

# 条件推理中无效推断被抑制的 ERP 研究<sup>\*</sup>

王宝玺<sup>1</sup> 向玲<sup>2</sup> 邱江<sup>2</sup> 张庆林<sup>\*\*2</sup>( <sup>1</sup>广西师范大学教育科学学院, 桂林, 541004) ( <sup>2</sup>西南大学心理学院, 重庆, 400715)

**摘 要** 采用 ERP 技术探讨提供替代条件时, 无效推断(AC、DA)被抑制的神经机制。实验结果表明: 在 200~800ms, AC 和 DA 比基线任务的波形有一个更加负性的偏移, 差异波和地形图分析表明, 在 200~300ms, AC、DA 在头皮前部的额、额中央、中央顶有明显的 N250; 在 300~800ms, AC 和 DA 在头皮后部中央顶、中央顶、顶叶诱发更加明显的晚负成分。从时间进程看, AC、DA 推断过程表现为从头皮前部额叶皮层到头皮后部的顶叶皮层的动态变化, 这一结果支持了演绎推理的三阶段模型理论。

**关键词:** 条件推理 无效推断 事件相关电位

## 1 前言

在条件推理中, 肯定后件式(AC)和否定前件式(DA)是无效推断形式, 因为在这两种情况下都不能得出确定的结论。胡竹菁总结前人研究发现人们接受 AC 的百分比为 57%—84%, 接受 DA 的百分比为 52%—82%<sup>[1]</sup>, 这表明人们经常错误地接受无效推断。然而一些研究发现在大前提的基础上增加一个替代条件, 被试接受无效推断的比率就会显著降低。所谓替代条件就是除了前件之外还能导致后件出现的一个条件。无效推断的抑制就是由于替代条件的检索导致条件推理中无效推断被接受的比率显著降低的现象<sup>[2]</sup>。

传统的行为研究主要采用正确率和反应时等指标来研究条件推理, 最近发展的脑成像技术为探讨推理提供了新的工具。Fangmeier 等人采用 FMRI 技术来探究演绎推理的神经机制, 结果表明演绎推理的认知加工过程存在三个阶段(三阶段模型): (1) 对前提的加工阶段, 主要激活了颞—枕皮层; (2) 整合前提的阶段, 主要激活了前额皮层; (3) 得出结论的阶段, 主要激活了顶叶皮层; 其中后两个阶段是演绎推理所特有的阶段<sup>[3]</sup>。

在我们最近的一项研究中, 首次采用 ERP 技术来探究条件推理的脑机制<sup>[4]</sup>。实验中被试先经过一定练习, 正确率达到 80% 以后再进行正式实验。在这种情况下, 被试所进行的推理更多是运用了练习中所习得的规则来进行推断的, 而在现实生活中人们常常利用替代条件的信息来抑制无效推断。因此本研究通过提供替代条件能够探究被试如何利用相关信息做出推断, 更好的反映人们在现实生活中的实际推理过程。另外, 在我们先前的 ERP 研究中, 先同时呈现大前提和小前提, 然后要求被试推断, 这可能加剧了被试的眼动。因此本研究中对前提呈现

的方式做了改进, 先呈现大前提和替代条件, 然后在呈现小前提时让被试进行推断。这种呈现方式排除了被试对大前提的扫描, 从而有效地控制眼动对脑电的影响。另外, Fangmeier 等人采用的 FMRI 技术发现演绎推理的认知加工过程存在三个阶段。由于 FMRI 技术在时间分辨率上不如 ERP 精确。因此本研究采用 ERP 技术记录脑电活动的实时变化, 通过提供替代条件探究无效推断(AC、DA)被抑制的脑机制。

## 2 实验方法

### 2.1 被试

被试来自中国农业大学的 12 名大学生, 男 5 名女 7 名, 年龄在 19~23 岁之间, 平均年龄为 21.4 岁。被试均为右利手, 无神经系统的疾病, 视力正常或者校正后正常。完成实验后得到一定的报酬。

### 2.2 实验材料

推理任务中的大前提的前件和后件涉及不同的英文大写字母, 如“如果有 A, 那么有 C”。替代条件是与大前提后件相同而前件不同的条件句, 如“如果有 B, 那么有 C”。基线任务中大前提、替代条件与推理任务一致, 但小前提只涉及字母卡片形状(圆卡片, 方卡片), 被试阅读并记住小前提, 判断与结论中呈现的卡片形状是否一致, 因此在基线任务中被试不需要做出推断。AC、DA 和基线任务分别设置 80 个。

