

• 研究构想(Conceptual Framework) •

假设形成与检验的神经机制*

李富洪 曹云飞 曹碧华 蔡雪丽 李 红

(西南大学心理学院; 认知与人格教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘 要 假设形成与检验是解决任何复杂问题的重要思维工具, 是人们发现规则, 形成概念, 建立假说, 获得知识的基础。为进一步考察这一思维能力的神经机制, 本项目在已有行为及脑电研究的基础上以“类别概括-规则发现”为研究范式, 给被试提供包含多个知觉维度的刺激, 要求被试通过知觉观察与反馈学习发现基于类别的规则(假设)。本项目重点考察被试在此任务中选择与收敛假设, 以及加工否定(冲突)信息的脑机制, 并尝试揭示假设形成与检验的个体发展特征。

关键词 假设形成; 假设检验; 神经机制

分类号 B842

1 问题提出

形成假设并检验假设是一种独立于智力之外且又高于智力的一种能力(Goel & Grafman, 2000), 它是解决任何复杂问题的重要思维工具(张庆林, 司继伟, 1999), 是人们发现规则、形成概念、建立假说、获得知识的基础(Sanjana & Tenenbaum, 2002)。关于假设形成与检验的认知心理学研究已有几十年的历史, 众多研究者采用概念形成、规则发现和命题检验等不同的实验任务考察了这一认知活动的内部加工机制。研究者认为人类在形成概念的过程中会主动的寻找有用信息来构成假设(Bruner, Goodnow, & Austin, 1956)。人们在检验一个假设时容易产生适用范围过窄的结论, 也容易出现“证真”倾向、“匹配偏向”与“换位效应”(Evans, 1989; Wason, 1960, 1966)。近年来, 越来越多的研究者开始考察假设形成与检验的神经机制。

1.1 假设形成的神经机制研究

Goel 所在团队采用一系列问题解决任务考察假设形成相关的脑机制。Goel 和 Dolan (2000)研

究表明, 在规则发现过程中, 规则的难度激活了前额皮层眼窝右侧区域。研究者在一个经典的发散思维问题(火柴实验)中, 要求被试思考如何移动火柴形成所要求的图形, 并估计最多有多少种可能的答案。结果发现, 假设形成主要与右前额叶皮层(PFC)腹侧的激活有关, 而假设的保持则与右侧 PFC 背侧激活有关(Goel & Vartanian, 2005)。为进一步考察右前额皮层在不确定情形下是否和假设的形成有关, 研究者给被试一个字母组词任务要求被试以一串字母(如 ZJAZ)构成一个单词。在不限定词语类别的条件下, 右 PFC 腹侧显著激活, 表明右 PFC 腹侧激活与假设的形成有关。

近两年, 一些研究者采用数字归纳任务考察规则发现过程中人们形成假设的脑机制(钟宁等, 2009; Crescentini et al., 2011)。如在一个数字完形任务中, 钟宁等的 fMRI 研究结果揭示了左侧 DLPFC (背外侧前额)和左侧 APFC (前额前部)对于简单和复杂数列完型任务的双分离。简单任务在左侧 DLPFC 的启动效应强于复杂任务, 而复杂任务在左侧 APFC 的启动效应强于简单任务, 这一双分离说明了左侧 DLPFC 和左侧 APFC 在数字规则发现中的不同作用。左侧 DLPFC 可能与规则识别有关, 而左侧 APFC 可能与规则识别与应用过程中的心理状态保持有关。

收稿日期: 2011-09-13

* 国家自然科学基金面上项目(31070985); 国家重点学科建设项目之扶持项目(NSKD08014)。

通讯作者: 李富洪, E-mail: fuhongli@swu.edu.cn

假设形成的脑电研究表明,被试所形成的假设与认知系统的更新紧密相连,这一过程与大脑前额叶的晚期正成份有关(Li, Luo, Cao, & Li, 2009c)。在一项数字归纳完形研究中, Qin, Xiao, Li, Sha 和 Li (2009)先给被试相继呈现三个数字让被试发现与数字有关的规则,再呈现第四个数字以检验规则,脑电结果发现:规则一致条件下的 P2 和 N2 波幅要低于规则不一致条件,反应了假设违背情形下认知冲突的识别。

