

珠心算训练儿童加法心算的 ERP 早成分研究^{*}

孙延超¹ 李秀艳¹ 王 东¹ 高卫星¹ 赵 仑²

(1. 潍坊医学院, 山东潍坊 261042; 2. 徐州师范大学语言研究所, 江苏徐州 221116)

摘 要:采用事件相关电位(ERP)的方法,对 32 名儿童进行了双位数加法心算实验,探讨了珠心算训练方式对儿童加法心算加工早期感知觉的影响。研究结果表明,与非珠心算训练儿童相比,在加法心算过程的早期阶段,珠心算训练儿童枕部 P1、额中央区的 N1 波幅增大,而颞枕区 N170 以及额中央区 P2 波幅减小。本研究结果发现珠心算训练对儿童心算过程的早期感知有显著影响。

关键词:珠心算; ERP; 早成分; 感知觉

1 引言

珠算式心算(mental abacus calculation)简称珠心算,是以珠算为基础,依靠人的视觉、听觉、触觉等把抽象的数字变成直观算盘珠映象,并在头脑中形成以珠象运动进行计算的一种计算技能,是珠算的高级形式。珠心算新手与能手的对比研究发现,珠心算能手可以瞬间把数字转化为心理算盘,而新手只能通过言语解码,前者是以平行加工为主,后者则以系列加工为主^[1,2]。关于珠心算的功能磁共振成像研究也发现,在心算过程中,珠心算能手与非珠心算能手相比,所激活的脑区不同,并且相同脑区的激活程度也存在差异,珠心算能手更倾向于采用视觉空间策略来进行运算^[3~5]。这种视觉空间策略可能体现了珠心算能手心算过程的平行加工方式,珠心算能手在数字感知的同时就能瞬间把数字串转换为心理算盘,通过对心理算盘的“拨珠”得出结果。

事件相关电位(ERP)的关于一般心算的研究表明,ERP 的早成分(刺激呈现后的 300 毫秒内)反应了刺激识别的加工过程^[6,7],要完成心算任务就必须正确的识别数字。珠心算能手所采用的心算策略可以有效的提高心算效率,那么这种心算策略的影响在心算初期的早期感知加工是否就已经产生?为探讨以上问题,本研究采用事件相关电位的研究方法,以双位数加法心算为实验材料,对珠心算训练儿童和非珠心算训练儿童在心算过程中的早期加工阶段

进行了研究。

2 实验方法

2.1 被试

从潍坊市北关街中心小学 3~4 年级学生中随机抽取珠心算训练儿童样本和非珠心算训练儿童的样本。经初步问卷调查选取在年龄、家庭背景、教育背景及学习成绩方面大体一致的两组被试。其中珠心算训练儿童从一年级开始就接受珠心算训练,训练内容包括加、减、乘、除心算,每周二、四、六利用课外时间训练 2 节课(80 分钟),中间从未间断,珠心算测试成绩优良。最后确定被试共 32 名(男女各半),经过珠心算的儿童和未经过珠心算儿童各 16 名,年龄 10~11 岁,平均年龄 10.5 岁,皆首次参加 ERP 实验,全部为右利手;视力或矫正视力均在 1.0 以上。

2.2 实验材料

实验材料由算式和答案两部分组成,在 12~98 之间选取随机数字,组成 120 个由两个加数形成的算式,其中相同的加数或个位相同的算式不用(如 26+26 或 26+36),个位数相加和是 10 的算式也不采用(如 24+36)。保证答案也是两位数,其变化范围在 25~98 之间。

算式为两位数加法,结果也为两位数。共 120 道题,其中答案与算式一致和不一致的题目各 60 道,呈现答案与实际正确答案不一致的情况有两种:

