

• 研究前沿(Regular Articles) •

归纳推理的认知神经机制*

肖 凤¹ 李 红² 龙长权¹ 陈庆飞¹ 王荣燕¹ 李富洪²

(¹ 认知与人格教育部重点实验室(西南大学); 西南大学心理学院, 重庆 400715)

(² 辽宁师范大学心理发展与教育研究中心, 大连 116029)

摘 要 归纳推理是从特殊推导至一般的高级认知过程, 其认知神经机制是当前研究的新方向。对已有研究进行分析发现: (1) 归纳推理的核心过程与前额叶和晚期 ERP 成分密切相关; (2) 归纳推理可能存在双系统; (3) 归纳推理过程中大脑偏侧化的现象存在争议。以上三个问题需要后续归纳推理的认知神经机制研究进行验证。

关键词 归纳推理; 神经机制; 前额叶; 晚期 ERP 成分; 双系统; 偏侧化

分类号 B842

归纳推理, 是从特定的事件或事实向一般的事件或事实推论, 将知识或经验概括简约化的过程(李红, 陈安涛, 冯廷勇, 李富洪, 龙长权, 2004)。归纳推理是或然性的、不确定的推理, 是一系列认知活动的核心成分, 如分类, 概念形成, 决策等。现实生活中, 人们往往通过对特定情境事件的推测和概括, 来调整相应的行为。近 40 年来, 研究者已经在行为研究层面对归纳推理的心理机制进行了广泛的研究, 然而, 对归纳推理的神经机制研究则刚刚开始。有学者认为, 对归纳推理的神经机制研究, 是未来归纳推理研究的新方向(Hayes, Heit, & Swendsen, 2010)。

1 归纳推理神经机制的研究

目前归纳推理的神经机制研究主要包括病理研究, 正电子发射断层扫描(PET)和功能性核磁共振成像(fMRI)等脑成像研究, 以及事件相关电位(ERPs)研究等。相关实验任务主要包括语句型、图形型、数字型归纳推理三种。

1.1 归纳推理的病理研究

归纳推理的病理研究主要采用数字归纳

推理任务和瑞文推理任务, 根据掌握的资料, 尚未发现采用语句型归纳推理任务的病理研究报告。

1.1.1 数字归纳推理任务的病理研究

Langdon 和 Warrington (1997)首次探讨了大脑受损病人在数列完型任务(即数列推理, 如 3 5 7 9)中的表现, 结果发现虽然大脑左、右半球受损病人在该任务中都表现出严重缺陷, 但具体表现方式有所不同: 左半球受损病人在数字运算问题上表现显著差于右半球受损者和正常被试。作者据此推断右半球负责数字的估算, 而左半球负责规则概括。Yang, Liang, Lu, Li 和 Zhong (2009)采用相同任务对轻度认知障碍(mild cognitive impairment, MCI)病人进行研究发现, 在归纳推理中起重要作用的背侧前额叶(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC) BOLD 信号比常人更微弱, 而两侧功能性联结更强。因此, 推理能力的功能受损发生在大脑结构性变化前。此外, 正常老年人与病人都没有表现出明显的左偏侧化, 可能说明了左偏侧化与老化有关。

近年来, 研究者开始关注归纳推理与诸如记忆等其他认知能力的关系(Heit & Hayes, 2011)。Delazer 等人以遗忘症患者为被试, 采用数列完型任务探讨了内隐记忆对归纳推理的影响。例如, Delazer, Girelli 和 Benke (1999)发现严重遗忘症患者在数列推理任务中表现出启动

收稿日期: 2011-07-06

* 国家自然科学基金(81171289)和中央高校基本科研业务费专项资金(SWU1109086)。

通讯作者: 李红, E-mail: lihong@lnnu.edu.cn

效应, 即某一规则的数列会促进对下一个相同规则数列的正确反应。后续研究发现, 同一规则数列的促进作用不受分心任务性质的影响, 复杂数列中启动效应最明显, 长时延迟后启动效应消失(Delazer & Girelli, 2000); 并且该效应作用于规则识别阶段, 而非规则应用阶段(Girelli, Semenza, & Delazer, 2004)。上述研究表明, 内隐记忆在归纳推理中核心的规则识别阶段起作用。

Burgess 和 Shallice (1996)提出与数列推理类似的 Brixton 测试, 用来检测大脑受损对归纳推理的影响。该测试同时呈现标有数字 1~10 的 9 个白

色圆形小球和 1 个彩色小球, 且彩色小球按照某种规则(如“+2” :3 5 7, 见图 1)在不同位置间移动。实验要求被试指出彩色小球下一次出现的位置。结果发现, 额叶受损病人表现最差。Reverberi, Lavaroni, Gigli, Skrap 和 Shallice (2005)使用相同范式进行后续研究, 发现偏侧化现象: 与其他额叶受损被试相比, 左侧额叶受损病人表现最差。此外, 工作记忆正常组与较差组的病人表现差异不显著, 而且右侧额叶影响了对任务的注意和监控。因此, Reverberi 等人(2005)的研究表明, 排除了工作记忆和注意监控受损对规则归纳的影响, 归纳推理与左侧额叶活动密切相关。

