

执行功能与数量加工：回顾与展望^{*}

罗琳琳 周晓林

(北京大学心理学系, 北京 100871)

摘 要 回顾了执行功能与数量加工之间的复杂关系。其中, 执行功能的 4 个子系统——抑制、转换、刷新和双任务协调对数量加工的影响各不相同: 抑制可以在一定程度上改变数量加工时的自动激活程度; 转换功能则主要依赖注意来进行调节; 刷新与数量加工关系的研究成果比较少; 而双任务协调与数量加工之间的联系存在争论。文章最后分 3 个方面进行了研究趋势的展望, 认为未来执行功能与数量加工的研究将突破相关研究的局限, 通过更精巧的设计和大量特殊被试的研究取得突破性进展。

关键词 执行功能, 数量加工, 抑制, 转换。

分类号 B842.1

1 前言

数量加工是人们日常最重要的思维活动之一, 自从 20 世纪 70 年代以来, 这个领域不再只是作为测量和考察人们认知机能的工具, 而是成为独立的研究领域, 越来越多的研究者关注数量加工的机能、运算能力的发展以及它们与其它重要认知能力的关系。国内有很多学者对这些方面进行了总结: 有从心算加工机制、认知策略入手的^[1~3], 有从工作记忆与算术认知入手的^[4], 也有从数字加工的生理机制入手的^[5]。而本文关注的是更高级的认知机能, 即执行功能与数量加工之间的关系。考虑到执行功能与数能力之间关系的复杂性, 本文用“数量加工”一词来概括对数字本身的认知加工和对数字之间运算关系的加工。

执行功能是人类的高级认知功能, 一般是指个体在实现某一特定目标时, 以灵活、优化的方式控制多种认知加工过程协同操作的认知神经机制^[6]。它的本质就是对一般认知过程进行控制和调节。执行功能对人们许多高级认知活动均有影响, 数量加工当然也不例外。研究表明, 执行功能受损会直接影响数量加工能力的发展。Geary 等人对数量加工发展不良儿童的短期追踪发现^[7], 这些儿童的工作记忆在 10 个月中未表现出明显的发展趋势, 与正常儿童存在着显著性差异。虽然无法根据结果推测究竟是数量加工发展不良影响执行功能的发展, 还是执行功能的发展迟滞导致数量加工发展不良, 但是可以推知二者是相互关联的, 而且这种关联对整个认知机能的发展至关重要。

收稿日期: 2004-08-30

^{*} 本研究得到国家攀登计划 (批准号: 95-专-09) 教育部科学技术重点项目基金 (01002, 02170) 和中国科学院知识创新工程方向性项目 (KGCX2-SW-101) 的资助。

通讯作者: 罗琳琳, Email: luolinlin@263.net

那么执行功能和数量加工之间到底有着怎样的联系？近些年来，有很多研究者从各个角度对执行功能及其子成分与数量加工的关系进行了探讨。本文将回顾这些方面的工作，并简要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往往把执行功能作为一个单一的整体，对其测量也倾向于使用包含多种成份的任务，如威斯康星卡片分类，随机数字生成等。

Miyake等人使用潜变量分析^[8]，考察执行功能在多大程度上可以被认为是整合的或是分离的。验证性因素分析表明，三种常见的执行功能——转换、刷新和抑制之间有中等程度的相关，并非完全独立，但却是可分离的。同时，结构方程模型表明，这三种功能在复杂的执行任务中分别起作用，而双任务协调能力则与这三种执行功能不同。Collette和Linden采用神经成像的方法将执行功能分解为四种基本成分^[9]：抑制（inhibition）、转换过程（shifting process）、刷新（updating）以及双任务协调（dual-task coordination）。当然，还有一些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^[10,11]。下面，我们将沿用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。通常认为抑制控制分为三类：制止已激活但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的激活。抑制过程研究的任务有很多：Stroop 范式，停止信号任务，go-nogo 任务，flanker 任务，Simon 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 等。由于数量加工的特殊性，在这一领域中研究抑制控制多采用经典的 stroop 范式。

