

## 工作记忆与智力的关系

段小菊 施建农

对智力的测量在国内外都是古而有之的,考虑到智力测验的文化公平性、练习效应等问题,研究者期望可以用认知基础代表智力测验。基本认知包括知觉速度、注意、工作记忆(working memory)、学习等,而工作记忆取向是研究智力认知基础的一个最有希望的起点<sup>[1]</sup>。本文将回顾有关工作记忆与智力关系的研究。

### 一、工作记忆与智力的概念

1974 年, Baddeley 和 Hitch<sup>[2]</sup> 在模拟短时记忆障碍的实验基础上,提出了工作记忆的概念。与短时记忆仅强调储存功能不同,工作记忆是对信息进行暂时性加工和储存的能量有限的系统,它有三个子成分,分别是中央执行(central executive)系统、语音回路(phonological loop)和视觉空间模板(visuo-spatial sketchpad)。中央执行系统是工作记忆中的核心成分,负责各子系统之间以及它们与长时记忆的联系,也负责注意资源的协调和策略的选择与计划。语音回路主要负责语音信息的存储和加工。视觉空间模板主要处理视觉和空间信息。长期以来,在心理学中,智力概念的界定比较模糊。有的研究者认为智力就是一种推理能力。Spearman 则认为智力可以被分解为一般因素(general factor, 简称为 g 因素)和特殊因素,其中 g 因素是各种智力活动中共同起作用的因素,体现了智力活动的共性,也是区分个体智力水平高低的主要因素。另有研究者把智力分为流体智力和晶体智力。流体智力指在信息加工和问题解决过程中所表现的能力,它较少依赖于文化和知识的内容,而决定于个人的禀赋。晶体智力指获得语言、数学知识的能力,它决定于后天的学习,与社会文化有密切的关系。

### 二、有关工作记忆与智力关系的研究及解释

1. 工作记忆与智力关系的有关研究: 在 Kyllonen 等<sup>[3]</sup> 1990 年的研究之后, 很多研究发现, 工作记忆与智力, 包括与 g 因素、推理能力、流体智力之间都有显著的相关<sup>[4,6]</sup>。这些研究中的智力测验包括 Raven 推理测验、Cattell 文化公平测验、韦氏智力测验及其他多种测验, 工作记忆测验涉及不同内容和类型, 研究对象包括不同年龄、受教育水平和文化背景的被试。

与相关研究相比, 潜变量研究可以提供变量较清晰的结构, 揭示变量间的真实关系。近期几个采用潜变量分析的研究结果表明, 工作记忆能够解释三分之一到一半的 g 因素的变异<sup>[6]</sup>。Engle 等<sup>[7]</sup> 发现从工作记忆任务抽取的潜变量可以预测一般流体智力, 而从简单广度任务中得到的潜变量却不能。但该研究中只采用了言语广度任务, 不够全面。随后, 有研究者设计了更全面的任务, 得到的相关系数与 Engle 的相近<sup>[4,6]</sup>。也有研究者同时考察了其他变量, 结果表明只有工作记忆与流体智力之间的标准化路径系数达到显著<sup>[7]</sup>。这可能预示着工作记忆容量是流体智力的重要方面, 也可能是 g 因素的重要基

础。

最近又掀起了关于工作记忆与智力关系研究的新高潮。Ackerman 等<sup>[8]</sup> 对 1872 到 2002 年间有关工作记忆与智力关系的文献做了元分析, 总结出这两者的相关系数为 0.36, 短时记忆与智力的相关系数为 0.28。但在使用结构方程模型后, 两个相关系数大小几乎相同。但 Oberauer 等<sup>[9]</sup> 针对 Ackerman 在分析时存在的问题, 又对那些数据进行了再分析。结果表明虽然工作记忆容量和 g 因素并不同构, 但二者的相关系数高达 0.85。采用不同的处理方法得到不同的结果, 这说明两者之间可能存在着更复杂的关系。

2. 工作记忆与智力关系的解释: 工作记忆广度与 g 因素之间存在很高的相关已是不争的事实, 但二者之间相关的机制尚不完全清楚。目前对这两者的关系主要有三种解释或学说: 同功同构说(isomorphic)、存储说(storage)和策略说(strategy)。

同功同构说将工作记忆与智力的关系归结为, 两者对控制性注意(controlled-attention)的共同需要。该学说认为, 工作记忆与智力是同功同构的关系<sup>[10]</sup>。工作记忆广度高的个体, 可以在有分心物和干扰的条件下更好地控制注意。注意控制正是由工作记忆中的中央执行系统来激活, 并通过中央执行系统应用相关信息。而智力的测量也有赖于在同时性加工和分心任务的条件下保持激活的能力。

