

执行衰退假说及其行为学研究策略

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)

【关键词】 执行功能;执行衰退假说;加工速度;认知老化;研究策略

【中图分类号】 B844.4 【文献标识码】 A 【文章编号】 1005-9202(2007)01-0093-04

执行衰退假说(executive decline hypothesis)是近年来认知老化研究领域内一个新兴的理论,该理论主要关注执行功能与大脑额叶皮层的关系,以及执行功能在认知老化过程中的作用。具体来说有两层含义:第一,在排除一般性认知(大脑)衰退的基础上,仍存在执行(额叶)功能特异性的随龄衰退;第二,执行(额叶)功能的降低是引起人们日常复杂认知功能(记忆、学习、推理)随龄衰退的主要原因。然而,在随后的认知行为学研究中,特别是考虑了加工速度指标后,却遇到了很大的困难。本文较详细地介绍执行衰退假说的神经生物学背景,并在 Salthouse(2001)五阶段分析策略的基础上,提出了一套新的认知行为学研究策略,从而对执行功能和加工速度在认知老化过程中的作用进行客观的评价。

1 执行功能与大脑额叶皮层的关系

执行功能负责对各种具体的认知加工过程进行控制和协调,是大脑最高级的认知活动。对执行功能的认识源于神经心理学家对额叶损伤患者行为和认知缺陷的观察,大量神经心理学的研究为执行功能与大脑额叶皮层的关系提供了有力的证据。

1.1 Luria与脑的三个基本机能联合区 Luria在前苏联卫国战争时期,对大量脑外伤患者的高级心理功能进行研究,提出了三个基本机能联合区学说。Luria认为^[1],第三机能联合区位于大脑额叶,而前额叶则是第三机能联合区的第三级皮层区,是脑的机能联合区中最重要的部分。前额叶皮层的作用具体体现为“人不仅对进入的信息被动地反应,而且引起意向,形成行动计划和程序,检查执行情况,并调节行为,使其行为与计划和程序相一致,最后,核实自己的意识活动,将行动效果与最初的意向相比较,并纠正所做的任何错误。”

1.2 Norman & Shallice与监控注意系统 Norman通过收集人们日常行为的疏忽,Shallice通过对额叶损伤患者的临床观察,提出了监控注意系统理论。Norman等认为^[2],存在两种行为方式:自动化行为和控制性行为。自动化行为由环境线索引发,不需要意志努力就能顺利完成,但在某些情况下,当两个同时进行的行为发生冲突时,就需要通过“竞争调度”赋予其中之一以更高

的优先权,竞争调度系统由一些标注行为相对重要性的简单规则组成。控制性行为通常是在遇到危险或新异情景时产生,需要人的意志努力。在这种情况下,需要“监控注意系统”(supervisory attentional system, SAS)的参与,SAS通过调节低级控制系统(“竞争调度”),打断并修正自动化行为,最终做出适当的反应。监控注意系统理论深化了对执行功能作用机制的理解,并进一步明确了执行功能与大脑额叶皮层的密切关系。

1.3 Baddeley与中央执行系统 工作记忆是认知加工系统中一个重要的认知结构。在 Baddeley的工作记忆模型中,中央执行系统是最重要的一个子系统^[3,4]。对执行功能的理解,Baddeley主要受 Norman和 Shallice监控注意系统理论的影响。运用这一理论,Baddeley对早期的数字随机生成研究(即要求被试着节拍尽量随机地说出一系列的数字)进行了解释,认为被试生成非随机数字序列(如同一数字的重复或相邻序列)的原因在于自动化的数字生成模式,而监控注意系统能够打破这种自动化行为,导致随机数列的生成。

