

# 儿童数学认知的 ERP 研究

苏润萍, 董选, 任艳玲, 王苏弘

(苏州大学附三院, 江苏常州市第一人民医院, 江苏 常州 213003)

**【摘要】** 目的: 通过分析儿童数学认知的 ERP 波形特征, 探讨儿童的数学认知过程。方法: 选择小学二年级和五年级学生各 20 名, 采用 20 以内加减计算及相应答案作为刺激内容, 进行 ERP 检测并进行分析。结果: 两组儿童的 ERP 波形成分一致, 计算时主要包括 N1, P2, N2, P3, N3; 答案判断时主要包括 N1, P2, N2, P3。计算时五年级儿童的 N2 下降支比二年级儿童下降快且 P3 潜伏期短。错误答案的 N2 波幅比正确答案高。计算时大脑两侧相关区域均有参与, 颞、前额、顶枕部相继被激活, 后期阶段主要集中在前额及顶枕部。结论: 不同年龄儿童计算时的 ERP 成分稳定且一致, 其中不同年龄间的差异主要体现在 N2 下降支及 P3 潜伏期。答案判断是一个不同于计算的认知过程, 而且在正确与错误的判断上也存在心理差异。

**【关键词】** 儿童; 数学认知; ERP

中图分类号: R395.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3611(2007)02-0171-03

## An Event-Related Potentials Study For Mathematics Cognition in Children

SU Run-ping, DONG Xuan, REN Yan-ling, WANG Su-hong

Center of Neuroscience Study, First People's Hospital of Changzhou, Changzhou 213003, China

**【Abstract】** Objective: By analyzing the feature of ERP in children evoked by simple calculation and answer judgment, to explore the process of mathematics cognition in children. Methods: Simple additions and subtractions within twenty was used as visual stimulus, twenty grade-two pupils and twenty grade-five pupils were investigated respectively. Results: ERP waveforms and components were coincident for the two groups. Calculation ERP components included N1, P2, N2, P3, N3; judgment included N1, P2, N2, P3. In calculation, the declining branch of N2 for grade-five fell faster than that of grade-two, and the latency of P3 for grade-five was shorter. As to answer judgment, wrong answers elicited more negative N2 than that of correct answers, and there was no statistic difference between the two groups in P3. When calculating, two hemispheres correlative areas all participated, and frontal, temporal, parietal and occipital regions were active one after another; in late phase, the focus was primarily on the forehead, parietal and occipital areas. Conclusion: ERP waveforms and components are steady and coincident for Children of different ages, the differences mainly focus on the declining branch of N2 and the latency of P3. The process of answer judgment is different from that of calculation, and there are mental differences between the judgments of right answer and wrong answer.

**【Key words】** Children; Mathematics cognition; Event-related potentials

数学认知能力作为人类认知能力的一个重要成分, 是人们正确认识客观世界所必须的基本能力, 从上世纪 60 年代以来, 数学认知能力与过程一直是心理学、认知科学、神经科学、教育学等领域所关注的重要课题。近年来, 随着 ERP 研究的发展, 关于数学认知的 ERP 研究报道逐年增多, 但儿童数学 ERP 研究甚少。本实验采用两组不同年龄儿童作为受试者, 一则为了探讨不同年龄儿童数学认知的 ERP 波形成分的稳定性, 二则分析二者的 ERP 特征成分, 即异同成分, 从而为儿童数学认知研究打下一定的基础。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

随机抽取本市一所普通小学二年级和五年级学

生各 20 名, 男女比例 1:1。二年级学生平均年龄 8.2 岁, 智商(韦氏智力量表测试)为  $110.3 \pm 7.60$ ; 五年级学生平均年龄 11.4 岁, 智商为  $100.9 \pm 7.67$ 。所有儿童均为右利手, 视力或矫正视力正常, 无学习困难及语言障碍, 无精神及神经系统疾病, 都获得家长和学校老师的书面知情同意。

### 1.2 研究方法

1.2.1 刺激内容 分两种, 计算题和答案。计算题为 20 以内的整数加法和减法(包括进位和退位), 共 200 题, 加减法各 100 题, 均不重复, 剔除 0、1、10、11 这样的数以及诸如“2+2、15-5”个位相同的题目。答案分正确和错误两种, 各 100 个, 为了避免距离效应(即对离正确答案近的错误答案的判断比远的要困难, 例如判断  $13+2=17$  没有  $13+2=24$  容易), 错误答案的设计均比相应正确答案大 9<sup>[1]</sup>。