^{*} 基金项目:国家教育部与财政部批准立项。

作者简介:孙延超,山东潍坊医学院人文社会科学学院,讲师。E-mail:blsq@163.com。

个位相差±2,十位相差±10。将 120 道题分为 6 小组,每组 20 道题,其中答案正确和错误的各一半,实验时随机呈现。

2.3 实验程序

电极安装完毕后,被试坐在靠背椅上,双手拿反应键盒,面对显示器屏,视距为 60cm。实验开始时,要求被试注视屏中央注视点(白色十字)。

实验开始时,首先在屏幕中央出现简短的实验指导语,被试阅读完毕后,按键开始呈现刺激项目,先呈现算式,然后再呈现答案,要求被试在算式呈现的时候尽快的把结果心算出来,当答案呈现的时候尽快判断这个答案是否正确,若正确按反应盒的 1 键,错误按 4 键。算式呈现时间为 2000ms,算式与答案的刺激间隔 (ISI) 为 500ms,答案呈现时间为 800ms,反应窗口 (windows) 为 1500ms,答案与下个算式的间隔 (ISI) 为 1700ms (如图 1)。预实验结果表明,该实验程序中所使用的时间间隔能保证被试的正确率在 80% 以上。正式实验前,每个被试都要做一个包含 10 道题目的练习,在确认被试理解实验要求后开始正式实验。

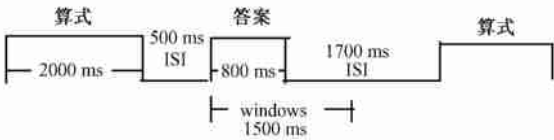


图 1 实验程序

每个被试都要完成 6 组实验,组与组之间有短暂休息。组的呈现顺序随机排列。实验时正确按键与错误按键左右手交叉平衡。

2.4 ERP 记录

实验仪器为 NeuroScan ERP 工作站。参考电极置于左右乳突,前额发际下 1 厘米接地,同时记录水平眼电和垂直眼电。滤波带通为 0.05~40 HZ,采样率为 1000HZ/导,头皮电阻小于 5 千欧。EEG 记录部位为国际 10~20 系统,用标准化 32 导电极帽记录脑电

2.5 数据分析和统计

对脑电记录的叠加平均处理是脱机进行的,分别将两类被试反应正确的加法算式所诱发的 ERP 进行叠加。伴有眨眼、眼动、肌电等伪迹的数据均被排除。EEG 的分析窗口为 -100~300 ms,用 -100~0 作为基线进行矫正。通过分类叠加,可得到两类不同刺激诱发的 ERP。根据本实验目的和结果,选取颞枕区 (P7/P8),枕区 (O1, OZ, O2) 和额中央区 (FZ, FCZ, CZ) 几个电极点作为分析部位的代表点。

在头皮后部 P100 的分析时间窗口为 50~150ms, N170 的分析时间窗口为 140~220 ms,头皮前部 N1 为 75~150 ms, P2 为 180~270 ms,采用峰振幅和峰潜伏期的测量方法。对结果用 30 Hz 的低通零相位滤波。用 SPSS 统计软件对上述各段波幅、潜伏期分别进行 2×3 因素的重复测验方差分析,组间因素为被试类型(两个水平:珠心算训练儿童和非珠心算训练儿童)、组内因素为电极位置(三个水平对枕区 P100,两个水平对颞枕区 N170,三个水平对额中央区 N1、P2)。用 Greenhouse-Geisser 法校正 P 值。

3 实验结果

3.1 行为数据结果

珠心算训练儿童加法运算的正确率为:93%;非珠心算训练儿童的正确率为:84%。两组儿童的正确率均高于随机猜测水平。对两组儿童的运算正确率进行统计分析,结果差异显著, $F_{(1,30)} = 26.15, p < 0.01$,珠心算儿童的正确率显著高于非珠心算儿童的正确率。反应时差异显著, $F_{(1,30)} = 7.95, p < 0.01$,珠心算儿童的平均反应时 ($M = 603 \text{ ms}, SD = 33.5$) 小于非珠心算儿童的平均反应时 ($M = 892 \text{ ms}, SD = 97.5$)。

