

执行功能可分离性及与年龄关系的潜变量分析*

陈天勇 李德明

(中国科学院心理研究所心理健康重点实验室, 北京 100101)

摘要 应用潜变量分析研究抑制优势反应、记忆刷新和注意转换三种执行功能的可分离性以及年龄的关系。被试为 18~85 岁的健康成年人 142 名, 完成九项执行功能任务。结果显示: 本研究设计的九项执行功能任务有较好的信度; 验证性因子分析显示, 九项任务与对应执行功能间的因子负荷较高 (汇聚性效度好), 而不同执行功能间的相关较低 (鉴别性效度好); 在此基础上建立了三种执行功能及其与年龄关系的潜变量分析模型。研究结果表明, 执行系统不是单一的认知结构, 可以分离为若干相对独立的执行加工过程。

关键词 执行功能, 年龄, 信度, 效度, 潜变量分析。

分类号 B844

1 问题的提出

在传统的认知心理学中, 执行功能^[1] (executive function) 往往被视为单一的认知结构, 如 Norman 和 Shallice 的监控注意系统^[2] (supervisory attentional system, SAS), Baddeley 的中央执行^[3] (central executive) 等。由于缺乏实证性的研究, 执行功能长期被心理学家戏称为居于人脑中无所不能的“小人” (homunculus), 肩负着许多说不清的高级认知功能。为了摆脱这一困境, Baddeley^[4] 提出, 应该对“小人”的功能逐一地加以分离和解释; 并在此基础上, 进一步探讨不同执行功能之间的关系。目前, 探讨较多的执行功能有: 抑制优势反应、记忆刷新、注意转换和双任务协调等。

关于执行功能可分离性的证据主要来自于个体差异性的研究。首先, 关于脑损伤病人的个案研究表明, 不同执行功能间存在双分离的现象。如 Shallice 和 Burgess 等^[5, 6] 发现, 部分额叶损伤病人在评定抑制功能的一项测验上表现正常, 但在另一项评定规则觉察的测验上却表现出功能损伤; 然而, 另一部分额叶损伤病人却正好与此相反。另一方面, 更多的群体研究 (正常人或脑损伤病人) 利用一系列公认的执行功能测验, 以及相关分析的方法, 结果发现不同执行任务之间的相关很低, 甚至不显著。由此, 这些研究者提出, 执行系统可能不是一个单一的

系统, 需要对其进一步的分离。

执行功能与年龄的关系也是近年来一个研究热点, 并由此兴起了一种新的认知老化理论: 执行衰退假说 (executive decline hypothesis of cognitive aging)^[7]。该理论认为, 相对于其它一般认知能力, 执行功能随龄的衰退更快; 并且, 执行功能的随龄衰退是引起人们日常认知功能衰退的主要原因。大量研究也表明, 随着年龄的增长, 不同执行功能均出现了显著的衰退。

长期以来, 对执行功能的测量还存在信度 (多次使用无效) 和效度 (含有非执行成份) 较低的问题。特别是对于神经心理学中大量公认的执行功能测量, 由于任务的复杂性, 很难确定其内在本质的执行过程。信度和效度问题是任何研究的一个基本前提, 传统的基于相关分析的个体差异研究明显受到这一前提的制约, 影响了研究结果的可靠性。

相对于传统的相关分析技术, 潜变量分析具有突出的优势。第一, 使内在的认知结构外显化, 并考虑了测量误差, 使后续的分析和研究在更纯的潜变量水平上进行; 第二, 可以对测量任务的结构效度作量化的研究。结构效度可分为汇聚性效度和鉴别性效度两方面。汇聚性效度是指, 测量同一认知结构的不同任务之间表现出很高的一致性; 鉴别性效度是指, 测量不同认知结构的任务之间表现出很低的一致性。Miyake 等^[8] 首次使用这种方法, 发现 3 种

收稿日期: 2004 - 09 - 10

* 中国科学院心理研究所创新基金项目 (MS2003001)。

通讯作者: 李德明, E-mail: lidm@psych.ac.cn

执行功能(注意转换、记忆刷新和抑制优势反应)之间虽然存在一定程度的相关,但它们是相对独立的。

然而, Miyake等的研究也存在一些明显的不足^[9]。首先,被试取样为大学生,无论从年龄还是认知能力来看,其变异区间都显得相对狭窄,因而影响了其结论的普遍性。第二,部分执行功能任务的信度很低(如0.31和0.42),影响了其结论的可靠性。第三,外显观测变量与相应潜变量之间的因子负荷较低(0.33至0.63,中数为0.46),汇聚性效度较差;同时这也表明,对于外显观测变量,仅有20%左右的变异被提取出来形成潜变量,剩下约80%的变异不能纳入模型进行分析。第四,三种执行功能间的相关较高(分别为0.42、0.56、0.63),甚至远远大于各种执行功能不同任务间的相关,表明不同执行功能间的鉴别性效度较差。

