

工作记忆成分的年龄相关差异 对算术策略运用的预测效应*

丁 晓 吕 娜 杨雅琳 司继伟

(山东师范大学心理学院, 济南 250358)

摘 要 采用选择/无选范式, 借助工作记忆成套测验, 在两位数乘法估算问题中探讨了工作记忆系统各成分对不同年龄段个体算术策略运用的预测效应。结果显示: (1) 工作记忆的不同成分与年龄之间存在明显的相关。表现为, 除视空模板成分外, 其他各成分得分随着年龄增长而呈现上升趋势; (2) 估算策略运用中, 年龄与策略选择显著相关, 表现为随着年龄增长, 策略选择表现明显提高; (3) 估算策略运用中, 不同年龄个体的工作记忆不同成分和策略选择表现出不同的联系, 中央执行均显示出显著的预测效应, 语音环路和视空模板的预测效应均不显著。不同年龄个体的工作记忆不同成分对策略执行的预测效应均不显著。上述发现对于深刻理解工作记忆系统在算术认知策略运用中的作用机制具有重要理论含义。

关键词 策略运用; 工作记忆; 中央执行; 年龄相关差异

分类号 B849: G44

1 引言

1.1 策略运用及其发展

策略是完成较高水平目标或任务的一个或一系列程序(司继伟, 徐艳丽, 封洪敏, 许晓华, 周超, 2014)。人类认知活动的一个明显特点是采用多种策略完成认知加工任务。面对具体任务时, 个体会根据任务特征、任务情境的不同及个体自身对策略的控制能力等因素选择最佳策略进行记忆(Tulving, 2014)、问题解决(Montague, 1992; Mata, Josef, & Lemaire, 2015)、判断(Luwel, Torbeyns, & Verschaffel, 2003)或决策(Wu, Lin, & Lee, 2010)等各种认知操作(Siegler & Lemaire, 1997; Siegler, 2007)。

策略运用是指在任务情景中, 个体选择不同策略并有效执行的操作加工过程, 主要包括策略选择和策略执行(Lemaire & Lecacheur, 2011)。策略运用随着个体的发展而变化。随着研究的不断深入, 策略运用的发展及年龄相关差异逐渐成为该领域内

的研究热点。Siegler (2007)将策略发展定义为: 随着年龄和经验的生长, 个体从低效的策略向高效的策略转变过程。不少研究发现学生在数学发展的早期阶段主要使用的策略包括单一计数策略、重复计数策略、重复加法策略、分解策略等(Zhou et al., 2011)。通过教育及经验的获得, 学生逐渐掌握口头记忆策略(Roussel, Fayol, & Barrouillet, 2002), 包括直接检索策略和算法。对问题情境直接建模、一个个计算所有的项目到最终对四则运算达到观念上的理解是一个逐渐发展的过程(Downton, 2008; Mulligan & Michelmore, 2009)。对儿童展开的研究显示, 策略选择适应性随年龄的增长表现出不断提高的趋势(Lemaire & Lecacheur, 2011; Wylie, Jordan, & Mulhern, 2012)。Lemaire 和 Callies (2009)发现随着年龄的增加, 儿童使用最佳策略的能力逐渐提高, 同时, 策略执行能力也得到提升。成人乘法策略运用适应性的研究发现年轻人与老年人有着共同的策略偏好, 均倾向于选择更便捷的策略, 但老年人

收稿日期: 2016-06-12

* 国家自然科学基金面上项目(31371048)、山东省自然科学基金面上项目(ZR2010CM059)和山东省“十二五”特色重点学科“发展与教育心理学”(2011-2015)专项经费资助。

通讯作者: 司继伟, E-mail: sijiwei1974@126.com

的策略选择适应性低于青年人;另外,老年人执行复杂策略时消耗时间更长(Lemaire, Arnaud, & Lecacheur, 2004)。此外,已有研究还发现在策略偏好、策略广度及策略执行等方面,儿童(Martens, Hurks, & Jolles, 2014)、青少年(Cantrell, Almasi, Carter, Rintamaa, & Madden, 2010)、成人(Blanchard-Fields, Chen, & Norris, 1997)、老年人(Lemaire & Leclère, 2014)均存在一定差异。刘伟方、华晓腾、封洪敏、胡冬梅和司继伟(2014)的研究也发现年龄是影响个体算术策略运用的重要因素。