对于执行功能与大脑额叶皮层的关系,Baddeley认为^[5],额叶是一个很大、很复杂的脑区,不仅有执行控制的功能,还负责诸如记忆、言语、情绪和人格等其他功能;执行功能不仅涉及额叶的一些脑区,也可能与后部其他一些脑区有关。也就是说,执行功能与额叶并不是一种简单的对应关系。近年来,运用脑成像技术对执行功能的研究进一步证实了 Baddeley的观点。Collette和 Van der Linden^[6]对 40余项执行功能脑成像研究的回顾中发现,多种执行功能任务激活了一些相似的前额叶脑区(BA 9/46, 10和前扣带回),但其他一些额叶脑区(如 BA 6, 8, 44, 45, 47)甚至顶叶脑区(BA 7, 40)也在部分执行任务中激活,提示多种执行功能既具有一定的共性,同时也具有一定的特异性。由此可见,虽然执行功能与额叶的关系密切,但在具体认知活动中两者间的关系远比想象的要复杂。因此,Baddeley认为,从执行功能与额叶的关系出发(神经心理学研究途径)并不能解决所有的问题,还需要重视认知行为学研究层面上功能分析的研究途径。

2 执行衰退假说的神经生物学证据

随着年龄的增长,人脑在解剖学、神经化学,以及功能特征上将发生一系列的变化。虽然脑的整体性衰变更容易觉察,但年龄对于不同脑区影响的差异性也是显而易见的^[7,8]。

2.1 结构上的变化 从整体上看,老年人的脑室扩张、脑沟加宽,以及皮层下的白质高信号(hyperintensities)。从脑的局部情况来看,大量研究表明前额叶受年龄的影响最大。在正常的

基金项目:国家自然科学基金项目(30500163)

通讯作者:李德明(1939-),女,研究员,博士研究生导师,从事老年心理学研究。

作者简介:陈天勇(1973-),男,博士,助研,从事认知老化研究。

老化过程中,前额叶在如下方面的变化比其他脑区更为明显:皮层萎缩和神经元的丧失、突触密度和树突分枝减少、轴突髓鞘结构的破坏(白质退行性变化),以及一些神经递质浓度的降低和受体数量的减少(如多巴胺系统的退化)等。

此外,种系发生和个体发育的研究显示,存在一种对年龄的脆弱性(vulnerability)呈梯度变化的现象,这似乎符合“晚成(种系发生和个体发育)早衰(老化)的规则,即相对于在越老物种中出现和越早发育成熟的脑结构(如苍白球、旧小脑、感觉皮层和脑桥等),新小脑蚓部、新纹状体和联合区皮层,特别是前额叶皮层,受年龄的影响更大。

2.2 功能上的变化 随着功能性脑成像技术的迅速发展,近年来研究者对额叶(执行)功能随龄的变化情况,以及额叶在大脑功能重组中所扮演的角色有了更深刻的认识,老年人的脑功能与青年人的区别是复杂的,但不是简单地用降低或衰退所能表达。已有的脑成像研究表明,老年人的认知加工脑激活情况有如下四个方面的特点^(7,9):首先,与青年人相比,老年人任务特异性脑区的激活显著降低,特别是前额叶皮层的激活降低,提示老年人行为表现差可能与该脑区的激活较低有关。第二,即使行为表现与青年人类似,老年人的脑激活模式也是不一样的。Rypma等⁽¹⁰⁾研究发现,老年人在工作记忆任务中,腹侧前额叶的激活与青年人相当,而背侧前额叶的激活较弱;另外,老年人在额极有更强的激活。Grady等⁽¹¹⁾的研究表明,老年人在记人面和空间位置两项任务中,额叶的背侧和腹侧均被激活。第三,在青年人高度单侧化激活的情况下,老年人呈现出明显的双侧化激活。对于这种双侧化现象,研究者通常用去分化(dedifferentiation)、代偿(compensation)或策略使用的不同来解释。第四,一些老年人特异性的激活模式与他们优秀的行为表现相关,说明大脑存在一定的代偿潜力。Park等⁽¹²⁾发现,即使在行为层面上对青年和老年被试的成绩进行了匹配,老年人在海马激活降低的同时,额叶的激活增强。Park等认为,这种额叶激活的增强是对海马激活减弱的代偿。对于老年人大脑激活双侧化的现象,到底是积极的代偿,还是消极的去分化现象目前还存在一定的争论,或许两者兼有。