由此说明,潜变量分析和结构方程的应用只是在统计方法上,为解决执行功能测量的信度和效度问题提供一定的帮助,但并不能代替对实验范式和实验设计本身作进一步改进的努力。如果所选的大多数实验任务不能有效地测量出相应的执行功能,再好的统计分析方法也是无济于事的。本研究拟在 Miyake等^[8]的研究基础上,利用大跨度的年龄样本,并大力改进各项执行功能任务,以提高执行功能测量的信度和效度(详见4.1),进一步验证执行功能的可分离性。

2 研究方法

2.1 被试

18至85岁的成年人共142人(男59人,女83人),平均年龄 48.3 ± 18.8 岁。职业不限,初中以上教育程度,平均受教育年限 14.2 ± 2 年,各年龄段受教育程度基本匹配。被试的身体基本健康,听力、(矫正)视力和色觉正常。

2.2 实验任务

2.2.1 抑制优势反应(inhibition of prepotent responses) 信号抑制任务(stop-signal):参考 Logan等^[10]的范式。测验包含两种情况。其一,奇偶数判断情况:呈现注视点500ms,随机出现一个数字1000ms,然后空屏1000ms。要求被试判断呈现的数字是奇数还是偶数,在保证正确的前提下,尽快按相应键回答。其二,不判断情况:当偶尔听到“di”的一声时,要求被试不作判断,抑制自己的按键反应。该范式有两大特点。首先,“di”声是在数字出现后发出,且是小概率事件(一般是25%),延迟出现的初

始值是250ms。其次,采用一种阶梯调节法,即当被试能够成功地抑制按键反应后,“di”声将再延迟50ms出现;反之,如失败,则将提前50ms出现。在被试熟悉按键反应后,正式测验包括4小段,每小段80次。测验成绩为奇偶数判断条件下的平均反应时,减去“di”声延迟出现时间的平均值。

色词干扰任务(Stroop):参考 Stroop^[11]的范式,改用计算机呈现刺激,并用麦克风记录反应时。在屏幕中央逐个呈现带颜色的“##”或汉字(红、黄、绿、蓝),要求被试报告它们的颜色(红、黄、绿、蓝)。测验包含两种情况。其一为中性条件,即红、绿、黄、蓝四种颜色的“##”;其二为不一致条件,即红、绿、黄、蓝四种颜色的汉字,且汉字与颜色不匹配,如红色的“蓝”字。要求被试在保证准确的前提下,尽快大声报告。正式测验分4小段,采用ABBA的顺序。A段为中性条件,B段为不一致条件,每小段48次。第一次进行A或B段前练习12次。测验成绩为不一致条件和中性条件下的平均反应时相减。

反向线索任务(anti-cue):参考 Nieuwenhuis等^[12]的范式。本测验要求被试对三种简易人脸的表情进行辨别,它们的差别仅在于嘴的形状(笑脸嘴角朝上,哭脸嘴角朝下,平静的嘴角为一短的线段)。测验包含两种条件。第一,同向线索:在屏幕中央呈现注视点1300ms,空屏200ms,随后,黄色圆点将在“+”四周的一个方框内闪现80ms,空屏200、400或600ms(各占1/3);随即,人脸将在黄色圆点所在的方框内闪现130ms,最后,嘴的形状将被另一图形掩蔽。要求被试注意人脸中嘴的形状,并按相应键回答。第二,反向线索:与同向线索类似,但当黄色圆点消失后,人脸将在黄色圆点对侧的方框内闪现。测验成绩为反向线索与同向线索下的平均反应时相减。

2.2.2 记忆刷新(updating) 倒数3位刷新任务(n-back):参考陈天勇等^[13]的范式。在计算机屏幕中央以每1750ms(呈现1250ms,空屏500ms)一个数字的速度,随机呈现一系列的数字,要求被试不断复述最后出现的三位。如依次呈现数字7-6-2-1-4,被试就应报告:7-76-762-621-214。完全正确得1分,中途任何一次漏报或误报都不给分。数字系列有5、7、9和11四种长度,每一数列中没有相同的数字出现。在实验中数列长度随机安排,被试不知道数列何时呈现完毕。练习4次,正式测验分2小段,每小段8次,每种长度各4次,共16次。