1.2.2 刺激呈现方式 屏幕上首先出现一个“十”字提示符,呈现 1000ms,接着出现计算题 S1,形如:“3+5”、“15-9”,呈现 1500ms,间隔 500ms 的黑屏后出现答案 S2,呈现 1200ms,之后为 1000ms 的黑屏,表示一个试验结束。共 200 个这样的试验,分两组进行,中间有短暂的休息。要求受试者看到 S1 后尽量准而快地算出它的答案,看到 S2 后判断它与自己所算答案是否一致,如正确,左手按键;如错误,右手按键。

1.2.3 数据采集及分析 检测在光线较暗的隔音室中进行,受试者坐在距离电脑屏幕中央 80cm 的舒适椅子上,垂直视角为  $1.43^\circ$ ;水平视角为  $0.72^\circ$  (一位数),  $1.43^\circ$  (两位数),  $2.15^\circ$  (一位数加减一位数)、 $2.87^\circ$  (两位数加减一位数)。刺激给予及行为学检测使用了美国的 E-prime 软件,刺激内容以黑屏白字呈现在屏幕中央。脑电记录采用加拿大 32 道 Stellate 数字化无纸脑电图仪,20 个记录电极按照国际脑电图学会标准 10/20 系统放置 FP1、FP2、F3、F4、Fz、C3、C4、Cz、F7、F8、P3、P4、Pz、T3、T4、T5、T6、O1、O2、Oz,参考电极 A1、A2 分别放在两侧乳突,眼动 (EOG) 记录电极分别位于左眼外侧上 2cm 和右眼下 2cm 处,头皮电阻小于 5K $\Omega$ ;放大器带通 0.1-35 Hz,采样率为 500Hz。检测开始首先常规描记脑电图 3-5 分钟,然后播放指导语并进行练习操作,待受试者能完全配合实验后,再开始正式测试。脑电离线分析采用德国 Besa 分析软件,主要是通过平均叠加技术从记录的脑电中提取出 ERP 成分,并对其进行潜伏期波幅和源成像 (Source Image) 分析。基线校正从刺激 (S1、S2) 前 100ms 开始,即 -100—0ms;分析时段为 S1、S2 前 200ms 到其后 2000ms;脑电记录中的眼动和眨眼等伪迹在脱机处理时剔除。主要测量 F7、F8、F3、F4、C3、C4、P3、P4、Fz、Cz、Pz 导联的 N1、P2、N2、P3,采用 SPSS12.0 对两组儿童在计算及答案判断时各成分的潜伏期、波幅以及行为学结果进行了两独立样本 t 检验。其中潜伏期为刺激出现到相应波峰间的距离,N2 波幅为 P2 波峰与 N2 波峰间的峰值。

## 2 结 果

### 2.1 计算的结果

2.1.1 ERP 波形成分 两组儿童的 ERP 波形成分一致,主要包括 N1、P2、N2、P3、N3,且在所有受试者及所有记录导联波形成分都很明确,容易识别。

2.1.2 ERP 特征 N1、P2、N2 的潜伏期和波幅在两组儿童间无差异 ( $P>0.05$ ),但 N2 下降支 五年级比二

年级下降快,从而导致 P3 潜伏期比二年级短,且在 F3、F4、F7、F8、C3、C4 导联表现明显。见表 1。

表 1 两组儿童计算 P3 潜伏期 (ms) 比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

导联	加法		减法	
	8 岁组	11 岁组	8 岁组	11 岁组
Fz*	801 $\pm$ 124.4	741 $\pm$ 101	811 $\pm$ 150.1	714 $\pm$ 111.3
Cz***	927 $\pm$ 94.1	683 $\pm$ 99.1	711 $\pm$ 102.6	661 $\pm$ 100.6
Pz*	578 $\pm$ 97.3	618 $\pm$ 75.7	652 $\pm$ 129.6	567 $\pm$ 99.8
F3**	792 $\pm$ 118.7	709 $\pm$ 98.1	792 $\pm$ 118.7	675 $\pm$ 74.5
F4**	816 $\pm$ 132.7	745 $\pm$ 113.3	844 $\pm$ 143.2	701 $\pm$ 96.6
F7**	806 $\pm$ 126.9	697 $\pm$ 101.4	851 $\pm$ 194.8	665 $\pm$ 82.0
F8**	839 $\pm$ 137.8	707 $\pm$ 88.1	827 $\pm$ 147.8	669 $\pm$ 99.3
C3**	688 $\pm$ 96.3	638 $\pm$ 72.8	711 $\pm$ 131.4	623 $\pm$ 92.7
C4**	731 $\pm$ 131.5	632 $\pm$ 102.0	725 $\pm$ 159.7	626 $\pm$ 101.7
P3***	592 $\pm$ 104.5	558 $\pm$ 125.4	655 $\pm$ 161.5	721 $\pm$ 242.7
P4*	596 $\pm$ 109.7	518 $\pm$ 122.9	640 $\pm$ 84.1	525 $\pm$ 117.7

