

9~11 岁儿童形式运思能力发展的 ERP 研究^{*}张 琼¹ 施建农^{**2}⁽¹⁾浙江大学心理与行为科学系, 杭州, 310028) ⁽²⁾中国科学院心理研究所, 北京, 100101)

摘 要 关于儿童认知发展的静息电位研究支持儿童发展的连续性与阶段性的统一, 但诱发电位研究没能提供类似的证据, 可能因为以往研究采用的 oddball 任务不够敏感。本研究通过改编形式运思任务来继续深入探讨儿童认知发展与大脑发育的关系。31 名儿童(9 岁组 11 人, 10 岁组 10 人, 11 岁组 10 人)完成形式运思任务, 并同时记录脑电。结果发现: 随着年龄增长, 反应时逐渐缩短, 正确率逐渐增高; 三组儿童中, 10 岁组 N380 波幅最低, 10 岁组 350-400 毫秒的电位图较其他两组更为弥散。

关键词: 儿童 形式运思 发展 事件相关电位

1 引言

发展心理学关于儿童心理发展的历程一直以来存在着两种对立的观点, 一种观点认为, 发展是不连续的、分阶段进行的, 另一些人则主张发展是连续的变化过程。这些心理学家在建构自己理论时还从脑电生理研究中寻找支持证据^[1]。目前, 静息脑电图研究中的主要观点认为大脑发育既是连续的, 也是阶段性的, 比如, Thatcher 利用 EEG 相干发现大脑发育是连续的, 但同时也发现皮层连接每四年出现一个高峰, 表现为一种阶段性^[2,3]; Matousek 和 Peterson 报道了 EEG 波段功率变化的线性趋势^[4], 后来 Hudspeth 和 Pribram 分析了同一批数据, 发现 EEG 波段功率中有非连续的变化^[5]。但是脑诱发电位方面的一些证据却认为大脑发育和认知发展是连续的变化过程。比如, Courchesne 等发现 P300 的波幅和潜伏期随年龄增加而降低^[6]; Friedman^[7]、梁福成等^[8]也有同样的发现。研究者们分析出现这种现象的原因可能在于以往研究采用的 Oddball 任务不够敏感, 因此, Wijker^[9]建议采用其他更为敏感的任务进行研究。Stauder 等^[10,11]尝试将皮亚杰的液量守恒任务进行改编, 发现在不同运思阶段的儿童中, 刺激呈现后 400 毫秒和 900 毫秒脑诱发电位的头皮分布、偶极子定位都存在显著差异, 提示处于不同运思阶段的儿童可能存在大脑信息加工模式的质的差异, 也支持了 Wijker 的观点。但这一研究只是初步探索, 要从诱发电位研究的角度来探讨大脑发育和认知发展的关系仍需更多的研究。

Jeeves 和 Greer(1983)的开关板任务(switchboard)被认为可以反映皮亚杰对形式运思和 INRC(恒等性转换、反演性转换、互反、对射性转换四种命题)群的定义^[10-12], 本研究拟采用这一任务继续探讨儿童认知发展与大脑发育的关系, 旨在寻求能反映儿童发展的更多的证据。

2 方法

2.1 被试

31 名儿童随机选自北京市某两所小学, 其中 9 岁组为 11 人(7 男 4 女), 10 岁组为 10 人(4 男 6 女), 11 岁组为 10 人(5 男 5 女)。所有被试均身心健康、右利手、视力正常或矫正后正常, 均为首次参加认知实验。

2.2 刺激材料

刺激材料为黑色背景上的一个方形, 方形被分成左、右、下三部分(见图 1)。每一部分内各有三个小正方形。这些正方形或为白色, 或为红、蓝、黄色。刺激材料分为两种类型, 一为单一条件, 各彩色方形仅颜色不同; 一为复合条件, 各彩色方形有颜色和形状之分。被试的任务是判断在水平框内出现的所有彩色方形是否和上面两个框中出现的所有彩色方形匹配。

