism spectrum disorder (in Chinese). *Chin J Biomed Eng*, 2019, (5): 6 [闻芳, 庞蛟, 李小俐, 等. 经颅直流电刺激对孤独症谱系障碍儿童脑电的影响研究. *中国生物医学工程学报*, 2019, (5): 6]
- 5 Han J X, Kang J N, Ouyang G X, et al. A study of EEG and eye tracking in children with autism (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2018, 63: 1464–1473 [韩俊霞, 康健楠, 欧阳高翔, 等. 孤独症儿童脑电与眼动追踪研究. *科学通报*, 2018, 63: 1464–1473]
- 6 Tang Y, Chen D, Wang L, et al. Bayesian tensor factorization for multi-way analysis of multi-dimensional EEG. *Neurocomputing*, 2018, 318: 162–174
- 7 Ke H, Chen D, Shah T, et al. Cloud-aided online EEG classification system for brain healthcare: A case study of depression evaluation with a lightweight CNN. *Softw-Pract Exp*, 2018, doi: 10.1002/spe.2668
- 8 Loo S K, Lenartowicz A, Makeig S. Research review: Use of EEG biomarkers in child psychiatry research-current state and future directions. *J Child Psychol Psychiatry*, 2016, 57: 4–17
- 9 Chen D, Hu Y, Wang L, et al. H-PARAFAC: Hierarchical parallel factor analysis of multidimensional big data. *IEEE Trans Parallel Distrib Syst*, 2016, 28: 1091–1104
- 10 Abdulhay E, Alafeef M, Alzghoul L, et al. Computer-aided autism diagnosis via second-order difference plot area applied to EEG empirical mode decomposition. *Neural Comput Appl*, 2018: 1–10
- 11 Capal J K, Carosella C, Corbin E, et al. EEG endophenotypes in autism spectrum disorder. *Epilepsy Behavior*, 2018, 88: 341–348
- 12 Bosl W J, Tager-Flusberg H, Nelson C A. EEG analytics for early detection of autism spectrum disorder: A data-driven approach. *Sci Rep*, 2018, 8: 6828
- 13 Li Y Z. The study of electroencephalograph feature extration and classification in children with autism spectrum disorders (in Chinese). Master Thesis. Qinhuangdao: Yanshan University, 2017 [李炎烛. 孤独症儿童脑电特征提取及分类. 硕士学位论文. 秦皇岛: 燕山大学, 2017]
- 14 Webb S J, Bernier R, Henderson H A, et al. Guidelines and best practices for electrophysiological data collection, analysis and reporting in autism. *J Autism Dev Disord*, 2015, 45: 425–443
- 15 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]
- 16 Chen J, Chen D, Li X, et al. Towards improving social communication skills with multimodal sensory information. *IEEE Trans Ind Inf*, 2013, 10: 323–330
- 17 Chen J Y, Wang G S, Zhang K. Design and implementation of human-computer interaction learning activities for improving social interaction competence of autistic children (in Chinese). *e-Educ Res*, 2017, 38: 106–111 [陈靓影, 王广帅, 张坤. 为提高孤独症儿童社会互动能力的人机交互学习活动设计与实现. *电化教育研究*, 2017, 38: 106–111]
- 18 Chen J, Wang G, Zhang K, et al. A pilot study on evaluating children with autism spectrum disorder using computer games. *Comput Human Behav*, 2019, 90: 204–214
- 19 Jeste S S, Frohlich J, Loo S K. Electrophysiological biomarkers of diagnosis and outcome in neurodevelopmental disorders. *Curr Opin Neurol*, 2015, 28: 110–116
- 20 Rodríguez-Martínez E I, Ruiz-Martínez F J, Paulino C I B, et al. Frequency shift in topography of spontaneous brain rhythms from childhood to adulthood. *Cogn Neurodyn*, 2017, 11: 23–33
- 21 Miskovic V, Ma X, Chou C A, et al. Developmental changes in spontaneous electrocortical activity and network organization from early to late childhood. *NeuroImage*, 2015, 118: 237–247
- 22 Lartseva A, Dijkstra T, Kan C C, et al. Processing of emotion words by patients with autism spectrum disorders: Evidence from reaction times and EEG. *J Autism Dev Disord*, 2014, 44: 2882–2894
- 23 Lang P J. The emotion probe: Studies of motivation and attention. *Am Psychol*, 1995, 50: 372–385
- 24 Kuppens P, Tuerlinckx F, Russell J A, et al. The relation between valence and arousal in subjective experience. *Psychol Bull*, 2013, 139: 917–940
- 25 Reisenzein R. The legacy of cognition-arousal theory: Introduction to a special section of emotion review. *Emot Rev*, 2017, 9: 3–6
- 26 Lu W, Huang E Q, Yuan J X. The effects of music mode and lamplight color on human emotion based on quantitative EEG (in Chinese). *Acta*

