

P3b 反映基于相似性的图形类别归纳决策过程^{*}

杨 雪 龙长权 陈安涛

(西南大学心理学部, 重庆 400715)

摘 要: 先前关于归纳推理的研究没有探讨过图形类别归纳任务中决策过程的事件相关电位 (ERPs) 特征。该研究采用图形材料, 通过记录和分析图形类别归纳推理任务的结论评估阶段的脑电信号, 探讨了不同类别条件下图形归纳推理决策过程的 ERP 特征。实验结果显示, 推理决策过程中, 当前提为一些狗具有某种属性特征时, 结论一致类别 (狗类及马类) 比结论不一致类别下 (椅子类) 的归纳推理诱发了更大的 P3b 的波幅; 而结论一致类别下, 类别内 (狗类) 比类别外 (马类) 推理诱发更大的后部脑区的 P3b 的波幅, 反映了相似性对类别归纳的贡献。该研究为理解类别归纳过程的决策阶段的动态加工过程提供了神经电生理学证据。研究结果进一步支持了类别归纳的相似性理论模型。

关键词: 类别归纳; 决策阶段; 相似性模型; P3b

中图分类号: B842.5

文献标识码: A

文章编号: 1003-5184(2018)04-0309-06

1 引言

基于类别的归纳 (category-based induction) 在概念应用和知识拓展方面至关重要 (Heit & Hayes, 2011; Markman & Ross, 2003); 包含将一个事物 (或类别) 中的某个特征投射到其他事物 (或类别) 中的认知过程 (Kemp & Jern, 2014)。例如, 已知一组狗的体内含有 beta 细胞, 人们可能推断其他狗类或者马类体内含有 beta 细胞, 因为马类和狗类都是哺乳动物。同时, 人们也会倾向于拒绝椅子含有 beta 细胞, 因为椅子并非哺乳动物。

由于事件相关电位技术 (event-related potentials, ERPs) 能够在毫秒级的时间精度下即时测量认知过程, 因此可以作为较为理想的研究技术深入研究类别归纳的认知过程。一些研究者通过 ERPs 技术并采用图形材料探讨了类别归纳的认知过程 (Huang, Tang, Li, & Li, 2013; Li, Luo, Cao, & Li, 2009)。例如, 在一项研究中, 被试先被告知一些电池有电, 一些电池没有电 (前提), 然后要求被试判断测试电池 (结论) 是否有电时, Li 等 (2009) 发现前提可归纳的条件比不可归纳条件在刺激呈现 420 毫秒后诱发了更大的前部晚正成分。然而, Li 等 (2009) 和 Huang 等 (2013) 的研究中, 他们分析的是前提呈现时的 ERP 特征, 并没有分析结论出现时的决策过程。因此, 图形类别归纳的决策过程的 ERP

特征是不清楚的。同时, 在他们的研究中, 主要采用的是几何图形来描述不同的电池, 没有采用语义丰富、具有更高生态效应的真实图形材料。

因此, 该研究拟采用 ERP 技术, 采用具有更高生态效应的真实材料 (例如, 狗, 马和椅子的图片材料), 探究图形类别推理任务下推理决策过程的 ERP 反应。在该研究中, 采用经典的类别归纳任务 (例如, Hawkins, Hayes, & Heit, 2016; Heit & Hayes, 2011), 先告知被试一组狗有 beta 细胞, 要求被试判断其他的狗、猫和椅子是否也有 beta 细胞。记录被试决策时的 ERP 反应。经典的类别归纳的相似性模型假设归纳是由事物之间的相似性驱动的 (Osherson, Smith, Wilkie, Lopez, & Shafir, 1990; Sloman, 1993; Sloutsky & Fisher, 2004)。同时, 一些 ERP 的研究表明 P3b 成分, 一种在刺激呈现后的 300 ~ 700ms 内出现的中后部分布的正偏转, 与相似性程度有关, 更高程度的相似诱发更大的 P3b 的波幅 (Azizian, Freitas, Watson, & Squires, 2006; Azizian, Freitas, Parvaz, & Squires, 2006; Chen et al., 2015)。因此, 该研究预测测试的狗类比马类诱发更大的 P3b 波幅, 而马类比椅子诱发更大的 P3b 波幅, 因为狗与狗之间的相似性程度高于狗与马的相似性程度, 而马与狗的相似性程度, 高于椅子与狗的相似性程度。

