

抑制和加工速度与液态智力的年老化*

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 研究抑制能力和加工速度在液态智力年老化过程中的相对作用。被试为 142名 18~85岁健康成年人,完成包括抑制优势反应、加工速度和液态智力共 13项测验。分层回归分析显示,抑制能力与年龄相关的特异性变异,在控制简单的速度变量时较控制复杂的速度变量时更大;结构方程分析表明,对液态智力年老化的中介作用,当选取较复杂的速度变量时加工速度的作用更大,而当选取较简单的速度变量时抑制能力的作用更大。研究结果表明,在液态智力的年老化过程中,除了加工速度的作用之外,抑制能力也起重要的中介作用。该结果为认知年老化的抑制理论和执行衰退假说提供了认知行为学研究的证据,并且对加工速度理论作了有益的补充和修正。

关键词 抑制,执行控制,加工速度,液态智力,年龄。

分类号 B844.4

1 问题的提出

液态智力是指在新异情境中随机应变的能力,主要与神经系统的生理机能有关^[1]。大量研究表明,随着年龄的增长,晶态智力(如词汇、知识经验等)在成年后,仍会随龄增长,直到 70岁以后才出现显著的衰退;而液态智力(如记忆、注意、推理能力等),则在成年早期达到最高峰后即开始缓慢地下降,进入老年阶段后衰退进程加快。然而,对于液态智力年老化的机制问题却一直存在不同的观点。一方面,传统观点认为,认知年老化的现象是普遍存在的,可以用一般性的因素(如加工速度的降低)解释复杂认知功能大部分与年龄相关的变异,由此提出了认知年老化的加工速度理论^[2,3]。另一方面,近年来神经生物学的研究提示,不同神经结构在年老化的过程中存在差异性,前额叶更容易随龄衰退;并且,前额叶功能(又称执行功能, executive function)的随龄减退被认为是其它复杂认知功能年衰老退的主要原因,由此提出了认知年老化的额叶(执行)衰退假说^[4~6]。

抑制优势反应(inhibition of prepotent responses)是一种重要的执行功能,这种执行功能在克服习惯、熟悉或正在进行的动作等优势行为时发挥着关键性的作用,是一种内源性的行为控制^[7,8]。抑制能力

与前额叶的关系密切,对脑损伤患者的研究发现,前额叶病变后,不能抑制不适宜的行为反应^[9,10]。近年来的脑成像研究也表明,当被试完成 Stroop 等抑制任务时,在不一致条件下前额叶和扣带回前部等脑区的激活显著增加^[11,12]。在认知年老化的行为学研究领域,Hasher和 Zacks等提出认知年老化的抑制理论,认为正是由于老年人抑制能力的降低,导致了工作记忆的年龄差异;由于工作记忆在许多认知活动中都扮演着重要的角色,因此这一机制被认为能用以解释日常生活中各种复杂认知功能的年老化现象^[13,14]。

从上面的论述中可以看出,无论从认知神经科学还是认知行为学的角度,抑制能力作为一种重要的执行功能,在认知年老化过程中都应该起重要的中介作用。然而,在认知行为学的实证研究中,特别是考虑了加工速度指标后,抑制理论或执行衰退假说却遇到了很大的困难。例如,Salhouse和 Meinz^[15]认为,虽然控制抑制变量后,工作记忆与年龄相关的变异显著减小,但控制速度变量后,这种减小效应至少同样显著;并且,速度变量和抑制变量与年龄相关的变异大部分是共享的。这一结果支持用一般性的速度因素来解释复杂认知功能的年龄差异;在此基础上,抑制能力不能提供额外的、特异性的解释。其它类似的研究也大多支持加工速度理

收稿日期:2006-01-13

*国家自然科学基金项目(30500163)和中国科学院心理所创新基金项目(MS2003001)。

通讯作者:李德明, E-mail: lidm@psych.ac.cn

论,而对执行衰退假说不利^[16-19]。究其原因,我们认为,一方面这与执行功能的定义和测量有关,以往一些研究对执行功能(包括抑制能力)的定义比较笼统,并大量使用复杂的神经心理学测验(如威斯康新卡片,汉诺伊塔)对其进行测量,测量结果的信度和效度较低,从而使研究结果的含义不够确切。另一方面与加工速度的定义和测量也有关系,Salthouse等认为加工速度是一种基本的认知结构,不能将其拆分为其它更基本的认知结构^[2,3];然而,以往研究多使用纸笔测验形式的知觉运动速度任务(如韦氏智力量表的数字-符号分测验),这类看似简单的测验实际包含的认知过程却很复杂,往往含有执行控制的成份(如需要抑制其它数字-符号对应关系的干扰),从而导致了变量间的混淆。