类词刷新任务(keep track):参考 Yntema和

Mueser^[14]的范式,实验材料改用使用频率较高的汉语双字词。在屏幕中央以每 1600ms(呈现 1300ms,空屏 300ms)一个词的速度,逐个呈现一系列的词,这些词分别属于 4个不同的类别,其中 3个类别(另一个是无关类)的名称在测验过程中始终呈现在屏幕下方,要求被试不断地跟踪这 3类中最近出现的一个词。如果这 3类中新出现一个词,就必须用新词替换旧词,以保证记住的始终是 3类词中最后出现的一个。回答正确一个得 1分,完全正确得 3分。词的系列有 8、10和 12三种长度,每一系列中每类词各出现 2次或 3次。在实验中系列长度随机安排,被试不知道系列何时呈现完毕。练习 3次,正式测验分 2小段,每小段 6次,每种长度各 4次,共 12次。

色点位置刷新任务 (color dots updating): 自行

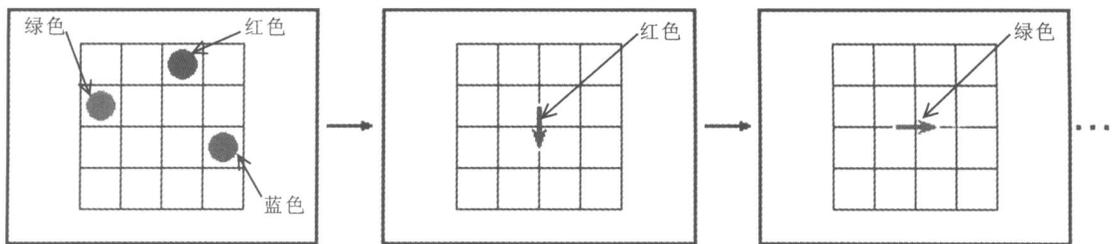


图 1 色点位置刷新任务示意图

2.2.3 注意转换 (attention switching) 数字转换任务 (more - odd shifting):参考 Salthouse等^[15]的范式,改用麦克风记录反应时。在屏幕中央逐个呈现一系列数字,被试按要求对数字(1~9,但没有 5)进行判断,测验中有三种判断要求。第一,大/小判断:呈现的数字如果小于 5,就说“小”;如果大于 5,就说“大”。第二,奇/偶判断:呈现的数字如果是奇数,就说“单”;如果是偶数,就说“双”。第三,大/小-奇/偶判断转换:呈现的数字如果是白色的,进行“大/小”判断;如果是绿色的,进行“奇/偶”判断。要求被试在保证准确的前提下,尽快大声报告。正式测验分 6小段,采用 ABCCBA 的顺序。A 和 B 段不需要转换,各 24次;C 段需要转换,48次中包含 24次转换过程。第一次进行 A 或 B 段前练习 8次, C 段前练习 16次。测验成绩为转换条件与不转换条件下的平均反应时相减。

词类转换任务 (verbal shifting): 自行设计。屏幕中央逐个呈现一系列双字词(使用频率均较高),被试按要求对双字词进行判断,测验中有三种判断

设计,参见图 1。首先,在屏幕中央有一个 4 × 4 的栅格,在这些格子中有 3个带颜色的圆点。要求被试尽快记住栅格中 3个色点所在的位置(呈现 4秒)。随后,在栅格的中央以每 2000ms(呈现 1500ms,空屏 500ms)一个的速度,逐个出现一些带颜色的箭头,指示被试在头脑中同步进行如下操作,即与箭头颜色相同的圆点在该方向移动一个格子(如图例中的红点需要往下走到第 2 行的第 3 列)。当箭头呈现完毕后,请被试分别指出 3个色点移动后的位置。回答正确一个得 1分,完全正确得 3分。箭头的系列有 3、4 和 5 三种长度,每一系列中每种颜色的箭头各出现 1次或 2次。在实验中系列长度随机安排,被试不知道系列何时呈现完毕。练习 3次,正式测验分 2小段,每小段 6次,每种长度各 4次,共 12次。

要求。第一,生物/非生物判断:呈现的词如果是生物,就说“是”;如果不是生物,就说“否”。第二,可动/不可动判断:呈现的词如果是可动的,就说“动”;如果不可动,就说“静”。第三,词类判断转换:如果呈现的词是白色的,进行“生物/非生物”的判断;如果呈现的词是绿色的,进行“可动/不可动”的判断。要求被试在保证准确的前提下,尽快大声报告。正式测验分 6小段,采用 ABCCBA 的顺序。A 和 B 段不需要转换,各 24次;C 段需要转换,48次中包含 24次转换过程。第一次进行 A 或 B 段前练习 8次, C 段前练习 16次。用麦克风记录反应时,测验成绩为转换条件与不转换条件下的平均反应时相减。