3.2 波形的整体特征

总体观察,珠心算训练儿童与非珠心算训练儿童在加法心算条件下所诱发的 ERPs 曲线在基本特征上具有一致性。可以观察到一般的视觉诱发反应,即以枕区 (O1, OZ 和 O2) 为主的 P1 (平均潜伏期为 124 ms) (见图 2)、额中央区 (FZ, FCZ, CZ) 的 N1 (平均潜伏期为 126 ms)、P2 (平均潜伏期为 203 ms) (见图 3),此外还有颞枕区 (P7, P8) 的 N170 (平均潜伏期为 195 ms) (见图 2)。从图 2 中可以看出,珠心算儿童心算过程中诱发的枕区 P1 波幅比非珠心算儿童的 P1 波幅更正,二者在颞枕区 N170 的波幅差异也是如此,珠心算儿童的 N170 波幅比非珠心算儿童的 N170 波幅更正。从图 3 中也可以看出,两类被试在额中央区的 N1 波幅和 P2 波幅也存在差异,珠心算训练儿童的 N1、P2 波幅比非珠心算训练儿童的 N1、P2 波幅更负。

3.3 枕区 P1 成分的分析

枕部 P1 波幅的被试类型主效应显著, $F_{(1,30)} = 6.43, p < 0.05$ (见图 2),珠心算训练儿童的 P1 波幅 ($14.67 \mu V$) 显著大于非珠心算训练儿童的 P1 波幅 ($10.23 \mu V$)。

对 P1 的潜伏期进行统计分析,各效应均不显著。

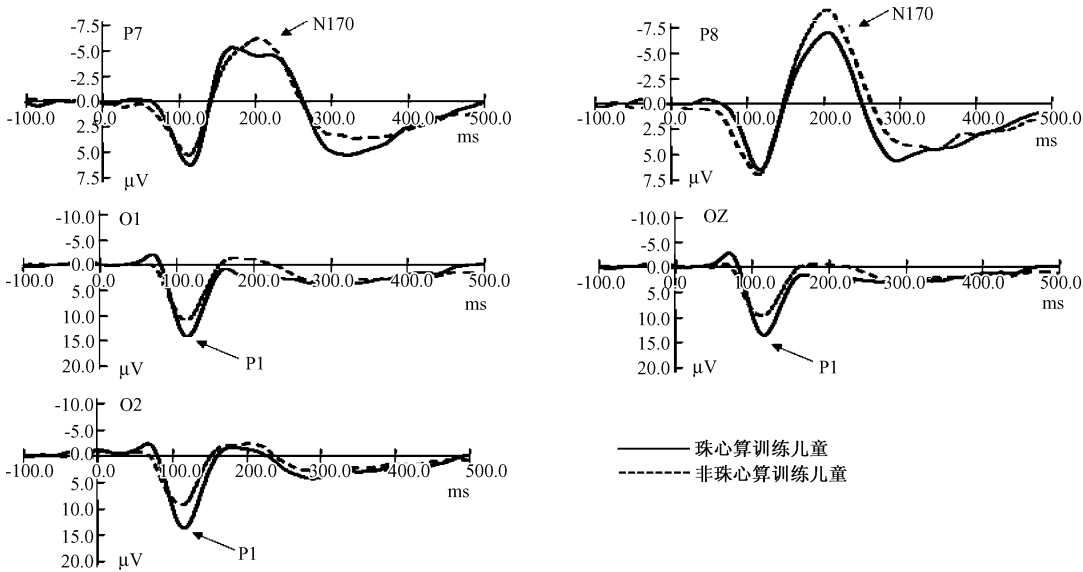


图 2 后部 P1 和 N170 波形总平均图

3.4 额中央区 N1 成分的分析

前部 N1 波幅的电极位置主效应显著, $F_{(2,60)} = 3.72, p < 0.05$ 。被试类型主效应显著, $F_{(1,30)} = 4.25, p < 0.05$ (见图 3), 珠心算儿童的 N1 波幅(5.79 μV)大于非珠心算儿童的 N1 波幅(4.39 μV)