2.3 实验程序

被试坐于隔音室内一张舒适的椅子上, 双眼注视屏幕中心点, 眼睛距屏幕 80 厘米, 刺激材料大小为 $3^{\circ} \times 4^{\circ}$ 。刺激由刺激系统(荷兰 Evoke 系统)产生并控制。图 1 所示为实验流程。首先在屏幕中央呈现一个刺激 2000 毫秒之后, 间隔 500 毫秒, 随机化 100 毫秒。要求被试判断两组彩色方形是否匹配, 认为匹配者按“左键”, 不匹配者按“右键”。要求被试尽可能又快又准地反应。对按键的左右手在被试间进行平衡。单一条件及颜色、形状条件各有图片 16 张, 每张图片呈现次数为 20 次, 共 640 个试验, 分 5 组进行。每组大约为 5 分钟左右, 组间休息时间由被试自己控制。正式实验开始之前, 进行 16 次练习试验。

2.4 ERP 记录和分析

实验仪器为荷兰 ANT (Enchedes, The Netherlands)脑电记录工作站。记录电极固定于 64 导电极帽(Neuroscan Inc., Sterling, Virginia, USA)。以双侧乳突为参考电极点。位于左眼上下眶的电极记录垂直眼电(VEOG), 位于左右眼角外 1 厘米处的电极记录水平眼电(HEOG)。头皮与电极之间的阻抗小于 $5\text{K}\Omega$ 。信号经放大器放大, 连续记录 EEG, 采用直流(DC)记录, 采样频率为 500Hz/导。

* 基金项目: 中国博士后科学基金项目(20060400333), 国家自然科学基金项目(30670716), 中国科学院知识创新工程重点项目(KSCXZ-SW-211)。

** 通讯作者, 施建农: E-mail: shjian@psych.ac.cn

对连续记录的 EEG 数据进行离线分析。滤波带宽为 0.01—30Hz。半自动矫正眼电伪迹。其它原因造成的伪迹使脑电电压超过 $\pm 100\mu\text{V}$ 的脑电事件被去除。对刺激出现前 100ms 至出现后 2000 ms 的脑电进行分析,以刺激出现前 100ms 作为基线。对不同年龄的三组被试由不同刺激类型引发的脑电进行分别叠加和平均。

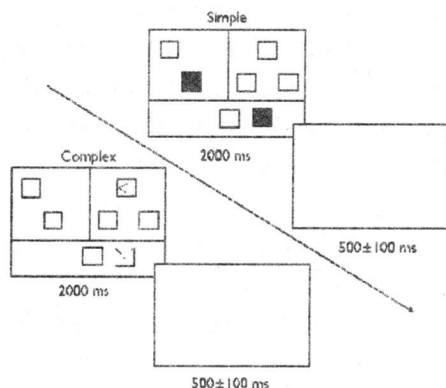


图1 刺激材料及实验程序示意图

不同刺激类型的刺激诱发的 ERP 成分相似,从整体上看原始波形,刺激材料主要引起头皮前部的 N100, P225, N380, LPC,在头皮后部则是 P100, N250 和 LPC(见图 2)。从波形总平均图可以看出,不同刺激类型和不同年龄水平被试间差异主要体现在额区的 P225、N380、LPC。选择以下 10 个电极位置记录的 ERP 用于统计分析: AF3/AF4、F3/F4、FC3/FC4、Fz、FCz、Cz、CPz。根据总平均图确定 ERP 各成分的时间分析窗口,头皮前部的 P225 为 180—300ms,测量其峰潜伏期和波幅。N380 为 300—450ms,测量其峰潜伏期和波幅。LPC 为 450—2000ms,测量其潜伏期和平均波幅。对 P225、N380 的潜伏期和波幅以及 LPC 的潜伏期、平均波幅进行重复测量的方差分析。其中年龄(3 个水平)为组间因素,刺激类型(2 个水平)、电极位置(10 个水平)均为组内因素。采用 Greenhouse—Geisser 法校正自由度和 p 值。

3 结果

3.1 行为数据

表 1 不同年龄(岁)儿童完成不同刺激类型的反应时中值(ms)和正确率(%)