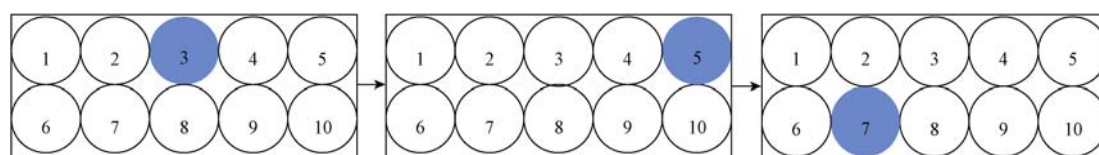


图 1 Brixton 测试的样例

1.1.2 图形归纳推理任务的病理研究

Waltz 等人(1999)采用改编后的瑞文推理测验探讨了额叶受损对归纳推理的影响。为了回答瑞文推理测验的矩阵问题, 个体需要通过归纳以推导不同项目间的关系。根据个体完成任务时需要同时加工的属性数量(即关系复杂性; Halford, Wilson, & Phillips, 1998), 该研究将实验任务划分为 0-关系问题, 1-关系问题和 2-关系问题(图 2)。其中, 0-关系问题仅需知觉匹配即可完成, 1-关系问题只考虑图形变化, 2-关系问题则需要同时考虑形状和颜色的变化。结果显示, 额叶损伤病人可以相对顺利地完成任务, 但是不能通过多个关系的整合问题。类似地, 老年痴呆病人可以相对顺利地完成任务, 但不能完成 2-关系的推理任务(Waltz et al., 2004)。根据推理表现将病人分组研究发现, 关系整合表现差的病人不能通过高负荷工作记忆和执行功能的测试。

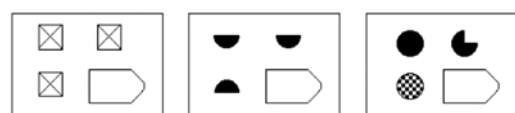


图 2 不同程度关系复杂性的矩阵问题

左 :0-关系; 中 :1-关系; 右 :2-关系(参见 Waltz et al., 1999)

1.2 归纳推理的脑成像研究

1.2.1 语句型归纳推理的脑成像研究

Goel, Gold, Kapur 和 Houle (1997)采用 PET 技术对三段论归纳推理进行研究。他们首先给出两个前提, 要求被试判断第三个论断是否成立。该研究使用的归纳推理任务包括类别推理(锂是毒药; 毒药引起猴子呕吐; 锂引起人呕吐)、或然性推理(昨天太阳被云遮住; 今天太阳被云遮住; 明天太阳会被云遮住), 以及因果推理(如果安娜学习, 她考试会得 A; 安娜没有学习, 而去滑冰; 安娜考试没有得 A)。结果发现, 归纳推理激活了左前额叶内侧区域(BA 8/9), 该激活与知识的提取与评估有关。后续研究中, Osherson 等人(1998)采用或然性推理作为任务, PET 结果激活左背侧前额叶(BA 8/10), 这与或然性信息加工有关; 左额内侧回、小脑和其他皮质下结构同样被激活, 与前提中语义信息的整合和复述相关。Parsons 和 Osherson (2001)考察了或然性推理和因果推理, 发现左半球相关脑区被激活, 包括负责回忆和评估语义信息的额下回(BA 47), 与注意加工和长时情境记忆相关的扣带后回, 与陈述性语义记忆有关的海马和颞中回, 以及与执行注意有关的中前额叶。

Goel 和 Dolan (2004)使用时间分辨率相对更高的 fMRI 技术,探讨了类别归纳推理的神经机制。fMRI 结果同样显示左偏侧化,激活了额叶内侧区域、枕叶、顶叶和其他皮质下结构。激活的核心区域为与背景知识的使用、以及假设形成与评估相关的背侧前额叶。

1.2.2 图形型归纳推理的 fMRI 研究

图形型归纳推理主要采用的任务有:瑞文推理测验、图形类别归纳任务和脑区激活检测任务。

Prabhakaran, Smith, Desmond, Glover 和 Gabrieli (1997)将瑞文推理测验分为图像性问题和分析性问题,图像性问题通过知觉分析即可完成,分析性问题则需要形式化规则的分析。结果显示,图像性问题激活了与视觉-空间工作记忆有关的脑区,包括右额叶和顶叶;分析性问题激活了与语言工作记忆和执行成分相关的脑区,包括双侧额叶和颞叶。Christoff 等人(2001)检测了归纳推理的关系复杂性因素,发现与 0-关系和 1-关系问题相比,2-关系的推理激活了右背侧前额叶和双侧前额叶嘴部(BA 10);且左前额叶嘴部的激活随着关系复杂性的增加而增加,因此推断该脑区可能负责内在信息的生成。Kroger 等人(2002)在此基础上线性增加与任务有关的属性维度,以及与任务无关的分心物,同时探讨关系复杂性和任务难度的作用。结果发现关系复杂性的增加引起了背侧前额叶和顶叶的激活强度增强,反映了顶叶表征和操作视觉信息,该过程受到背侧前额叶的控制;多重关系推理激活了前额叶前部。此外,关系复杂性和任务难度的增加导致了左额下回和扣带前回的激活增强,前者与任务相关属性的选择有关,后者反映了关系整合中关键属性的保持以及对无关属性的抑制。