局部-整体图形转换任务 (local - global shifting): 参考 Miyake等^[18]的范式。屏幕中央呈现一系列大的图形,这些大图形又由许多小的图形组成,被试按要求对图形的形状进行判断,测验中有三种判断要求。第一,整体图形判断:注意大图形,如果大图形是圆形,就说“圆”;X形,就说“叉”;三角形,就

说“角”,正方形,就说“方”。第二,局部图形判断:注意小图形,同样进行“圆、叉、角、方”的判断。第三,整体-局部图形判断转换:如果图形是白色的,就报告大图形的形状;如果图形是绿色的,就报告小图形的形状。要求被试在保证准确的前提下,尽快大声报告。正式测验分6小段,采用ABCBA的顺序。A和B段不需要转换,各24次;C段需要转换,48次中包含24次转换过程。第一次进行A或B段前练习8次,C段前练习16次。用麦克风记录反应时,测验成绩为转换条件与不转换条件下的平均反应时相减。

2.3 实验程序

包括被试筛选和正式实验2个阶段。被试筛选阶段主要涉及视力(近视力检测卡)、色觉(色觉检测卡)、健康自评(由差到好5级评定),以及韦氏智力量表的词汇测验(选取成绩在中等水平以上者)等。正式实验在计算机上完成,所有程序都通过E-Prime 1.1系统实现,对时间精度要求高的测验,确保达到1ms的时间精度。在施测顺序上考虑对执行功能的种类和刺激材料(数字、字词、图形)进行匹配,具体实验顺序为:色词干扰、数字转换、色点位置刷新、局部-整体图形转换、类词刷新、信号抑制、倒数3位刷新、反向线索和词类转换。实验约需2小时,被试在每一任务之间可以略作休息,尤其注意防止老年被试出现疲劳。

2.4 分析方法

应用验证性因子分析,分析九项执行功能测验的结构效度。采用大跨度的年龄样本,使本研究所涉及执行能力的变异区间更大,研究样本具有更好的代表性。但是,新的问题是,如何去除由年龄带来的共同变异,否则,无疑将高估不同执行功能之间的相关。为此,我们提出了如下的预期模型(见图2)。模型中每一种执行功能潜变量的变异可用虚线划分

为两部分:左边是与年龄相关的变异;右边是与年龄无关的变异,即内源潜变量的残差,其相关(用曲线双箭头表示)也就是排除年龄的共变影响后,不同执行功能之间特异性的相关。如果这种相关的系数较低,模型的拟合系数好于其它的备择模型(如单执行功能,或其中两种执行功能合并),则表明九项执行功能任务可以归纳为三种不同的执行功能。

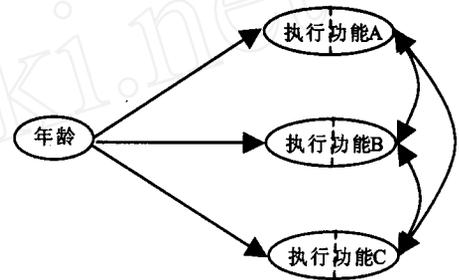


图2 三种执行功能及其与年龄关系的预期模型

3 结果

3.1 九项执行功能测量的基本数据

九项执行功能任务的平均成绩、标准差、信度,以及探索性因子分析的结果见表1。执行功能测量的信度采用分半信度,利用Spearmen-Brown公式计算奇、偶数小段成绩(对于有基线任务的,是减去基线后的成绩)的相关。九项执行功能测验的信度,除两项抑制优势反应任务略小于0.8以外,其余均在0.8以上,表明所选任务设计合理,测验内部的结构稳定。九项执行功能任务及年龄的相关矩阵见表2,九项执行功能与年龄的相关均显著(0.41至0.71,中数是0.49),说明年龄对不同执行功能有较大的共同影响。

表1 九项执行功能任务的基本数据

项目	因子1	因子2	因子3	平均成绩(标准差)	信度
数字转换	0.82	0.01	0.02	395(147)	0.86
词类转换	0.74	-0.21	-0.08	699(287)	0.90
局部-整体图形转换	0.88	-0.06	-0.06	474(192)	0.91
倒数3位刷新	-0.10	0.75	0.09	0.59(0.25)	0.91
类词刷新	0.14	0.84	-0.11	0.75(0.14)	0.80
色点位置刷新	-0.01	0.83	-0.08	0.69(0.19)	0.90
信号抑制	0.12	-0.14	0.63	285(70)	0.81
色词干扰	0.63	0.29	0.21	245(98)	0.74
反向线索	-0.04	0.01	0.89	0.16(0.09)	0.77