1.2 假设检验的神经机制研究

与假设形成的研究相比,假设检验神经机制的研究相对较少。Elliott 和 Dolan (1998)采用 PET 技术率先对假设检验的脑基础进行了研究,他们发现假设检验激活了小脑、左扣带回前部、右楔叶、右丘脑等区域。Papo, Baudonnière, Hugueville 和 Caverni (2003)给被试呈现一个不可完成的假设检验任务,首先告诉被试实验者心里有一条关于三个数字的规则,然后给被试连续呈现若干“三数字”组,让被试判断每组数字是否符合实验者心中的规则,被试判断后给予反馈。结果发现,与正反馈相比,负反馈在 P2 至 P3 时间窗口内有更负的走向(Papo et al., 2007)。

以上两项研究中采用的实验任务皆为不可解决的任务,为了在可解决的实验任务中考察假设检验的动态过程及其脑激活特征, Li 等(2009a, 2009b)在其类别概括任务中给被试继时呈现三块电池,要求被试指出“什么类型的电池有电”。实验中设置了假设不变、假设增强、假设否定三种实验条件。脑电结果表明,与假设增强和假设不变条件相比,假设否定条件引发的 LPC 波幅显著增大,研究者将这一与假设否定相关联的晚期正波称为“假设否定正波(Hypothesis-rejection potentials, HRP)”。Cai 等(2011)表明这一假设否定正波与工作记忆更新无关,主要与中央执行系统的认知控制有关。他们采用的是改版的 Wason 四卡片任务,在实验中给被试呈现一个命题“如果卡片的一面是圆形,那么另一面则是奇数”,要求被试判断单张呈现的卡片是否支持命题。脑电结果显示,与证真条件相比,证伪条件引起了更小的 P2 波峰和较小的 P3,以及明显增大的 LPC (400~600ms)。

最近, Xiao, Li, Qing 和 Li (2011)使用脑电技术考察了假设检验的子过程(假设确认和假设选

择)所诱发脑电特征的异同。结果表明,与假设确认过程相比,假设选择过程引起更强的 P3 和 LPC。这些结果表明假设选择和假设确认的分离表现在较晚的脑电成分。

1.3 研究现状分析

以往研究在假设形成与检验的神经机制方面由于起步较晚等方面的原因开展工作很少,且存在如下尚未解决的问题。

第一,以往研究未考察假设选择、假设收敛等子过程的加工机制。在信息不确定情形下,人们可能形成多个假设,并需要在多个假设中选择一个进行验证,而验证的过程又涉及假设收敛,最后才形成一个确信的假设。

第二,假设检验中否定信息加工的神经基础仍不清楚。尽管 Li 等(2009a, 2009b)的研究直接考察了假设检验的脑电特征,且发现了与假设否定条件相关联的“假设否定正波”,但由于脑电技术在空间分辨率上的不足,导致无法确定究竟是哪些脑区负责这一重要的认知过程。

第三,未揭示假设形成的年龄特点及其神经关联特征。在检验某一假设时,不同年龄阶段的被试可能有不同的脑区激活,而 Li, Cao 和 Li (2011)的研究只是发现了 9 岁儿童与成人具有相似的神经机制,但并未细致考察不同年龄段儿童的发展特点。

2 研究构想

针对已有研究存在的问题,本项目重点研究以下两方面的内容,一是假设形成过程中,假设选择与收敛的神经机制。二是假设否定的脑区激活。此外,本项目还将从发展的角度考察假设形成与检验在年龄发展上的特点及其神经关联特征。

