

发展性阅读障碍儿童视觉功能的事件相关电位研究

何胜昔 杨志伟 尹文刚

【摘要】 目的 考察阅读障碍儿童的视觉巨细胞系统功能的神经心理学特性,探讨阅读障碍儿童与正常儿童的左右枕叶对单侧投射的视觉刺激的敏感性及其功能的半球差异特性。**方法** 用单侧视野投射方法,使用具有高时间频率的黑白对比视觉信号,同时使用 ERP 分析系统记录被试在完成简单视觉任务时的波形。**结果** ①正常儿童在完成左右单侧视野投射任务的反应时基本相同[(294.7 ± 12.47) ms ~ (298.3 ± 135.8) ms],左侧枕叶加工来自右侧视野的视觉信号产生的 ERP 波形与右侧枕叶加工对侧视野信息产生的波形基本一致;②阅读障碍儿童的脑电波形与正常儿童比较差异有显著性;这种差异尤其表现在左侧枕叶 O1 的 P120 的峰潜伏期显著延迟为 136.57 ms。**结论** 正常儿童的视觉巨细胞系统左右半球的功能是均势的,没有偏侧化的倾向;而阅读障碍儿童的视觉功能发育可能落后于正常儿童,并且在枕叶皮质存在左右半球差异,尤其是左侧枕叶的功能差异,这可能是阅读障碍儿童视觉巨细胞系统功能的发育的主要神经心理学特性。

【关键词】 发展性阅读障碍; 事件相关电位; 单侧视野刺激; 视觉缺陷; 大脑偏侧化

Chinese children developmental dyslexia: a visual event related potential study HE Sheng-xi, YANG Zhi-wei, YIN Wen-gang. Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China

【Abstract】 Objective To designed for exploring the neuropsychological feature of development dyslexia, especially in visual sensitivity of magnocellular system and hemispheric lateralization. **Methods** The high temporal frequencies dynamic visual stimuli were presented by lateral visual field and the scalp potentials were recorded by ERP analyses system. **Results** The reaction time in controls was similar between right visual field (RVF) and left visual field (LVF). The ERP waveforms produced by processing the visual signal from RVF at left occipital were as same as that of LVF. There was significant difference between dyslexia and controls, especially in the latency of P120 in electrode O1. **Conclusions** The left-right hemispheric functions of magnocellular system were equipollence and no predominance lateralization exists at left-right hemispheres. Development of magnocellular system in dyslexia may delay, and the development of interhemispheric asymmetry was irregular, especially in left occipital, which was the main neuropsychologic feature of magnocellular system in dyslexia.

【Key words】 Developmental dyslexia; Event related potential (ERP); Lateral visual field stimulation (LSTM); Vision deficits; Hemispheric lateralization

发展性阅读障碍(reading disorder, RD)是指学龄儿童虽然智力正常,但由于某些先天原因导致其阅读成绩明显落后于其年龄所应达到水平的现象。在过去二十多年的研究中,人们发现 RD 的视觉功能异常,因而认为阅读障碍可能是由于视觉功能受损而引起的^[1-3]。与正常对照组的儿童比较, RD 对运动中的视觉刺激不敏感,尤其是对那些对比度低,明亮度低,空间频率不高而时间频率高的视觉刺激^[4-7]。进一步的研究表明对这类视觉刺激的加工主要依靠巨细胞系统的敏感性,即视网膜-皮质巨细胞通路。此外,许多研究者发现 RD 大脑左右两半球之间的偏侧化的发展存在异常状况^[8,9]。对中国儿童的研究表明,阅读障碍是一种较常见的学习障碍,发生率大约为 3.5% ~ 5%,主要表现为语音分析能力落后,字形产生困难等^[10]。在汉字认知水平上,汉语阅读障碍儿童也和拼音文字国家的阅读障碍者有类似的表现,如语音意识

障碍,正字法障碍等。然而,汉语 RD 的神经心理学基础是否与拼音文字者的一致,还有待深入研究。前期研究表明^[11], RD 儿童听觉系统发育落后于正常儿童。本研究采用单侧视野投射的研究范式^[8,9],使用无创性事件相关电位(ERP)技术,考察 RD 的视觉系统左右两侧枕叶发育的特征,旨在探讨与汉语 RD 认知困难相关的神经结构特征,为治疗和纠正阅读障碍提供生理心理学证据。