注: \* $P<0.05$ , \*\* $P<0.01$ , \*\*\* $P>0.05$

2.1.3 ERP 源成像分析 ERP 总平均图源成像分析显示: 儿童计算时大脑两侧相关区域均有参与,颞、前额、顶枕部相继被激活,后期阶段主要集中在前额及顶枕部。

### 2.2 答案判断的结果

2.2.1 ERP 波形成分 两组儿童诱发的 ERP 波形成分一致,主要包括 N1、P2、N2、P3,且在各记录导联都波形明确。

2.2.2 ERP 特征 错误答案的 N2、P3 比正确答案的波形更明确,N2 波幅更高 ( $P<0.01$ ), 错误答案为  $9.51\pm 4.68\mu v$ , 正确答案为  $5.48\pm 5.08\mu v$ , 但 P3 潜伏期及波幅均无统计学差异 ( $P>0.05$ )。见表 2。

表 2 两组儿童答案判断 P3 潜伏期 (ms) 比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

导联	答案正确		答案错误	
	8 岁组	11 岁组	8 岁组	11 岁组
Fz	767 $\pm$ 85.9	689 $\pm$ 141	694 $\pm$ 99.7	700 $\pm$ 131.3
Cz	658 $\pm$ 76.3	632 $\pm$ 152.8	654 $\pm$ 92.4	700 $\pm$ 131.3
Pz	600 $\pm$ 61.1	610 $\pm$ 173.3	573 $\pm$ 58.2	565 $\pm$ 151.8
F3	747 $\pm$ 72.7	666 $\pm$ 140.2	681 $\pm$ 125.3	655 $\pm$ 144.6
F4	757 $\pm$ 99.8	662 $\pm$ 178.8	681 $\pm$ 101.1	655 $\pm$ 142.4
C3	649 $\pm$ 63.1	631 $\pm$ 158.4	642 $\pm$ 88.4	601 $\pm$ 131.4
C4	644 $\pm$ 74.9	624 $\pm$ 156.6	666 $\pm$ 86.6	595 $\pm$ 158.3
P3	616 $\pm$ 64.4	598 $\pm$ 164.2	623 $\pm$ 97.3	564 $\pm$ 146.2
P4	559 $\pm$ 67.2	574 $\pm$ 168.6	568 $\pm$ 69.7	565 $\pm$ 146.1

注:  $P>0.05$

表 3 两组儿童答案判断时的反应时及正确率 ( $\bar{x}\pm s$ )

年龄		答案正确	答案错误
8 岁	反应时	869 $\pm$ 84.18	988 $\pm$ 72.26
	正确率	71% $\pm$ 0.18	63% $\pm$ 0.20
11 岁	反应时	782 $\pm$ 90.08	827 $\pm$ 111.79
	正确率	86% $\pm$ 0.1	77% $\pm$ 0.24

2.2.3 行为学 两组儿童均表现出错误答案判断比正确答案判断所用平均反应时长 ( $P<0.01$ ), 正确率低 ( $P<0.05$ )。见表 3。

### 3 讨 论

计算是一种复杂的高级思维活动,它包括了数字的识别,数字意义的理解,算术知识的提取及运算执行过程,而真正的计算加工主要体现在算术知识的提取和运算执行过程<sup>[2]</sup>。研究中发现,两组儿童计算时的 ERP 波形成分稳定且一致,说明两组儿童具有相同的心理过程。其中早期 N1、P2 两个年龄组间无统计学差异,而 N2、P3 两组间存在差异,即五年级儿童的 N2 下降支比二年级下降快从而导致 P3 潜伏期缩短。这说明 N2 与计算心理过程有关,而且可能反应了算术知识的提取过程。Ashcraft 的网络提取理论模型将数学知识看作是运算数与答案之间的联系表征网络,数学运算是通过运算数寻找答案的过程,那么简单计算(如一位数加一位数)过程就是激活这个网络,从长期记忆系统中直接提取答案的过程<sup>[3]</sup>,而这个激活过程对于五年级学生来说可能要比二年级学生快一些。晚期 P3 与心理过程密切相关,以前的研究已经表明这个正向慢波成分反应了计算执行过程,可以作为评价计算过程的指标<sup>[4,5]</sup>,我们知道,五年级学生比二年级学生具备更高的计算能力,而这种差距完全可以通过 P3 潜伏期的改变来予以描述,这一点在本研究中得以体现。