此外,文化差异对策略运用有一定的影响,是造成个体思维方式和信息加工偏好差异的主要因素(Hamamura, Heine, & Paulhus, 2008)。如 Imbo 和 LeFevre (2009)发现:尽管中国被试在算术计算的正确率和反应时上都表现出一定优势,但在策略适应性上表现较差。Imbo 和 LeFevre (2011)随后进一步发现,中国被试在算术计算上表现出一定优势,使用中文作答的被试优势更明显。跨文化研究表明,不同文化环境会影响个体的策略加工过程,西方文化背景下的研究结果能否直接运用于本土教育改革还有待探讨。在我国文化背景下对算术策略运用过程进行探讨十分必要。

1.2 工作记忆与算术策略运用

工作记忆对个体复杂认知过程有极其重要的影响,其对各类高级加工过程的影响正逐渐被人们所揭示(Gathercole & Baddeley, 2014; Farmer et al, 2000)。它主要由语音环路、视空模板、情景缓冲器和中央执行系统四个子成分构成(Baddeley, 2000)。常见的工作记忆测量有阅读广度、操作广度、听力广度等,本研究采用自动化工作记忆评估(Automated Working Memory Assessment, AWMA),是一套计算机工作记忆能力测验软件,在国外工作记忆研究领域已得到广泛应用(Holmes et al., 2010; Alloway, 2009)。该测验由英国心理学家 Alloway (2007)编制,主要考察 4~22 岁个体的工作记忆能力,共 12 个分测验,分别为:数字回忆(Digit Recall)、词组回忆(Word Recall)、非词组回忆(Nonword Recall)、听力回忆(Listening Recall)、计数回忆(Counting Recall)、反向数字回忆(Backwards Digit Recall)、点矩阵(Dot Matrix)、迷宫记忆(Mazes Memory)、模块回忆(Block Recall)、“找茬”(Odd-One-Out)、“X 先生”(Mr. X)以及空间广度(Spatial Span),考察了言语短时记忆、言语工作记忆、视空间短时记忆、视空间工作记忆及执行功能五个方

面。数字回忆、词组回忆及非词组回忆都是传统的语音短时记忆的测量方法。听力回忆、计数回忆及反向数字回忆测量了言语工作记忆与执行工作记忆。如:计数回忆中,要求参与者指出 4×4 矩阵图片中,红色圆点的个数。图片呈现数量依次增加,参与者按顺序依次回忆红色圆点个数,最多一次呈现 7 张图片。反向数字回忆中,主试读完数字序列后,参与者需反向复述数字序列。点矩阵、迷宫记忆以及模块回忆三个任务测量了视空短时记忆,如:点矩阵中,在 4×4 矩阵图片中呈现一个 2 秒的红点,然后参与者在电脑屏幕上空白的 4×4 矩阵图片中,指出红点的位置。图片呈现数量依次增加,参与者按顺序依次回忆红点位置,最多一次呈现 7 张图片。“找茬”任务中,在 1×3 矩阵中呈现 3 个图形,要求被试观察图形,并找出与其它两个图形不一致的一个,当图形消失后,要求被试在空白的 1×3 矩阵中指出不一致图形的位置,图片呈现模式同点矩阵任务。“X 先生”中,两个卡通人物,一个戴蓝色帽子,一个戴黄色帽子,在不同的位置拿着一个球。在序列结束时,参与者需判断两个 X 先生是否是用同一只手拿的气球,并通过点击图片上 8 个罗盘点回忆戴蓝色帽子的 X 先生拿的球的位置。“找茬”、“X 先生”和空间广度均测量了视空间工作记忆和执行工作记忆。

近年来,研究者们越来越关注工作记忆对算术策略运用的影响(如陈亚林,刘昌,张小将,徐晓东,沈汪兵,2011;陈英和,王明怡,2009)。随着工作记忆可分离性研究的不断发展,学者开始关注工作记忆各子成分对策略运用情况的作用。研究已发现工作记忆语音环路、视空模板和中央执行三个子成分对策略运用过程都产生了一定的影响,但存在着影响对象和表现方式及影响程度上的差异(Bull, Johnston, & Roy, 1999)。Fürst 和 Hitch (2000)发现中央执行在整个心算过程中都起重要作用,而语音环路只对问题信息加工及保持过程造成影响。Imbo, Vandierendonck 和 Rosseel (2007)则发现语音环路只倾向于影响非提取策略。最近 Simmons, Willis 和 Adams (2012)发现视空间工作记忆对数字大小判断及数字书写有高预测作用,有力支持了视空间成分在算术认知过程中对视空间信息的保持与操纵。此外,Geary, Hoard, Nugent 和 Bailey (2012)发现:相对于三年级学生,二年级学生对心算策略的使用更依赖于中央执行。进一步研究表明,控制智力与班级内注意行为后,中央执行能力较强的儿童