抑制在整个执行功能中占据非常重要的地位。可以说，在几乎所有执行功能的任务中，都有抑制过程的参与。Miyake 等人的验证性因素分析表明，抑制、转换和刷新这三种执行功能之间的非独立成份，主要由抑制功能贡献。也就是说，这些执行功能都包含了一些抑制过程^[8]。

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验的支持。数量加工的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心理数字线（mental number line）的概念，认为在人脑内有一根天然的表征数字的线。每次进行数量加工时，数字线就会自动激活。后来 Dehaene 等人用实验证明了数字线的存在^[12]。Gallistel 的实验^[13]发现在获得语言前的婴儿身上表现了一种不同寻常的数量加工能力，说明了在我们认知过程中数字的加工不依赖于语言，它激活得更早。在 Wynn 的“期望违背范式”^[14]中也发现婴儿已经逐渐形成一种近似于 $1 + 1 = 2$ 和 $2 - 1 = 1$ 之类的最简单数学运算，能够对场景内的物体进行抽象的内隐或外显编码。

数量加工的自动激活在多数情况下对人们有利，它能加快人们的加工速度。但当这种自动激活会对当前的认知活动产生干扰时，负责调节认知活动的执行功能可以对其产生有效的抑制吗？

Bull和Scerif^[15]采用stroop范式,研究执行功能中抑制能力与儿童数量加工能力的关系。在该研究中,stroop范式分为两种:第一种是经典的颜色—色词stroop干扰;第二种是数字大小—数量多少stroop干扰,例如,一致的情况—333,单个数字本身与数量都是3,不一致的情况—222,数字本身大小与数量不一致,被试的任务是按数字大小进行命名。结果发现,第一种颜色—色词stroop干扰与被试的数量加工能力相关不高,而后一种stroop的干扰效应与被试数量加工能力的相关系数较高,达到显著性水平。研究者认为,这种现象可以归结为数量加工的自动激活。从早期的数量加工开始,人们更多依赖于精确的分析式的计算,而非一个整体的知觉加工。例如“222”的正确反应应该是“2”,同时表征数量的“3”也并非停留在知觉层面,其意义被自动激活,参与“2”的竞争,被试无法有效地抑制“3”,于是对反应产生较大的干扰。

Girelli^[16]等人比较不同年龄的被试在数字大小和数字物理大小的stroop效应,发现stroop的干扰效应只在年龄较大的被试(小学高年级及成人)中出现。研究者认为随着年龄的增大,接受的数学训练较多,数量的激活越来越趋于自动化;在不一致的情况下,这种越来越强的自动激活趋势难以抑制,使干扰效应增大。

数量加工的自动激活真的无法抑制吗?我们注意到上面两个实验一个是相关研究,一个是组间比较,虽然都验证了数量加工的自动激活特点,但并未直接操纵抑制这个变量,即没有改变抑制的程度,因此无法考察抑制所起的调节作用。

Pansky 和 Algom 的实验^[17]和上面 Girelli 的很相似 材料也是选用的是数量大小(number)与数字呈现的知觉大小(size),利用二者的不同组合得到 Garner 和 Stroop 效应。但不同的是,研究者在这里操纵了抑制这个变量,人为地使无关变量更好区分或更难区分。当要求忽略的维度即无关变量非常好区分时,相应的抑制效应较小, Garner 和 Stroop 的干扰效应比较大。当要求忽略的维度不那么好区分时,相应的抑制效应比较大, Garner 和 Stroop 效应均相当小。这个结论说明操作可区分度可以影响抑制的大小,从而改变 Garner 和 Stroop 效应的敏感程度。这和以前认为数量加工具有很强自动化特点的论点相矛盾。

综上所述,自动激活是数量加工的一个很显著的特性,执行功能不可能将其完全抑制,但在加工的过程中,抑制的参与,可以对激活的程度加以调节。

2.2 转换与数量加工——注意的作用

转换是执行功能的重要部分,是一种在指导语指引下的、内源性的注意控制机制,具体体现为,当两项任务竞争同一认知资源时,对这两项任务相互转换的控制过程。通常采用任务转换范式来研究转换加工。

在研究数量加工与转换时,较少采用任务转换范式。而是较多地关注不同数量加工方式的注意模式。Kaufman 等人用随机的方式在屏幕上快速呈现从 1 到 210 大小和密度都相同的圆点,让被试对呈现数目进行报告,结果发现,被试对 6 或 6 以下数目的报告比 6 以上数目更精确、更快。Kaufman 把这个过程称为顿识(Subitizing,原是拉丁文“突然”的意思,在这里的意思为:突然明白多少,指对数量有一个直接的知觉上的理解),与之相对的是计

数（Counting）过程^[18]。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^[19]，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^[20]，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^[21]，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^[17]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^[22]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^[23]。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^[24]，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。

2.4 双任务协调与数量加工——双任务协调对数量加工是必要的吗?