对象与方法

一、对象

21 名小学四年级 RD 儿童均来自于深圳市康宁医院精神卫生研究所,由该医院儿童青少年心理健康中心依据国际疾病分类与诊断标准(ICD-10, WHODSM-IV, APA)进行诊断评估,均符合以下标准:(1)学习经历正常,根据教师评定有语文学习困难持续 1 年以上,学习能力差,课堂练习、家庭作业完成有困难。学习成绩一直在班上后 5 名以内,或考试经常不及格,或因学

习困难留级。(2)家长、教师评定、作业调查与临床检查有阅读障碍的表现。(3)智力测验 $IQ \geq 70$ 。(4)检查无明显的视觉和听觉障碍。(5)排除情绪障碍、多动症(注意缺陷多动障碍)及器质性脑病。男生 12 名,女生 9 名,年龄 10~11 岁。21 名与其年龄、性别和文化水平匹配的正常对照组儿童参加了本实验。正常儿童是深圳市草埔小学四年级学生,经语文,数学,英语三科任课老师综合评定,平时成绩检查,学业成绩处于中上水平,且没有神经的或情绪的问题。男生 12 名,女生 9 名,年龄 10~11 岁。RD 儿童和正常儿童视力正常或矫正视力正常。

二、方法

1. 视觉刺激方法:根据单侧视野投射原理,为了使眼球固定在中间视野,采用注视中间视野固定亮点方法,控制被试的注视点保持在屏幕正中央的“+”,同时将单侧视觉刺激“·”的呈现时间设定为 50 ms(保证单侧视野呈现方法的可靠性的必要条件是速示,即呈现刺激时间不超过 100 ms,因为眼球从一个注视点到另一个注视点的转移时间,平均为 300 ms),以保证呈现在左、右半屏幕的刺激通过视觉神经通路分别投射至对侧的大脑枕叶。在屏幕的中央呈现一个“+”,要求被试双眼注视这个“+”。随后在“+”的左右两侧相距 8 cm 处,随机呈现直径为 1 cm 的黑色圆饼 50 ms。“+”与“·”之间的视角为 5.7° ,确保了被试在双眼注视的情况下,只能用单视野探测“·”的位置,眼球的左右移动会使其不能注意到“·”。被试的操作任务是,当“·”出现在右侧视野时用右手按右键,出现在左侧时左手按左键,左右侧各随机呈现 80 次。

2. 数据采集及处理:被试坐在舒适的沙发上,与电脑屏幕的距离为 80 cm,在光线较暗的隔音室休息 5 min,调整心情,适应环境。实验仪器为德国的 Brain-Product, BP-ERP 工作站,采用 64 导电极帽记录脑电波,参考电极置于双侧耳后乳突,同时记录水平眼电(左右眼外侧,HEOG)和垂直眼电(左眼上下眶,VE-OG),滤波带通为 0.01~70 Hz,采样频率为 500 Hz,头皮电阻均小于 5 K Ω ,视觉刺激信号呈现前 152 ms 至其呈现后 600 ms 的脑电进行分析,并以零点前 152 ms 作为基线。自动矫正伪迹,波幅大于 $\pm 50 \mu V$ 者,在叠加中被自动剔除。

根据实验设计对 EEG 分类叠加,可得到两类被试各两种不同 ERP 波形,根据总平均图的特点并结合前人的工作设定测量窗口。在本实验中,与视觉刺激相关的波形主要表现在枕叶,因而选择了在枕叶左侧 O1,右侧 O2,2 个电极位点突出的波形 P120,其最大峰值的平均潜伏期为 120 ms 左右,测量窗口为 60~150 ms。并对 P120 的波峰和潜伏期的数据进行分析。

3. 数据处理:根据被试的分类,对任务(两个水平,右侧视野投射-左侧视野投射)*电极位置的分布

(2 个水平)两因素重复测量的 ANOVA 分析。再根据交互效应的结果对实验数据进行简单效应分析。

结 果

一、2 组儿童双侧视野反应时测定分析

RD 对单侧视野投射的视觉信号反应时与正常对照组比较差异有显著性 ($F_{(1,42)} = 4.991, P < 0.05$),反应时明显延长;而且,左右侧视野投射任务与 2 组被试之间在反应时上亦有显著的交互作用 ($F_{(1,42)} = 10.439, P < 0.01$),右侧视野投射任务中,2 组的反应时差异有显著性 ($F_{(1,42)} = 4.258, P < 0.05$)。见表 1。

表 1 2 组儿童双侧视野反应时比较(ms, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	右侧视野	左侧视野
阅读障碍组	21	322.1 \pm 102.3 *	338.8 \pm 137.3 *
正常对照组	21	294.7 \pm 124.7	298.3 \pm 135.8