仍能在早期正确提取更多数学事实、更频繁且准确使用计数策略,而且在后期能更快地学会运用分解策略(Geary, Hoard, Nugent, & Bailey 2012)。儿童和老年人策略运用的实验操纵也支持了中央执行成分对策略运用的制约存在变化的观点(Imbo & Vandierendonck, 2007; Duverne, Lemaire, & Vandierendonck, 2008)。整合以往研究可以发现,视空模板与语音环路在算术认知过程中主要对问题进行保持与加工(Fürst & Hitch, 2000; Imbo & Vandierendonck, 2007),而中央执行成分在高级认知过程中起控制作用(Kiss, Pisio, Francois, & Schopflocher, 1998; 司继伟, 杨佳, 贾国敬, 周超, 2012)。此外,已有研究发现个体工作记忆表现在不同年龄阶段存在差异,具体如下:Mcauley 和 White (2011)在 6~24 岁个体研究中发现:随着年龄增长,个体在工作记忆各个测验上的得分均显著提高; Gathercole, Pickering, Ambridge 和 Wearing (2004)也发现 4~15 岁儿童的言语和视空间工作记忆呈线性发展趋势;关于毕生发展的研究结果表明,16~19 岁组数字工作记忆广度最大,工作记忆随年龄的对数呈抛物线变化(李德明, 刘昌, 李贵芸, 2003)。

1.3 问题提出

工作记忆系统作为影响算术认知加工的一个重要因素,其不同成分在算术加工过程的不同阶段可能发挥着不同作用。之前关于工作记忆系统与算术策略运用的关系研究多仅关注工作记忆系统的某一成分,尚未见有研究专门考察工作记忆各成分在策略运用过程中的作用。各成分功能间是相互独立的还是存在一定重叠?不同成分对策略运用的影响程度是否相同?策略运用又主要受哪些成分的影响?现有研究尚不能对这些问题做出正面回答。通过对不同工作记忆子成分在算术认知加工过程中的差异性作用进行整合性探索,并对工作记忆各成分与算术策略运用情况这两者间关系的发展模式进行研究,有助于明晰工作记忆系统是怎样对策略运用过程产生影响的,这种影响随着年龄的变化又会发生怎样的转变,从认知发展角度对工作记忆与算术策略运用的关系做出阐释。

估算是个体在不进行精确计算的情况下,借助原有知识对问题做出粗略计算的过程,是心算、数概念和算术技能之间相互转化的基础(司继伟, 2002)。估算作为一种常用的算术计算方式,在实际生活中被人们广泛应用。而乘法作为一种基本的运

算方式,对复杂计算方法起基础性的作用。当代策略选择学习理论(Strategy Selection Learning theory, 简称 SSL)强调人们对策略的选择与执行是根据策略使用经验,通过强化学习,来调整策略运用(Rieskamp & Otto, 2006),而认知龛理论(Cognitive Niches Theory)则认为策略的可用性是认知能力与环境之间的相互作用(Marewski & Schooler, 2011; 张俊, 刘儒德, 2011)。根据以上两个理论并结合上述研究发现,本研究拟以复杂乘法估算任务为切入点,考察不同工作记忆成分与两位数乘法估算策略运用表现之间的关系来揭示个体在两位数乘法问题中策略运用的内在机制。研究试图通过实验与测验相结合的手段,采用结构建模统计技术,探究工作记忆不同成分对不同年龄个体估算策略使用表现的预测效应。具体假设为:随着年龄的增长,个体策略使用经验和认知能力不断增长,不同年龄个体的不同工作记忆成分对两位数乘法估算策略运用表现存在差异性预测效应。