Goel 和 Dolan (2000)采用类别归纳任务,要求被试推断新异动物是否具有相同特征。fMRI 结果发现,为了识别刺激间是否具有共同特征,对刺激特征进行选择的过程激活了双侧海马,而右侧眶额回(BA 47/11)负责根据任务相关性对假设进行选择。梅杨等人(2010)采用简单几何图形,并赋予抽象属性,要求被试判断后续刺激是否具有同一属性。结果表明,前额皮层-纹状体-丘脑通路基于知觉分析抽取刺激间共同特征,且未表现出明显偏侧化;当刺激间存在多个共同知觉特征时,右侧额下回、双侧尾状核头部和壳核等负责多个

特征的整合。

Weber 和 Osherson (2010)认为相似性决定了归纳推理,两个物体越相似,那么从一个物体推断至另一个物体的归纳力度越强。如“绵羊的额叶至少有 18%的皮质”可有效预测“山羊的额叶至少有 18%的皮质”这一论断。为了检测动物激活的脑区相似程度,首先呈现某类动物名称,然后相继呈现一系列动物图片,要求被试指出不符合名称的图片。结果显示,与相似性判断的行为数据相比,与自然类别的识别相关的脑区激活程度更能准确预测类别间推断的可能性,包括左 BA 37 区(包括颞叶的后腹部和纺锤体)、左 BA 19 区(枕侧回)和左颞腹回(包括颞下回,纺锤体和海马旁回)。

1.2.3 数字型归纳推理的 fMRI 研究

目前关于数学归纳推理的 fMRI 研究中,Prabhakaran, Rypma 和 Gabrieli (2001)采用必要数学操作测试来检测数学推理的脑区激活。问题划分为仅加工问题文本的 1-操作问题,以及需要额外数字推理的 2-操作问题。结果发现,数字推理激活了广泛的额叶区域,包括额上回、额中回和额下回。作者认为左侧部分使用非空间工作记忆资源构建问题模型,右侧部分则使用空间工作记忆资源构建了情景模型。此外,文本加工激活了与语言相关的颞叶。

Lu, Liang, Yang 和 Li (2010)使用函数发现任务,要求被试从连续两个倒立三角形内,分别位于三个角的三个数字发现同一运算规则,然后判断第三个倒立三角形是否符合该规则。fMRI 结果发现与背侧前额叶连接的运动前回(BA 6)被激活并表现出左偏侧化,反映了内隐关系整合。

钟宁等人(2009)在数列完成任务中发现了明显的启动效应,并且简单数列启动效应引起更强的左背侧前额叶活动,而复杂数列启动效应导致更强的左前额叶前部激活。左背侧前额叶可能与规则识别/归纳有关,左前额叶前部可能与归纳过程中心理状态的保持有关。Jia 等人(2011)更进一步的研究发现,额-顶网络在数列归纳过程中被激活,并同样参与了规则的应用过程。数列归纳的外推过程激活了纹状体-丘脑网络。此外,规则识别与应用过程中心理状态的保持激活了左前额叶前部,数字的识别激活了顶上叶。

Crescentini 等人(2011)采用 fMRI 技术,并将

Brixton 测试划分为搜索、获得和追随三个阶段进行研究发现,规则搜索和规则获得导致了背侧前额叶中部的激活,多重推理的整合加工激活了前额叶前部。获得规则过程中,复杂规则比简单规则激活了更大的左背侧前额叶、左前额叶前部和双侧顶叶。此外,规则追随(对规则的应用)激活了背侧前额叶中部、颞叶、运动区和前额叶前部。

1.3 归纳推理的 ERP 研究

1.3.1 图形型归纳推理任务的 ERP 研究

ERP 技术为归纳推理的时间进程提供了精确的电生理证据,并可深入探讨归纳推理的子过程。当前归纳推理的 ERP 研究主要集中于图形型归纳推理。Bigman 和 Pratt (2004)分析了类别归纳任务中相继呈现的同一类别刺激,发现类别归纳中的知觉分析不是对刺激的所有特征进行全扫描,而是选择性地对刺激共享特征进行加工,由此诱发了 P150、N170 和 P450 等成分。Chen 等人(2007)将类别归纳与相同图形的知觉匹配任务相比,类比归纳中抽取共同属性的加工引起了正慢波(positive slow wave, PSW)的偏转。Chen 等(2008)后续研究显示,当存在与类别无关的属性时,额外的认知资源被用以觉察和控制冲突,定位于前扣带回的 N2 和前额叶的 P3 分别被激活。Li 等人(2009)要求被试判断哪种图形的电池有电,通过比较类别归纳任务与不可归纳任务,他们发现具有相同特征的类别归纳条件缩短了 N1 潜伏期,并同样显示了晚正成分(late positive component, LPC)的正向偏转。后续研究显示,如果已经归纳出的规则被拒绝,会诱发比归纳规则确认和加强更大的晚正成分(Li, Luo, Cao, & Li, 2009)。