^{*} 基金项目: 中央高校基本科研业务费 (SWU1709248)。

通讯作者: 龙长权, E-mail: lcq@swu.edu.cn。

2 研究方法

2.1 被试

22 名大学生参加了 ERP 实验,其中女生被试 12 名,被试年龄在 17 ~ 24 周岁 ($M = 19.85$, $SD = 1.73$)。被试均为右利手,视力或者矫正视力正常,无精神病史,未服用精神类药物。17 名大学生(10 名女生,年龄范围在 17 ~ 23 岁, $M = 19.59$ 岁, $SD = 1.80$)参与评定了实验材料的相似性程度。这些参与实验材料评定的被试没有参加 ERP 实验。

2.2 实验设计及实验材料

与以往实验相似(Hawkins et al., 2016; Heit & Hayes, 2011),该研究包括两个实验阶段:学习和决策阶段。在学习阶段,向被试连续呈现 15 张狗类的图片,并告知被试该阶段的每只狗都含有 beta 细胞。在决策阶段,向被试随机呈现任务图片(100 张狗类图片,100 张马类图片和 100 张椅子图片),并要求被试判断当前呈现事物是否也含有 beta 细胞。

实验材料采用 280 像素的彩色图片,由 3 个基本水平类别的事物(狗,马以及椅子)组成。其中狗类图片 115 张,马类图片 100 张,椅子类图片 100 张。每张图片只呈现一事物。115 张狗的图片中,有 15 张图片被用来作为前提图片。以上图片均来自于网络图片库(<http://www.nipic.com/index.html>),并呈现在 17 平方厘米的实验室电脑屏幕上。另外一批被试测量了实验材料之间的相似性。被试被要求判断每张测试图片与前提所有 15 张狗的图片之间的相似性程度(1 表示最不相似,5 表示最相似)。相似性评定的结果显示测试的狗类与前提的狗类之间的相似性程度为 4.45 ± 0.010 ,测试马类与前提的相似性程度为 3.02 ± 0.20 ,测试的椅子与

前提的相似性程度为 1.22 ± 0.08 。方差分析结果显示三种测试图片与前提的相似性程度差异显著($F[2,16] = 161.09$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.97$)。Bonferroni 校正后的多重比较结果显示,测试狗类与前提的相似性程度显著高于测试马类与前提的相似性程度($p < 0.001$),而测试马类与前提的相似性程度显著高于椅子与前提的相似性程度($p < 0.001$)。

图 1 展示了实验流程。被试置身于脑电实验室中,坐在距离电脑屏幕约 60 厘米处。实验者向被试说明他们首先会学习到在一些狗类的体内含有 beta 细胞,接下来需要去推测呈现的其他事物中是否也含有 beta 细胞。首先呈现学习阶段。学习阶段被试被告知在本阶段每一只狗的体内均含有 beta 细胞。首先在屏幕中间呈现“+”注视点,呈现 500ms 空屏之后,接下来呈现 1000ms 的学习图片,在 500ms 空屏之后,在呈现 1000ms 的学习图片,直至 15 张狗类的学习图片相继呈现完毕。学习阶段结束之后,开始呈现决策阶段。在决策阶段的每个试次中,首先呈现 500ms 的“+”注视点,随后呈现 600 ~ 800ms 的随机空屏,最后呈现 1500ms 的判断图片,被试需要在刺激图片呈现时间内按键做出判断。1000 ~ 1500ms 的随机间隔之后,再呈现下一个试次。被试被要求通过按键反应“F J”判断当前呈现的事物是否存在 beta 细胞。反应按键顺序在被试间平衡。正式实验之前,被试需要完成类似于正式实验的练习实验。练习实验中,10 张羊类图片作为学习材料并告知被试每只羊的体内都含有 alpha 细胞,然后要求被试对不同的羊,牛和手表的各 20 张图片进行是否有 alpha 细胞的判断。练习实验的结果不计入正式实验。