针对这些问题,本研究首先对抑制反应能力和加工速度的定义和测量作了进一步的澄清。首先,对于抑制优势反应的界定和测量。优势反应可以是高度习惯化的阅读行为,也可以是对外在突现刺激无意识的注意,还可以是正在准备或已经开始发生的动作。本研究将运用三项任务对抑制优势反应能力进行测量。第一,色词干扰任务(Stroop task),要求被试报告刺激物的颜色,在干扰条件下(词的颜色和词不一致,如绿色的“红”字),由于存在读字的优势反应,导致报告颜色的反应时延长;干扰条件和中性条件反应时的差值,即反映被试抑制优势反应的能力。第二,反向线索任务(anti-cue task),要求被试辨别在屏幕四周闪现的刺激物的形状,在反向线索条件下,刺激物出现之前有一个无效的线索在刺激物的对侧闪现,由于外在突现刺激的吸引,导致被试对目标刺激物辨别的准确性降低;正向线索条件和反向线索条件正确率的差值,即反映被试抑制优势反应的能力,分值越高能力越弱。第三,信号抑制任务(stop-signal task),要求被试对呈现的刺激进行简单的判断(如奇偶判断),但在听到信号的情况下就克制自己的按键反应,由于被试的按键行为往往蓄势待发或已经开始发生,导致被试有时不能阻止自己的按键反应;通过相应的计算方法,也可以对被试抑制优势反应的能力进行评估。

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(psychophysical speed)、反应时(reaction time)和知觉运动速度(perceptual/motor speed)等^[20],不同加工速度包含的认知加工过程存在较大差异。心理物理速度通常采用各种检测时(inspec-

tion time)任务来测量,这类任务通过仪器调节刺激呈现的时间,考查被试对刺激间差异的辨别能力,如要求被试注意辨别屏幕中央的两条短线哪一条更长。检测时任务只强调正确率,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,主要包括刺激编码和刺激辨别的认知过程。反应时通常采用各种选择反应时任务来测量,这类任务不但需要被试注意辨别刺激间的差异,而且还需要通过迅速按键(通常为2个)进行反应。因此,反应时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。知觉运动速度一般采用纸笔测验的形式,与前两种加工速度相比,知觉运动速度涉及的认知过程比较复杂。例如,在完成“数字-符号”测验时,被试需要在数字-符号对应表格和作业区域之间不断地转换注意,同时尽可能多地记住各种数字-符号的对应关系,并排除不恰当对应关系的干扰。由此可见,以往研究中常用的复杂加工速度指标可能含有执行控制(包括抑制控制)的成份,加工速度并不是一个基本的认知结构。

与以往研究不同的是,本研究在明确抑制能力和加工速度的定义和测量方法的基础上,选取多种复杂程度不同的加工速度指标,因而可以更深入地考查抑制能力和加工速度在液态智力老化过程中的相对作用,并为抑制理论(或执行衰退假说)寻找认知行为学的证据。

2 研究方法

2.1 被试

表1 被试分组及基本情况(括号内为标准差)

变量	年龄组(岁)			总体
	18~39	40~59	60~85	
人数	54	41	47	142
平均年龄	28.1(6.8)	50.3(6.0)	69.8(6.3)	48.3(18.8)
女性比例(%)	50	71	57	58
健康自评	4.6(0.6)	3.9(0.8)	3.7(0.8)	4.1(0.9)
近视力	44.3(8.2)	49.0(8.3)	54.7(12.1)	49.1(10.6)
教育(年)	14.8(2.1)	13.4(2.3)	14.6(2.7)	14.4(2.4)
词汇	13.9(1.2)	13.6(1.1)	14.6(0.9)	14.0(1.2)
数字符号	15.1(2.3)	14.7(2.6)	15.2(2.7)	15.0(2.5)

注:1健康自评采用5级,分别为:1差、2较差、3一般、4较好、5好;2近视力为矫正视力,采用近视力检测卡,40代表1.0的视力,大于40更差;3词汇和数字符号来自韦氏成人智力量表中文修订版(龚耀先,1982),成绩为年龄常模分。

有效被试共142人,划分为老、中、青三个年龄

组,基本情况见表1。此外,还有4名被试由于没有完成全部测验而被删除。三组被试的身体基本健康,青年组(18~39岁)的健康自评较高($p < 0.01$);所有被试的听力、(矫正)视力和色觉正常,近视力与年龄的相关显著($r = 0.46$);各年龄段受教育程度基本匹配,但中年组(40~59岁)的受教育年限偏低,老年组词汇成绩高于其他两组($p < 0.01$);三组被试数字符号成绩的差异不显著。

2.2 实验任务

2.2.1 抑制优势反应任务

信号抑制任务:参考 Logan等^[21]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”(1000Hz纯音)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(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。测验成绩为不按键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:将 Stroop任务计算机化,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段前各练习12次。测验成绩为不一致条件和中性条件下的平均反应时之差。