注:与正常对照组比较 * $P < 0.05$

二、2 组儿童双侧视野 ERP 潜伏期和波幅比较

P120 波幅在各种情况下差异无显著性 ($F_{(1,40)} = 0.011, P > 0.05$)。重复测量两因素的三因素方差分析表明:RD 的峰潜伏期与正常对照组儿童比较差异有显著性 ($F_{(1,40)} = 15.513, P < 0.01$);不同视野在枕叶左右位点产生的 ERP 波形表现出非常显著的交互作用 ($F_{(1,40)} = 67.501, P < 0.01$),具体表现为右侧视野投射的视觉信号在左侧枕叶 O1 处产生的 P120 波峰的潜伏期早于 O2,左侧视野投射的情况正好相反;被试组、视野和电极位置之间的交互作用亦非常显著 ($F_{(1,40)} = 16.740, P < 0.01$)。为了详细考察各因素之间的相互作用,进一步采用简单效应分析的方法,固定一个因素分析另外两因素之间的交互作用。在右侧视野投射时,RD 左侧枕叶 O1 的 P120 的峰潜伏期与正常儿童比较明显延迟 ($F_{(1,40)} = 28.870, P < 0.01$);而 O2 的变化则不明显 ($F_{(1,40)} = 3.112, P > 0.05$);在左侧视野投射时,2 组儿童的 ERP 波形潜伏期在左右枕叶的变化基本一致。当固定被试因素时,左侧枕叶 O1 的变化在不同任务间亦差异有显著性 ($F_{(1,40)} = 12.030, P < 0.01$);不同被试组在不同视觉任务中 O1 的潜伏期变化差异有显著性 ($F_{(1,40)} = 18.020, P < 0.01$),具体表现在 RD 左侧枕叶加工右侧视野信息时 P120 的潜伏期明显延迟;而右侧枕叶 O2 在两种视觉任务中的变化基本一致。见表 2。

讨 论

实验范式采用单侧视野投射方法;实验材料为黑白对比视觉信号,具有高时间频率的瞬时闪现特点,是属于巨细胞系统加工敏感的刺激材料;实验仪器采用高时间分辨率的 ERP 分析系统,能够记录被试在完成简单视觉任务时的波形。因而本实验能有效检测对侧视皮质的视觉巨细胞系统功能的神经心理学特征。

表 2 2 组儿童左右视野双侧枕叶记录的 P120 潜伏期和波幅 ($\bar{x} \pm s$)

分组	例数	记录指标	右侧视野		左侧视野	
			左侧枕叶 O1	右侧枕叶 O2	左侧枕叶 O1	右侧枕叶 O2
正常对照组	21	潜伏期 (ms)	106.67 ± 20.29	134.95 ± 23.05	131.24 ± 19.49	106.10 ± 28.58
		波幅 (μV)	3.34 ± 3.09	3.32 ± 3.01	3.76 ± 2.13	3.79 ± 4.05
阅读障碍组	21	潜伏期 (ms)	136.57 ± 15.45 *	145.33 ± 13.29	134.10 ± 10.93	124.95 ± 10.87
		波幅 (μV)	3.92 ± 3.80	4.31 ± 2.96	3.01 ± 2.95	2.65 ± 3.98

注:与正常对照组潜伏期比较, ** $P < 0.01$

实验结果发现,正常儿童在完成左右单侧视野投射任务的反应时基本相同,不同任务在枕叶左右位点产生的 ERP 波形表现出非常显著的交互作用,也就是说,左侧枕叶加工来自右侧视野的视觉信号产生的 ERP 波形的潜伏期和波幅与右侧枕叶加工对侧视野信息产生的波形基本一致,即左侧枕叶和右侧枕叶视皮质在加工相同的视觉信号时所产生的脑电波形是一致的。结合 Fredric 等^[12]2004 年的 fMRI 研究结果,即单侧视野刺激会引起对侧脑半球的外纹状皮质的激活。由于这些对称分布于大脑左右两半球的视皮质结构相同,功能相同,因而,在 ERP 波形上的表现也相同,也就是说,正常儿童的 M 细胞系统在加工适宜的视觉刺激时左右半球的功能是均势的,没有偏侧化的倾向。

本实验采用对巨细胞系统加工敏感性的刺激,结果表明 RD 的脑电波形与正常儿童比较有显著差异,因此,这种差异和 RD 的视觉巨细胞系统异常有关。这个发现得到已有研究的支持:Livingstone 等^[13]检验了阅读障碍者尸解后的大脑组织,发现他们的巨细胞比一般人少 27%,而且巨细胞在显微镜下看起来异常,很多位置错乱,且其细胞体往往比正常人小。此外,行为、电生理和功能成像的研究^[1-3, 10]都表明,巨细胞系统在阅读障碍者身上是不正常的。同时,本实验的行为数据统计结果显示:RD 对单侧视野投射的视觉信号的反应时与正常对照组比较,反应时明显延长;由此可见,汉语 RD 可能与拼音文字阅读障碍者在视觉巨细胞系统的发育中有相似的规律。