年龄	反应时		正确率	
	颜色	颜色+形状	颜色	颜色+形状
9	1374.72 (52.31)	1475.27 (41.90)	.79 (.04)	.78 (.03)
10	1194.56 (54.86)	1282.75 (43.94)	.90 (.04)	.94 (.03)
11	1036.04 (54.86)	1104.98 (43.94)	.88 (.04)	.89 (.03)

正确率:年龄主效应显著($F(2, 28) = 4.47, p = 0.002$),进一步比较发现 9 岁组正确率(78%)显著低于 10、11 岁组正确率(92%、89%)。刺激类型主效应不显著($F(1, 28) = 0.07, p = 0.793$)。刺激类型与年龄交互作用不显著($F(2, 28) = 1.25, p = 0.303$)。

反应时:年龄主效应显著($F(2, 28) = 15.27, p = 0.000$),进一步比较发现 11 岁组反应时(1070.51 ms)、10 岁组反应时(1238.66 ms)显著短于其他 9 岁组(1424.99 ms)。

对脑电记录过程中同时记录的反应时和正确率进行分析。对不同年龄(3 组)、不同刺激类型(2 个水平)的反应时和正确率进行重复测量的方差分析。采用 Greenhouse—Geisser 法校正自由度和 p 值。

三组被试不同刺激类型下的反应时中值和正确率见表 1。

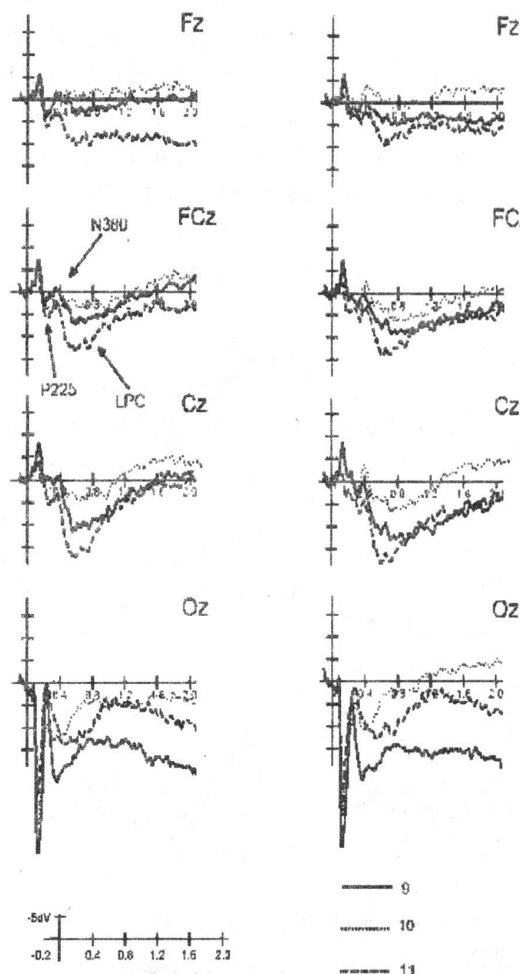


图2 不同年龄被试在两种刺激类型下的总平均图,左列为单一条件,右列为复合条件。

刺激类型主效应显著($F(1, 28) = 18.57, p = 0.000$),单一条件下反应时短于复合条件下的反应时(1201.77 vs. 1287.66 ms)。刺激类型与年龄交互作用不显著($F(2, 28) = 0.22, p = 0.808$)。

3.2 脑电数据

3.2.1 P225 波幅:刺激类型主效应显著($F(1, 28) = 9.82, p = 0.004$),单一条件下的波幅低于复合条件下的波幅(1.54 μV , 2.81 μV)。电极主效应显著($F(9, 252) = 24.93,$

$p=0.000$)。年龄主效应不显著 ($F(2, 28) = 2.17, p = 0.133$)。电极与年龄交互作用显著 ($F(18, 252) = 2.22, p = 0.042$)，刺激类型与电极交互作用显著 ($F(9, 252) = 10.89, p = 0.000$)。刺激类型与年龄交互作用不显著 ($F(2, 28) = 0.79, p = 0.465$)，刺激类型、电极与年龄三者交互作用不显著 ($F(18, 252) = 1.43, p = 0.219$)。