反向线索任务:参考 Nieuwenhuis等^[22]的范式。本测验要求被试对三种简易人面的表情进行辨别,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(刺激物高0.5cm,宽1.2cm)。测验包含两种条件: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)后,人面将在黄色

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。要求被试注意人面中嘴的形状,并按相应键回答。反向线索:与同向线索类似,但当黄色圆点消失后,人面将在黄色圆点对侧的方框内闪现。正式测验分4小段,采用 ABBA的顺序。A段为同向线索,B段为反向线索,每小段48次。第一次进行A或B段前,目标刺激以200ms呈现,各练习12次,确保被试理解任务的要求后进入正式测验。测验成绩为反向线索与同向线索的平均反应时之差。

2.2.2 加工速度任务

以下6项任务,前两项测查知觉运动速度,随后两项测查反应时速度,最后两项检测时任务测查心理物理速度。

数字-符号测验:选自韦氏成人智力量表^[23]的数字-符号分测验。要求被试按答题纸上方给出的数字-符号对应关系,在数字下的空格内填写对应的符号。在进行10次练习后,给被试90s的时间,尽量多地完成符号填写任务。测验成绩为正确完成的个数。

数字拷贝:选自李德明主编的基本认知能力测验^[24]。要求当屏幕上出现一个数字时,被试用食指尽快按相应的数字键。练习4次后,正式测验20次。测验成绩为正确反应的平均反应时。

图形比较:将 Salthoues和 Babcock^[25]的纸笔测验计算机化。测验过程中,在屏幕中央呈现左右两个由一些短线组成的图形,要求被试对两个图形进行比较,在保证正确的前提下,尽快按键回答。如果完全相同,按“/”键;如果不同,按“Z”键。测验包括由简单到复杂3小段,每小段有32次判断。测验成绩为正确反应的平均反应时。

汉字比较:自己设计。根据《汉字部件信息数据库》^[26]选择笔画数为2~4画,字频等级为1~2级的独体字32个,组成字形接近,仅含一个不同笔画,长度为1、2、4的汉字串各16对,并衍生出笔画完全相同,对应长度的汉字串各16对。测验过程中,在屏幕中央呈现左右两串汉字(18号宋体,左右中心距离分别为2.6cm, 3.6cm, 5.6cm),要求被试对两串汉字进行比较,在保证正确的前提下,尽快按键回答。如果完全相同,按“/”键;如果不同,按“Z”键。测验同样包括由简单到复杂3小段,每小段有32次判断。测验成绩为正确反应的平均反应时。

检测时:线段辨别:参考 Nettelbeck和 Rabbitt^[27]的范式。首先,在屏幕中央出现一个注视点“+”(500ms);空屏360ms后,在“+”两边闪现一

长一短两条竖线(长度分别为3.2cm,4.4cm,左右间隔1cm,上端通过一条水平横线相连);随即,两条竖线被另一图形所掩盖(360ms)。要求被试注意辨别长线出现在左边还是右边(各半,随机匹配),并按相应键回答。目标刺激呈现的时间采用自适应的阶梯法进行调整,即开始呈现300ms,被试如果连续6次正确判断,则呈现时间缩短20ms,如果错误判断1次,则呈现时间延长20ms。出现12次拐点后测验结束,测验成绩为后10次出现拐点时,刺激呈现时间的平均数。正式实验开始前,目标刺激以500ms呈现,练习10次;然后以400ms呈现,连续正确8次才能进入正式测验。

检测时:汉字辨别:自己设计,参加图1。选择笔画数为2~4画的独体汉字20个,组成字形接近,仅含一个不同笔画(点、横、竖、撇、捺各两对)的10个字对;其中,少一笔的汉字是由多一笔的汉字抹去一笔构成。测验过程中,先在屏幕中央出现一个注视点“+”(500ms);空屏360ms后,在“+”两边闪现两个汉字;随即,两个汉字被由多一笔的那个汉字组成的字串所掩蔽(360ms)。要求被试注意辨别多一笔的汉字出现在屏幕的左边还是右边(各半,随机匹配),并按相应键回答。目标刺激呈现时间的控制及测验成绩的计算方法同上。



图1 汉字辨别任务示意图

2.2.3 液态智力任务 高级瑞文推理测验:这是一项经典的图形推理测验^[28]。要求被试仔细观察图形的规律,从8个备选答案中选出一个正确的答案。在主试的指导下,完成3道练习题后,给被试10min的时间,尽量多地完成从该套测验选出的18道奇数号题。

卡特文化公平智力测验:这是Cattell根据其液态智力理论编制的一套图形推理测验^[29]。该测验包括系列推理(3min)、类同概括(4min)、矩阵推理(3min)和定性分析(2.5min)等4个分测验。每个分测量在主试讲解2~3道例题后,让被试在指定的时间内,尽可能多地完成测验。