1.3.2 数字型归纳推理任务的 ERP 研究

目前数字型归纳推理主要关注推理结果的外推过程,如呈现数列“2 4 6”,要求被试判断“8”或“9”是否与数字的规则一致。Núñez-Peña 等人(Núñez-Peña & Honrubia-Serrano, 2004; Núñez-Peña & Escera, 2007)研究了一致性对外推过程的影响,结果显示不一致的数字诱发了与错误觉察相关的 N2,以及与数字整合难度相关的正慢波。Qin, Xiao, Li, Sha 和 Li (2009)发现外推过程受到任务难度的影响,P2 和 P3 的波幅均随任务难度的增加而变小。Lelekov 等人(Lelekov, Dominey, & Garcia-Larrea, 2000; Lelekov-Boissard & Dominey, 2002)采用与数列完型任务类似的字母序列完型任务,结果

发现与字母序列的表面结构(如“ADEGE”与“CBEAE”共享“XXEXE”的特征)相比,字母序列的抽象结构(如“ADEAD”与“CBDCB”共享“12312”的结构)导致了后部晚正成分的波幅增强。

1.3.3 语句型归纳推理任务的 ERP 研究

Liang, Zhong, Lu 和 Liu (2010)通过操作三段论归纳推理中结论与前提的相关性,研究了语句型归纳推理中结论加工的时间进程。结果发现,结论正误判断包括三个阶段:知觉分析(额部 P200 和后部 N200)、语义信息的整合(额部 LNC: 250~600 ms),以及反应选择(右半球的慢波: 650~1500 ms)。

2 不同类型的归纳推理神经机制研究的分析

2.1 病理研究启示了归纳推理存在复杂的认知神经机制

病理研究首先表明,额叶损伤导致了不同类型的归纳推理表现缺陷。例如,MCJ 病人背侧前额叶在数字完型任务中的激活比正常人弱,暗示数字完型归纳任务与额叶有关。同样地,Burgess 和 Shallice (1996)和 Reverberi 等人(2005)的研究都显示,与正常人相比,额叶受损病人在与数列推理类似的 Brixton 测试中的成绩较差。其次,病理研究较为一致的支持了归纳推理的左半球优势。对大脑左、右半球受损病人在数字完型任务中的研究(Langdon & Warrington, 1997)表明,左半球可能负责规则概括。在 Brixton 任务中,与其他额叶受损被试相比,左侧额叶受损病人表现最差(Reverberi et al., 2005)。

其次,推理任务中关系复杂性也起着重要作用,即推理问题中变异来源的数量显著影响了额叶损伤病人的表现。当问题只涉及单一的信息维度时,仅左半球额叶即可完成归纳推理,并受到内隐记忆的影响;当问题涉及多个信息维度时,归纳推理的完成则需要工作记忆和执行功能的参与。此外,内隐记忆作用于规则识别这一归纳推理的核心加工过程。这些影响因素表明,归纳推理作为一种高级认知过程,可能存在较为复杂的认知神经机制。

2.2 语句型归纳推理的后续研究可以为归纳推理的理论争议提供多角度的神经机制证据

语句型归纳推理任务的核心加工过程是根据前提提取相关的背景知识,与前提整合形成对应

假设,从而激活了前额叶,包括BA8、BA9、BA10和BA47等区域。ERP研究表明,背景知识与前提整合的过程诱发额部LNC。由于与语义加工密切相关,该类型的归纳推理任务表现出明显的左半球优势。当前语句型归纳推理涉及多种任务,包括类别推理、或然性推理和因果推理。已有研究没有严格区分这些问题类型,这可能是导致加工论断的脑区激活不一致的原因之一。因此,不同问题类型是否存在领域一般的神经环路还需要更为细致的后续研究。其次,已有语句型归纳推理的研究主要采用脑成像技术,通过相应的脑区激活差异来推测认知加工活动。然而,正如Liang等人(2010)的提示,ERP技术可以说明认知加工活动更精细的时间进程,从而为归纳推理的认知加工机制提供不同角度的信息。

2.3 图形型归纳推理的神经机制研究呈现百家争鸣的局面

为了完成图形型归纳推理任务,个体首先注意和知觉加工刺激间的共同特征,体现在早期成分N1和P1上,该过程与额下回有关;整合不同属性从而形成类别的假设,诱发了顶后部的晚正成分,并激活前额叶前部。对相关属性识别的同时,无关的额外属性被抑制,这一过程激活了前扣带回。多数研究发现图形型归纳推理具有左半球优势,其中,左下额回(Kroger et al., 2002)负责相关属性的选择,前额叶前部负责不同属性的整合(Christoff et al., 2001; Kroger et al., 2002)。然而,部分研究(Goel & Dolan, 2000; Prabhakaran et al., 1997)发现右侧额叶在图像性矩阵问题和新异动物分类任务中均有明显激活,包括根据任务相关性对属性进行选择(Goel & Dolan, 2000)与整合(梅杨等, 2010)。因此,图形型归纳推理的核心加工过程定位仍然存在争议,相关研究有待进一步深入。

2.4 数字型归纳推理发现额-顶网络的参与,但额叶为核心区域

数字型归纳推理首先对数字进行加工,诱发了定位于顶叶的P2成分(Dehaene, 1996);规则的假设形成与后部晚正成分有关,并激活背侧前额叶;此外,在工作记忆中当前信息的保持,引起了前额叶前部的激活;由于与数字加工有关,因此顶叶通常也被激活。数字型归纳推理中规则归纳过程主要由额-顶网络负责(Crescentini et al.,