2.1 假设选取与收敛的大脑激活

已有研究表明人们在假设检验的过程中表现出“证真倾向”,即倾向于证明一个假设为真,而不倾向于证伪,这种假设选取上的心理效应的神经机制是本项目的主要研究内容之一。同时,本项目也将探讨假设收敛的神经机制。

在实验中,每次给被试呈现的刺激是具有颜色、形状、纹路三个知觉维度的电池(图 1),要求被试通过学习发现何种类型的电池有电。首先告诉被试左边的目标刺激为有电的电池,并告诉被

试电池的三个知觉维度中有且仅有一个知觉维度与“有电”紧密关联, 被试需要找出这一知觉维度, 为此, 他们需要在右边 6 个测试刺激中选择一个来进行测试。被试选择后, 主试给以反馈。被试根据此反馈继续选择测试刺激, 直至发现规律。

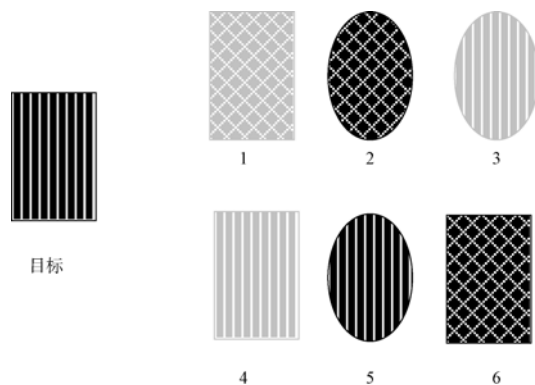


图1 假设形成与收敛实验所用刺激: 实验中告诉被试上图左侧的目标刺激为一个有电的电池(有竖纹、黑色、长方形三个知觉特征), 要求被试通过检验上图右侧的测试刺激来揭示“何种类型的电池有电”。

研究的自变量为刺激类型(与目标共享 1 个特征 VS 共享 2 个特征), 如图 1 所示, 刺激 1、2、3 均与目标刺激共享 1 个特征, 如果被试选择这 3 个刺激, 需要检验的假设分别有 1 个; 另三个刺激(刺激 4、5、6)与目标刺激共享 2 个特征, 如果被试选择这类刺激, 则需要检验的假设分别有 2 个。另一自变量为假设收敛的阶段, 分为 0 收敛, 1 次收敛和 2 次收敛三个水平。第一次选择测试刺激至第一次反馈呈现前, 被试心中的假设没有任何变化, 此阶段为 0 收敛; 第一次反馈呈现后至第二次反馈呈现前, 被试第 1 次收敛假设; 第二次反馈呈现后被试的假设获得第 2 次收敛。因变量为 fMRI 设备记录到被试做以上两种选择以及同收敛阶段的大脑激活。

根据以往研究的结论(Wason, 1966), 我们预期被试可能采用聚焦策略选择单一假设进行检验的倾向, 即首次选择测试刺激时, 刺激 1、2、3 这类刺激的选择概率要高于刺激 4、5、6 的被选概率。采用这种策略选择单一假设进行检验有助于减轻工作记忆负荷, 因而当被试选择刺激 1、2、3 时, 其前额叶皮层的激活要少于他们选择刺激 4、5、6 时前额叶皮层的激活强度。然而, 刺激 1、

2、3 与目标刺激相比, 知觉特征的差异量较大, 因此与知觉加工相关的脑区如顶叶皮层在加工刺激 1、2、3 时可能有更强的激活。至于假设收敛, 我们预期可能与前额叶皮层及扣带回的激活相关。因为在收敛过程中, 涉及工作记忆内容的操作以及对无关(或无用)假设的抑制。前者通常与前额叶有关, 而后者与扣带回的激活有关。