### 2.3 实验程序

首先以文本形式呈现任务说明, 请被试设想有一些盒子放在面前, 每个盒子里都装有一些打印不同字母的卡片, 盒子里的卡片遵守以下的规则: 如“如果有 A 卡片, 那么 C 卡片(大前提); 如果有 B 卡片, 那么有 C 卡片(替代条件)”。然后让他根据小前提如“有 C 卡片, 因此…”来推断盒子中的另外一张卡片是什么。最后当电脑屏幕呈现一个结论时如

<sup>\*</sup> 国家重点学科西南大学基础心理学项目资助(项目编号: 西国重 04002)

<sup>\*\*</sup> 通讯作者: 张庆林, E-mail: zhangql@swu.edu.cn

“因此有 A 卡片”, 让他对结论做出判断。被试认为结论正确, 按“1”键, “错误”按“2”键, “不确定”按“3”键(右手的食指、中指和无名指依次放在数字 1, 2, 3 键上)。

其次给被试讲解实验流程: 首先在屏幕的中央呈现一个“+”号, 时间为 500ms; 然后呈现一个规则(大前提和替代条件), 呈现时间 3000ms, 请被试尽快看清并记住这一规则; 然后呈现小前提, 时间为 1500ms, 这时让被试根据规则和小前提推断结论; 最后在屏幕中央给出一个结论, 呈现时间 1500ms, 被试根据自己推出的结论做出判断并立即按键反应。其中十号, 规则, 小前提和结论之间都间隔 500ms。

最后让被试坐在隔音室内一张舒适的椅子上, 两眼注视屏幕的中心, 距离显示器 1m, 最大视角为 27.6 度。正式实验时推断题目随机呈现, 被试每完成 40 个推断题目休息 2~3 分钟。

## 2.4 脑电记录

采用 NeuroScan 记录与分析系统, 采用国际 10~20 系统扩展的 64 导电极帽。双眼外侧安置电极记录水平眼电, 左眼上下安置电极记录垂直眼电。滤波带通为 DC~100Hz, 采样频率为 500Hz/导, 头皮和电极之间的阻抗小于 5k $\Omega$ 。

## 2.5 ERP 数据分析和统计

分析时程为小前提出现后 1000ms, 基线为小前提出现前 200ms。对连续记录的 EEG 进行离线叠加处理。用 Neuroscan 软件校正 VEOG, 充分排除其他伪迹。对正确推断的 EEG 进行叠加。脑电波幅大于  $\pm 100\mu\text{V}$  的事件被自动剔除。对 AC、DA 和基线任务的脑电分别进行叠加平均, 用 AC、DA 减去基线任务的得到各自单纯的推理差异波。选取头皮额、额中央、中央、中央顶、顶、枕、颞的 20 个电极(F3、FZ、F4、FC5、FCZ、FC6、C3、CZ、C4、CP5、CPZ、CP6、P3、PZ、P4、O1、OZ、O2、TP7、TP8) 进行统计。采用多因素重复测量方差进行数据的统计分析, P 值进行 Greenhouse Geisser 校正。

## 3 结果

### 3.1 行为结果

被试认为 AC 和 DA 的结论为不确定的比率分别是 88.13% 和 90.10%, 两者没有显著差异, AC 和 DA 的平均反应时分别是 486.33ms 和 495.19ms, 两者也没有显著差异, 所有  $p > 0.05$ 。