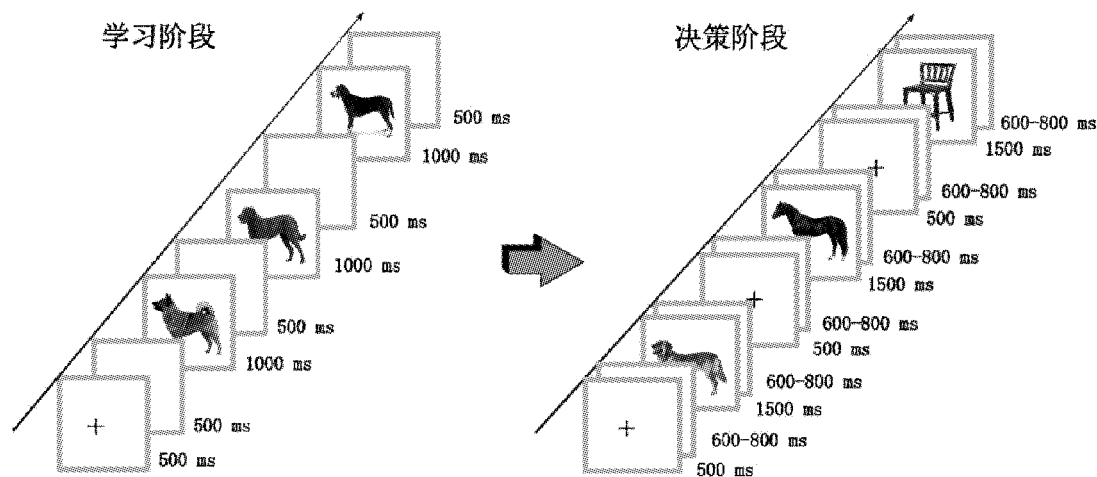


图 1 实验流程图

2.3 脑电记录与分析

采用国际 10~20 系统扩展的 64 导电极帽,以 NeuroScan 系统记录 EEG 信号。脑电信号记录时将参考电极置于左乳突。同时记录左眼上下眶的垂直眼电(VEOG)以及双眼外侧的水平眼电(HEOG)。记录时的滤波带通为 0.05~200HZ,AC 模式,采样频率为 500HZ。所有电极与头皮之间的阻抗都小于 5k Ω 。在 Matlab 2012(MathWorks, USA)环境下使用 EEGlab 工具包(Delorme & Makeig, 2004)和 ERPlab 工具包(Lopez-Calderon & Luck, 2014)对数据进行离线分析,采用 Butterworth 方法对 EEG 数据进行 0.1HZ 的高通滤波及 30HZ 低通滤波,使用 ICA(independent component analysis)方法剔除眨眼、眼动、肌电等伪迹。ICA 矫正后的 EEG 数据再次以左右乳突的均值作为重参考电极并将数据分段。狗类和马类按键为“是”及椅子按键为“否”作为实验的“正确”反应。只对发生在图片呈现后 200~1500ms 的“正确”反应诱发的 ERP 波形进行叠加和分析。自动排除波幅大于 $\pm 75\mu V$ 的伪迹信号。狗类,马类及椅子三种条件下有效叠加次数分别为 85.73 ± 6.23 , 77.41 ± 10.43 以及 85.36 ± 6.40 。分析时程为刺激呈现前 200ms(作为基线)到刺激呈现后 800ms。

行为反应上,采用重复测量因素方差分析方法分析“正确”反应率,反应时。依据已有文献(例如,Chen et al., 2007; Chen et al., 2015),采用重复测量因素方差分析方法分析了决策阶段刺激呈现后的 300~500ms(P3b 成分)时程内的平均波幅,并选择 CP3, CPz, CP4, P3, Pz 及 P4 电极点平均后波幅进行条件间的重复测量方差分析以降低假阳性(Luck & Gaspelin, 2017)。以上统计过程中的 p 值均采用 Greenhouse-Geisser 校正,事后比较采用 Bonferroni 校正。

3 结果

图 2 展示了决策阶段各条件在 FC3, FC4, C3, Cz, C4, CP3, CPz, CP4, P3, Pz 及 P4 电极点诱发的 ERP 波形图和 300~500ms 的脑地形图。表 1 展示了各条件下的“正确率”及平均反应时。