2011; Jia et al., 2011),该网络在图形型归纳推理中也有类似激活(Christoff et al., 2001; Kroger et al., 2002; Prabhakaran et al., 1997)。然而当推理问题不涉及数字信息的表征与操作时,顶叶并没有激活(Prabhakaran et al., 2001)。因此,额-顶网络中,与数字型归纳推理相关的核心脑区依然为额叶。

2.5 ERP和fMRI技术的结合为归纳推理的神经机制研究提供更精确的时间和空间证据

结合已有脑成像研究和ERP结果,归纳推理的核心过程-假设形成与前额叶和晚期成分有关。前提信息的加工诱发了早期成分,如P1或N1,数字或视觉空间前提信息的加工激活了顶叶。与此同时,归纳需要识别关键信息并抑制无关信息,假设拒绝正波或定位于扣带回的N2会被激活。尽管如此,归纳推理的神经机制研究刚刚起步,fMRI和ERP技术的结合有助于深入考察参与归纳推理的神经网络。例如,大部分脑成像研究显示归纳推理激活额叶区域,后续研究可以结合两种技术对晚期成分进行精确定位,从而说明准确的假设形成过程。

3 当前归纳推理神经机制研究的问题

3.1 归纳推理与演绎推理是否为同一过程?

归纳推理的神经机制研究源于对推理本质的关注。与归纳推理相对的另一种推理为演绎推理。根据事实的概括性,可将推理划分为从特殊到一般的归纳推理,和一般到特殊的演绎推理。也可根据推理前提为结论提供支持的力度,将推理划分为有限支持的归纳推理和绝对支持的演绎推理。对于两种不同推理过程的关系,存在两种理论:一种认为归纳与演绎推理是同一过程,如Johnson-Laird (1983)的心理模型理论,Rips (2001)的标准转换理论等。另一种观点则认为推理存在两种不同的过程(Sloman, 1993; Evans, 2003),一种是直觉的、快速的、受到情境影响的加工,另一种则是基于规则的、分析性的过程。虽然两个系统并非严格对应于归纳推理与演绎推理,但是归纳推理更依赖于前一个系统,演绎推理更依赖于后一个系统。

对于这两种观点,归纳推理的神经机制研究提供了不同的证据。当前的病理研究发现左侧额叶损伤均导致两种推理方式的表现受损(Waltz et al., 1999, 2004)。已有的ERP研究也显示,归纳推

理与演绎推理均与晚成分相关(Chen et al., 2007; Li et al., 2009; Qiu et al., 2007)。尽管部分研究支持了单一加工理论, 更多研究结果支持双系统的观点。脑成像研究发现, 两种推理方式的激活发生分离。其中 Goel 等人则发现了左侧额叶的分离, 归纳推理引起更强的背侧前额叶激活, 反映了假设的形成与评估。此外, 归纳推理激活左额下回的程度比演绎推理更弱, 反映了后者对语义加工和工作记忆的需求更大(Goel & Dolan, 2004; Goel et al., 1997)。而 Osherson 和 Parsons 等人的研究显示归纳推理与演绎推理的偏侧化现象, 归纳推理额外激活了左半球相关脑区, 演绎推理额外激活了右半球与语言加工相关的脑区。尽管如此, 这一系列研究都表明归纳推理与演绎推理发生分离, 支持了推理的双系统理论, 但是归纳推理与演绎推理的分离是否能够说明推理确实存在双系统, 还有待后续研究支持。此外, Heit (2007)认为单一加工理论对诸多现象进行了合理有效的预测, 完全放弃还为时过早, 而双系统理论还需要进一步发展加工细节的解释和预测。

3.2 不同类型的归纳推理认知神经机制是否相同?

关于归纳推理的认知机制, 目前存在两种主要观点。一种认为归纳推理是基于知觉相似的, 如 Osherson 的相似性覆盖模型(Osherson, Smith, Wilkie, López, & Shafir, 1990)、Sloman 的基于特征的归纳推理模型(Sloman, 1993)等。另一种认为归纳推理是基于知识与概念的, 如 Medin 的相关性理论(Medin, Coley, Storms, & Hayes, 2003), McDonald 的假设评估模型(McDonald, Samuels, & Rispoli, 1996)和 Heit 的贝叶斯模型(Heit, 1998)等。

对于归纳推理认知机制的争议, 当前神经机制研究可提供部分证据。如 Weber 和 Osherson (2010)检测类别识别的相关脑区激活程度发现, 该激活能有效预测被试的行为反应。另外, 大部分图形型与数字型归纳推理研究发现顶叶的激活, 反映了对空间和数字信息的加工和推理, 从而支持了基于相似性的归纳推理观点。

然而, 脑成像研究显示加工语言的颞叶参与了复杂的分析性矩阵问题(Prabhakaran et al., 1997), 与规则相关的数字型推理任务表现出数据驱动的现象(Delazer & Girelli, 2000; Delazer et al., 1999; Girelli et al., 2004; 钟宁等, 2009)。其次, 数