2.2 假设检验过程中否定信息的加工机制与神经基础

尽管以往研究发现了假设否定的脑电特异成分, 但并未精确地定位相应的脑皮层。本研究将考察假设检验过程中一个假设被否定时的大脑激活, 以及皮层间时间动态上的关系。

采用类别归纳与规则发现的实验范式, 继时呈现不同知觉特征的刺激, 并告诉被试这些都是不同形状和颜色的电池, 被试的任务是根据刺激的知觉特征的变化去发现一个规则如“什么类型的电池有电”。告诉被试第一块电池有电, 因为其上方的检测灯泡发出“亮光”, 第二块与第三块电池可能有电也可能无电。当呈现第一块电池时, 被试对刺激进行知觉识别并将刺激的两种知觉特征(如长方形、红色)保存于工作记忆之中, 此时尚未形成关于“什么类型的电池有电”的假设, 因为某类电池通常指两个以上的电池, 而一个电池所具备的特征并不具有广泛的类别概括性。当第二块电池出现时, 如果第二块电池与第一块电池共享一知觉维度(竖纹路), 被试则可以形成一个假设如“竖纹路电池有电”。至于这一假设是否可靠, 需要检测第三块电池, 如果第三块竖纹路电池也有电, 则加强原假设; 如果第三块竖纹路电池没有电, 则否定原假设。

研究的自变量为假设检验的结果类型, 分为增强原假设与否定原假设两种水平。因变量为 fMRI 记录的大脑激活情况。预期假设否定与假设增强相比, 可能会在前额叶尤其是 BA9 区和 BA10 区有明显的激活, 反映假设被否定时工作记忆背景更新的认知过程。同时也可能明显激活顶叶皮层负责加工知觉冲突信息的神经网络。

2.3 假设形成与检验的发展神经科学研究

发展心理学的研究表明, 儿童要到 9 岁左右才具备初步的抽象思维能力, 而假设形成与假设检验是一种高级的抽象思维能力。Li 等(2011)指出 9 岁儿童具备类似于成人的假设检验的神经机

制。本研究将从发展心理学的角度进一步揭示这一能力相关大脑发育的关联特征。

本研究所用实验材料与本文的第一个方案相同,只是将刺激的名称改为对儿童有吸引力的糖果,相应的任务是发现“何种类型的糖果可以吃”。所选取的被试为初步具有抽象思维能力的儿童,6

岁组、8岁组、10岁组和12岁组各20名。

由于形成假设与检验假设这一能力是一种复杂的高级认知,其主要的脑区可能是前额叶,尤其是BA10区,因此,我们预期随着年龄的增长,儿童的提出假设并进行检验的能力不断增强,其前额叶如BA10区的激活可能也表现出相应的变化趋势。