3.1 行为结果

表 1 各条件下的“正确率”及平均反应时

	狗类	马类	椅子类
正确率(%)	91.32(6.74)	80.50(10.41)	89.50(7.39)
反应时(ms)	619(47)	661(62)	635(48)

分析结果表明,“正确”判断比率的主效应显著, $F[2, 21] = 26.93, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.56$ 。事后比较发现,如表 1 所示,对马类图片的“正确率”显著低于狗类($p < 0.001$)及椅子类图片($p < 0.001$),狗类与椅子类图片之间的“正确率”之间没有显著差异($p > 0.05$)。统计结果表明,反应时的主效应显著, $F[2, 21] = 18.88, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.47$ 。事后比较结果发现对狗类图片的反应时显著短于马类($p < 0.001$)和椅子类($p = 0.011$),而椅子类的反应时显著短于马类反应时($p = 0.038$)。

3.2 ERP 结果

对 P3b 成分的平均波幅的统计结果表明条件的主效应显著, $F[2, 21] = 26.52, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.57$ 。事后比较结果表明,如图 2 所示,狗类图片条件诱发的 P3b 波幅显著高于马类($p < 0.001$)和椅子类图片($p < 0.001$),同时马类图片条件的平均波幅显著高于椅子类图片($p = 0.014$)。

4 讨论

在已有研究中,采用 ERP 技术进一步探究类别归纳的认知过程的研究尚不充足,特别是现仍缺乏对图形归纳推理在决策阶段的认知加工过程的研究。该研究结合了高时间分辨率的 ERP 技术和经典归纳推理任务,考察了图形归纳推理在结论评估过程中大脑活动的动态时间特征。研究发现 P3b 成分与图形类别归纳的决策过程密切相关,进一步支持了基于相似性的归纳推理模型。

该研究行为结果发现,在进行结论判断时被试选择狗类图片“同意”的比例显著高于马类和椅子,选择马类同意的比例显著高于椅子。根据经典的类别归纳的相似性模型(Osherson et al., 1990; Slovic, 1993; Sloutsky & Fisher, 2004),结论与前提之间的相似性程度越高,结论成立的可能性就越大。相比于类别外条件(类别不一致条件),类别内条件(类别一致条件)更容易被归纳具有同一生物属性,因为类别内成员之间的相似性高于类别间成员之间的相似性。相似性评定的实验结果也表明,狗类结论与前提之间的相似性显著高于马类结论与前提之间的相似性,因此,狗类的正确反应显著高于马类。而椅子类结论被评定为与前提最不相似,因此,被试通常会拒绝接受归纳,其拒绝率与狗类的接受率无显著差异。反应时的结果表明,狗类图片的“正确”反应时显著短于马类图片和椅子类图片。这一结果表明类别内的归纳决策比类别间的归纳决