表 2 九项执行功能任务及年龄的相关矩阵 ($N = 142$)

项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. 数字转换	-									
2. 词类转换	0.64	-								
3. 图形转换	0.73	0.76	-							
4. 数字刷新	-0.44	-0.51	-0.54	-						
5. 类词刷新	-0.44	-0.51	-0.44	0.70	-					
6. 色点刷新	-0.47	-0.61	-0.53	0.74	0.76	-				
7. 信号抑制	0.46	0.44	0.41	-0.42	-0.47	-0.53	-			
8. 色词干扰	0.43	0.40	0.49	-0.42	-0.26	-0.32	0.22	-		
9. 反向线索	0.29	0.33	0.33	-0.39	-0.48	-0.48	0.47	0.37	-	
10. 年龄	0.46	0.52	0.49	-0.65	-0.65	-0.71	0.49	0.41	0.49	-

注:相关系数均显著 ($p < 0.01$)

采用控制年龄后的偏相关阵进行探索性因子分析,应用主成分法提取公因子,结果特征根大于1的主成分有3个,并采用Promax斜交法旋转。各任务因子负荷的情况表明,本研究设计的九项执行功能任务与预期基本相符,从属于三个相对独立的认知结构;较意外的是,色词干扰任务在因子3上负荷太小,而在因子1上的负荷更大。这可能与色词干扰任务的施测方式与注意转换的三项任务雷同有关(注:都使用麦克风测反应时,最后成绩都是实验条件与控制条件的反应时相减)。

3.2 三因子模型与其它模型的比较

本研究的逻辑是:如果三种执行功能属于不同的认知结构,那么图2的三因子模型对实验数据的拟合指数将是最好的;如果三种执行功能属于同一认知结构,那么单因子模型(即将三因子间的相关固定为1)的拟合指数就不会比三因子模型显著地差。另外,还有可能某两种执行功能属于同一认知

结构,形成二因子模型(即将某两个因子间的相关固定为1);或者三种执行功能完全独立,形成三因子独立模型(即将三因子间的相关固定为0)。

应用lisrel 8.5软件进行验证性因子分析。为了克服连续年龄样本所带来的数据存在非正态的现象,采纳Hu和Bentler等^[16]的建议,在计算过程中输入渐进协方差阵进行校正,但仍使用极大似然法进行参数估计。模型对数据的拟合情况见表3,一般认为, χ^2 对应的 p 值应大于0.05)和SRMR(应小于0.08)反映模型的总体拟合情况,AIC(越小越好)属于绝对拟合指数,而CFI(应大于0.95)属于相对拟合指数,可用于嵌套模型的比较。

结果表明,三因子相关模型的 $\chi^2(30, N = 142) = 21.20, p > 0.88$;另外,SRMR和AIC最小(分别为0.049和71.20),CFI也远大于0.95。因此,从模型的拟合指数来看,三因子相关模型对数据的拟合情况是很好的。

表 3 三因子相关模型及其它备择模型的拟合指数

模型	自由度	χ^2	SRMR	AIC	CFI
1. 三因子相关	30	21.20	0.049	71.20	0.98
2. 三因子独立	33	56.31*	0.120	100.31	0.96
3. 单一因子	35	87.39*	0.083	127.39	0.91
二因子模型					
4. 注意转换=记忆刷新	33	86.15*	0.083	130.15	0.91
5. 注意转换=抑制优势反应	33	30.53	0.079	74.53	0.96
6. 记忆刷新=抑制优势反应	33	37.20	0.062	81.20	0.97

注: * $p < 0.05$

由于三因子相关模型与其它备择模型互为嵌套关系,可以利用各模型的 χ^2 和自由度的差值,进一步评价不同模型的拟合优度,结果同样表明三因子相关模型显著地好于单因子模型($\chi^2(5) = 66.19,$

$p < 0.001$)、双因子模型($\chi^2(3)$ 分别为64.95, 9.33, 16, $p < 0.05$),以及三因子独立模型($\chi^2(3) = 35.11, p < 0.001$)。这些备择模型在其它拟合指数上也都比三因子相关模型差,特别是三因子独

立模型、单因子模型,以及注意转换和记忆刷新合并后的二因子模型,在 χ^2 检验和 SRMR 上均不符合要求,后两个模型的 CFI 也小于 0.95。因此,与其它备选模型相比较,三因子模型对数据的拟合情况也是最好的。