列推理中同样发现额-颞系统参与了数字运算步骤的判断(Prabhakaran et al., 2001)。然后, 归纳推理中对抽象结构或规则的分析系统与额极和正慢波密切相关(Lelekov-Boissard & Dominey, 2002; Lelekov et al., 2000; Strange, Henson, Friston, & Dolan, 2001)。这些结果表明归纳推理是基于知识与概念的。

此外, 归纳推理是否卷入信息整合可能导致了系统分离, 从而引起额叶受损病人在不同关系复杂水平下的表现差异。据此可推测, 两种理论可能分别代表了 3.1 中讨论的双系统的一部分, 即基于知觉相似的归纳推理是直觉的快速加工, 而基于知识概念的归纳推理是慢速的分析性的过程。这一假设还需要更多实验证据的支持。

3.3 归纳推理是否存在大脑半球偏侧化?

推理过程是否存在偏侧化现象一直备受关注。Gazzaniga (1989)通过裂脑人研究发现并提出大脑存在一种“解释器”, 来解释环境信息的意义, 并形成因果假设。这一“解释器”存在于大部分人的左半球, 尤其是额叶可能存在一个“解释器”。尽管左半球表现出强大的解释能力, 近期研究发现右半球对其负责的领域具有更强的解释能力, Corballis (2003)提出了“右半球视觉解释器”概念, 来表示视觉环境的更高表征。

大部分病理研究支持归纳推理的左侧化, 即使 Langdon 和 Warrington (1997)发现大脑两半球损伤均导致不能识别数字规则, 作者也认为左半球负责规则推断。归纳推理和演绎推理分别表现左右半球的偏侧化现象(Osherson et al., 1998; Parsons & Osherson, 2001), 归纳推理的左半球优势在其他脑成像研究中也得以证明。首先, 与语义加工密切相关的语句型归纳推理表现出明显的左半球优势(Goel & Dolan, 2004; Goel et al., 1997; Osherson et al., 1998; Parsons & Osherson, 2001)。其次, 如前所述的图形型和数字型归纳推理研究也支持左偏侧化的观点(Christoff et al., 2001; Jia et al., 2011; Kroger et al., 2002)。然后, 其他数学归纳推理研究也同样发现, 推理过程中识别规则、保持信息以及信息的内隐整合都显示了左半球的优势(Lu et al., 2010; 钟宁等, 2009)。

部分研究显示右半球同样参与归纳推理。图形型归纳推理研究发现右侧额叶的激活与视觉空间信息的操作有关(Prabhakaran et al., 1997)。此外,

Prabhakaran 等人(2001)认为当数字型推理问题涉及空间工作记忆时,右侧额叶被激活。这一观点在涉及几何操作的 Brixton 任务中得到验证(Crescentini et al., 2011)。MCI 病人的研究说明双侧背侧前额叶的功能性联结同样与规则归纳能力密切相关(Yang et al., 2009)。总之,如果任务与空间视觉信息有关,右半球也参与推理过程。因此,图形型和数字型归纳推理的结果对左偏侧化的观点提出了质疑,有待进一步开展相关研究。

4 结语

结合已有的研究结果,可以发现:

(1)已有的认知神经机制研究表明,归纳推理与演绎推理是独立的两个过程,当前研究较少关注这两个过程的分离具体发生在哪个阶段。Heit 和 Hayes (2011)指出,再认记忆过程中表现出的双加工,即回忆和熟悉性加工可以对此进行解释。该假设有待后续研究支持,从而深入探讨归纳推理与演绎推理分离过程的问题。

(2)目前,关于归纳推理的基于相似和基于知识两种理论模型争议,能提供支持的神经机制研究较少,这是因为知觉与概念通常较难分离。如归纳图形共同特征时,对视觉属性进行加工的过程很难避免同时进行的概念加工,如“红色斜纹三角形”与“黄色斜纹十字形”的命名。Weber 和 Osherson (2010)的研究为后续归纳推理模型的验证提供了独特视角。另一种可借鉴的方式为 Goel 和 Dolan (2000)等人采用新异动物分类任务,以此排除已有概念的干扰。总之,为了进一步验证归纳推理基于知觉还是基于知识的争论,有待探讨新的认知神经机制研究范式。

(3)当前研究主要采用瑞文推理测验来考察关系复杂性在归纳推理中的作用。瑞文推理测验通常测量更一般的推理能力,即流体推理。有必要采用更合适的归纳推理任务,深入探讨关系复杂性这一影响因素,从而提供证据说明工作记忆在归纳推理中的具体作用。

(4)归纳推理是否存在大脑偏侧化,这种偏侧化是否说明推理双系统,同样需要进一步验证。如视觉空间工作记忆是否导致了右半球在归纳推理中的激活,有待研究。结合病理研究、PET、ERP、fMRI 等一系列的认知神经科学技术,可以