### 3.2 ERP 成分

根据总平均波形(图 1) 确定把晚成分分为 200~300ms 和 300~800ms 两个窗口来测量其平均波幅。

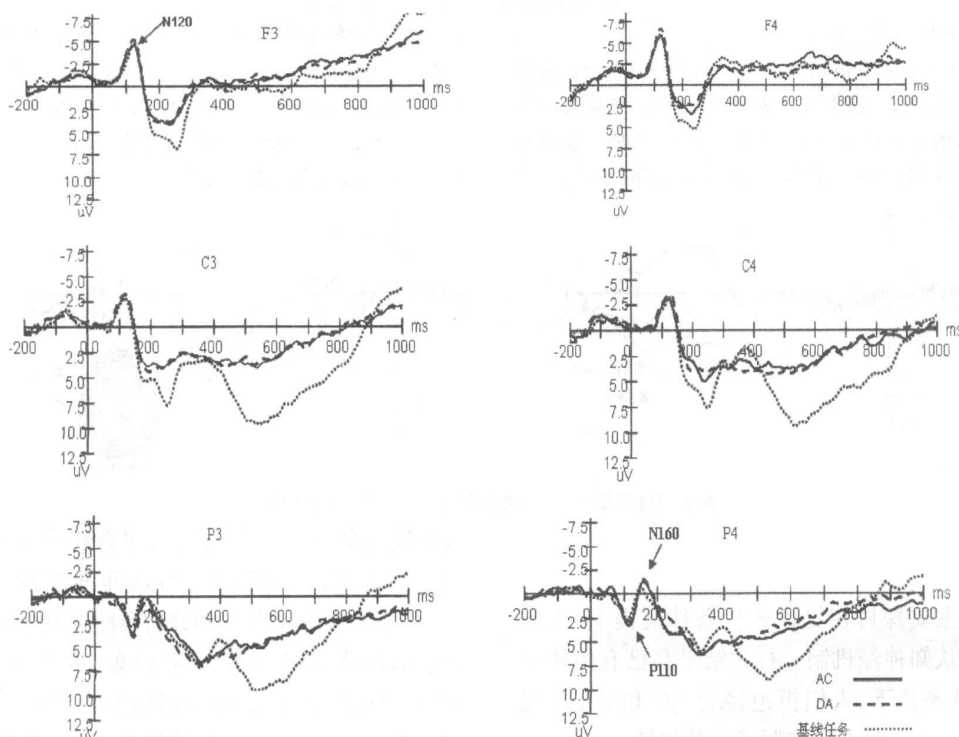


图 1 三种任务的原始波

### 3.2.1 200~300ms 的平均波幅

对 200~300 的平均波幅进行任务类型和记录点的两因素重复测量方差分析, 结果表明: (1) 任务

类型的主效应显著,  $F(2, 22) = 4.96, p < 0.01$ , 配对检验表明: AC 和 DA 的差异不显著; AC、DA 和基线任务差异显著,  $p < 0.05$ 。(2) 记录点的主效应

显:  $F(17, 187) = 3.56, p < 0.05$ ; 主要表现为头皮前部的平均波幅大于头皮后部。(3) 任务类型和记录点的交互作用显著,  $F(34, 374) = 8.58, p < 0.0001$ 。简单效应检验表明任务类型在额、额中央和中央区域的全部记录点上都存在显著差异, 所有  $p < 0.001$ 。

### 3.2.2 300~800ms 的平均波幅

对 300~800ms 的平均波幅进行任务类型、前后电极位置和左右半球的三因素重复测量方差分析, 结果发现: (1) 任务类型的主效应显著,  $F(2, 22) = 6.87, p < 0.01$ 。(2) 前后电极位置的主效应显著,  $F(6, 66) = 12.90, p < 0.001$ 。(3) 任务类型和前后电极位置的交互作用显著,  $F(12, 132) = 5.78, p < 0.001$ , 简单效应检验表明, 仅在中央、中央顶和顶叶区域任务类型之间有显著差异, 所有  $p < 0.01$ 。(4) 左右半球的主效应不显著; 任务类型和半球、电极位

置和半球以及三个因素之间的交互作用都不显著。

### 3.2.3 200~300ms 的差异波

对 200~300ms 差异波的平均波幅进行任务类型、前后电极位置和左中右半球进行三因素重复测量方差分析, 结果表明: (1) 任务类型和左中右半球的主效应不显著; 任务类型和半球的交互作用不显著; 前后电极位置的主效应显著,  $F(5, 55) = 16.95, p < 0.0001$ 。(2) 任务类型和前后电极位置的交互作用显著,  $F(5, 55) = 3.26, p < 0.05$ 。(3) 前后电极位置和半球的交互作用显著  $F(10, 110) = 2.60, p < 0.05$ 。简单效应检验表明头皮前部的额、额中央和中央叶的平均波幅在负方向上都显著大于的顶叶和枕叶。分析 AC 和 DA 的差异波都发现在头皮前部额、额中央和中央区域 200~300ms 的时间窗口有一个明显的负成分, 潜伏期在 250ms 左右(见图 2)。