3.2.2 P225 潜伏期：刺激类型主效应显著 ($F(1, 28) = 5.47, p = 0.027$)，单一条件下潜伏期短于复合条件下的潜伏期 ($243.67 \text{ ms vs. } 255.21 \text{ ms}$)。电极主效应显著 ($F(9, 252) = 4.19, p = 0.012$)。年龄主效应不显著 ($F(2, 28) = 2.30, p = 0.746$)，刺激类型与年龄交互作用不显著 ($F(2, 28) = 1.60, p = 0.220$)，电极与年龄交互作用显著 ($F(18, 252) = 3.48, p = 0.007$)，刺激类型与电极交互作用显著 ($F(9, 252) = 5.82, p = 0.000$)，刺激类型、电极与年龄三者交互作用显著 ($F(18, 252) = 2.56, p = 0.010$)。

图 3 三个年龄组在两种刺激类型下 FCz 点诱发电位的总平均图及 350—400ms 时窗的电位图，左列为单一条件，右列为复合条件。诱发电位总平均图中，实线为 9 岁，虚线为 10 岁，断线为 11 岁；电位图从上至下为 9 岁、10 岁、11 岁)。

3.2.3 N380 波幅：刺激类型主效应不显著 ($F(1, 28) = 1.01, p = 0.324$)，电极主效应显著 ($F(9, 252) = 17.18, p = 0.000$)。年龄主效应显著 ($F(2, 28) = 7.40, p = 0.003$)，9、10、11 岁的波幅分别为

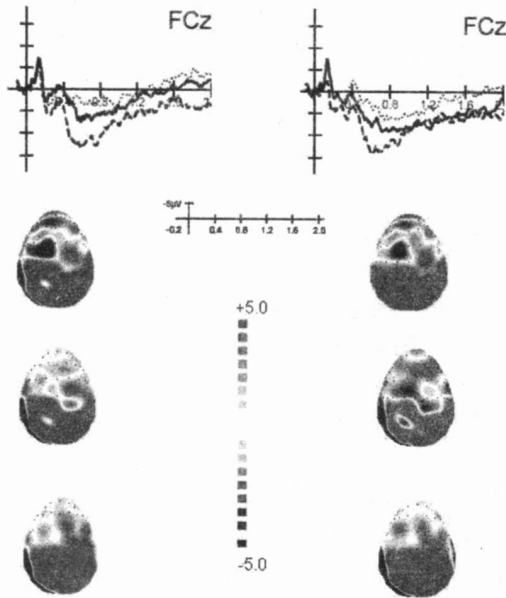


图 3

-5.51、-0.04、-2.28 μV 。刺激类型与年龄交互作用不显著 ($F(2, 28) = 0.31, p = 0.735$)，电极与年龄交互作用不显著 ($F(18, 252) = 1.81, p = 0.102$)，刺激类型与电极交互作用显著 ($F(9, 252) = 3.84, p = 0.015$)。刺激类型、电极与年龄三者交互作用不显著 ($F(18, 252) = 1.76, p = 0.123$)。

我们选择了在 330—400ms 时窗下电极位置 FCz 的脑电位图进行分析，见图 3。从电位图中可以看出，10 岁组的电

位分布比 9、11 岁更为弥散。

3.2.4 N380 潜伏期：刺激类型主效应显著 ($F(1, 28) = 4.78, p = 0.037$)，单一条件下潜伏期短于复合条件下的潜伏期 ($353.90 \text{ vs. } 371.75 \text{ ms}$)。电极主效应显著 ($F(9, 252) = 14.34, p = 0.000$)。年龄主效应不显著 ($F(2, 28) = 0.02, p = 0.978$)。刺激类型与年龄交互作用不显著 ($F(2, 28) = 0.62, p = 0.548$)。电极与年龄交互作用不显著 ($F(18, 252) = 1.24, p = 0.289$)。刺激类型与电极交互作用显著 ($F(9, 252) = 4.56, p = 0.002$)。刺激类型、电极与年龄三者交互作用不显著 ($F(18, 252) = 0.91, p = 0.508$)。