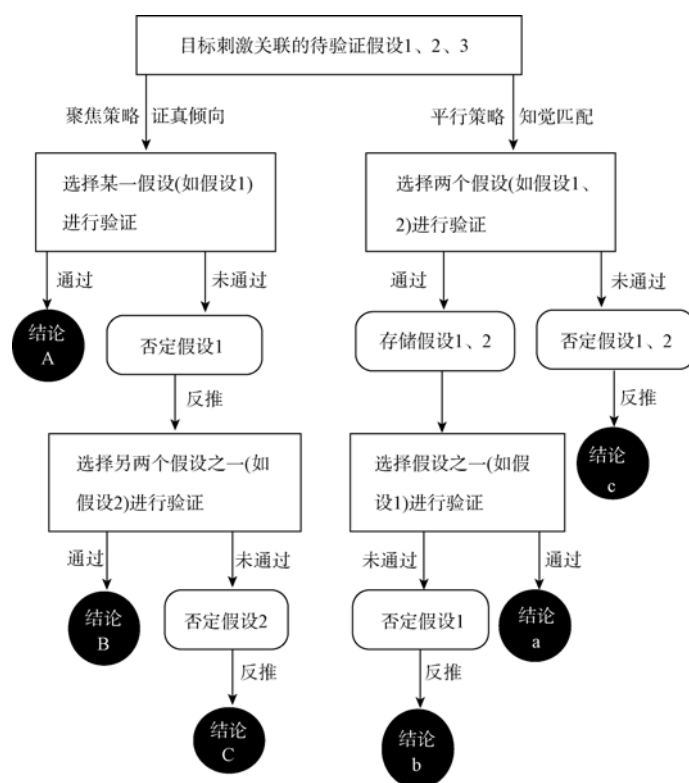


图2 本文研究构想1中多个假设检验过程分解图。目标刺激相关联的三个假设(假设1;假设2;假设3)分别对应三个结论(结论A或a;结论B或b;结论C或c),并通过不同的检验过程通达这些结论。其中最快速的路径为在证真倾向和聚焦策略影响下通达结论A的检验过程。

3 小结与展望

形成假设并尝试验证假设是一种普遍存在的与人类学习与适应密切相关的认知能力,但这种能力究竟由哪些脑区负责,其脑激活的动态特征如何,以及其发展神经特征又如何等问题仍不清楚。我们认为在假设检验的任务中,如果假设数量单一,其检验过程最为简单。如果可能为真的假设数量为两个(如假设1与假设2),则可在其中任选一个进行验证,如果为真则验证了所选假设;如果为假则否定了所选假设,同时可反推另一假

设为真。如果可能为真的假设数量为三个,其检验的过程较为复杂,也涉及不同的策略(如图2所示)。日常情景中的假设检验任务通常预先不知道可能为真的假设数量,其检验过程通常较复杂,且需要使用不同的策略。由图2可见,可能为真的三个假设对应三种可以被验证的结论,其中最经济最快速通达结论的路径是在证真倾向影响下使用聚焦策略通达结论A的过程,其次是在知觉匹配影响下使用平行策略通达结论c的过程。根据以往研究的结论,人们可能倾向于使用聚焦策略来证明所选择的一个假设为真,而不倾向于使

用平行策略通过证明所选择的两个假设为假来反证未选假设为真。本项目通过神经科学手段可以初步揭示这一证真倾向的生理机制。当然, 被试也可能受知觉匹配的影响, 优先选择共享知觉特征较多的刺激进行检验。另外, 从图2可见通达结论C和结论b都需要经历多个步骤, 分别包含两次反馈才能将三个假设最终收敛至唯一确定的结论。本项目将考察这一假设收敛的大脑反应, 进一步阐明假设检验的内在的生理机制。

本课题虽然在研究假设形成与检验这一复杂认知活动神经机制方面提出了一些设想并正在实施研究, 但可能由于技术与理论方面的不足, 也许仍然不能完全揭示这一认知活动的认知神经机制, 与相近领域的专家开展更广泛的合作并进行更深入的研究方能最终解决这一科学问题。