双任务协调是指执行系统能协调两个同时进行的加工任务。最常用的实验范式就是双任务作业。

Logie 等人要求被试进行心算的同时完成另一个任务,用来干扰工作记忆,结果发现对工作记忆的干扰会对心算结果产生明显影响^[25]。Lee 和 Kang 利用双任务研究数量加工与工作记忆之间的关系^[26]。研究者分别采用两种方式对被试的数量加工进行干扰,一是对语音回路的干扰:让被试在进行上述心算时,不断复述无意义音节,避免其在心算过程中运用语音的复述策略;二是对视觉空间模板的干扰:采用 matching-to-sample 范式,呈现一个图案(例如,三角形,正方形,圆形,五角星中的圆形),然后呈现三个数学算式让其计算,接着呈现四个图案(例如,三角形,正方形,圆形,五角星),让被试选择刚刚看到的是哪一个。因为被试在计算的过程中,必须保持刚刚看到的图案形状,因此可对视觉空间模板起到干扰作用。研究者发现,当语音回路存在干扰时,乘法的反应时明显延长;当视空模板存在干扰时,减法的反应时明显延长。作者推断说,乘法过程更多的与语音过程相联系,而减法过程更多地与视空模板相联系。

这两个实验说明,无法协调的双任务中会对数量加工产生较大的影响。但有些研究者持反对意见:Bull 和 Scerif 发现威斯康星卡片分类任务与 Stroop 任务,计算广度任务与儿童的数学能力显著相关,但双任务协调的成绩与儿童的数学能力相关不高^[15]。Andrés 等人^[27]用计算广度任务(computation span task)考察了病灶性额叶损伤病人的双任务作业。实验材料是由呈现加减等式的卡片组成,例如: $2+3=?$ 。第 2 个数(即“3”)外面以方框封闭,第三个数未给出,而以“?”代替。在简单广度条件下,被试只要记住方框中的数字,不需要解答算术题。在计算跨度(双任务)条件下,被试要在解决算术题的同时记住方框中的数字。而当出现蓝色的“回忆”卡片时,被试必须序列回忆方框中的数字。结果发现病人在完成双任务作业时与正常控制组之间不存在显著差异。这个实验结果似乎说明了双任务协调对数量加工没有太大影响。

总而言之,执行功能与数量加工之间的关系是错综复杂的。有一点可以确定,执行功能会对数量加工产生影响,但其各个子成分在对数量加工的影响中所起的作用不一样,这其中抑制过程作用最大。它可以在一定程度上调节数量加工时的自动激活程度,抑制与当前任务无关的信息,增加人们认知加工的效率,转换功能主要依赖注意来对数量加工进行调节,能否自如地进行注意转换,对数量加工能力的发展至关重要;由于目前研究还没有细致的研究,刷新功能与数量加工的关系尚不清楚;双任务由于其任务本身在执行功能中的特殊性,它与数量加工之间的联系存在争论。

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^[28];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^[29]。

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^[15]。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^[30],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,

还是因为数量加工本身就与额叶有交互作用?运用 fMRI 等成像方法的结果通常支持前者,而有关数量加工的细胞基础方面的研究表明,数量加工并不一定依赖下顶叶完成。Nieder 等以短尾猴为研究对象,发现数字神经元主要位于额叶皮层^[31]。但 Sawamura 等人的研究认为 31%的数字神经元位于顶叶皮层,而只有 14%的数字神经元位于额叶皮层^[32]。未来还需要更多的研究来解决矛盾的发现。