折纸测验:选自Ekstrom等编制的成套智力测验^[30]。要求被试想象,在一张按某种方式折叠后的正方形纸上,用铅笔扎一个孔,然后把纸展开,纸上会有几个孔,以及它们正确的位置。在图示讲解

一道简单的例题后,给被试10min的时间,尽量多地完成给出的12道题。

空间关系测验:选自Bennett等编制的成套智力测验^[31]。要求被试在右边的4个答案中,选出哪一个是由左边的纸板叠成的立体图形。在图示讲解两道简单的例题后,给被试10min的时间,尽量多地完成给出的20道题。

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和数字-符号分测验(选取成绩在中等水平以上者)等。正式实验通过纸笔测验或计算机呈现的方式进行,所有计算机程序都通过E-Prime1.1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。正式实验阶段的任務分两次完成,两次间隔不超过两周时间(注:数字-符号测验来自被试筛选阶段)。被试在每一任务之间略作休息,尤其注意防止老年被试出现疲劳。

2.4 分析方法

为了进一步澄清执行功能和加工速度在认知老化过程中的相对作用,本研究将着重进行如下两方面的分析。

2.4.1 抑制能力与年龄相关的特异性 同很多认知能力一样,抑制能力也存在与年龄相关的变异。但这种相关可能来自于其它变量(如加工速度)的影响,也就是说抑制能力与年龄的相关不一定存在特异性。本研究将采用分层回归的方法,对抑制能力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2),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。例如,图2中的 $c/(b+c)$ 就表示,抑制能力与年龄相关的变异中,特异性变异所占的百分比。只有在控制其它变量影响的基础上,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。

2.4.2 抑制能力和加工速度在液态智力老化中的作用 为了验证抑制能力和加工速度在液态智力老化过程中的相对作用,本研究提出了如下模型(图3)。借助这一模型,可以考查在液态智力老化过程中,抑制能力和加工速度各自特异性的中介作用。其中,路径系数A和B分别表示加工速度和抑制能力与年龄的关系,C和D系数分别表示加工速度和抑制能力对液态智力特异性的作用量(注:C

和 D 相当于标准回归系数, 液态智力 = C × 加工速度 + D × 执行功能 + Error)。A × C 表示通过加工速度, 年龄对液态智力的作用量; B × D 表示通过执行功能, 年龄对液态智力的作用量。如果路径 A 和 C 的系数较大, 则支持加工速度在液态智力的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, 则支持抑制能力在液态智力的老化过程中起更大的中介作用。

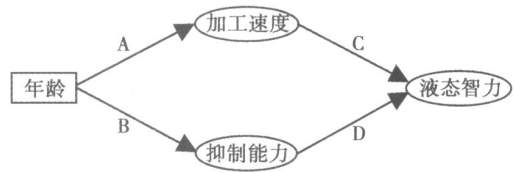
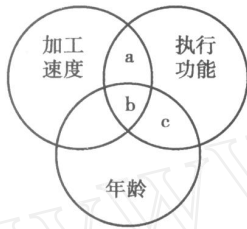


图 3 加工速度和抑制能力在认知老化模型中的相对作用



模型	自变量	R ²	R ² 的变化	百分比
1 ^a	年龄	b+c		100%
2 ^b	加工速度	a+b		
	年龄	a+b+c	c	c/(b+c)

a 模型1仅有年龄进入;

b 模型2加工速度第一层进入, 年龄第二层进入。

图 2 以执行功能为因变量的分层回归分析示意图

3 结果

3.1 加工速度和液态智力的测量

6项加工速度任务和 4项液态智力测验描述性统计的主要结果见表 2。年龄与所有变量的相关均显著 ($p < 0.01$), 年龄与加工速度呈显著的正相关 (数字 - 符号测验指标是被试完成的个数, 因而相关为负; 其它速度测验指标均为 ms), 与液态智力呈显著的负相关。说明随着年龄的增长, 老年人的加工速度逐渐减慢, 而液态智力逐渐降低。

本研究选取了三种类型的加工速度任务, 分别为: 知觉运动速度、反应时速度和心理物理速度。为了验证这种划分的合理性, 我们对此进行了验证性因子分析, 结果见表 3。从模型的拟合指数来看, 三因子模型对数据的拟合情况很好 ($\chi^2 = 6.12, df$

表 2 液态智力和加工速度测量的结果 (括号内为标准差)