3.3 三因子模型及与年龄的关系

三因子模型分析的结果见图 3,从各项参数来看。首先,年龄与三种执行功能的关系较为密切,将路径系数平方,可以计算出年龄对三个潜变量(注意转换、记忆刷新和抑制优势反应)变异的贡献分别为:32%,61%,59%,说明年龄确实带来了较大的

共同变异。第二,各项任务与潜变量之间的因子负荷较高(0.52至0.90,中数是0.83),特别是注意转换和记忆刷新的六项任务,因子负荷系数基本都大于0.8,说明各执行功能的三项任务间有较大的共性。第三,三种执行功能间的相关较低,分别为:-0.24,-0.22和0.30,说明在排除年龄的影响后,不同执行功能间的相关较小。总的来看,测量同一种执行功能的三个任务汇聚性效度较好;在排除年龄的共变影响后,测量不同执行功能任务间的鉴别性效度也很优异。

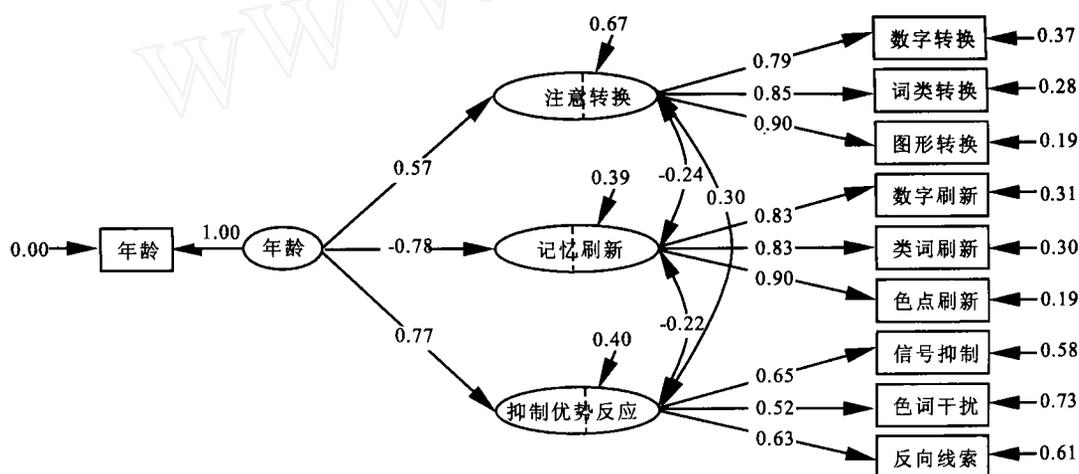


图 3 三种执行功能及其与年龄关系的潜变量分析模型

4 讨论

本研究基于较大的个体差异,在潜变量水平上,对三种执行功能(注意转换、记忆刷新、抑制优势反应)的可分离性进行了研究。针对以往研究存在的问题,本研究主要解决了两个问题:第一,对执行功能的任务进行改进,提高测量的信度和效度;第二,在保证测量有效、可靠的基础上,成功地建立了三种执行功能及其与年龄关系的潜变量分析模型。

4.1 执行功能测量方法的改进

为了提高执行功能测验的效度,采取了如下一些措施。首先,对于能设置基线任务的实验范式,更严格地考虑基线任务,排除非执行成分的干扰;对于不能设置基线任务的(如记忆刷新任务),也要使非执行成分的需求降低到一个很低的水平。第二,反应部分认知负荷太高的,如以前需要按4个键的速度任务,改用麦克风(声音键)记录反应时,以减轻被试反应阶段的认知负荷,避免不同执行功能之间

的相互干扰。第三,认真筛选和改进每一项任务,如对于信号抑制任务有多种方法,我们选择了最新、最好的一种;对于反向线索任务,我们选取了一种较有趣的范式(识别简易人脸表情),并将表情的种类由2种增加为3种,降低了被试猜测的可能;对于倒数3位刷新任务,要求被试出声报告,并采用更严格的计分规则,使测验的成绩更为可靠。最后,还自行设计了2项任务,实验表明是成功的。另外,通过调节测验的有关参数,使其保持适当的难度,对于提高测验的信度是很有帮助的。

从实际结果来看,本研究在执行功能的测量上比较成功,优于以往的研究。如与 Miyake 等^[8]的结果相比,本研究设计的九项执行功能任务在信度上更好(分别为0.74~0.91,中数为0.86;0.31~0.92,中数为0.68);九项执行功能任务与三个潜变量之间的因子负荷较高(分别为0.52~0.90,中数为0.83;0.33~0.63,中数为0.46),由此可以推算出,对于不同执行功能任务进入模型的变异也更多