总而言之,大量神经心理学和脑成像的研究表明,额叶(特别是前额叶)是执行功能重要的物质基础。同时,神经解剖学、神经化学和新陈代谢的相关指标均显示,在正常的老化过程中,额叶受年龄变化的影响更为明显。正是在这一背景下,一些研究者提出了认知老龄化的额叶假说,认为许多与年龄相关的认知减退都与额叶功能的衰退有关。由于额叶与执行功能关系密切,该理论又称为认知老龄化的执行衰退假说。

3 行为学研究及其基本策略

从行为学研究层面来看,一般认为,人们在各种认知任务中的行为表现,往往与控制具体认知操作的效能有很大关系。因此,执行功能可能是人们在认知功能上表现出的个体差异,特别是与年龄相关个体差异的重要影响因子。由此可见,执行功能应该是认知心理学,以及认知老龄化研究中一个关键性的概念。

Baddeley认为,执行功能与大脑的关系极其复杂,神经生

物学的研究途径并不能解决所有的问题,还需要重视认知行为学研究层面上功能分析的研究途径。在行为学研究领域,通常采用测量学及个体差异性的研究途径。然而,执行衰退假说在行为学的实证研究中遇到了很多的困难,如执行功能测量的信度和效度,执行功能的可分离性,以及执行功能与加工速度的关系等⁽¹³⁾。为了系统地解决这些问题,验证执行功能在认知老龄化过程中的重要作用,Salthouse曾提出了一套包含五个步骤的研究策略⁽¹⁴⁾。然而,Salthouse在运用该套策略,针对执行功能的研究中却存在几点不足。首先,仅仅关注执行认知结构的界定和分析,忽视了对加工速度认知结构的分析。其次,认为加工速度是一个基本的认知结构,不能被拆分为其他更基本的认知结构⁽¹⁵⁾。第三,过分看重复杂统计分析方法的作用,忽视了神经生物学领域相关的研究成果⁽¹⁶⁾。针对这些问题,特别是在行为学研究中考虑了加工速度后,执行衰退假说往往得不到实验结果的支持这一情况,我们提出了如下的一套认知行为学的研究策略,以便对执行功能和加工速度在认知老龄化过程中的重要作用进行客观的评价。

3.1 阶段 1 认知结构的界定及测验任务的改进 对执行功能的界定可以有两种途径。神经心理学判定一项任务是否反映执行功能的标准通常为额叶损伤病人是否在完成该任务时存在困难;而认知心理学则主要以功能分析的方式对执行功能进行界定。可以在功能分析的基础上同时考虑神经心理学和脑成像研究的结果,对各种执行功能进行界定。同时,加工速度的认知结构也需要认真地界定和分析。在以往的研究中,存在不同的加工速度,如心理物理速度、知觉速度和感觉运动速度等;并且,不同加工速度任务包含的认知加工过程也存在较大的差异。心理物理速度通过仪器调节刺激呈现的时间,考查被试对刺激辨别的能力,如被试只需要报告屏幕中央的两条短线哪一条更长。心理物理速度任务只强调正确率,不需要被试快速按键反应,被认为成功地排除了外周运动成份的干扰,因而只包括刺激编码和刺激辨别的认知过程。知觉速度任务测量的是选择反应时,一般需要被试迅速按键(通常为2个)进行反应。因此,知觉速度不但包括刺激编码和刺激辨别的认知过程,还涉及反应选择和运动执行的认知过程。感觉运动速度一般采用纸笔测验的形式,如韦氏智力量表中的“数字符号”分测验。与前两种加工速度相比,感觉运动速度还含有大量视觉搜索、注意转换和工作记忆等成份。

对于执行功能的测量也是本阶段的主要任务。首先,需要不断地对执行功能的测验任务进行改进和完善⁽¹⁷⁾。同时,考虑到老龄化研究对象的年龄跨度较大,需要进一步调整测验任务的各项难度参数,使其能够适应较大的能力变异区间。最后,可以通过潜变量分析的方法,利用多项任务对同一执行功能进行测量,使提取出的认知结构潜变量能够更好地代表相应的执行功能。具体原理是:将测验任务中与认知结构(某种执行功能)相关的变异提取出来,形成潜变量;而任务特异性的变异(如由不同刺激材料和不同实验范式造成的变异)被视为残差,不再纳入后续潜变量间关系的分析(图1)。