- Psychol Sin, 2018, 50: 880–891 [卢伟, 黄尔齐, 原晋霞. 基于定量脑电图的音乐和灯光颜色对情绪的影响. 心理学报, 2018, 50: 880–891]
- 27 Broadhurst P L. Emotionality and the Yerkes-Dodson Law. *J Exp Psychol*, 1957, 54: 345–352
- 28 Cohen R A. Yerkes-Dodson Law. *Encyclop Clin Neuropsychol*, 2011, 2737–2738
- 29 Zeng Q G, Luo Y F, Huang T R, et al. An ERP study of face recognition in high functional autistic children (in Chinese). *Progr Mod Biomed*, 2014, 14: 2278–2281 [曾庆淦, 罗一峰, 黄添容, 等. 高功能自闭症儿童面孔加工的 ERP 研究. 现代生物医学进展, 2014, 14: 2278–2281]
- 30 Wang R L. Effects of valence of emotion on cognitive control in individual with autism spectrum disorder (in Chinese). Master Thesis. Changchun: Northeast Normal University, 2019 [王瑞玲. 情绪效价对自闭症谱系障碍个体认知控制的影响. 硕士学位论文. 长春: 东北师范大学, 2019]
- 31 Catarino A, Churches O, Baron-Cohen S, et al. Atypical EEG complexity in autism spectrum conditions: A multiscale entropy analysis. *Clin Neurophysiol*, 2011, 122: 2375–2383
- 32 Ahmadiou M, Adeli H, Adeli A. Improved visibility graph fractality with application for the diagnosis of autism spectrum disorder. *Physica A*, 2012, 391: 4720–4726
- 33 Keh L O S C T, Chupungco A M A, Esguerra J P. Nonlinear time series analysis of electroencephalogram tracings of children with autism. *Int J Bifurc Chaos*, 2012, 22: 1250044
- 34 Baio J, Wiggins L, Christensen D L, et al. Prevalence of autism spectrum disorder among children aged 8 years—Autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, United States, 2014. *MMWR Surveillance Summaries*, 2018, 67: 1
- 35 Gross J J, Levenson R W. Emotion elicitation using films. *Cogn Emot*, 1995, 9: 87–108
- 36 Zhang J, Zhou R L. Frontal EEG laterality: An index of the capability of emotion regulation (in Chinese). *Adv Psychol Sci*, 2010, 18: 1679–1683 [张晶, 周仁来. 额叶 EEG 偏侧化: 情绪调节能力的指标. 心理科学进展, 2010, 18: 1679–1683]
- 37 Richman J S, Moorman J R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *Am J Physiol-Heart Circulat Physiol*, 2000, 278: H2039–H2049
- 38 Zhu L, Deng J, Wu J H, et al. Experimental analysis of auditory mechanism of neural phase-locking based on sample entropy (in Chinese). *Acta Phys Sin*, 2015, 64: 184302 [朱莉, 邓娟, 吴建华, 等. 基于样本熵的听觉神经锁相机理的实验分析. 物理学报, 2015, 64: 184302]
- 39 Van Loan C F. Computational Frameworks for the Fast Fourier Transform. Philadelphia: SIAM, 1992
- 40 Murugappan M, Murugappan S. Human emotion recognition through short time electroencephalogram (EEG) signals using fast Fourier transform (FFT). 2013 IEEE 9th International Colloquium on Signal Processing and its Applications. IEEE, 2013, 289–294
- 41 Chan A S, Sze S L, Cheung M C. Quantitative electroencephalographic profiles for children with autistic spectrum disorder. *Neuropsychology*, 2007, 21: 74–81
- 42 Baker R S J, D'Mello S K, Rodrigo M M T, et al. Better to be frustrated than bored: The incidence, persistence, and impact of learners' cognitive-affective states during interactions with three different computer-based learning environments. *Int J Human-Comput Stud*, 2010, 68: 223–241
- 43 Espy K A, Sheffield T D, Wiebe S A, et al. Executive control and dimensions of problem behaviors in preschool children. *J Child Psychol Psychiatry*, 2011, 52: 33–46
- 44 Agustín-Pavón C, Braesicke K, Shiba Y, et al. Lesions of ventrolateral prefrontal or anterior orbitofrontal cortex in primates heighten negative emotion. *Biol Psychiatry*, 2012, 72: 266–272
- 45 Wang S, Xu J, Jiang M, et al. Autism spectrum disorder, but not amygdala lesions, impairs social attention in visual search. *Neuropsychologia*, 2014, 63: 259–274
- 46 Birmingham E, Cerf M, Adolphs R. Comparing social attention in autism and amygdala lesions: Effects of stimulus and task condition. *Soc Neurosci*, 2011, 6: 420–435
- 47 Freeth M, Foulsham T, Kingstone A. What affects social attention? Social presence, eye contact and autistic traits. *PLoS One*, 2013, 8: e53286
- 48 Chen L. Experimental studies on memory in autistic spectrum disorder students (in Chinese). Doctor Dissertation. Shanghai: East China Normal University, 2013 [陈琳. 自闭症谱系障碍儿童记忆的系列实验研究. 博士学位论文. 上海: 华东师范大学, 2013]
- 49 Davidson R J, Kabat-Zinn J, Schumacher J, et al. Alterations in brain and immune function produced by mindfulness meditation. *Psychosom Med*, 2003, 65: 564–570
- 50 Barnhofer T, Duggan D, Crane C, et al. Effects of meditation on frontal α -asymmetry in previously suicidal individuals. *NeuroReport*, 2007, 18: 709–712
- 51 Chan A S, Han Y M Y, Cheung M C. Electroencephalographic (EEG) measurements of mindfulness-based Triarchic body-pathway relaxation technique: A pilot study. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 2008, 33: 39–47