策更快。而椅子类图片反应时短于马类图片,表明类别间归纳时,相关类别需要更长的时间进行认知

操作 (Liang, Zhong, Lu, & Liu, 2010; Long et al., 2015)。

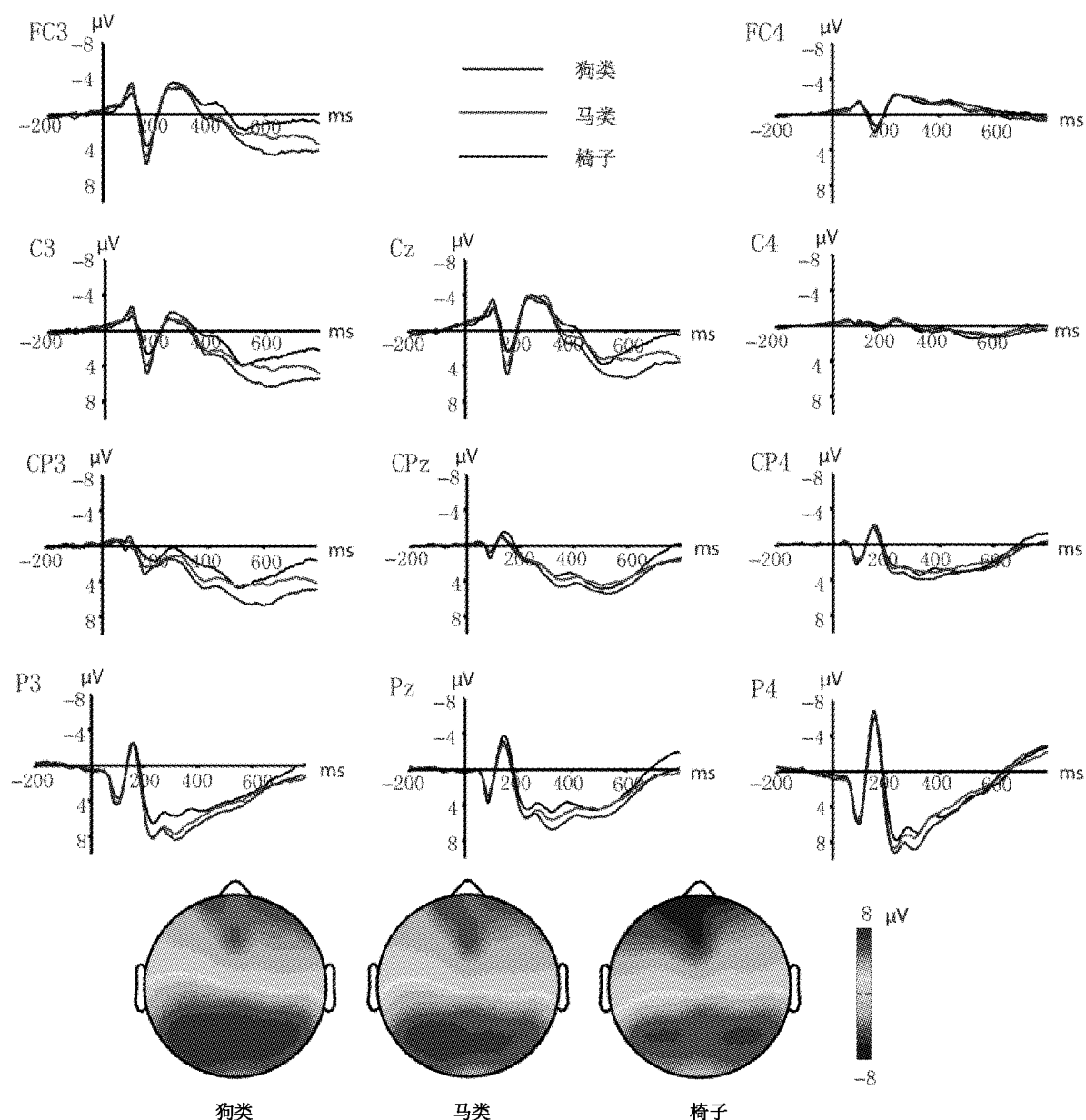


图2 结论呈现阶段时各条件的波形图和地形图

该研究的 ERP 结果分析表明,当前提为狗类图片时,在图形归纳决策阶段,结论狗类与马类图片比椅子类图片诱发了更大的 P3b 波幅,表明可接受的归纳比不可接受的归纳诱发了更大的 P3b。这一研究结果与词语型类别归纳的 ERP 研究结果类似(李婧,陈安涛,陈杰,龙长权,2016;龙长权,李晓芳,雷怡,2017)。例如,在词语型类别归纳的 ERP 研究中,李婧等(2016)和龙长权等(2017)的研究也发现可接受的归纳比不可接受的归纳诱发更大的 P3b 波幅。同时,统计结果表明,结论狗类图片比马类图

片诱发了更大的 P3b 波幅。这一结果与龙长权等(2017)关于词语型类别归纳中典型性效应的 ERP 研究结果类似(龙长权,李晓芳,雷怡,2017)。在他们的研究中,前提与结论类别一致时,典型和不典型前提和结论均能使被试接受归纳,但典型前提或结论比不典型的前提或结论诱发更大的 P3b 波幅。