3.2 阶段 2 执行功能结构效度的研究 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

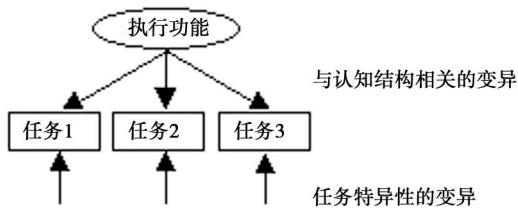


图 1 执行功能任务变异分解的示意图

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差的一致性。Miyake 等^[18]曾应用潜变量分析的方法和大学生被试样本,对三种执行功能的结构效度进行了分析。在年老化的研究中,由于往往采用大跨度的年龄样本,从而使研究中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。但年龄对于不同的执行功能存在共变性的影响。比如说,一个人执行功能 A 好,但执行功能 B 较差(特异性),但随着年龄的增长,两种执行功能都出现了一定的衰退(共变性),从而使不同执行功能之间的相关增大。为了量化评估由年龄导致的不同执行功能间相关的大小,提出如下的模型^[17](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。运用大学生和大跨度年龄样本的研究结果均显示,存在三种相对独立的执行功能^[17,18]。Salthouse 等^[16]对执行功能认知结构的特异性(鉴别性效度)提出了更高的标准,认为需要证明这些新近提出的执行功能与以往已经存在的认知结构(加工速度、记忆、液态智力、言语能力)都不相同,才能够确认一种特异性的认知结构。Salthouse 提出的这一标准近乎苛刻;并且,目前执行功能研究主要属于认知神经科学的取向,而 Salthouse 的标准似乎是心理测量学传统(因子分析方法)的延续,因而其实用价值还需进一步的商榷。

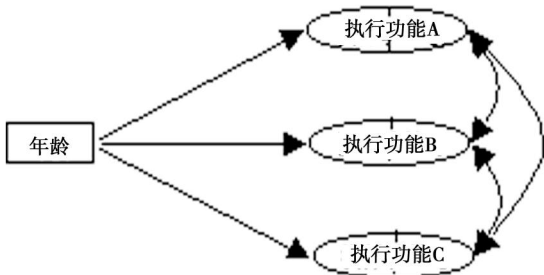
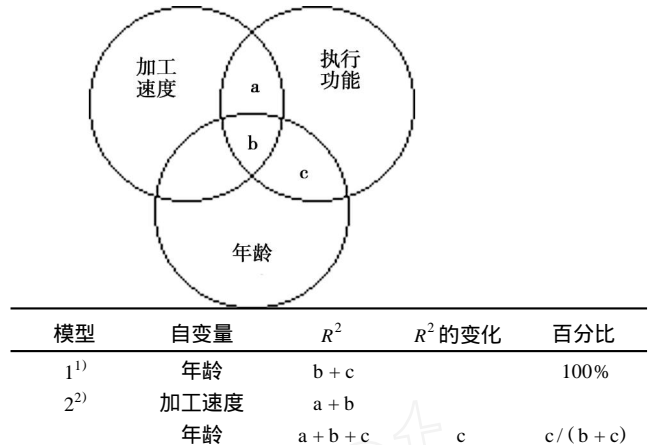


图 2 三种执行功能及其与年龄的关系

3.3 阶段 3: 执行功能与年龄相关的特异性 同很多认知能力一样,执行功能也存在与年龄相关的变异。但这种相关可能来自于其他变量(如加工速度)的影响,也就是说执行功能与年龄的相关不一定存在特异性。本阶段一般采用分层回归的方法,对执行功能与年龄相关的特异性进行研究。分层回归的原理是通过建立多个回归方程,对方程的确定系数(R^2)进行分析(图 3),将 R^2 换算成百分数,则表示方程能够解释因变量变异

