



那么执行功能和数量加工之间到底有着怎样的联系？本文将对执行功能及其子成分与数量加工的关系进行探讨，并对未来的研究趋势进行展望。

## 2 执行功能子成分与数量加工的关系

早期有关执行功能与其它认知加工关系的研究，对其测量也倾向于使用包含多种成份的任务，如威斯康辛卡片分类任务<sup>[8]</sup>。Miyake 等人使用潜变量分析<sup>[8]</sup>，考察执行功能子成分是否可分离的。验证性因素分析表明，三种常见的执行功能子成分——抑制、工作记忆和认知灵活性，彼此之间高度相关，并非完全独立，但却是可分离的。同时，结构方程模型显示，在单任务中分别起作用，而双任务协调能力则与这三种执行功能子成分都相关。最近，通过经成像的方法将执行功能分解为四种基本成分<sup>[9]</sup>：抑制（inhibition）、更新（updating）、双任务协调（dual-task coordination）和任务切换（task switching）。研究者根据自己研究方法的不同，对执行功能有些不同的划分<sup>[10,11]</sup>。本文将结合 Miyake 及 Collette 和 Linden 的分类，来回顾执行功能子系统与数量加工的关系。

### 2.1 抑制与数量加工——数字的自动激活是可以被抑制的吗？

抑制是个体对认知过程或内容的压抑过程。通常认为抑制控制与任务无关的信息的通达；压抑不适宜的优势反应；压制不再相关的信息。抑制控制的研究的任务有很多：Stroop 范式，停止信号任务，go-nogo 任务，flanker 任务，Luria 手游戏，返回抑制任务，负启动范式，指导性遗忘，Hayling 任务，TOH 任务等。抑制与数量加工的特殊性，在这一领域中研究抑制控制多采用 Stroop 范式。

抑制在整个执行功能中占据非常重要的地位。抑制控制是执行功能的重要组成部分。抑制功能的参与。Miyake 等人<sup>[8]</sup>的研究表明，抑制功能是非独立成份，主要由抑制功能贡献。也就是说，抑制功能是一个不可分割的过程<sup>[8]</sup>。

与抑制功能相似，自动激活在数量加工理论中也得到了很多实证支持。自动激活理论由来已久，Galton 早在 1880 年的内省实验中就提出了“数字线”（number line）的概念，认为在人脑内有一根天然的表征数字的线。每个人都有一个数字线，数字线会自动激活。后来 Dehaene 等人用实验证明了数字线的存在<sup>[12]</sup>。研究发现，在语言前的婴儿身上表现了一种不同寻常的数量加工能力，即数量加工不依赖于语言，它激活得更早。在 Wynn 的“期望违背”任务中，婴儿表现出一种近似于  $1 + 1 = 2$  和  $2 - 1 = 1$  之类的最简单数量加工能力，这被认为是内隐或外显编码。

数量加工的自动激活在多数情况下对人们有积极的影响。当自动激活会对当前的认知活动产生干扰时，负责抑制控制的功能就会被激活。那么，抑制控制是如何影响数量加工的呢？



数 (Counting) 过程<sup>[18]</sup>。Trick 等人研究了注意在数字的顿识过程与计数过程中的作用<sup>[19]</sup>，发现顿识过程依靠前注意信息，而计数过程依靠空间注意，前者为并行加工，而后者为序列加工。

既然不同大小的数字有不同的注意模式，那数量加工与注意转换之间，会有怎样的影响呢？

首先，注意转换会对数量加工产生影响。Rourke 实验发现<sup>[20]</sup>，当任务由加法换为减法时，注意转换功能不好的儿童，计算犯错率更高。而 Sluis 的实验也发现<sup>[21]</sup>，在注意转换实验 (Making trails task) 中失败的儿童，通常是那些数学困难儿童或者阅读加数学困难儿童，而单纯的阅读困难儿童则可能通过注意转换实验。前面提到的 Pansky 和 Algom 的实验<sup>[17]</sup>也反映了注意对数量加工的调节——随着维度的不同组合，被试转换注意，从而影响数量加工的自动激活程度。

其次，数字的激活也会引起注意的转换。Fischer 等人的实验<sup>[22]</sup>发现当在中央注视点呈现小数字 1 或 2 的时候，会将注意力引向注视点左边，表现为对随后出现在左边的目标的探测速度快于目标出现在右边时；反之，呈现大数字 8 或 9 的时候，注意力被引向注视点右边。作者用心理数字线来解释这个现象，即呈现大小不同的数字自动激活了一条空间中从左至右的线，数字从小到大与之对应，这种数字的空间表征也激起了被试内在的注意转换。

当然，这里的注意转换是被动的，和执行功能所指的內源性的注意转换还有一定距离。但是如果改变注意转换的方向，数字的激活会不会有变化？Bachtold 用钟面作为参照物，结果发现数字的空间表征发生反转<sup>[23]</sup>。这可以看作是注意对数字表征的主动调节。