参考文献

- 张庆林, 司继伟. (1999). 大学生形成析取概念的假设检验策略研究. *心理学报*, 31(4), 397–404.
- 钟宁, 梁佩鹏, 秦裕林, 吕胜富, 杨延辉, 李坤成. (2009). 数据驱动的科学发现的神经机制: 一项 fMRI 研究. *中国科学C 辑: 生命科学*, 39, 271–278.
- Bruner, J. R., Goodnow, J. J., & Austin, G. A. (1956). *A study of thinking* (pp. 156–181). New York: Wiley.
- Cai, X., Li, F., Wang, Y., Jackson, T., Chen, J., Zhang, L., et al. (2011). Electrophysiological correlates of hypothesis evaluation: Revealed with a modified Wason's selection task. *Brain Research*, 1408, 17–26.
- Crescentini, C., Seyed-Allaei, S., De Pisapia, N., Jovicich, J., Amati, D., & Shallice, T. (2011). Mechanisms of rule acquisition and rule following in inductive reasoning. *The Journal of Neuroscience*, 31, 7763–7774.
- Elliott, R., & Dolan, R. J. (1998). Activation of different anterior cingulate foci in association with hypothesis testing and response selection. *Neuroimage*, 8, 17–29.
- Evans, J. (1989). *Bias in human reasoning: Causes and consequences*. Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Goel, V., & Dolan, R. J. (2000). Anatomical segregation of component processes in an inductive inference task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 110–119.
- Goel, V., & Grafman, J. (2000). Role of the right prefrontal cortex in ill-structured planning. *Cogn Neuropsychol*, 17, 415–436.
- Goel, V., & Vartanian, O. (2005). Dissociating the roles of right ventral lateral and dorsal lateral prefrontal cortex in generation and maintenance of hypotheses in set-shift problems. *Cerebral Cortex*, 15, 1170–1177.
- Li, F. H., Cao, B. H., Lei, Y., & Li, H. (2009b). Electrophysiological correlates of hypothesis testing. *Neuroreport*, 20(2), 197–201.
- Li, F. H., Cao, B. H., Gao, X. M., Xiao, F., Qing, J. L., & Li, H. (2009a). Temporal course and the electrophysiological correlates of hypothesis testing as revealed in a modified category induction task. *Brain Research*, 1301, 61–67.
- Li, F. H., Luo, Y. J., Cao, B. H., & Li, H. (2009c). Electrophysiological correlates of inductive generalization. *Journal of Psychophysiology*, 23, 27–34.
- Li, F. H., Cao, B. H., & Li, H. (2011). Similar brain mechanism of hypothesis-testing between children and adults. *Developmental Neuropsychology*, 36(8), 957–970.
- Papo, D., Baudonnière, P. M., Hugueville, L., & Caverni, J. P. (2003). Feedback in hypothesis testing: An ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 508–522.
- Papo, D., Douiri, A., Bouchet, F., Bourzeix, J. C., Caverni, J. P., & Baudonnière, P. M. (2007). Time-frequency intracranial source localization of feedback-related EEG activity in hypothesis testing. *Cerebral Cortex*, 17, 1314–1322.
- Qin, J. L., Xiao, F., Li, F. H., Sha, W. J., & Li, H. (2009). The characteristic of extrapolation in numerical inductive inference: An ERP study. *Brain Research*, 1295, 142–148.
- Sanjana, N., & Tenenbaum, J. B. (2002). Bayesian models of inductive generalization. In S. Becker, S. Thrun, & K. Obermayer (Eds.), *Advances in neural information processing systems* (vol. 15). Cambridge, MA: MIT Press.
- Wason, P. C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 129–140.
- Wason, P. C. (1966). Reasoning. In B. M. Foss (Ed.), *New horizons in psychology* (Vol. 1). Harmondsworth, UK: Penguin Books.
- Xiao, F., Li, F. H., Qing, J. L., & Li, H. (2011). Differentiation from hypothesis generation to hypothesis testing: some electrophysiological evidence. *Manuscript*.

The Neural Mechanism of Hypothesis Formation and Testing

LI Fu-Hong; CAO Yun-Fei; CAO Bi-Hua; CAI Xue-Li; LI Hong

(Key Laboratory of Cognitive and Personality of Ministry of Education; School of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Hypothesis formation and testing is an important tool to solve any complex problems. It is also the foundation of discovering rules, forming concept, establishing hypothesis, and acquiring knowledge. On the basis of previous behavioral and EEG studies, this project takes “category generalization-rule discovery” as the major paradigm and provides observers with multiple-dimensions perceptual stimuli to investigate the mechanism of the thinking process. Observers need to find the category-based rules through perceptual observation and feedback learning. The project focus on the brain mechanism of hypothesis selection, hypothesis convergence and the processing of negative (conflict) information, and attempts to reveal the individual developmental characteristics of hypothesis generation and testing.

Key words: Hypothesis formation; Hypothesis testing; neural mechanism

作者简介

李富洪, 西南大学心理学院副教授, 硕士生导师。主要研究领域为概念形成与分类等高级认知的神经机制。主持或参与多个国家自然科学基金、中央高校基本科研项目。