($0.83^2 = 69\%$ 对 $0.46^2 = 21\%$)。

4.2 执行系统的可分离性及与年龄的关系

本研究的主要目的是探讨执行系统的可分离性及与年龄的关系。验证性因子分析的结果清楚地显示三种执行功能是各不相同的。当对三种执行功能间的相关不设定任何限制条件时,所得的相关系数较小(分别为 0.24、0.22、0.30),远远低于 Miyake 等^[8]的结果(0.56、0.63、0.42)。另外,从拟合指数来看,三因子相关模型也显著优于其它的备择模型。这一结果与早期神经心理学的双分离现象,以及群体相关性研究的结果是一致的。并且,这一结果也与目前理论发展的趋势相一致,如 Baddeley^[4]对中央执行系统,以及 Stuss和 Shallice等^[17]对监控注意系统(supervisory attentional system, SAS)分离的努力。

值得注意的是,年龄与三种执行功能的关系均较密切。运用公式($\text{执行功能A} \times \text{执行功能B} = \text{年龄} \times \text{执行功能A} \times \text{年龄} \times \text{执行功能B} + \text{执行功能A} \times \text{B}$)对执行功能间的相关进行分解,其中 $\text{执行功能A} \times \text{执行功能B}$ 是两种执行功能间的零阶相关, $\text{年龄} \times \text{执行功能A}$ 、 $\text{年龄} \times \text{执行功能B}$ 为由年龄带来的共同变异(伪相关), $\text{执行功能A} \times \text{B}$ 为控制年龄后的净相关。结果表明,由年龄带来的相关(0.44、0.44、0.60)远大于三种执行功能间的净相关(0.24、0.30、0.22)。本研究通过建立一种新的模型(图2)成功地分离出了这种由年龄带来的共变影响。

在排除了年龄的共变影响后,三种执行功能间的相关虽然很低,但也是不可忽略的。这一点从三因子相关模型与三因子独立模型的比较中也可以看出, $\chi^2(3) = 35.11, p < 0.001$,说明三种执行功能之间确实存在一定的共性。针对这种共性,目前主要有两种解释。一种解释是,完成不同的执行功能任务都需要一定的工作记忆能力。如 Engle 等^[18]提出控制性注意是工作记忆的一个关键性成分,任何涉及控制性加工的情况(如目标保持、干扰抑制、冲突解决和记忆刷新等)都需要控制性注意的参与。另一种解释是,完成不同的执行功能任务都需要一定的抑制能力。如 Zacks和 Hasher^[19]提出抑制功能是工作记忆和各种执行功能的一个基本成分。本研究两个二因子模型(抑制优势反应分别与注意转换和记忆刷新合并)的各项拟合指数相对较好,也正好支持了这一观点。为了保证执行加工的顺利进行,在注意转换的过程中,需要抑制前面已经习惯化的认知加工;在记忆刷新过程中,需要不断主

动地抑制不再有用的信息。最后,大量脑成像的研究也表明,多种执行任务激活了一些相似的前额叶脑区,表明任何一种执行功能的实现,都是由几个脑区组成的神经网络共同活动的结果^[20]。

4.3 存在的问题和进一步研究的方向

本研究所取的样本量(142人)不算少,但考虑到大跨度的年龄样本使得研究的各种变量变异的区间加大,需要更大的样本量,以获得更稳定的实验结果。由于潜变量的研究难度很大,本研究仅涉及了三种执行功能,还需要进一步研究更多执行功能及其相互间的关系,以实现执行系统的组织结构有更全面、系统的认识。

执行系统是人类最高级的认知系统。关于执行功能可分离性的研究,使我们对这一高级认知系统的组织结构有了更深入的了解。传统的单一结构观点带来的最大危害,是概念上的笼而统之和实证研究实施上的困难。只有在鉴别出一些具体的执行功能后,才能开发出相应的实验范式,为后续实证研究的开展奠定一个良好的基础。

5 结论

结果表明,所研究的三种执行功能与年龄的关系较为密切,在排除由年龄带来的共变影响后,可以成功地将其分离。这说明执行系统不是单一的认知结构,可以分离为若干相对独立的执行加工过程。此外,对执行功能测量的改进,可以通过完善测量范式和潜变量分析等方法实现。