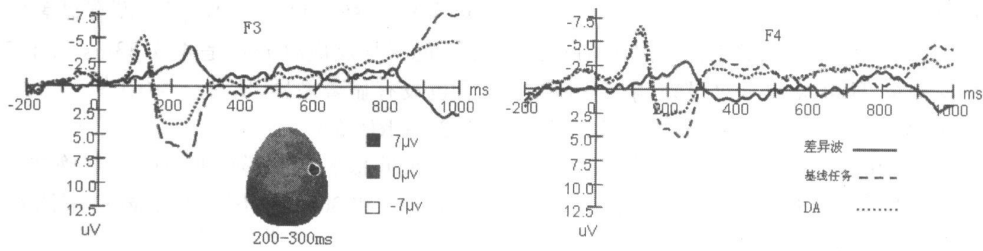


图 2 DA 与基线任务的差异波及 200~300ms 地形图

### 3.2.4 300~800ms 的差异波

对 300~800ms 差异波的平均波幅进行任务类型、前后电极位置和半球进行三因素重复测量方差分析, 结果表明任务类型和半球的主效应不显著; 前后电极位置的主效应显著,  $F(6, 66) = 9.50, p < 0.0001$ , 配对检验表明, 中央、中央

顶、顶叶部位的平均波幅在负方向显著大于额、额中央、颞叶和枕叶, 所有  $p < 0.001$ ; 从差异波和地形图可以发现: 头皮后部的中央、中央顶、顶叶部位, AC、DA 均诱发明显的晚负成分(见图 3); 任务类型、电极位置和半球的一个两次交互作用和一个三次交互作用都不显著。

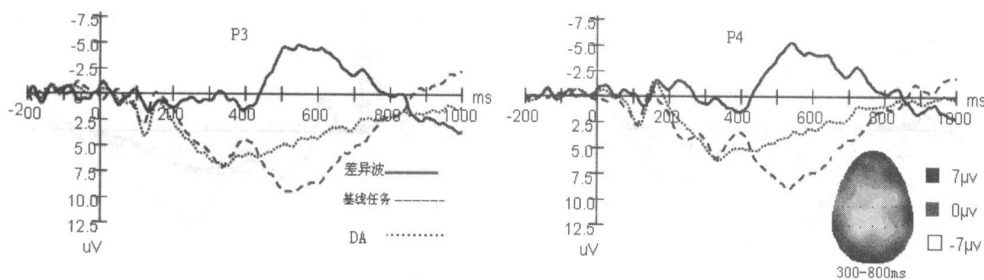


图 3 DA 与基线任务的差异波及 300~800ms 地形图

## 4 讨论

本研究主要探讨在提供替代条件下, 无效推断被抑制认知神经机制。行为结果和已有的研究一致: 在替代条件下, 人们拒绝接受 AC 和 DA 的比率高达 90%, 这表明人们抑制了无效推断。

脑电结果表明: 在 200~300ms, AC 和 DA 在头皮前部的额、额中央、中央叶诱发一个明显的负成分 N250, 额中央部位的波幅最大。Yeung 等人发现在 200~300ms, flanker 任务中不一致刺激比一致的刺

激诱发一个明显的 N2, 在额中央皮层有明显激活, 定位在 ACC, 这说明 N2 与认知冲突加工相关<sup>[5]</sup>。AC 和 DA 差异波中的 N250 与冲突任务中发现 N2 有相似的潜伏期和脑皮层分布, 因此本研究认为 N250 可能反映了对 AC 和 DA 推断过程中冲突信息的加工。具体表现: 在小前提呈现后, 被试做出推断时需要整合两种不一致的信息(大前提和替代条件), 例如在 AC 中, 根据小前提“有 C 卡片, 因此有……”, 被试做出推断时可能激活了大前提“如果有 A 卡片, 那么有 C 卡片”和替代条件“如果有 B 卡片,

那么有 C 卡片”, 很明显这存在“有 A 卡片”和“有 B 卡片”的冲突, 大脑对这种不一致信息的整合加工就可能导致在额中央皮层产生 N250。

在 300~800ms AC、DA 差异波表现为晚期负成分(LNC), 地形图和统计分析表明在头皮后部的中央叶、中央顶、顶叶部位有更显著的激活。Knauff 等人发现演绎推理激活了双侧顶叶皮层, 他们认为工作记忆的视觉空间模版和顶叶皮层激活有关, 主要是维持和存贮推理中的相关信息<sup>[6]</sup>。Acuna 等人进一步的研究发现推理激活了顶叶皮层, 并认为顶叶皮层不但维持信息, 而且对信息进行整合和加工<sup>[7]</sup>。Fangmeier 发现在演绎推理中得出结论的阶段主要激活了顶叶皮层<sup>[3]</sup>。因此, 我们认为 AC、DA 在头皮后部诱发的 LNC 可能涉及对 200~300ms 的不一致信息进行进一步的加工。就 AC 而言, 当根据大前提“如果有 A 卡片, 那么有 C 卡片”和替代条件“如果有 B 卡片, 那么有 C 卡片”来推断“有 C 卡片, 因此有……”时, 人们可能首先根据有 C 卡片, 提取出“有 A 卡片”和“有 B 卡片”的冲突信息, 然后将冲突信息进一步的加工, 最后得出“不确定”的结论。