变量	年龄组 (岁)			信度	与年龄的相关
	18~39	40~59	60~85		
数字符号	68.3 (9.7)	54.1 (10.7)	43.6 (11.9)	—	-0.70*
数字拷贝 (ms)	797 (126)	925 (148)	1185 (235)	—	0.71*
图形比较 (ms)	1260 (213)	1519 (224)	1692 (325)	0.99	0.62*
汉字比较 (ms)	1522 (232)	1885 (233)	2234 (315)	0.99	0.79*
线段辨别 (ms)	92 (19)	105 (24)	114 (27)	—	0.40*
汉字辨别 (ms)	132 (32)	170 (33)	205 (46)	—	0.68*
高级瑞文推理测验	10.7 (2.4)	7.1 (2.0)	5.8 (2.3)	0.81	-0.59*
卡特尔文化公平测验	27.5 (4.6)	19.5 (3.3)	16.4 (3.8)	0.86	-0.59*
折纸测验	9.2 (2.2)	6.8 (2.2)	5.6 (2.2)	0.82	-0.69*
空间关系测验	11.9 (4.4)	6.4 (2.7)	6.1 (2.2)	0.89	-0.78*

注: * $p < 0.01$; 信度采用 Spearman-Brown 公式校正奇偶数 trial/block 的相关 (分半信度)。

表 3 加工速度任务验证性因子分析的结果

变量	因子		
	知觉运动速度	反应时速度	心理物理速度
数字符号	0.81		
数字拷贝 (ms)	-0.83		
图形比较 (ms)		0.81	
汉字比较 (ms)		0.97	
线段辨别 (ms)			0.66
汉字辨别 (ms)			0.96

= 6, RMSEA = 0.012, CFI = 1.00), 单因子模型的拟合情况很差 ($\chi^2 = 47.91, df = 9, RMSEA = 0.175, CFI = 0.95$)。这一结果说明, 确实存在三种相对独立的加工速度。

3.2 抑制优势反应的测量

抑制优势反应三项测验的结果见表 4。对于信号抑制任务, 被试按键反应的正确率都很高 (大于 97%), 且抑制成功率约为 50% (注: 用自适应的阶

梯法调节难度,抑制成功率应该接近 50%),说明被试确实按照实验要求,在没有“di”声时尽快按键,听到“di”声后尽量抑制按键反应。采用按键反应时与“di”声延迟的差值作为测验指标,差值越小,说明被试抑制按键反应的能力就越强。在色词干扰任务中,干扰条件比中性条件下的反应时更长,表明被试在读颜色的过程中确实受到了读字过程的干扰;在信号抑制任务中,反向线索条件比正向线索条件的正确率更低,说明异侧突然出现的反向线索确实使被试受到了干扰。在这两项任务中,都采用干扰条

件与基线条件成绩的差值作为测验指标,差值越小,说明被试抑制优势反应的能力越强。与以往研究相一致,三项任务中差异分的信度相对较低,但均大于 0.74,说明本研究所设计的三项抑制优势反应测量指标较为稳定可靠。此外,三项抑制指标与年龄的相关均显著($p < 0.01$),表明随着年龄的增长,被试抑制优势反应的能力在逐渐减退。但如前所述,这种与年龄相关的变异不一定具有特异性,还需要控制其它一般性的变量(加工速度),做进一步的验证。

表 4 抑制优势反应测量的结果(括号内为标准差)

变量	年龄组(岁)			信度	与年龄的相关
	18~39	40~59	60~85		
信号抑制任务					
按键 RT(ms)	608(79)	635(44)	701(78)	0.93	0.53*
按键 ACC(%)	97.3(2.0)	97.6(1.7)	97.0(1.9)		-0.09
"di"声延迟(ms)	356(75)	355(55)	372(97)	0.89	0.10
抑制成功(%)	51.5(1.5)	51.3(2.1)	52.3(1.8)		0.16
RT-"di"延迟(ms)	252(44)	280(52)	328(86)	0.88	0.49*
色词干扰任务					
中性条件: RT(ms)	659(103)	659(106)	782(144)	0.92	0.40*
反应 ACC(%)	96(3.2)	95.4(2.9)	94.9(3.9)		0.13
干扰条件: RT(ms)	856(134)	920(173)	1066(172)	0.94	0.51*
反应 ACC(%)	98.9(1.3)	99.1(1.0)	98.6(2.0)		0.14
干扰-中性: RT	198(76)	261(99)	285(99)	0.74	0.41*
反向线索任务					
正向线索(%)	96.7(2.9)	93.9(5.3)	90.0(8.6)	0.86	-0.43*
反向线索(%)	84.5(9.9)	78.2(10.2)	67.9(12.8)	0.90	-0.55*
正向-反向	12.2(8.2)	15.5(7.3)	22.0(7.8)	0.77	0.49*