3.2.5 LPC 潜伏期：刺激类型主效应显著 ($F(1, 28) = 5.30, p = 0.029$)，单一条件下潜伏期短于复合条件下的潜伏期 ($663.17 \text{ vs. } 770.89 \text{ ms}$)。电极主效应显著 ($F(9, 252) = 4.01, p = 0.010$)。年龄主效应不显著 ($F(2, 28) = 0.17, p = 0.846$)。刺激类型与年龄交互作用不显著 ($F(2, 28) = 0.60, p = 0.578$)，电极与年龄交互作用不显著 ($F(18, 252) = 2.17, p = 0.054$)。刺激类型与电极交互作用显著 ($F(9, 252) = 2.97, p = 0.023$)。刺激类型、电极与年龄三者交互作用不显著 ($F(18, 252) = 1.49, p = 0.171$)。

3.2.6 LPC 平均波幅：刺激类型主效应不显著 ($F(1, 28) = 1.00, p = 0.331$)。电极主效应显著 ($F(9, 252) = 37.92, p = 0.004$)。年龄主效应不显著 ($F(2, 28) = 1.05, p = 0.372$)。刺激类型与年龄交互作用不显著 ($F(2, 28) = 1.40, p = 0.274$)，电极与年龄交互作用不显著 ($F(18, 252) = 0.32, p = 0.809$)。刺激类型与电极交互作用不显著 ($F(9, 252) = 2.41, p = 0.085$)。刺激类型、电极与年龄三者交互作用不显著 ($F(18, 252) = 0.61, p = 0.708$)。

4 讨论

本研究拟考察 9—11 岁儿童认知发展的脑电证据，研究采用的类形式运思任务，符合 ERP 研究的要求，即刺激呈现时间较短，且对重复出现的刺激进行迭加^[13]。这一任务与 oddball 任务^[7,8,14]相比，不仅能提供行为数据，还能通过由该任务引起的诱发电位更为敏感地提供认知加工时的脑电变化。

本研究发现，三个年龄组的儿童在完成类形式运思任务时，反应时、正确率、N380 波幅均表现出显著差异。其中，反应时随年龄增长而不断缩短；正确率随年龄增长而增高；刺激呈现后约 380 毫秒后的脑电负成分(N380)波幅在 9 岁组最大，10 岁组最小，且 10 岁组 350—400 毫秒的脑电位图相对其他两组更为弥散。与以往研究一致的是，反应时和正确率的组间差异反映了儿童随年龄增长出现的信息加工能力的差异^[15]。

研究中 N380 的波幅、电位图随年龄的发展变化反映了儿童随增龄的信息加工模式变化^[6]，它也体现了内源性成分对成熟的敏感。另外，N380 最大波幅在额中央区，提示这一成分可能起源于前额皮层。N380 与由 Stroop 效应引发的 410 毫秒处的负成分在潜伏期、头皮分布方面类似^[16]。由于

在本研究的作业中,被试对刺激进行预处理、提取刺激类型、在干扰刺激列中寻找或辨别靶刺激,并进行靶刺激的匹配,这些都需要一种较高水平的对干扰刺激进行抑制的能力^[17],所以可以认为 N380 也体现了一种对干扰的抑制。本研究中 10 岁组的 N380 波幅最低,可能提示 10 岁组被试用于排除干扰刺激、进行刺激匹配的加工效能低,脑电图发现 10 岁组脑区电位较其他两组更为弥散。根据 Courchesne 的铂金标准:潜伏期和波幅随年龄增长而降低表明儿童成长后信息加工的效能增强,而 ERP 成分的头皮分布变化则反映策略的转换或者说信息加工的模式的变化。因此,我们可以推测本研究的被试群体中,10 岁有着脑功能的质的变化。Stauder 等^[18]对 9 岁儿童进行追踪研究,也认为在 9—10 岁之间存在一个关于智力与 ERP 关系的质的变化。Barry 等^[19]研究也表明,在 9 岁后可能存在一种神经修剪,当然,这种修剪需要适宜的环境刺激才能更为有效。因此,我们认为 10 岁组的表现并不意味着认知水平的倒退,反而代表着认知水平可能进入一个新的阶段。但这种发展是否与皮亚杰认知发展理论中的形式运思的发展过渡有关,仍需纵向研究的支持。