的百分比。图 3 中的 $c/(b+c)$ 就是执行功能与年龄相关的变异中特异性变异所占的百分比。通过结构方程建模方法,还可以在潜变量水平上进行分层回归分析。总之,只有在控制其他变量影响的基础上,仍然存在的变异才是该认知结构与年龄相关的特异性变异。



1)模型 1 仅有年龄进入; 2)模型 2 加工速度第一层进入, 年龄第二层进入

图 3 以执行功能为因变量的分层回归分析示意图

3.4 阶段 4: 不同执行功能和加工速度在认知老化过程中的作用及其相互关系 在完成了前几个阶段分析的基础上,本研究的核心任务是分析不同的执行功能和加工速度认知结构在认知老化过程中的相对作用,这里既需要考虑年龄与认知结构的关系,还需要考虑相关认知结构与其他认知能力的关系。图 4 给出了一个最简单的中介模型,借助这一模型,可以考查在认知老化过程中,执行功能和加工速度各自特异性的中介作用。其中,如果路径 A 和 C 的系数较大,则支持加工速度在认知老化过程中起更大的中介作用;如果路径 B 和 D 的系数较大,则支持执行功能在认知老化过程中起更大的中介作用。

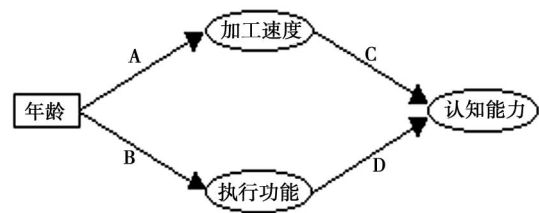


图 4 加工速度和执行功能在认知老化过程中的相对作用

4 展望

目前,执行衰退假说主要得到了神经心理学和脑成像研究方面的支持,运用行为学方法,特别是结构方程建模进行的研究还不多;并且,行为学的研究结果大多支持加工速度理论,而对执行衰退假说不利^[19,20]。究其原因,一方面行为学方法对执行功能的测量和分析较粗,不易发现各认知结构间一些较细微的差别或联系。另一方面加工速度理论强调衰退的普遍性,认

为在认知加工的各个环节都存在类似的加工速度的减慢,“普遍减慢”的现象确实是客观存在的。

加工速度理论与执行衰退假说的对立,在神经层面上其实就是大脑整体的普遍衰退与局部特异性衰退之间的对立。然而,正如 Raz所言,虽然脑的整体性衰变更容易觉察,但年龄对于不同脑区影响的差异性也是显而易见的^[7]。今后关于执行衰退假说的行为学研究需要进一步提高对执行功能测量和分析方法的改进;并且,既要看到广泛存在的普遍的老年化机制,又不能忽略不同认知结构的选择性变化。