对前部 N1 的潜伏期进行统计分析, 只有电极位置主效应显著, $F_{(2,60)} = 4.07, p < 0.05$ 。

3.5 颞枕区 N170 成分

后部 N170 波幅的电极位置主效应显著, $F_{(1,30)} = 10.26, p < 0.01$, P7 波幅(6.89 μV)小于 P8 的波幅(9.23 μV)。被试类型主效应显著, $F_{(1,30)} = 6.83, p$

< 0.05 (见图 2), 珠心算儿童的 N170 波幅(6.66 μV)小于非珠心算儿童的 N170 的波幅(9.47 μV)。

N170 的各潜伏期主效应均不显著。

3.6 额中央区 P2 成分

前部 P2 波幅的电极位置主效应显著, $F_{(2,60)} = 7.78, p < 0.01$ 。被试类型主效应显著, $F_{(1,30)} = 5.57, p < 0.05$ (见图 3), 珠心算儿童的 P2 的波幅(4.94 μV)小于非珠心算儿童的 P2 的波幅(6.79 μV)。

前部 P2 潜伏期各主效应均不显著。

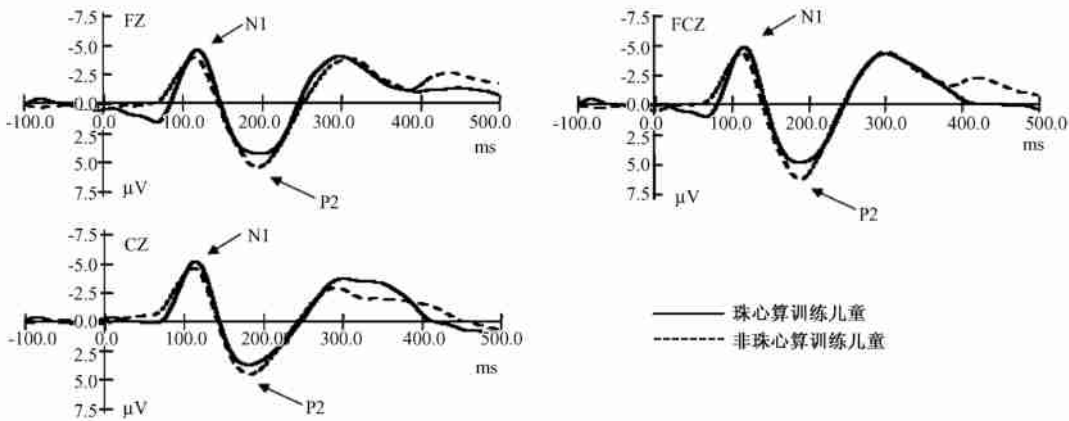


图 3 额中央区的 N1 和 P2 波形总平均图

4 讨论

本研究以双位数加法运算为实验材料, 发现珠心算训练儿童和非珠心算训练儿童在进行心算过程中对算式感知的 ERP 早期成分存在显著差异。ERP

早期成分反映刺激辨别的心理加工^[6,7], 因此, 本实验表明, 珠心算训练对儿童的心算认知加工的早期阶段, 即感知觉阶段有显著影响, 主要体现在枕叶、颞枕区和额中央区。

孙积宁等人关于珠心算功能磁共振成像的研究

发现,经过珠心算训练的儿童在执行心算任务时主要激活枕叶和顶叶^[5],Tanaka 等的研究结果亦发现,在处理数字时,珠算能手的视觉—空间工作记忆相关脑皮层区(包括双侧额上回和顶上小叶)激活更明显^[8]。与本研究结果相符,经过珠心算训练的儿童枕部的 P1 波幅以及额中央区的 N1 波幅都大于未经过珠心算训练儿童的波幅。以往研究发现,枕叶视皮层不仅与真实的视觉有关,而且在视觉想象实验中也会被激活^[9,10],枕部的 P1 和额中央区的 N1 与注意呈正相关^[11,12],其中 N1 反映了注意焦点内的识别过程,这似乎预示,珠心算训练儿童在心算的早期感知就能引起高度注意,并且很可能自动对数字进行想象加工。