存储成分说认为工作记忆与智力的相关可以用存储成分的作用来解释。研究表明, 当工作记忆中的存储成分去除时, 工作记忆与智力的同构关系就消失了, 而且对 g 因素的预测力大大减小<sup>[11]</sup>。这就有力地说明存储成分是 g 因素的重要基础。主张存储成分说的研究者, 倾向于使用统计方法去除存储成分的影响, 以此来比较各成分对工作记忆与智力的关系的相对重要性。这种方法与研究所采用的任务有很大关系, 而且能否通过统计手段来对工作记忆的成分进行分离, 也是值得思考和研究的。

策略说认为工作记忆与智力相关的原因是策略的使用。策略使用的个体差异, 对工作记忆容量和一般流体智力的测量结果都有影响。个体记忆广度较高的原因可能是使用了更复杂的策略。相似地, 完成智力测验, 也包括一些特殊策略的识别和正确使用。这个理论取向与长时工作记忆的概念一致, 即, 更好的工作记忆只是更多领域特殊性经验的体现。对此观点的争论已使研究者改进研究方法, 结果发现策略的使用反而减小了它们的相关系数<sup>[12]</sup>。很有可能策略使用也不能在本质上说明工作记忆与智力的关系。

对工作记忆与智力二者关系的几种解释还在争论中, 到底哪种解释更为合理, 或者是需要将它们结合起来, 目前还没有一致的看法。很有可能二者是大脑效能的不同体现, 还需要更多的研究来验证。

### 三、工作记忆与智力关系的发展研究

从发展的角度研究工作记忆与智力的关系, 不仅可以加深人们对二者的认识, 也可为儿童各方面能力的教育培养提供理论指导<sup>[13,14]</sup>。国内研究发现小学二、四和六年级学生的工作记忆与推理能力均有显著的正相关, 但相关不稳定<sup>[15]</sup>。这可能

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30370489, 30670716)

作者单位: 100101 北京, 中国科学院心理研究所; 中国科学院研究生院(段小菊); 中国科学院心理研究所(施建农)

通讯作者: 施建农, Email: shijn@psych.ac.cn

与儿童在工作记忆与推理上的发展速度不同有关。另外,该研究只采用了言语工作记忆作为工作记忆的指标,不太全面。

Colom 等<sup>[16]</sup>发现,13 岁儿童的流体智力和工作记忆的相关非常高,可以作为一个潜变量来预测学业成绩。相似的,Luo 等<sup>[17]</sup>通过一系列聚类分析,发现儿童工作记忆和智力对学业成绩具有相同的预测力,且工作记忆与 g 因素的相关达到 0.7。还有研究结果表明,超常组儿童的工作记忆分数显著高于常态组,这也为二者的关系提供了间接的证据。但因为这些研究的主要目的并不是二者的关系,还需要进一步的系统研究。

也有研究探讨了儿童工作记忆、加工速度和流体智力三者的关系,试图解释儿童流体智力的发展机制。路径分析表明,与年龄相关的工作记忆是流体智力发展的直接影响因素,儿童流体智力的发展取决于工作记忆的发展<sup>[18]</sup>。但由于研究被试的限制,无法对各个年龄组进行分析,结论也不宜推广到其他年龄。

现有的发展研究大多采用横向设计,很难排除或区分练习、成熟等因素对工作记忆与智力关系的影响。还需结合相关的纵向研究,以揭示二者关系的实质。

#### 四、工作记忆与智力的共同神经基础

来自记忆方面的脑成像研究表明,只要求存储的记忆任务激活与材料内容有关的脑区,而同时要求存储和加工的工作记忆任务既会激活内容特异的脑区,同时也会激活一些共同的脑区,如背外侧额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex)和前扣带回(anterior cingulate)<sup>[19,20]</sup>。来自定位学的研究也间接证明,工作记忆和 g 因素都会激活这两个脑区<sup>[6]</sup>。近期关于前额叶皮层功能的理论和模型也表明工作记忆和 g 因素是高度相关的结构,都有赖于背外侧额叶皮层<sup>[21]</sup>。

最近的一个 fMRI(functional Magnetic Resonance Image)研究就探讨了这个问题。研究者用 Raven 测验测量了 48 名被试的智力成绩,然后在 fMRI 扫描仪内用 n-back 任务测量了工作记忆。结果发现在 Raven 测验、n-back 成绩、背外侧额叶皮层和前扣带回活动之间有显著相关。Raven 推理成绩与分心刺激诱发的脑活动相关度非常高,相关系数为 0.54。背外侧额叶皮层活动可解释记忆广度与 Raven 成绩相关的 92%<sup>[22]</sup>。