描绘出归纳推理的时间进程和相应的脑区激活,从而揭示出归纳推理的神经机制,并为推理单系统和双系统之争提供有效证据。

参考文献

- 李红, 陈安涛, 冯廷勇, 李富洪, 龙长权. (2004). 个体归纳推理能力的发展及其机制研究展望. *心理科学*, 27(6), 1457-1459.
- 梅杨, 梁佩鹏, 吕胜富, 杨延辉, 钟宁, 李坤成. (2010). 图形型归纳推理的神经机制: 一项 fMRI 研究. *心理学报*, 42(4), 496-506.
- 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(3), 271-278.
- Bigman, Z., & Pratt, H. (2004). Time course and nature of stimulus evaluation in category induction as revealed by visual event-related potentials. *Biological Psychology*, 66(2), 99-128.
- Burgess, P. W., & Shallice, T. (1996). bizarre responses, rule detection and frontal lobe lesions. *Cortex*, 32, 241-259.
- Chen, A. T., Luo, Y. J., Wang, Q. H., Yuan, J. J., Yao, D. Z., & Li, H. (2007). Electrophysiological correlates of category induction: PSW amplitude as an index of identifying shared attributes. *Biological Psychology*, 76(3), 230-238.
- Chen, A. T., Xu, P., Wang, Q. H., Luo, Y. J., Yuan, J. J., Yao, D. Z., et al. (2008). The timing of cognitive control in partially incongruent categorization. *Human Brain Mapping*, 29(9), 1028-1039.
- Christoff, K., Prabhakaran, V., Dorfman, J., Zhao, Z., Kroger, J. K., Holyoak, K. J., et al. (2001). Rostrolateral prefrontal cortex involvement in relational integration during reasoning. *NeuroImage*, 14(5), 1136-1149.
- Corballis, P. M. (2003). Visuospatial processing and the right-hemisphere interpreter. *Brain and Cognition*, 53(2), 171-176.
- 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. *Journal of Neuroscience*, 31(21), 7763-7774.
- Dehaene, S. (1996). The organization of brain activations in number comparison: Event-related potentials and the additive-factors method. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(1), 47-68.
- Delazer, M., & Girelli, L. (2000). Priming arithmetic reasoning in an amnesic patient. *Brain and Cognition*, 43, 138-143.
- Delazer, M., Girelli, L., & Benke, T. (1999). Arithmetic reasoning and implicit memory: A neuropsychological

- study on amnesia. *Cortex*, 35(5), 615–627.
- Evans, J. (2003). In two minds: dual-process accounts of reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(10): 454–459.
- Gazzaniga, M. S. (1989). Organization of the human brain. *Science*, 245(4921), 947–952.
- Girelli, L., Semenza, C., & Delazer, M. (2004). Inductive reasoning and implicit memory: Evidence from intact and impaired memory systems. *Neuropsychologia*, 42(7), 926–938.
- Goel, V., & Dolan, R. J. (2000). Anatomical segregation of component processes in an inductive inference task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 110–119.
- Goel, V., & Dolan, R. J. (2004). Differential involvement of left prefrontal cortex in inductive and deductive reasoning. *Cognition*, 93(3), B109–B121.
- Goel, V., Gold, B., Kapur, S., & Houle, S. (1997). The seats of reason? An imaging study of deductive and inductive reasoning. *Neuroreport*, 8(5), 1305–1310.
- Halford, G. S., Wilson, W. H., & Phillips, S. (1998). Processing capacity defined by relational complexity: Implications for comparative, developmental, and cognitive psychology. *Behavioral and Brain Sciences*, 21(6), 803–831.
- Hayes, B. K., Heit, E., & Swendsen, H. (2010). Inductive reasoning. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1, 278–292.
- Heit, E. (1998). A Bayesian analysis of some forms of inductive reasoning. In M. Oaksford & N. Chater (Eds.), *Rational models of cognition* (pp. 248–274). Oxford: Oxford University Press.
- Heit, E. (2007). What is induction and why study it. In A. Feeney & E. Heit (Eds.), *Inductive reasoning* (pp. 1–24). Cambridge: Cambridge University Press.
- Heit, E., & Hayes, B. K. (2011). Predicting reasoning from memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 140(1), 76–101.
- Jia, X. Q., Liang, P. P., Lu, J., Yang, Y. H., Zhong, N., & Li, K. C. (2011). Common and dissociable neural correlates associated with component processes of inductive reasoning. *NeuroImage*, 56(4), 2292–2299.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models: Toward a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press.
- Kroger, J. K., Sabb, F. W., Fales, C. L., Bookheimer, S. Y., Cohen, M. S., & Holyoak, K. J. (2002). Recruitment of anterior dorsolateral prefrontal cortex in human reasoning: A parametric study of relational complexity. *Cerebral Cortex*, 12(5), 477–485.
- Langdon, D. W., & Warrington, E. K. (1997). The abstraction of numerical relations: A role for the right hemisphere in arithmetic? *Journal of the International Neuropsychological Society*, 3(3), 260–268.
- Lelekov, T., Dominey, P. F., & Garcia-Larrea, L. (2000). Dissociable ERP profiles for processing rules vs instances in a cognitive sequencing task. *Neuroreport*, 11(5), 1129–1132.
- Lelekov-Boissard, T., & Dominey, P. F. (2002). Human brain potentials reveal similar processing of non-linguistic abstract structure and linguistic syntactic structure. *Clinical Neurophysiology*, 32(1), 72–84.
- Li, F. H., Cao, B. H., Gao, X. M., Xiao, F., Qing, J. L., & Li, H. (2009). 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. (2009). Electrophysiological correlates of inductive generalization. *Journal of Psychophysiology*, 23(1), 27–34.
- Liang, P. P., Zhong, N., Lu, S. F., & Liu, J. M. (2010). ERP characteristics of sentential inductive reasoning in time and frequency domains. *Cognitive Systems Research*, 11(1), 67–73.
- Lu, S. F., Liang, P. P., Yang, Y. H., & Li, K. C. (2010). Recruitment of the pre-motor area in human inductive reasoning: An fMRI study. *Cognitive Systems Research*, 11(1), 74–80.
- McDonald, J., Samuels, M., & Rispoli, J. (1996). A hypothesis-assessment model of categorical argument strength. *Cognition*, 59(2), 199–217.
- Medin, D. L., Coley, J. D., Storms, G., & Hayes, B. L. (2003). A relevance theory of induction. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10(3), 517–532.
- Núñez-Peña, M. I., & Escera, C. (2007). An event-related brain potential study of the arithmetic split effect. *International Journal of Psychophysiology*, 64(2), 165–173.
- Núñez-Peña, M. I., & Honrubia-Serrano, M. L. (2004). P600 related to rule violation in an arithmetic task. *Cognitive Brain Research*, 18(2), 130–141.
- Osherson, D., Perani, D., Cappa, S., Schnur, T., Grassi, F., & Fazio, F. (1998). Distinct brain loci in deductive versus probabilistic reasoning. *Neuropsychologia*, 36(4), 369–376.
- Osherson, D. N., Smith, E. E., Wilkie, O., López, A., & Shafir, E. (1990). Category-based induction. *Psychological Review*, 97(2), 185–200.
- Parsons, L. M., & Osherson, D. (2001). New evidence for distinct right and left brain systems for deductive versus probabilistic reasoning. *Cerebral Cortex*, 11(10), 954–965.
- Prabhakaran, V., Rypma, B., & Gabrieli, J. D. E. (2001).