总而言之，执行功能的转换成份对数量加工的影响，主要是通过注意的作用来完成的。

### 2.3 刷新与数量加工——尚未开发的领域

刷新是执行功能的重要部分，是指执行功能根据新呈现的信息不断更改工作记忆的内容的过程。对于刷新功能的研究常采用活动记忆范式 (running memory paradigm) n-back 范式。

关于刷新与数量加工关系的研究非常少，只有一些实验在运用范式时，采用数字作为材料，使得结果与数量加工有一些联系。例如 Kiss 等人利用活动记忆范式研究执行功能的脑定位<sup>[24]</sup>，这种范式要求被试听或看一系列被试未知长度的项目串，被试在系列回忆时，有两种回忆方式，一是回忆出尽可能多的项目，二是只回忆最近呈现的几个项目。在活动记忆任务中，被试要保持一个激活的项目串，在该项目序列的长度大于需要反应的项目序列长度时，每呈现一个新的项目，被试要消除掉记忆中位于项目序列位置最前面的那个项目，并把新呈现的项目加到末端。该实验利用 ERP 的方法对相应脑区的活动进行考察，发现对数字的控制与存储是相分离的。虽然 ERP 的结果可以对处于不断刷新的数量加工机能的脑区做出推论，但是作者把更多的注意力放在了记忆的刷新对系列位置效应有什么影响上，而并未设立对照组考察在刷新过程与非刷新过程中的数量加工有何区别。因此，该实验并不能说明数量加工与刷新之间的关系。

其实，刷新作为一种很重要的功能，体现了人们不断对记忆中内容进行修正的能力，而刷新功能相对而言比较成熟的研究方法，本身也可以拿来研究数量加工机制，未来在这方面应该会涌现更多的研究成果。

### 3 研究趋势

以上把执行功能拆成不同的子成分,分别探讨了这些子成分与数量加工的关系。下面我们谈谈对这个方面研究发展趋势的看法。

#### 3.1 从相关研究到因果研究

由于执行功能和数量加工都随年龄增长有较大的变化,特别是最初的发展期和后来衰老期。因此,这个研究领域有着浓厚的发展观。早期的研究多半采用儿童或老年被试。先用一些筛查方法选取数量加工困难的被试,然后测量其执行控制能力,看数量加工困难被试是否在执行功能方面与正常被试有差距;或者反过来,采用执行能力高低不同的被试,比较其数量加工能力是否有差异。

这是一种相关关系的研究方法,相应的研究成果有很多,如 Geary 发现较差的注意分配与协调能力是造成数量加工困难儿童较差计算技能的因素之一<sup>[28]</sup>;执行功能上的差异不但可以作为结果来进行比较,也可以用来预测数量作业成绩,如 Bull 和 Roy 发现用执行功能的测查能很好地预测是否为儿童在数学上是否存在困难<sup>[29]</sup>。

相关关系的研究比较容易设计,比较容易施行。但这种研究的弊病也很多,我们不知道两个相关很高的变量之间有没有中介变量在起作用。随着统计学的发展,近年来,在这个领域里开始用一些高级统计技术来进一步挖掘数据。如 Bull 和 Scerif 用多元回归发现对数学困难儿童而言,最重要的是抑制能力,其次是转换和刷新,双任务协调能力贡献很小<sup>[15]</sup>。可以推测,在未来的研究中,会有更多的研究者使用更高级的统计方法如路径分析,结构方程建模等在统计上模拟因果关系,以及全面地探讨执行功能与数量加工之间的关系。

#### 3.2 从单纯的认知层面扩展到脑机制的研究

由于数量加工的易操作性,很多执行功能测验都采用数量加工的成绩作为指标。这对研究执行功能与数量加工的关系造成一定的困难。而认知神经方面的研究随着近些年来成像技术的飞速发展而有了长足的进步。从单纯的认知层面扩展到脑机制的研究是这个领域一个明显的发展趋势。

众所周知,执行功能的调节脑区主要是前额叶皮层。而通常认为成人的数量加工区主要是两半球的下顶叶。前额叶皮层在整个认知活动起调节作用,对下顶叶的活动产生影响。但具体如何影响,目前的研究不多。通常,如果执行功能涉及到数量加工,前额叶和顶叶会同时激活。Sohn 等的用事件相关 fMRI 的方法进行任务转换实验<sup>[30]</sup>,其任务为简单区分字母(元音/辅音)或区分数字(奇数/偶数)。任务刺激由一个字母和一个数字组成,刺激的颜色提示将要去完成的任务。实验有 3 种条件:预先知道且重复的任务(无转换);预先知道且要转换的任务;预先不可知(任务重复和任务转换混杂)。实验结果表明,与内源性准备有关的脑区是外侧前额皮层(BA46/45)和后顶叶皮层(BA40);而与外源性调整有关的脑区为右上前额(BA8),左后顶(BA39/40),后扣带回(BA31)及右枕皮层(BA19)。内源性准备和外源性调整是具有不同的脑机制的独立过程。