RD 视觉功能的差异尤其表现在左侧枕叶 O1 的电位变化上,在完成两种任务时右侧枕叶 O1 处产生的电位变化情况与正常儿童基本一致,而左侧枕叶 O1 的电位变化则与正常儿童有显著差异,这可能是由于右侧视野瞬时系统对信息加工的效率降低,敏感性低而引起的。已有研究也发现 RD 儿童的双侧脑的视觉加工能力存在差异。在 Kaufman 模型^[14]中, RD 儿童左、右脑加工能力均比对照组差,对照组的左右脑加工无明显差异,而 RD 组却显示出左脑加工比右脑差。而且,左侧枕叶 O1 处的异常表现为,其加工右侧视野信息的 P120 的潜伏期明显延迟,这可能是由于视觉

巨细胞系统通路上对视觉信息加工的传递速度比较慢而引起的。Livingstone 等^[13]使用脑电方法,同样发现 RD 的巨细胞通路从视网膜到视觉皮层输送脉冲的速度慢,大约是 50 ms,这个时间是正常传输时间的两倍。本实验的行为结果表明,左右侧视野投射任务与 2 组被试之间在反应时上有显著的交互作用, RD 在完成右侧视野投射任务时反应明显比正常儿童慢。

总之,汉语 RD 的视觉系统的发育可能落后于正常儿童,尤其表现在枕叶皮质的发育中左侧枕叶巨细胞系统功能的缺陷。本实验用 ERP 技术从脑功能的角度证明了汉语 RD 也存在巨细胞系统障碍,更进一步说明了 RD 儿童视觉缺陷的详细部位,是对巨细胞障碍理论的有力补充,并为进一步探索汉语发展性阅读障碍者的神经心理基础作出了开拓性的工作。

参 考 文 献

- Skottun BC. The magnocellular deficit theory of dyslexia: the evidence from contrast sensitivity. *Vision Research*, 2000, 40:111-127.
- Skottun BC. On the conflicting support for the magnocellular deficit theory of dyslexia: Response to Stein, Talcott and Walsh. *Trends in Cognitive Science*, 2000, 4:211-212.
- Skottun BC, Parke LA. The possible relationship between visual deficits and dyslexia: examination of a critical assumption. *Journal of Learning Disabilities*, 1999, 32:2-5.
- Joel BT, Peter CH, Elikem L. Visual motion sensitivity in dyslexia: evidence for temporal and energy integration deficits *Neuropsychology*, 2000, 38:935-943.
- Everatt J, Bradshaw M, Hibbard P. Visual processing and dyslexia. *Perception*, 1999, 28:243-254.
- Cornelissen PL, Hansen PC, Hutton JL, et al. Magnocellular Visual Function and Children's Single Word Reading. *Vision Research*, 1998, 38:471-482.
- John Stein. Visual motion sensitivity and reading, *Neuropsychologia*, 2003, 41:1785-1793.
- Mangun G, Buonocore M, Girelli M, et al. ERP and fMRI measures of visual spatial selective attention. *Human Brain Mapping*, 1998, 6:383-389.
- Macaluso E, Frith C. Interhemispheric differences in extrastriate areas during visul-spatial selective attention. *Neuroimaging*, 2000, 12:485-494.
- Yin WG. Dyslexia in Chinese: Clues from Cognitive Neuropsychology. *Annals of Dyslexia*, 2003, 53:255-279.
- 何胜昔,尹文刚,杨志伟. 发展性阅读障碍儿童听觉功能的事件相关电位研究. *中国行为医学科学*, 2006, 15:117-118, 121.
- Fredric S, Felix MM, Ram Lakhon Pandey Vimal, et al. Lateral visual field stimulation reveals extrastriate cortical activation in the contralateral hemisphere: an fMRI study *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 2004, 131:1-9.
- Livingstone MS, Rosen GD, Drislane FW, et al. Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 1991, 88:7943-7947.
- Rex BK, Joseph S, Maria C. Lessons From the Kaufman Assessment Battery for Children (K-ABC): Toward a New Cognitive Assessment Model. *Psychological Assessment*, 1996, 8:7-17.

(收稿日期:2007-07-26)

(本文编辑:冯学泉)