- Neural substrates of mathematical reasoning: A functional magnetic resonance imaging study of neocortical activation during performance of the necessary arithmetic operations test. *Neuropsychology*, 15(1), 115–127.
- Prabhakaran, V., Smith, J. A. L., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. E. (1997). Neural substrates of fluid reasoning: An fMRI study of neocortical activation during performance of the Raven's Progressive Matrices Test. *Cognitive Psychology*, 33, 43–63.
- Qiu, J., Li, H., Huang, X. T., Zhang, F. H., Chen, A. T., Luo, Y. J., et al. (2007). The neural basis of conditional reasoning: An event-related potential study. *Neuropsychologia*, 45(7), 1533–1539.
- Qin, J. J., 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.
- Reverberi, C., Lavaroni, A., Gigli, G., Skrap, M., & Shallice, T. (2005). Specific impairments of rule induction in different frontal lobe subgroups. *Neuropsychologia*, 43(3), 460–472.
- Rips, L. J. (2001). Two kinds of reasoning. *Psychological Science*, 12(2), 129–134.
- Sloman, S. A. (1993). Feature-based induction. *Cognitive Psychology*, 25(2), 231–280.
- Strange, B.A., Henson, R.N.A., Friston, K.J., & Dolan, R.J. (2001). Anterior prefrontal cortex mediates rule learning in humans. *Cerebral Cortex*, 11(11), 10400–1046.
- Waltz, J. A., Knowlton, B. J., Holyoak, K. J., Boone, K. B., Back-Madruga, C., McPherson, S., et al. (2004). Relational integration and executive function in Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 18(2), 296–305.
- Waltz, J. A., Knowlton, B. J., Holyoak, K. J., Boone, K. B., Mishkin, F. S., de Menezes Santos, M., et al. (1999). A system for relational reasoning in human prefrontal cortex. *Psychological Science*, 10(2), 119–125.
- Weber, M., & Osherson, D. (2010). Similarity and Induction. *Review of Philosophy and Psychology*, 1(2), 245–264.
- Yang, Y. H., Liang, P. P., Lu, S. F., Li, K. C., & Zhong, N. (2009). The role of the DLPFC in inductive reasoning of MCI patients and normal agings: An fMRI study. *Science in China Series C: Life Sciences*, 52(8), 789–795.

The Neural Mechanism of Inductive Reasoning

XIAO Feng¹; LI Hong²; LONG Chang-Quan¹; CHEN Qing-Fei¹; WANG Rong-Yan¹;
LI Fu-Hong²

(¹ Key Laboratory of Cognitive and Personality of Ministry of Education; School of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

(² Research Center of Psychological Development and Education, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: Inductive reasoning is the process to infer general knowledge from specific instances. Cognitive neural mechanism of inductive reasoning is the new direction in the current researching field. Analyses of existing findings reveal that: (1) the central process of inductive reasoning is closely associated with the prefrontal cortex and late ERP component; (2) there might be dual systems of inductive reasoning; (3) it is debatable whether the process of inductive reasoning shows left laterality. The above three issues remain open to further investigation on neural mechanism of inductive reasoning.

Key words: inductive reasoning; neural mechanism; prefrontal cortex; late ERP component; dual systems; laterality