本研究还发现,在两侧颞叶由刺激所引发的 N170 成分在珠心算训练儿童和非珠心算训练儿童之间也存在显著差异。N170 经常被看作是面孔识别的特异性成分^[13,14],但也有研究指出 N170 还反应了物体辨别和分类的视觉加工阶段^[15,16]。在心算过程的早期感知阶段,非珠心算儿童 N170 的波幅要比珠心算儿童 N170 的波幅大,这表明珠心算训练儿童在辨别刺激的时候所消耗的脑资源要比非珠心算训练儿童的少。这可能是因为珠心算训练儿童在更早的时候(100 ms 左右)就已经动用了足够的资源来进行感知,因此在这个加工时段所需要的资源就相应减少。C.L.Chen 等人的研究发现,心算过程中珠心算能手在双侧颞叶的激活比非珠心算能手的激活程度要高^[3],与我们的研究结果不符。这可能是因为研究手段不同而造成的差异,功能磁共振成像在时间定位方面并不具备优势。在心算的早期感知阶段,颞叶可能只负责物体的辨别和分类,而到具体运算阶段(包括提取所有中间结果和最后结果),颞叶作为采用视觉空间策略的重要脑区才发挥重要作用。

还有研究表明,P2 不仅反映了感知觉的视觉编码阶段^[17],而且与数字认知加工的早期激活有关^[18]。在实验中,珠心算训练儿童 P2 的波幅显著小于非珠心算训练儿童的 P2 波幅。这说明珠心算训练儿童对数字的认知加工较容易被激活。有些研究发现,经过学习和训练之后,由于作业的自动化程度提高,负责该功能的某个脑区的激活程度比学习前减弱^[19,20]。由于珠心算的训练方式(在头脑中将数字转换为图象珠子)与数字加工密切相关,因此长期训练可能会降低儿童对数字的早期激活阈限,提高其对数字认知加工的自动化程度。

珠心算的功能磁共振成像研究的结果表明,珠心算能手更倾向于采用视觉空间策略来进行运算^[3~5],结合本实验结果,视觉空间心算策略的影响在心算加工的早期阶段就已经产生。这可能与珠心算能手心算时的认知加工方式有关,在采用视觉空间策略时,珠心算能手的数字加工以平行加工为主,在数字感知的同时就把数字串转换为心理算盘^[1,2]。

5 结论

(1)珠心算训练儿童心算过程的早期感知与一般儿童差异显著;珠心算训练儿童的枕部 P1、前部 N1 波幅都有显著提高,而颞区 N170、前部 P2 波幅则有所下降。

(2)珠心算训练使儿童对心算视觉刺激的感知、辨别以及认知加工在较早的阶段就已经开始,视觉空间心算策略的影响在心算加工的早期阶段就已经产生。

参考文献:

- [1]Hishitani S. Imagery experts: How do expert abacus operators process imagery? *Applied Cognitive Psychology*, 1990, 4: 33—46.
- [2]高民,沈泓.珠心算的心理机制实验研究评述. *心理科学*, 1999, 22: 419—422.
- [3]Chen C L, Wu T H, et al. Prospective demonstration of brain plasticity after intensive abacus-based mental calculation training: An fMRI study. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 2006, 569(2): 567—571.
- [4]Feiyan Chen, Zhenghui Hu, et al. Neural correlates of serial abacus mental calculation in children: A function MRI study. *Neuroscience Letters*, 2006, 403(1): 46—51.
- [5]孙积宁,王滨.珠心算的功能磁共振成像研究. *中国临床医学影像杂志*, 2007, 18(3): 153—156.
- [6]Ruxandra Stancu-Cosson, Philippe Pinel, et al. Understanding dissociations in dyscalculia: A brain imaging study of the impact of number size on the cerebral networks for exact and approximate calculation. *Brain*, 2000, 123(11): 2240—2255.
- [7]Eva Turconi, Boutheina Jemel, et al. Electrophysiological evidence for differential processing of numerical quantity and order in humans. *Cognitive Brain Research*, 2004, 21(1): 22—38.
- [8]Tanaka S, Michimata C, Kaminaga T, et al. Superior digit memory of abacus experts: an event-related functional MRI study. *Neuroreport*, 2002, 13(17): 2187—2191.
- [9]Thompson W L, Kosslyn S M, Suck K E, et al. Mental imagery of high- and low-resolution gratings activates area V. *Neuroimage*, 2001, 14(2): 454—464.
- [10]Ishai A, Haxby J V, Ungerleider L G. Visual imagery of famous faces: effects of memory and attention revealed by fMRI. *Neuroimage*, 2002, 17(4): 172—174.
- [11]Manjun G R, Hillyard S A. Modulations of sensory-evoked brain

potentials indicates changes in perceptual processing during visual-spatial priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception Performance*, 1991, 17(5), 1057-1074.

[12]罗跃嘉. 早期 ERP 效应与视觉注意空间等级的脑调节机制. *心理学报*, 2001, 33(5), 385-389.

[13]Bentin S, Allison T, Puce, et al. Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1995, Vol 8(6), 551-565.

[14]Farah M J, Wilson, Kevin D, et al. What is "special" about face perception? *Psychological Review*. 1998, 105(3), 482-498.

[15]Guillaume A R, Marc J M. Animal and human faces in natural scenes; How specific to human faces is the N170 ERP component? *Journal of Vision*. 2004(1), 4, 13-21.

[16]Rossion B, Joyce C A, et al. Early lateralization and orientation

tuning for face, word and object processing in the visual cortex. *NeuroImage*, 2003, 20(3), 1609-1624.

[17]Coles M G H, Rugg M D. Event-related brain potentials; An introduction. In M. D. Rugg & M. G. H. Coles(Eds.), *Electrophysiology of minds: ERPs and cognition*. 1995, (p. 1-26). New York: Oxford University Press.

[18]Jian Kong, Yuping wang, et al. Brain potentials during mental arithmetic-effects of problem difficulty on event-related brain potentials. *Neuroscience Letters*. 1999, 260(3), 169-172.

[19]McCandliss B D, et al. Brain plasticity in learning visual words. *Cognitive Psychology*, 1997, 33(1), 88-110.

[20]Kassubek J, Schmidtke K, et al. Changes in cortical activation during mirror reading before and after training: an fMRI study of procedural learning. *Cognitive Brain Research*, 2001, 10(3), 207-217.

The Research of ERPs on the Early Process of Additive Mental Calculation by Mental Abacus Calculation Children

SUN Yan-chao LIU Xiu-yan WANG Dong GAO Wei-xing ZHAO Lun
(Weifang Medical College, Shandong Weifang 261042, China)

Abstract: To explore the influence of mental abacus calculation training on children's early perception of additive mental calculation, 32 children were investigated through two-digit additive mental calculation by event-related potentials (ERPs) technology. The results showed that the amplitudes of the posterior P1 and central-prefrontal N1 evoked by the children with mental abacus calculation training were larger than that of the children without mental abacus calculation training, but the amplitudes of temporal-posterior N170 and central-prefrontal P2 were smaller than that of the children without mental abacus calculation training in the early stag of additive mental calculation. It was indicated that the early perception of children in the mental calculation process was influenced by mental abacus calculation training.

Key words: mental abacus calculation; ERP; early component; perception