以往的研究表明,P3b 与相似性程度的判断过程有关(Azizian, Freitas, Watson et al., 2006; Azizian, Freitas, Parvaz et al., 2006; Chen et al., 2007; Chen et al., 2015)。例如,在一项几何图形分类任务中,

Chen 等(2007)发现,当探测刺激与目标刺激具有更多的共享属性时,会诱发更大的 P3b 波幅。在一项图形的相似性判断任务中,Chen 等(2015)发现,具有与前提相同的位置信息与颜色信息的探测刺激会比只与前提有相同的颜色信息的探测刺激诱发更大的 P3b 的波幅,表明探测刺激与前提的相似性程度越大,P3b 波幅越大。在该研究中,三种结论条件下,结论狗类图片与前提之间的相似程度最高,椅子类图片与前提相似性程度最低。因此,结论狗类图片诱发了最大的 P3b 波幅。而椅子类图片诱发了最小的 P3b 波幅。这一结果也进一步支持了经典的基于相似性的归纳推理理论模型(Osherson et al., 1990; Sloman, 1993; Sloutsky & Fisher, 2004)。基于相似性的归纳推理理论模型认为,前提与结论的相似性程度越高,归纳结论成立的可能性就越大。而该研究则进一步提供了 ERP 研究证明,表明相似性程度判断是类别归纳,特别是图形归纳的核心认知过程,反映在 P3b 波幅上。

P3b 的另一个可能的解释是认为推理阶段的 P3b 代表对推理结论的期望满意程度(Bonnefond, Castelain, Cheylus, & Van der Henst, 2014; Bonnefond, Kaliuzhna, Van der Henst, & De Neys, 2014; Bonnefond & Van der Henst, 2009, 2013)。在一系列条件推理和传递性推理中,Bonnefond 等发现,符合逻辑的结论比不符合逻辑的结论诱发更大的 P3b 波幅(Bonnefond, Castelain, et al., 2014; Bonnefond, Kaliuzhna, et al., 2014)。例如,在一项经典三段论演绎推理的研究(前提:如果 P,那么 Q;P;结论:Q)中,符合逻辑的结论(Q)比不符合逻辑的结论(T)诱发了更大的 P3b 波幅。他们认为,导致这一结果的原因是,符合逻辑的结论比不符合逻辑的结论更符合推理预期,因此,P3b 反映的是推理预期的满意程度,越满意的推理结论就能诱发更大的 P3b 波幅。根据这一解释,在该研究中,结论狗类比马类图片比椅子类图片相比诱发了更大的 P3b 波幅,是因为狗类和马类图片符合推理预期,椅子类图片不符合推理预期;而狗类图片比马类图片诱发了更大的 P3b 波幅,是因为结论狗类比马类更符合推理预期。

5 结论

该研究探查了图形归纳推理决策过程的 ERP 特征。研究结果表明,可接受的归纳(当前提为狗类图片时,结论为其他狗类图片或者马类图片)比不可接受的归纳(结论为椅子类图片)诱发了更大

的 P3b 波幅;同时,当归纳可接受时,与前提更相似的结论诱发了更大的 P3b 波幅,表明 P3b 波幅与相似性判断过程密切相关。这一结果进一步支持了基于相似性的类别归纳模型。