5 参考文献

- Luria AR. The Working Brain: An Introduction to Neuropsychology [M]. New York: Basic Books, 1973.
- Norman DA, Shallice T. Attention to action: Willed and automatic control of behavior [M]. University of California at San Diego, CHIP Report 99, 1980.
- Baddeley A. Working memory [M]. Oxford: Clarendon Press, 1986.
- 陈天勇,韩布新,李德明. 工作记忆中央执行功能研究新进展 [J]. 南京师大学报, 2003(5): 92-9.
- Baddeley AD. Exploring the central executive [J]. Q J Exp Psychol, 1996; 49A: 5-28.
- Collette F, Van der Linden M. Brain imaging of the central executive component of working memory [J]. Neurosci Biobehav Rev, 2002; 26: 105-25.
- Raz N. Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings [M]. In Craik FM, Salthouse TA (Eds.). The handbook of aging and cognition (2nd Ed.). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2000: 1-90.
- Raz N. The aging brain observed in vivo: Differential changes and their modifiers [M]. In Cabeza R, Nyberg L, Park DC (Eds.). Cognitive neuroscience of aging: Linking cognitive and cerebral aging. New York: Oxford University Press, 2004.
- Reuter-Lorenz PA. New visions of the aging mind and brain [J]. Trends Cogn Sci, 2002; 6: 394-400.
- Rypina B, DeEsposito M. The roles of prefrontal brain regions in components of working memory: Effects of memory load and individual differences [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1999; 96: 6558-63.
- Grady CL, Haxby JV, Howitz B, et al. Dissociation of object and spatial vision in human extrastriate cortex: age-related changes in activation of regional cerebral blood flow measured with 15O water and positron emission tomography [J]. J Cogn Neurosci, 1992; 4: 23-34.
- Park DC, Welsh RC, Marshuetz C, et al. Working memory for complex scenes: age differences in frontal and hippocampal activations [J]. J Cogn Neurosci, 2003; 15: 1122-34.
- 陈天勇,韩布新,罗跃嘉,等. 认知老化与执行衰退假说 [J]. 心理科学进展, 2004; 12(5): 729-36.
- Salthouse TA. A research strategy for investigating group differences in a cognitive construct: application to ageing and executive processes [M]. In Mayr U, Spieler D, Kliegl R (Eds.). Ageing and executive control. Hove, UK: Psychology Press, 2001: 29-46.
- Salthouse TA. The processing-speed theory of adult age differences in cognition [J]. Psychol Rev, 1996; 103: 403-28.
- Salthouse TA, Thomas M, Atkinson TM, et al. Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults [J]. J Exp Psychol Gen, 2003; 132: 566-94.
- 陈天勇,李德明. 执行功能可分离性及与年龄关系的潜变量分析 [J]. 心理学报, 2005; 37(2): 210-7.
- Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, et al. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis [J]. Cognit Psychol, 2000; 41: 49-100.
- Bryan J, Luszcz MA, Pointer S. Executive function and processing resources as predictors of adult age differences in the implementation of encoding strategies [J]. Aging Neuropsychol Cogn, 1999; 6: 273-87.
- Salthouse TA, Miles JD. Aging and time-sharing aspects of executive control [J]. Mem Cognit, 2002; 30: 572-82.

[2006-03-27 收稿 2006-05-08 修回]

(编辑 牛铁兵)

欢迎订阅《中国老年学杂志》

《中国老年学杂志》(ISSN 1005-9202, CN 22-1241/R)为中国老年学学会会刊,是中国创刊较早,唯一囊括老年医学、老年生物学、老年心理学和老年社会学的老年学综合性学术期刊。主要刊载老年医药学(基础与临床医学研究、流行病学、药理学、中西医结合、护理等)方面的最新成果,并兼顾老年社会学(人口老化、健康老龄化、老年教育、养老及社区服务、老年保健等)、老年心理学、衰老生物学及抗衰老研究等方面的文章。辟有述评、基础研究、临床研究、理论探讨、调查研究、经验交流、病例报告、康复护理、综述及学术动态等栏目。被中国自然科学核心期刊研究课题组列为中国自然科学核心期刊、北大图书馆·北京高校图书馆期刊工作研究会列为中文核心期刊,并被中国科学引文数据库、中国生物学文献数据库、中国期刊全文数据库、中国学术期刊综合评价数据库、中文科技期刊数据库、中国核心期刊(遴选)数据库、解放军医学图书馆数据库及中国数字图书馆示范工程超星数字图书馆收录及列为统计源期刊。并被《中国医学文摘·老年学分册》、《中国生物学文摘》、《中文科技资料目录(医药卫生)》和《(中草药)》等检索性期刊摘录。面向老年学及相关学科的科研、教学和医疗的科研人员、医务工作者及广大师生。

本刊自 2007 年始,改为半月刊,国际大 16 开,每月 10 日及 25 日出版,定价 7.00 元,全年定价 168.00 元,邮发代号 12-74,全国邮局均可订阅。同时以印刷版、光盘版及网络版发行,信息容量大且报道时效性强。并竭诚欢迎医药、医疗器械等相关厂家刊登广告。为减轻自费读者负担,对自费个人实行八折优惠,每本 5.6 元(含邮费),如错过订阅时间可直接汇款至《中国老年学杂志》编辑部,请注明所购卷期、册数及“自费”字样。

地址:长春市建设路 971 号 《中国老年学杂志》编辑部 邮编:130061 电话:0431-88923384 传真:0431-88940685 Email: okgood911@126.com http://ZLXZ.chinajournal.net.cn