注: * $p < 0.01$; 信度采用 Spearman-Brown 公式校正奇偶数 block 的相关(分半信度)。

3.3 抑制能力与年龄相关变异的特异性

首先,将所有任务的成绩转换为 Z 分数,然后按各自所属的加工速度进行合并(Z 分数的平均数),形成目标变量(执行功能)和控制变量(加工速度)。参照图 2 程序进行分层回归分析,结果表明(见表 5),控制不同的加工速度,对目标变量与年龄相关的影响存在明显的差异。其中,对于目标变量与年龄相关的特异性变异的平均值,在控制知觉、运动速度后达到最小(2.7%),其次是反应时(9.1%)和心理物理速度(16.0%)。

3.4 抑制能力和加工速度的中介效应

液态智力老化的中介模型见图 3。其中,液态智力的 4 个观测变量是高级瑞文推理测验、卡特尔文化公平测验、折纸测验和空间关系测验,执行功能的 3 个观测变量是信号抑制、色词干扰和反向线索任务,加工速度根据种类的不同分别有 2 个观测

变量。

表 5 执行功能与年龄相关的总变异和特异性变异

目标变量	总变异	特异性的变异(控制以下变量)		
		知觉	运动速度	反应时速度
信号抑制	0.242	0.000	0.038	0.017
色词干扰	0.163	0.004	0.003	0.035
反向线索	0.302	0.015	0.023	0.061
总平均	0.236	0.006	0.021	0.038
(%)	(100)	(2.7)	(9.1)	(16.0)

注: 知觉、运动速度由数字符号和数字拷贝测验合成,反应时速度由图形比较和汉字比较任务合成,心理物理速度由线段辨别和汉字辨别任务合成。

应用 LISREL 8.5 软件进行结构方程建模分析。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^[32]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 6, 一般认为, 卡方/自由度 (χ^2/df 应小于 2) 和 RMSEA (应小于 0.08) 反映模型的总体拟合情况, CFI (应大于 0.95) 属于相对拟合指数, 可用于模型之间的比较。结果表明, 图 3 的中介模型对数据的拟合情况较好; 并且, 该模型能够解释液态智力 80% 以上的变异 (加工速度为知觉/运动速度、反应时和心理物理速度时, 对应的解释量分别为 81%, 80%, 80%), 说明该模型适合对加工速度和抑制能力在液态智力老化过程中的相对作用进行评估。

从表 6 中的各项路径系数来看, 当不同的加工

表 6 加工速度和抑制能力在液态智力老化过程中作用的比较

加工速度	年龄 - 加工速度 - 液态智力			年龄 - 抑制能力 - 液态智力			$\chi^2 (df)$	CFI	RMSEA
	A	C	A \times C	B	D	B \times D			
知觉/运动速度	0.87	0.77	0.67	0.76	0.17	0.13	34.17 (32)	0.98	0.022
反应时速度	0.79	0.21	0.17	0.87	0.74	0.64	32.08 (32)	0.98	0.004
心理物理速度	0.67	0.28	0.19	0.89	0.70	0.62	45.10 (32)	0.97	0.054

4 讨论

由问题提出部分的论述可知, 抑制能力作为一种重要的执行功能, 应该在认知老化的过程中起重要的中介作用。然而, 加工速度理论更强调衰退的普遍性, 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。执行衰退假说认为, 在认知老化的过程中, 排除一般性认知衰退的基础上, 仍存在执行功能特异性的随龄衰退。从本研究的结果来看, 无论选取何种加工速度指标, 抑制能力与年龄相关的特异性变异都不超过 16%; 也就是说, 抑制能力与加工速度仍然共享了至少 84% 的变异。这一结果与以往研究相一致, 符合加工速度理论的预期。然而, 值得注意的是, 抑制能力与年龄相关的变异中, 特异性变异所占的比例与所控制速度变量的复杂性有关。当控制较简单的速度变量时, 特异性变异所占的比例较大; 反之, 当控制较复杂的速度变量时, 特异性变异所占的比例较小。这一结果提示, 复杂的加工速度任务可能涉及执行控制的成份; 当选取较简单的加工速度任务时, 抑制能力与年龄相关变异的特异性才更充分地表现出来。

执行衰退假说最核心的观点是, 执行功能的降低是引起其它复杂认知功能随龄衰退的主要原因。而加工速度理论则认为, 可以用加工速度的降低解释大部分与年龄相关的认知减退。本研究的结果表明, 当选用较复杂的速度指标 (知觉/运动速度) 时, 与以往大多数的研究结果相一致, 加工速度在液态

速度进入模型, 路径系数 A 和 B 均较大 (大于 0.67), 说明加工速度和执行功能与年龄的关系都很密切。然而, 路径系数 C 和 D 的大小却存在很大的差异。当加工速度是复杂的知觉/运动速度时, 路径系数 C 大 D 小; 而当加工速度是较为简单的反应时和心理物理速度时, 则路径系数 C 小 D 大。用 A \times C 和 B \times D 分别表示加工速度和执行功能对液态智力老化中介作用的大小。当加工速度是复杂的知觉/运动速度时, 加工速度的中介作用更大 (0.67); 而当加工速度是较为简单的反应时和心理物理速度时, 则抑制能力的中介作用更大 (分别为 0.64 和 0.62)。