研究中 N380 最大波幅在额中央区,提示其发生源在额叶皮层,这与最近关于额叶成熟的理论较为一致,研究者认为,额叶成熟是许多认知功能包括行为组织等发展的基础^[20,21],而根据皮亚杰的观点,在儿童发展过程中,行为图式将被重新组织,因此,我们可以大胆推测,这些图式的重组可能正是额叶皮层成熟的结果。

5 结论

9,10,11 岁三组被试完成类形式运思任务时,随着年龄增长,反应时缩短,正确率增高。年龄差异在额中央区 N380 的波幅中体现,10 岁组 N380 波幅最低,10 岁组 330—400 毫秒的脑电图较其他两组更为弥散,10 岁组可能存在大脑发育和认知发展的质的变化。

6 参考文献

- Case R. The role of the frontal lobes in the regulation of cognitive development. *Brain and Cognition*, 1992, 20(1): 51—73
- Thatcher R W. Maturation of the human frontal lobes: Physiological evidence for staging. *Developmental Neuropsychology*, 1991, 7: 397—419
- Thatcher R W. Cyclic cortical reorganization during early childhood. *Brain and Cognition*, 1992, 20(1): 24—50
- Matousek M., Petersen I. Automatic evaluation of EEG background activity by means of age — dependent quotients. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1973, 35 (6): 603—612
- Hudspeth WJ., Pribram K H. Psychophysiological indices of cerebral maturation. *International Journal of Psychophysiology*, 1992, 12(1): 19—29
- Courchesne E. Neurophysiological correlates of cognitive development: changes in long — latency event — related potentials from childhood to adulthood. *Electro — encephalography and clinical Neurophysiology*, 1978, 45(4): 468—482
- Friedman D. The endogenous scalp — recorded brain potentials and their relationship to cognitive development. In Jennings, J R, Coles, M G H. (ed.) *Psychophysiology of human information processing: an integration of central and autonomic nervous system approaches*. New York: Wiley, 1991, pp. 621—656
- 梁福成, 董军. 儿童青少年大脑认知功能事件相关电位 P300 的年龄特征. *心理科学*, 1996, 4: 218—221
- Wijker W. ERP ontogenesis in childhood. Doctoral dissertation. Amsterdam: University of Amsterdam. 1991
- Stauder J E A., Molenaar P C M., van der Molen M W. Scalptopography of event — related brain potentials and cognitive transition during childhood. *Child Development*, 1993, 64 (3): 769—788
- Stauder J E A., Molenaar P C M., van der Molen M W. Brain activity and cognitive transition during childhood: a longitudinal event — related brain potentials study. *Child Neuropsychology*, 1999, 5(1): 41—59
- Jeeves M A., Greer C. *Analysis of structural learning*. London: Academic Press, 1983
- Handy T C. *Event — related Potentials: A methods handbook*. The MIT Press, London, 2005
- Taylor M J. Developmental changes in ERPs to visual language stimuli. *Biological Psychology*, 1988, 26(1—3): 321—338
- 邹枝玲, 施建农, 恽梅, 方平. 7 岁超常和常态儿童的信息加工速度. *心理学报*, 2003, 35(4): 527—534
- Fan J., Flombaum J I., McCandless B D., Thomas K M., Posner M I. Cognitive and brain consequences of conflict. *Neuroimage*, 2003, 18(1): 42—57
- Matthews G, Dorn L. IQ and choice reaction time: an information processing analysis. *Intelligence*, 1989, 13: 299—317
- Stauder J E A., van der Molen M W., Molenaar P C M. Age, intelligence and event — related brain potentials during late childhood: a longitudinal study. *Intelligence*, 2003, 31: 257—274
- Barry R J., Clarke A R., McCarthy R., Selikowitz M., Johnstone S J., Rushby J A. Age and gender effects in EEG coherence: I. Developmental trends in normal children. *Clinical Neurophysiology*, 2004, 115(10): 2252—2258
- Fuster J M. Frontal lobe and cognitive development. *Journal of Neurocytology*, 2002, 31(3—5): 373—385
- Stauder J E A., Molenaar P C M., van der Molen M W. Brain activity and cognitive transition during childhood: a longitudinal event — related potential study. *Child Neuropsychology*, 1999, 5: 41—59