参 考 文 献

- 1 Chen T Y, Han B X, Li D M. Review on central executive of working memory (in Chinese). Journal of Nanjing Normal University. 2003, 5: 92~99
(陈天勇,韩布新,李德明. 工作记忆中央执行功能研究新进展. 南京师大学报, 2003, 5: 92~99)
- 2 Norman D A, Shallice T. Attention to action: Willed and automatic control of behavior. University of California at San Diego, CHIP Report 99, 1980
- 3 Baddeley A D. Working memory. Oxford: Clarendon Press, 1986
- 4 Baddeley A D. Exploring the central executive. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1996, 49A: 5~28
- 5 Shallice T, Burgess P. Supervisory control of action and thought selection. In: Baddeley A D, Weiskrantz L (Eds). Attention: Selection, Awareness and Control. Oxford: Clarendon Press, 1993. 171~187
- 6 Burgess P, Shallice T. Fractionnement du syndrome frontal. Review of Neuropsychology, 1994, 4: 345~370
- 7 Chen T Y, Han B X, Luo Y J, Li D M. Cognitive aging and execu-

- tive decline hypothesis (in Chinese). *Advances in Psychological Science*, 2004, 12 (5): 729 ~ 736
(陈天勇, 韩布新, 罗跃嘉, 李德明. 认知老化与执行衰退假说. *心理科学进展*, 2004, 12 (5): 729 ~ 736)
- 8 Miyake A, Friedman N P, Emerson M J, et al 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 Salthouse T A, Thomas M, Atkinson T M, Berish D E Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults *Journal of Experimental Psychology: General*, 2003, 132 (4): 566 ~ 594
- 10 Logan G D, Schachar R J, Tannock R Impulsivity and inhibitory control *Psychological Science*, 1997, 8 (1): 60 ~ 64
- 11 Stroop J R. Studies of interference in serial verbal reactions *Journal of Experimental Psychology*, 1935, 18: 643 ~ 662
- 12 Nieuwenhuis S, Ridderinkhof K R, de Jong R. Inhibitory inefficiency and failures of intention activation: Age-related decline in the control of saccadic eye movements *Psychology and Aging*, 2000, 15 (4): 635 ~ 647
- 13 Chen T Y, Han B X, et al Central executive, fluid intelligence, and aging: Is central executive unique and unitary (in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 2002, 34 (6): 573 ~ 579
(陈天勇, 韩布新等. 工作记忆中央执行功能的特异性和可分离性. *心理学报*, 2002, 34 (6): 573 ~ 579)
- 14 Yntema D B, Mueser, G E Remembering the present states of a number of variables *Journal of Experimental Psychology*, 1960, 60: 18 ~ 22
- 15 Salthouse T A, Fristoe N, McGuthry K E, et al Relation of task switching to speed, age, and fluid intelligence *Psychology and Aging*, 1998, 13 (3): 445 ~ 461
- 16 Hu L, Bentler P M, Kano Y. Can test statistics in covariance structure analysis be trusted? *Psychological Bulletin*, 1992, 112: 351 ~ 362
- 17 Stuss D T, Shallice T, Alexander M P, et al A multidisciplinary approach to anterior attentional functions *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1995, 769: 191 ~ 211
- 18 Engle R W, Tuholski S W, Laughlin J E, et al Working memory, short-term memory and general fluid intelligence: A latent variable approach *Journal of Experimental Psychology: General*, 1999, 128, 309 ~ 331
- 19 Zacks R T, Hasher L. Directed ignoring: Inhibitory regulation of working memory. In: Dagenbach D, Carr T H (Eds). *Inhibitory Processes in Attention, Memory, and Language*. San Diego, CA: Academic Press, 1994. 241 ~ 264
- 20 Collette F, Van der Linden M. Brain imaging of the central executive component of working memory *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2002, 26: 105 ~ 125

THE DIVERSITY OF EXECUTIVE FUNCTIONS IN NORMAL ADULTS: A LATENT VARIABLE ANALYSIS

Chen Tianyong, Li Deming

(Key Laboratory of Mental Health, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract

The diversity of three executive functions (inhibition of prepotent responses, memory updating, and attention switching) was studied with latent variable approach. One hundred and forty-two adults between 18 and 85 years of age performed nine computerized tasks that are considered to tap each corresponding target executive function. The results indicated that 1) Reliabilities of those tasks are relatively high. 2) Confirmatory factor analysis showed that nine executive function tasks have strong loading on the hypothesized constructs, indicating a good convergent validity of the three executive functions, and the correlations between the three executive functions are rather low when age are controlled, indicating a good discriminant validity of the three executive functions. Altogether, these results were better than those of Miyake et al (2000), and provided a strong evidence for the diversity of executive functions.

Key words executive function, age, reliability, validity, latent variable analysis