智力老化过程中所起的中介作用更大。然而, 当选用较简单的速度指标 (反应时或心理物理速度) 时, 抑制能力在液态智力老化过程中所起的中介作用更大。这一结果进一步提示, 复杂的加工速度任务可能涉及执行控制的成份, 当加工速度指标的复杂性增加, 含有较多的执行成份时, 它在认知老化过程中的中介作用也相应提高。由此可以认为, 抑制控制能力确实在液态智力的老化过程中起重要的中介作用; 并且, 以往研究发现加工速度在认知老化过程中较大的中介作用, 可能部分源于复杂速度任务中所包含的执行控制成份。

抑制能力的测量一直是研究中的一个难题, 本研究在改进抑制能力的测量方面也作了很多的工作。例如, 对于计算机化的 Stroop 任务, 以往被试作答时需在多个按键间进行选择, 本研究改用麦克风 (声音键) 记录反应时, 减轻了被试反应阶段的认知负荷, 同时也避免了其它认知成份的干扰; 对于信号抑制任务, 我们选择自适应的阶梯调节法求取抑制优势反应的时间, 因而使结果更为可靠和有效; 对于反向线索任务, 我们选取了一种较有趣的范式 (识别简易人面表情), 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。此外, 考虑到本研究被试取样的年龄跨度很大 (18 ~ 85 岁), 在以正确率为指标的测验 (反向线索) 中, 通过设置 3 个不同的难度水平, 提高了测验指标的区分度。从本研究的结果也可以看出, 三项抑制优势反应任务的信度较高; 相关的分析表明, 抑制能力测量的结构效度也较

好^[8]。抑制能力测量较好的信度和效度,确保了本研究结果的可靠性和有效性。

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,近年来的脑成像研究表明,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^[5]。今后关于执行衰退假说的行为学研究,需要进一步加强对执行功能测量的改进,以及相关分析方法的完善;并且,既要看到“普遍减慢”的老化现象,又不能忽略不同认知结构的选择性变化。

5 结论

本研究结果表明,在液态智力的老化过程中,除了加工速度的作用之外,抑制能力也起重要的中介作用。该结果为认知老龄化的抑制理论和执行衰退假说提供了认知行为学研究的证据,并且对加工速度理论作了有益的补充和修正。

参 考 文 献

- Lin C, Yang Z, Huang X. The Comprehensive Dictionary of Psychology. Shanghai: Shanghai Educational Publishing House, 2004 (林崇德, 杨治良, 黄希庭. 心理学大辞典. 上海: 上海教育出版社, 2004)
- Salthouse T A. The processing - speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 1996, 103: 403 ~ 428
- Verhaeghen P, Salthouse T A. Meta - analyses of age - cognition relations in adulthood: estimates of linear and nonlinear age effects and structural models. *Psychological Bulletin*, 1997, 122: 231 ~ 249
- West R L. An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin*, 1996, 120: 272 ~ 292
- Raz N. Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. In: Craik F I M, Salthouse T A (Eds). *The Handbook of Aging and Cognition* (2nd Ed). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2000. 1 ~ 90
- Chen T, Han B, Luo Y, Li D. Cognitive aging and executive 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)
- 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
- Chen T, Li D. The diversity of executive function in normal adults: A latent variable analysis (in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 2005, 37 (2): 210 ~ 217
(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. *心理学报*, 2005, 37 (2): 210 ~ 217)
- Stuss D T, Benson D F. *The Frontal Lobes*. New York: Raven Press, 1986
- Tang C. *Neuropsychology*. Beijing: People's Military Medical Publisher, 2001
(汤慈美. *神经心理学*. 北京: 人民军医出版社, 2001)
- Smith E E, Jonides J. Storage and Executive Processes in the Frontal Lobes. *Science*, 1999, 283: 1657 ~ 1661
- Collette F, Van der Linden M. Brain imaging of the central executive component of working memory. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2002, 26: 105 ~ 125
- Hasher L, Zacks R T. Working memory, comprehension, and aging: a review and a new view. In Bower G H (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, San Diego, CA: Academic Press, 1988. 193 ~ 225
- Hasher L, Zacks R T, May C P. Inhibitory control, circadian arousal, and age. In Gopher D and Koriat A (Eds.), *Attention and Performance*. Cambridge, MA: MIT Press, 1999. 653 ~ 675
- Salthouse T A; Meinz E J. Aging, inhibition, working memory, and speed. *The Journals of Gerontology: Series B*, 1995, 50 (6): 297 ~ 306
- Fisk J E, Warr P. Age and working memory: The role of perceptual speed, the central executive, and the phonological loop. *Psychology and Aging*, 1996, 11: 316 ~ 323
- Bryan J, Luszcz M A, Pointer S. Executive function and processing resources as predictors of adult age differences in the implementation of encoding strategies. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 1999, 6: 273 ~ 287
- 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
- Salthouse T A, Miles J D. Aging and time - sharing aspects of executive control. *Memory and Cognition*, 2002, 30 (4): 572 ~ 82
- Salthouse T A. Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology*, 2000, 54: 35 ~ 54
- Logan G D, Schachar R J, Tannock R. Impulsivity and inhibitory control. *Psychological Science*, 1997, 8 (1): 60 - 64
- 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
- Wechsler D. *Wechsler Adult Intelligence Scale - Revised*. New York: Psychological Corporation, 1981
- Li D, Liu C, Li G. The construction of "Basic Cognitive Capacity Test" and its standardization. *Acta Psychologica Sinica*, 2001, 33 (5): 453 ~ 460
(李德明, 刘昌, 李贵芸. "基本认知能力测验"的编制及标准化工作. *心理学报*, 2001, 33 (5): 453 ~ 460)
- Salthouse T A, Babcock R L, Shaw R J. Effects of adult age on structural and operational capacities in working memory. *Psychology*