但脑成像研究观察到的不是神经系统活动本身,如何对二者关系做出更合理的解释,仍有赖于有关理论和技术的进步。

#### 五、工作记忆与智力关系研究的问题与展望

当前,工作记忆与智力之间关系的研究还面临着很多亟待解决的问题。首先,工作记忆与智力测量之间相关的稳定性虽然已得到实验的广泛支持,但仍需要一些特殊样本来进一步验证其普遍性<sup>[23]</sup>。其次,工作记忆和智力的概念本身也在不断发展,各自的模型也随着多方面研究的深入不断变化。深入考查诸如在智力活动中工作记忆的哪个机制影响加工的哪个部分等方面也是之后研究的课题。

随着对心理现象的生理机制研究热潮的到来,工作记忆作为智力的重要相关因素,自然成为人们探索复杂智力活动的生理-心理连接的桥梁,其理论价值也日渐突出。如果工作记忆与智力关系的研究能更多地结合认知神经科学中先进的研究技术,那么该领域的研究必将取得更大的进展。

#### 参 考 文 献

- Schweizer K. An overview of research into the cognitive basis of intelligence. *Journal of Individual Differences*, 2005, 26:43-51.
- Baddeley AD, Hitch G. Working memory. In: Bower GA. *The psychology of learning and motivation* (vol. 8). New York: Academic Press, 1974:47-89.
- Kyllonen PC, Christal RE. Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?! *Intelligence*, 1990, 14:389-433.
- Sub H, Oberauer K, Wittman W, et al. Working memory capacity explains reasoning ability-And a little bit more. *Intelligence*, 2002, 30: 261-288.
- Lynn R, Irwing P. Sex differences in mental arithmetic, digit span, and defined as working memory capacity. *Intelligence*, 2007, 24:801-810.
- Engle RW, Tuholski SW, Laughlin JE, et al. Working memory, short-term memory and general fluid intelligence: a latent variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1999, 128:309-331.
- Conway A, Cowan N, Bunting M, et al. A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 2002, 30:163-183.
- Ackerman PL, Beier ME, Boyle MO. Individual differences in working memory within a nomological network of cognitive and perceptual speed abilities. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2002, 131: 567-589.
- Oberauer K, Schulze R, Wilhelm O, et al. Working memory and intelligence-their correlation and their relation: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle. *Psychological Bulletin*, 2005, 131:61-65.
- Kane MJ, Bleckley MK, Conway ARA, et al. Controlled-attention view of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2001, 130:169-183.
- Colom R, Abad FJ, Rebollo I, et al. Memory span and general intelligence: a latent-variable approach. *Intelligence*, 2005, 33:623-642.
- Lépine R, Barrouillet P, Camo V. What makes working memory spans so predictive of high-level cognition? *Psychonomic Bulletin & Review*, 2005, 12:165-170.
- 刘晓芹, 李秀艳, 李长江, 等. 珠心算练习对小学生基本认知能力的影响. *中国行为医学科学*, 2006, 15:1031-1032.
- 周长虹, 匡桂芳, 辛晓昱, 等. 学习困难儿童智力及记忆力特征分析. *中国行为医学科学*, 2006, 5:845-847.
- 贺荟中, 方俊明. 小学生工作记忆与推理关系的实验研究. *心理科学*, 2003, 26:32-33.
- Colom R, Escorial S, Shih PC, et al. Fluid intelligence, memory span, and temperament difficulties predict academic performance of young adolescents. *Personality and Individual Differences*, 2007, 42:1503-1514.
- Luo D, Thompson LA, Detterman DK. The criterion validity of tasks of basic cognitive processes. *Intelligence*, 2006, 34:79-120.
- Fry AF, Hale S. Relationships among processing speed, working memory, and fluid intelligence in children. *Biological Psychology*, 2000, 54: 1-34.
- Micheloyannis S, Pachou E, Stam CJ, et al. Using graph theoretical analysis of multi channel EEG to evaluate the neural efficiency hypothesis. *Neuroscience Letters*, 2006, 402:273-277.
- Smith EE, Jonides J. Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 1999, 28:1657-1661.
- Kane MJ, Engle RW. The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: an individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2002, 9:637-671.
- Gray JR, Chabris CF, Braver TS. Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience*, 2003, 6:316-322.
- 张拉艳, 周世杰, 杨娟. 工作记忆成套测验在中老年人群中应用的效度分析. *中国行为医学科学*, 2007, 16:308-310.

(收稿日期:2007-06-11)

(本文编辑:冯学泉)