此外,答案判断是一个与计算不同的较简单的心理过程。虽然早期 N1、P2 在答案判断与计算间无统计学差异,但我们知道,早期成分主要反映大脑对刺激物理属性的识别,计算题(形如“3+5”,“15-9”)与答案(形如“8”,“23”)二者之间的相同之处就是它们都含有数字,且代表一定的意义,这就意味着,早期 N1、P2 主要反映大脑对数的物理属性,如数字符号,数字形态,甚至数字意义的早期识别过程,并没有反映二者的心理差别。而从答案判断的 ERP 波形成分来看,与心理关系密切的 P3 波幅较低,波形没有计算明显,而且几乎没有 N3 成分,有研究者认为 N3 与计算过程有关。

关于答案判断中的 N2,是近年来关于不匹配刺激 ERP 研究中的热点,也是争论点,王玉平等<sup>[6-8]</sup>使用加减乘除混合运算任务,Rösler 等<sup>[9,10]</sup>使用单一乘法任务,对不正确答案判断时均引发了一个区别于正确答案的 N 波(错误答案比正确答案的 N2 波幅高),只不过前者命名为 N270,认为是一种由于刺激不匹配,引发的冲突效应;后者命名为 N400,认为与语义相关,二者反映了在错误与正确判断间存在一个不同的心理过程或心理资源的消耗。有研究表明,任何刺激类型(数值、颜色、形状等),只要是对不匹配任务的判断均能激发出一个区别于匹配任务的 N 波<sup>[11]</sup>,而且认为这个 N 波的产生是由于给予的信息

与预期信息相偏离或相违背引发的。这就意味着错误答案判断时产生的 N2 与数字处理间并没有特异的关系,它可能更多的反应的是一种不匹配语义效应。本研究使用的是单一加法和单一减法,行为学数据及 ERP 结果分别显示错误答案判断比正确答案反应时长,N2 波幅高,且 N2 潜伏期为  $382.91 \pm 93.31\text{ms}$ ,因此更多支持与语义相关的 N400 观点。

实验最后,对计算的 ERP 进行了源成像分析,发现从计算题出现到计算结束,颞叶,额叶,顶枕部位相继激活,后期阶段(350-850 ms)主要集中在前额,顶枕部位,这与脑损伤病人报道相一致,即前额和顶枕区域是计算的主要皮层区。

### 参 考 文 献

- 1 D Szűcs, V Csépe. The effect of numerical distance and stimulus probability on ERP components elicited by numerical incongruencies in mental addition. *Cognitive Brain Research*, 2005, 22: 289-300
- 2 GJ Groen, JM Parkman. A chronometric analysis of simple addition. *Psychological Review*, 1972, 79: 329-343
- 3 McCloskey M, Caramazza A, Basili AG. Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain Cogn*, 1985, 4: 71-196
- 4 Y Iguchi, I Hashimoto. Sequential information processing during a mental arithmetic is reflected in the time course of event-related brain potentials. *Clin Neurophysiol*, 2000, 111: 204-213
- 5 P Pauli, W Lutzenberger, N Birbaumer, et al. Neurophysiological correlates of mental arithmetic. *Psychophysiology*, 1996, 33: 522-529
- 6 H Wang, Y Wang, J Kong, et al. Enhancement of conflict processing activity in human brain under task relevant condition. *Neuroscience Letters*, 2001, 298: 155-158
- 7 Y Wang, H Wang, L Cui, et al. The N270 component of the event-related potential reflects supramodal conflict processing in humans. *Neuroscience Letters*, 2002, 332: 25-28
- 8 J Yang, Y Wang. Event-related potentials elicited by stimulus discrepancy in humans. *Neuroscience Letters*, 2002, 326: 73-76
- 9 K Jost, E Henninghausen, E Rösler. Comparing arithmetic and semantic fact retrieval: Effects of problem size and sentence constraint on event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 2004, 41: 46-59
- 10 M Niedeggen, F Rösler, K Jost. Processing of incongruous mental calculation problems: evidence for an arithmetic N400 effect. *Psychophysiology*, 1999, 36: 307-324
- 11 M Kutas, K Födermeier. Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, 2001, 12: 463-470

(收稿日期:2006-07-20)