- and Aging, 1991, 6, 118 ~ 127
- 26 Han B. Development of database of Chinese constituents information statistical analysis of the constituents and their combination. *Acta Psychologica Sinica*, 1994, 26 (2): 147 ~ 152
(韩布新. 汉字部件信息数据库的建立——部件和部件组合频率的统计分析. *心理学报*, 1994, 26 (2): 147 ~ 152)
- 27 Nettelbeck T, Rabbitt P. Aging, cognitive performance, and mental speed. *Intelligence*, 1992, 16: 189 ~ 205
- 28 Raven J. *Advanced Progressive Matrices, Set II* London: H. K. Lewis, 1962
- 29 Cattell R B, Cattell A K S. *Handbook for the individual or group Culture Fair Intelligence Test* Champaign, IL: Testing Inc, 1960
- 30 Ekstrom R. B, French J W, Haman H H, et al. *Manual for kit of factor - referenced cognitive tests* Princeton, NJ: Educational Testing Service, 1976
- 31 Bennett G K, Seashore H G, Wesman A G. *Differential Aptitude Test* San Antonio, TX: Psychological Corporation, 1997
- 32 Hu L, Bentler P M, Kano Y. Can test statistics in covariance structure analysis be trusted? *Psychological Bulletin*, 1992, 112: 351 ~ 362

The Contributions of Inhibition and Processing Speed to Normal Age - Related Differences in Fluid Intelligence

Chen Tianyong, Li Dening

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

Abstract

An important aspect of executive function involves the ability to inhibit prepotent responses (inhibition). It has been argued that this aspect of executive function might contribute to adult age-related effects on fluid cognition. However, this argument has been challenged by various individual differences studies, especially when processing speed was considered. That is, age-related effects on fluid abilities through the mediation of executive construct are much smaller than those through speed construct. Most of the relations between executive construct and both age and other cognitive abilities are shared with other variables, especially speed variables. The purpose of this study was to investigate the relative contributions of inhibition and processing speed to age-related differences in fluid intelligence, and to find empirical evidence for the executive decline hypothesis.

A sample of 142 normal adults between 18 and 85 years of age performed a set of inhibition, processing speed, and fluid intelligence tasks. Different from previous studies, which usually used processing speed as cognitive primitives, this study adopted three types of speed measures (i.e. inspection time, reaction time, and perceptual/motor speed), which were assumed to involve different level of executive control resources. All assessments (including 13 tasks) were taken in two sessions, administered during a 2-week period. Participants were encouraged to have a break whenever they felt tired.

The results indicated that reliabilities of the referring inhibition, processing speed, and fluid intelligence measures were relatively high. Confirmatory factor analysis showed that three target speed measures were clearly separable. Hierarchical regression analyses indicated that, the proportion of unique age-related variance in executive measures was related to the complexity of speed measures. There was a larger proportion of unique age-related variance in executive measures after controlling for the variance in simpler speed measures. Moreover, structural equation modeling showed that more complex speed measures, rather than inhibition, played a larger role in mediating age-related differences in fluid intelligence. However, this result was reversed when simpler speed measures were considered.

In summary, these results suggest that inhibition and processing speed are an important mediator between age and fluid intelligence, and provide support for executive decline hypothesis of cognitive aging. In addition, the mediation of age-related effects on cognitive abilities through processing speed as indicated by previous studies is at least partially derived from the executive component of speed measures. These findings provide support for executive decline hypothesis of cognitive aging as well as the processing speed theory.

Key words inhibition, executive control, processing speed, fluid intelligence, age.