2 方法

2.1 被试

选取山东师范大学附属小学齐鲁合作学校四年级学生 53 人(平均年龄为 10.09 岁)、六年级学生 49 人(平均年龄为 12.18 岁)、山东师范大学学生 52 人(平均年龄 24.40 岁),所有被试均未参加过类似实验。视力或矫正正常。

2.2 实验设计

采用 3(年龄:四年级、六年级、成人) \times 3(工作记忆成分:中央执行、语音环路、视空模板) \times 3(估算策略运用条件:最佳选择、上调策略、下调策略)三因素混合实验。其中,被试内变量为工作记忆成分与算术策略运用条件,被试间变量为年龄;因变量为被试工作记忆得分以及算术估算策略运用的正确率。参照前人采用选择/无选法研究算术策略的过程(如 Imbo & Vandierendonck, 2007; Imbo, Duverne, & Lemaire, 2007 等),本研究将策略运用条件设置为以下 3 种:最佳选择条件、无选/上调条件和无选/下调条件。

2.3 实验材料

2.3.1 工作记忆成套测验

采用 Alloway (2007)编制的自动化工作记忆测验(Automated Working Memory Assessment, AWMA)。由于整个测验耗时较长,考虑到被试疲劳效应对工作记忆成绩的影响,鉴于以往工作记忆的测量(王

晓丽, 陈国鹏, 马娟子, 孙秀庆, 孙志凤, 2013; McAuley & White, 2011)与本研究的目的是, 本研究选取其中 8 个子测验(数字回忆、词组回忆、计数回忆、反向数字回忆、点矩阵、迷宫记忆、“找茬”、“X 先生”), 分别测量了个体的语音环路、视空模板和中央执行成分。8 个子测验(数字回忆、词组回忆、计数回忆、反向数字回忆、点矩阵、迷宫记忆、“找茬”、“X 先生”)的克隆巴赫信度系数分别为 0.925、0.819、0.848、0.737、0.936、0.934、0.915、0.732 (李红霞, 2016)。

2.3.2 算术估算测验

自行编制估算测验, 包含 3 个分测验, 分别考察最佳选择、无选上调、无选下调三个条件下被试的策略运用情况。最佳选择子测验, 要求被试选择能估算到与正确答案最接近答案的策略; 无选上调子测验, 要求被试使用上调策略对所有的题目进行估算(上调策略: 将两个乘数的个位数舍掉, 十位数加 1。如: 56×38 , 使用上调策略转化为 60×40); 无选下调子测验, 要求被试使用下调策略对所有的题目进行估算(下调策略: 将两个乘数的个位数舍掉, 十位数不变。如: 52×34 , 使用下调策略转化为 50×30)。该测验为纸笔复杂乘法问题测验。每个分测验 60 道题, 要求被试既快又准地解决这些问题, 每对一题记一分, 做错不计分。然后分别计算各个测验的正确率, 其中最佳选择子测验考察了被试的策略选择, 无选上调子测验和无选下调子测验考察了被试策略执行。其中最佳策略、上调策略、下调策略条件各测验克隆巴赫信度系数分别为 0.919、0.759、0.643 (李红霞, 2016)。

2.4 实验程序

整个实验分为工作记忆测验和算术估算测验两部分。均为单独施测, 每名主试对应一名被试, 施测完成后当场收回所有材料。

工作记忆测验: 8 个子测验随机呈现。各测验呈现之前, 由主试宣读指导语, 被试明白后进行练习, 每个子测验设置 5 个练习试次, 正确率高于 80%后方可进入正式实验。正式实验中, 被试在答题纸上写下答案。所有测验结束后, 由主试将答案录入计算机进行自动评分。

算术估算测验: 为避免无选条件下的残余效应对选择条件下策略选择的影响, 参照前人有关研究 (Imbo & Vandierendonck, 2007; Imbo et al., 2007; 刘伟方, 华晓腾, 封洪敏, 胡冬梅, 司继伟, 2014), 按照最佳选择子测验、上调策略执行测验、下调策

略执行测验的顺序进行测验。测验之前, 主试宣读指导语, 被试明白后进行练习, 每个子测验设置 10 个练习试次, 正确率高于 80%后方可进入正式实验。正式实验中, 被试在答题纸上写下答案。所有测验结束后, 由主试根据正确答案进行评分, 获得被试在每个测验上的正确率。