3.3 从普通被试扩展到特殊被试

以往在执行功能与数量加工关系的研究中,被试大多是普通的正常人,比如认知机能正常的儿童和成年人,后来慢慢扩展到研究认知上有些困难的被试,比如数学困难儿童。Mclean 和 Hitch 采用分级数学测试(GAM)筛选出 12 名数学困难儿童作为实验组^[33],并另外设立两个对照组,组一为年龄匹配组,组二为能力匹配组,即除数学能力外,智力、阅读能力均与数学困难组匹配。三组比较发现,数学困难组执行过程的某些方面受损。

从普通被试到数学困难被试的扩展,使我们有机会了解执行功能的哪些子成分受损有可能与数学困难有关系。然而,想在更深的层面了解执行功能与数量加工的关系,采用脑损伤病人作为被试取得的结果会更有说服力。例如,Gerstmann 报道了同时发生失写症、计算不能、手指失认症以及左右侧认识不能的顶叶损伤病例(古茨曼综合征)。此类病人完全能够理解并说出各种形式的数字,但是数量加工能力受损严重。如果以这种病人做被试,研究其执行功能的状况,看看哪能子成分功能完好,哪些受损,应该能很好地说明执行功能与数量加工之间的关系。同样,找到执行功能受损的额叶损伤患者,研究其数量加工的特点,也会很有意义。

总而言之,执行功能和数量加工都是最重要的认知机能,它们之间有着密切又错综复杂的联系。采用更适当精巧的实验和统计方法,多关注特殊人群,会得到更多有益的结论,并产生一定的应用意义。

参考文献

- [1] 刘昌,李德明. 心算活动机制的研究. 心理学报, 1999, 31(1): 111~117
- [2] 陈英和,耿柳娜. 儿童数学认知策略研究新进展. 北京师范大学学报(社会科学版), 2003, (1): 38~44
- [3] 耿柳娜,陈英和. 数学认知模型评介—加法事实存储与提取. 心理科学, 2003, 26(2): 224~227
- [4] 陈英和,耿柳娜. 工作记忆与算术认知的研究现状与前瞻. 北京师范大学学报(社会科学版), 2004, (1): 40~44
- [5] 南云,罗跃嘉. 数字加工的认知神经基础. 心理科学进展, 2003, 11(3): 289~295
- [6] Funahashi S. Neuronal mechanisms of executive control by the prefrontal cortex. Neurosci Res, 2001, 39: 147~165
- [7] Geary D C, Brown S C, Samaranayake V A. Cognitive addition: A short longitudinal study of strategy choice and speed-of-processing differences in normal and mathematically disabled children. Developmental Psychology, 1991, 27: 787~797
- [8] Miyake A, Friedman N P, Emerson M T, Witzki A H, Howerter A. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'frontal lobe' tasks: a latent variable analysis. Cognitive Psychology, 2000, 41: 49~100
- [9] Collette F, Van der Linden M. Brain imaging of number processing. Neurosci Biobehav Rev, 2000, 24: 49~100

- [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] André 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] Nieder A, Freedamn D J, Miller E K. Representation of the quantity of visual items in the primate prefrontal cortex. *Science*, 2002, 297(5587): 1708~1711
- [32] Sawamura H, Shima K, Tanji J. Numerical representation for action in the parietal cortex of the monkey. *Nature*, 2002, 415(6874): 918~922
- [33] McLean J F, Hitch G J. Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1999, 74: 240~260

Executive Function and Number Processing: A Review

Luo Linlin, Zhou Xiaolin

(Department of Psychology, Peking University, Beijing 100871)

Abstract: This paper discussed the relationship between executive function and its subcomponents, including inhibition, shifting, updating and dual task, and the number processing. The state of art concerning the study of relations between these four subcomponents and the number processing was found to be different: inhibition is repeatedly found to modulate the automatic number processing; shifting is found to relay on attention to influence the number processing; studies connecting updating with the number processing, however, is few; and controversies also exists for the relations between dual task coordination and the number processing. We believe that in future research the correlational studies will be aided more and more by causal studies with dedicated designs, the brain mechanisms underlying the connections between executive functions and the number processing will figure more and more prominently, and the special populations with deficits in the number processing will attract more and more attention.

Key words: executive function, number processing, inhibition, shifting.