前额叶的执行功能活动对顶叶的数量加工有影响的理解是因为执行功能的调节作用,



- [11] Rabbitt P. Introduction: methodologies and models in the study of executive function. In: Rabbitt, P. (Ed.), *Methodology of frontal and executive function*. Psychology Press, Hove, East Sussex, UK, 1997. 1~38
- [12] Dehaene S, Bossini S, Giraux P. The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology:General*, 1993, 122: 371~396
- [13] Gallistel C R, Gelman R. Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, 1992, 44: 43~74
- [14] Wynn K. Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 1992, 358(6389): 749~750
- [15] Bull R, Scerif G. Executive Functioning as a Predictor of Children's Mathematics Ability: Inhibition, Switching, and Working Memory. *Developmental Neuropsychology*, 2001, 19(3): 273~293
- [16] Girelli L, Lucangeli D, Butterworth B. The Development of Automaticity in accessing Number Magnitude. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2000, 76: 104~122
- [17] Pansky A, Algom D. Stroop and Garner Effects in Comparative Judgment of Numerals: The Role of Attention. *Journal of Experimental Psychology*, 1999, Vol 25, NO.1: 39~58
- [18] Kaufman E L, Lord M W, Reese T. The discrimination of visual number. *American Journal of Psychology*, 1949, 62: 498 ~ 525
- [19] Trick L M, Pylyshyn Z W. Why are small and large numbers enumerated differently a limited capacity preattentive stage in vision. *Psychological Review*, 1994, 101 (1) : 80 ~ 102
- [20] Rourke B P. Arithmetic disabilities, specific and otherwise: Aneuropsychological perspective. *Journal of Learning Disabilities*, 1993, 26, 214~226
- [21] Sophie van der Sluis, Peter F. de Jong, Aryan van der Leij. Inhibition and shifting in children with learning deficits in arithmetic and reading. *J. Experimental Child Psychology*, 2004, 87: 239~266
- [22] Fischer M H, Castel A D, Dodd M D. Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature Neuroscience*, 2003, 6(6) : 555~556
- [23] Bachtold D, Baumuller M, Brugger P. Stimulus response compatibility in representational space. *Neuropsychologia*, 1998: 731-735
- [24] Kiss I, Pisio C, Francois A, Schopflocher D. Central executive function in working memory : event-related brain potential studies. *Cognitive Brain Research*, 1998, 6: 235~247
- [25] Logie R H, Gilhooly K J, Wynn V. Counting on working memory in arithmetic problem solving. *Memory and Cognition*, 1994, 22: 395~410
- [26] Kyoung-Min Lee, So-Young Kang. Arithmetic operation and working memory:differential suppression in dual tasks *Cognition*, 2002, 83: B63~B68
- [27] Andr s P, Van der Linden M. Are central executive functions working in patients with focal frontal lesions. *Neuropsychologia*, 2002, 40: 835~845
- [28] Geary D C. Mathematical disabilities: Cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Psychological Bulletin*, 1993, 114: 345~362
- [29] Bull R, Johnston R S, Roy J A. Exploring the roles of the visual-spatial sketch pad and central executive in children's arithmetical skills: Views from cognition and developmental neuropsychology. *Developmental Neuropsychology*, 1999, 15: 421~442
- [30] Sohn M, Ursu S, Anderson J R, Stenger V A, Carter C S. The role of prefrontal cortex and posterior parietal cortex in task switching. *PNAS*, 2000, 97(24): 13448~13453
- [31] Freedman D J, Miller E K. Representation of the quantity of visual items in the primate prefrontal cortex. *Science*, 2002, 297: 1259~1261
- [32] Nieder A. Numerical representation for action in the parietal cortex of the monkey. *Nature*, 2002, 415(6874): 413~417
- [33] Bull R, Scerif G. Impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of*



## Executive Function and Number Processing: A Review

Linlin, Zhou Xiaolin

Psychology, Peking University, Beijing 100871)

**Abstract:** This paper reviews the relationship between executive function and its subcomponents, including inhibition, shifting, and working memory, and the number processing. The state of art of the study on the relationship between executive function and the number processing was found to be as follows: inhibition is repeatedly found to be related to the number processing; shifting is found to be related to the number processing; updating with the number processing, however, is few; and the relationship between dual task coordination and the number processing is controversial. We believe that in future researches, with more advanced designs, the brain mechanisms of the relationship between executive function and the number processing will figure more and more clearly and will attract more and more attention.

**Key words:** executive function, inhibition, shifting, working memory, number processing

relationship between executive function and its subcomponents, including inhibition, shifting, and working memory, and the number processing. The state of art of the study on the relationship between executive function and the number processing was found to be as follows: inhibition is repeatedly found to be related to the number processing; shifting is found to be related to the number processing; updating with the number processing, however, is few; and the relationship between dual task coordination and the number processing is controversial. We believe that in future researches, with more advanced designs, the brain mechanisms of the relationship between executive function and the number processing will figure more and more clearly and will attract more and more attention.