综上所述, 在提供替代条件的情况下, AC、DA 推断呈现从头皮前部皮层到头皮后部皮层依次激活的动态变化过程。Fangmeier 提出的三阶段模型预测进行演绎推断先激活头皮的前额皮层然后激活头皮的顶叶皮层。因此当前实验结果支持演绎推理三阶段模型。

该实验结果还表明 AC 和 DA 两种推断在 ERP 成分不存在左右半球差异, 这和我们先前研究结果不同。这可能源于实验任务的不同, 先前的研究更多反映了被试如何运用了练习中所习得的规则进行推断的, 而目前的研究主要通过提供替代条件探究人们如何利用相关信息做出推断的。这种差异可能反映了推理的不同方面, 运用规则进行推理可能会导致 ERP 脑电波在半球极性上差异。此外对眼动的控制方式也可能引发结果的差异。在我们先前的 ERP 研究中, 同时呈现大前提和小前提, 这可能加剧了被试的眼动。如对 AC 做出推断时, 被试可能

对呈现的大前提做出从后到前的扫描以寻找答案。这种眼动可能影响了头皮前部的脑电, 从而造成了两种推断方式在头皮前部存在半球极性差异。本研究只呈现小前提, 排除了被试对大前提的扫描, 从而有效地控制眼动, 因此不存在半球差异。

## 5 结论

本研究结果表明: 在 200~800ms, AC 和 DA 比基线任务的波形有一个更加负性的偏移, 从差异波和地形图分析来看, 在 200~300ms, AC、DA 在头皮前部的额、额中央、中央顶有明显的 N250; 在 300~800ms, AC 和 DA 在头皮后部中央叶、中央顶、顶叶诱发更加明显的晚期负成分。从时间进程看, AC、DA 推断过程表现为从头皮前部额叶皮层到头皮后部的顶叶皮层的动态变化, 这一结果支持了演绎推理的三阶段模型理论。

## 6 参考文献

- 1 胡竹菁. 演绎推理的心理学研究. 北京: 人们教育出版社, 2000: 181—192
- 2 De Neys W, Schaeke W, D' Ydewalle G. Inference suppression and semantic memory retrieval: every counterexample counts. *Memory & Cognition*, 2003, 31(4): 581—595
- 3 Fangmeier T, Knauff M, Ruff C C, et al. FMRI evidence for a three-stage model of relational reasoning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2006, 18: 320—334.
- 4 邱江, 张庆林, 陈安涛, 杨红升, 罗跃嘉. 关于条件推理来 ERP 研究. *心理学报*, 2006, 38(1): 7—14
- 5 Yeung N, Botvinick M M, Cohen J D. The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review*, 2004, 111(4): 931—959
- 6 Knauff M, Mulack T, Kassubek J, et al. Spatial imagery in deductive reasoning: a functional MRI study. *Cognitive Brain Research*, 2002, 13: 203—212
- 7 Acuna B D, Eliassen J C, Donoghue J P, et al. Frontal and parietal lobe activation during transitive inference in Humans. *Cerebral Cortex*, 2002, 12(12): 1312—1321

# An ERP Study on Suppression of Invalid Inference in Conditional Reasoning

Wang Baoxi<sup>1</sup>, Xiang Ling<sup>2</sup>, Qiu Jiang<sup>2</sup>, Zhang Qinglin<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> School of Education Science, Guangxi Normal University, Guilin, 541004) (<sup>2</sup> School of Psychology, Southwest University, Chongqing, 400715)

**Abstract** The experiment investigated the neural mechanism on the suppression of invalid inferences (AC, DA) in the presence of alternative condition with ERP. The difference waves and topographical maps showed that there was a N250 between 200~300ms at the frontal, frontal-central and central areas, and there was an LNC between 300~800ms at the central, central-parietal and parietal areas. The time processing in AC and DA inference showed a dynamic activity from the frontal area to parietal area, which supported the theory of the three-stage model.

**Key words** conditional reasoning, invalid inference, event-related potentials