参考文献

- 李婧,陈安涛,陈杰,龙长权.(2016). 词语型类别属性归纳中分类与属性推理过程的时间特征. *心理学报*, 48(11), 1410-1422.
- 龙长权,李晓芳,雷怡.(2017). 类别归纳中典型性效应的 ERP 反应. *中国科学*, 47(3), 325-340.
- Azizian, A., Freitas, A., Watson, T., & Squires, N. (2006). Electrophysiological correlates of categorization: P300 amplitude as index of target similarity. *Biological Psychology*, 71(3), 278-288.
- Azizian, A., Freitas, A. L., Parvaz, M. A., & Squires, N. K. (2006). Beware misleading cues: Perceptual similarity modulates the N2/P3 complex. *Psychophysiology*, 43(3), 253-260.
- Bonnefond, M., Castelain, T., Cheylus, A., & Van der Henst, J. - B. (2014). Reasoning from transitive premises: An EEG study. *Brain and Cognition*, 90, 100-108.
- Bonnefond, M., Kaliuzhna, M., Van der Henst, J. - B., & De Neys, W. (2014). Disabling conditional inferences: An EEG study. *Neuropsychologia*, 56, 255-262.
- Bonnefond, M., & Van der Henst, J. - B. (2009). What's behind an inference? An EEG study with conditional arguments. *Neuropsychologia*, 47(14), 3125-3133.
- Bonnefond, M., & Van der Henst, J. - B. (2013). Deduction electrified: ERPs elicited by the processing of words in conditional arguments. *Brain and Language*, 124(3), 244-256.
- Chen, A., Luo, Y., Wang, Q., Yuan, J., Yao, D., & Li, H. (2007). Electrophysiological correlates of category induction: PSW amplitude as an index of identifying shared attributes. *Biological Psychology*, 76(3), 230-238.
- Chen, Q., Liang, X., Li, P., Ye, C., Li, F., Lei, Y., & Li, H. (2015). The processing of perceptual similarity with different features or spatial relations as revealed by P2/P300 amplitude. *International Journal of Psychophysiology*, 95(3), 379-387.
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9-21.
- Hawkins, G. E., Hayes, B. K., & Heit, E. (2016). A dynamic model of reasoning and memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 145(2), 155-180.

- Heit, E. , & Hayes, B. K. (2011). Predicting reasoning from memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 140 (1), 76 – 101.
- Huang, S. , Tang, Z. , Li, F. , & Li, H. (2013). Electrophysiological Correlates of Category Induction in Children and Adults. *Developmental Neuropsychology*, 38 (1), 22 – 35.
- Kemp, C. , & Jern, A. (2014). A taxonomy of inductive problems. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21 (1), 23 – 46.
- Li, F. , Luo, Y. , Cao, B. , & Li, H. (2009). Electrophysiological correlates of inductive generalization. *Journal of Psychophysiology*, 23 (1), 27 – 34.
- Liang, P. , Zhong, N. , Lu, S. , & Liu, J. (2010). ERP characteristics of sentential inductive reasoning in time and frequency domains. *Cognitive Systems Research*, 11 (1), 67 – 73.
- Long, C. , Lei, X. , Chen, J. , Chang, Y. , Chen, A. , & Li, H. (2015). Event – related potential parameters of category and property violations during semantic category – based induction. *International Journal of Psychophysiology*, 96 (3), 141 – 148.
- Lopez – Calderon, J. , & Luck, S. J. (2014). ERPLAB: An open – source toolbox for the analysis of event – related potentials. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 213.
- Luck, S. J. , & Gaspelin, N. (2017). How to get statistically significant effects in any ERP experiment (and why you shouldn't). *Psychophysiology*, 54 (1), 146 – 157.
- Markman, A. B. , & Ross, B. H. (2003). Category use and category learning. *Psychological Bulletin*, 129 (4), 592 – 613.
- Osherson, D. N. , Smith, E. E. , Wilkie, O. , Lopez, A. , & Shafir, E. (1990). Category – based induction. *Psychological Review*, 97 (2), 185 – 200.
- Sloman, S. A. (1993). Feature – based induction. *Cognitive Psychology*, 25 (2), 231 – 280.
- Sloutsky, V. M. , & Fisher, A. V. (2004). Induction and categorization in young children: A similarity – based model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133 (2), 166 – 188.

P3b Related to Similarity – based Figural Categorical Induction

Yang Xue Long Changquan Chen Antao

(Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract: Previous event – related potential (ERP) studies did not yet focus on the decision processes during the figural category – based induction. The present study measured ERP responses to inductive decision during classic figural category – based induction, by comparing dogs, horses and chairs. The results showed that the inductive decision of inferences from dogs to other dogs and inferences from dogs to horses elicited greater P3b amplitudes than did that of inferences from dogs to chairs, and the inductive decision of inferences from dogs to other dogs elicited greater P3b amplitudes than did that of inferences from dogs to horses. These results suggested that similarity and/or the satisfactions of expectation drive the figural category – based induction, shown by P3b amplitudes. Moreover, these results provided further evidence to support the models of the similarity – based induction.

Key words: categorical induction; decision processes; similarity – based induction; P3b