Summary for “正负面情绪刺激下自闭症谱系障碍儿童的脑电信号分析”

Analysis of EEG signals in children with autism spectrum disorder under positive and negative emotional stimuli

Wanying Xu & Jingying Chen*

National Engineering Laboratory for Educational Big Data, National Engineering Research Center for E-Learning, Central China Normal University, Wuhan 430079, China

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

Autism spectrum disorder (ASD, hereafter autism) is a neurodevelopmental disorder. The symptoms of autism, including the core features of social interaction and language communication disorders, repetitive stereotyped behaviors, and limited narrow interest, are most obvious in children 2–3 years old. Research also shows that childhood is the most critical period for autism diagnosis and behavioral intervention. Because emotional recognition ability is of great importance to individual social development, the emotional recognition defect of children with autism has an extremely negative impact on their social interaction ability, thus hindering their social development. Related studies indicate that, under different emotional stimuli, the occipital and temporal lobes of children with autism show a lower activation state, which affects the development of their social cognitive and emotional recognition abilities. An objective evaluation of the development of autistic children's brain function using an electroencephalogram (EEG) is feasible. This paper analyses testees' electroencephalograms of several encephalic regions, including frontal, temporal and occipital lobes, along with their emotional performance metrics and cognitive level to investigate the difference in autistic children and typically developing children's performance and electroencephalograms while they are being induced by videos designed to produce positive or negative emotions. Based on the emotional performance indicators obtained from brainwave power spectrums and cognitive questions, we analyzed the children's performance under two emotional stimuli. The experiment recruited 80 children, 40 autistic and 40 typically developing children. We processed the power spectrum analysis of testees' electroencephalograms through fast Fourier transform and explored the effects between the different groups. Our results show that autistic children's electroencephalograms generally show very high power in the low frequency range (delta, theta) and high frequency range (beta, gamma) but low power in the alpha band. Moreover, different encephalic regions show different features of the power spectrum. By comparing the testees' emotional performance metrics based on their electroencephalograms' power spectrums, as well as cognitive levels based on answering questions under two kinds of emotional stimulation, we found that autistic children's emotional changes are far less than those of typically developing children. In addition, autistic children's cognition of six aspects, such as emotional and spatial cognition, are both lower than that of typically developing children. Furthermore, under positive emotion conditions, they show more interest and higher engagement, and their correct rate of answering cognition questions is higher than under negative emotion conditions. This research provides an objective basis for intervention training that aims to improve autistic children's emotional cognitive levels.

autistic spectrum disorder, electroencephalogram, emotional performance metrics, cognitive level

doi: [10.1360/TB-2019-0719](https://doi.org/10.1360/TB-2019-0719)