(下转第 921 页)

- 29 Eisenberg, N., & Okun, M. A. The relations of dispositional regulation and emotionality to elders' empathy-related responding and affect while volunteering. *Journal of Personality*, 1996, 64, 157—183.
- 30 Victoria Del Barrio, Anton Aluja & Luis F. Garcia. Relationship between empathy and the big five personality in a sample of Spanish adolescents. *Social Behavior and Personality*, 2004, 32(7); 677—682
- 31 Ingrid L. van der Mark, Marinus H. van IJzendoorn, & Marian J. Bakermans—Kranenburg. Development of Empathy in Girls During the Second Year of Life: Associations with Parenting, Attachment, and Temperament. *Social Development*, 2002, 11(4); 451—468
- 32 Cassidy, J. Emotion regulation: Influence of attachment relationships. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 1994, 69(240), 228—249.
- 33 Joireman, Jeffrey A., Needham, Tami Lynn, Cummings, Amy—Lynn. Relationships between Dimensions of Attachment and Empathy. *North American Journal of Psychology*, 2001, 3(3); 63—80
- 34 Eisenberg, Nancy, Wentzel, N., Michelle, Harris, Jerry D. The Role of Emotionality and Regulation in Empathy—Related Responding. *School Psychology Review*, 1998, 27(4); 506—522
- 35 G. J. Vreeke, I. L. van der Mark. Empathy, an integrative model. *New Ideas in Psychology*, 2003 (21); 177—207
- 36 Lisa Kiang, Amanda J. Moreno, & JoAnn L. Robinson. Maternal Preconceptions About Parenting Predict Child Temperament, Maternal Sensitivity, and Children's Empathy. *Developmental Psychology*, 2004, 40(6); 1081—1092
- 37 Qing Zhou, Nancy Eisenberg, Sandra H. Losoya, Richard A. Fabes, Mark Reiser. The Relations of Parental Warmth and Positive Expressiveness to Children's Empathy—Related Responding and Social Functioning: A Longitudinal Study. *Child Development*, 2002(73); 893—915

The Mechanism and Affecting Factors of Children's Empathy

Liu Junsheng^{1,2}, Zhou Ying³

(¹ Department of Applied Psychology, Shanghai Normal University, Shanghai, 200234)

(² Center of Child Development and Family Studies, Shanghai Normal University, Shanghai, 200234)

(³ China Executive Leadership Academy, Pudong, Shanghai, 201204)

Abstract Empathy is a very important research field in psychology. The article integrated many results of relevant researches in developmental psychology, and summarized the definition, mechanism and affecting factors of empathy.

Key words: empathy, mechanism, affecting factors

(上接第 949 页)

An Event-related Potential Study of Formal-operation Development in 9 to 11-year-old Children

Zhang Qiong¹, Shi Jiannong²

(¹ Department of Psychology, Zhejiang University, Hangzhou, 310028)

(² Corresponding Author, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101)

Abstract Evidence from resting EEG showed that cognition development is both continuous and discontinuous, while evoked-potential studies failed to provide similar evidence, probably due to oddball tasks which were not sensitive enough. To investigate the electrophysiological evidence of cognitive development, an adapted formal-thinking task was employed. 31 children aged from 9 to 11 participated in the study and the electroencephalography was recorded. The results showed that reaction time decreased and accuracy increased with age. The N380 amplitude was lowest for the 10-year-old group, and the topography of 350-400 ms was more diffused for the 10-year-old group, which suggested a change of information processing mode or a transformation of brain maturation and cognitive development.

Key words: children, information processing, development, event-related potentials