2.5 数据分析

使用 SPSS 13.0 和 Windows Amos 4.0 统计软件进行数据的处理与分析。

3 结果

3.1 AWMA 与工作记忆模型的拟合度

为考察 AWMA 数据与工作记忆模型的拟合程度, 建构如图 1 所示的结构方程模型, 以极大似然估计考察模型对数据的拟合情况。结果发现, 模型拟合良好, $\chi^2 = 13.60$, $df = 13$, $p = 0.40$, $\chi^2/df = 1.05$, $RMSEA = 0.02$, $NFI = 0.91$, $CFI = 1.00$, $IFI = 1.00$, $TLI = 0.99$ 。工作记忆各成分之间相关均不显著。

3.2 工作记忆成套测验 AWMA 的适用性

使用原始数据计算被试在工作记忆测验中两两题目间的偏相关系数(零阶相关系数), 结果见表 1 (右上角)。所有零阶相关系数均小于 0.8, 故数据不存在多重共线性。被试工作记忆各成分内题目间相关系数都达到了显著水平。由于该部分分析受到年龄变量的影响, 控制年级之后, AWMA 各题目两两间的偏相关系数见表 1 (左下角)。结果显示, 控制年龄变量后, 工作记忆各成分内题目间相关系数仍达到显著水平, 且工作记忆成分内题目间的相关系数高于成分间题目的相关系数, 可以认为 AWMA 的信度较高, 分别测量了工作记忆语音环路、视空模板及中央执行成分。

分别计算获得四、六年级及成人被试在工作记忆测验中两两题目间零阶相关系数, 发现各组被试不同工作记忆成分内题目间相关系数均达到显著, 且大部分成分间题目的相关系数小于成分内题目间的相关系数(见表 2 至表 4)。这说明借助 AWMA 所获得的关于被试工作记忆的数据较符合理论模型, 可以进行接下来分析。

3.3 工作记忆成套测验得分及两位数乘法估算策略运用的年龄差异

在两位数乘法估算问题中, 各组被试策略运用得分及 AWMA 得分进行描述性统计(见表 5、表 6), 可以发现: 随着年龄增长, 被试策略选择成绩明显提高, 而策略执行及工作记忆各成分的变化则不明

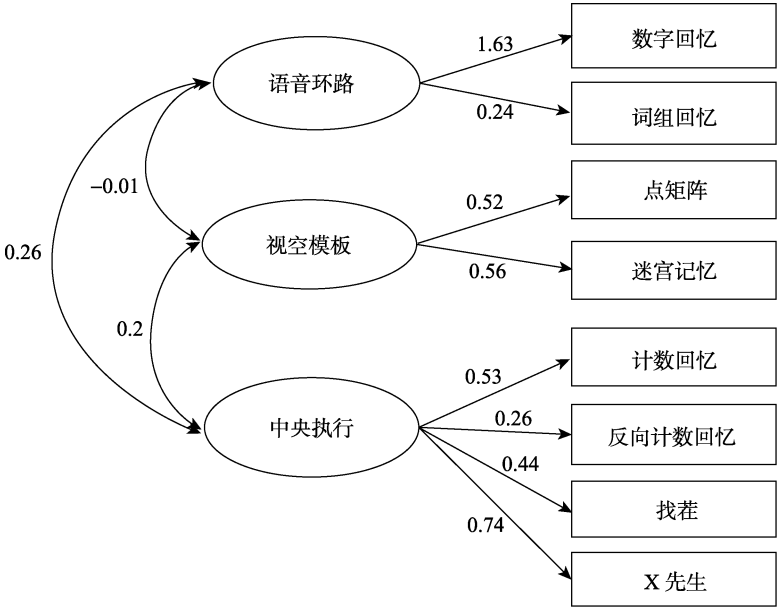


图 1 AWMA 数据与工作记忆模型拟合情况

表 1 AWMA 各测验间相关系数(左下角为控制年龄后的偏相关系数)

题目	1	2	3	4	5	6	7	8
1. 数字回忆	—	0.38**	-0.01	0.19	0.17*	-0.05	0.15	0.35**
2. 词组回忆	0.40**	—	0.09	0.04	-0.06	0.11	0.10	0.08
3. 点矩阵	0.02	0.09	—	0.29**	-0.03	0.25**	0.15	0.07
4. 迷宫记忆	0.05	0.04	0.29**	—	0.03	0.09	0.02	0.12
5. 计数回忆	0.12	-0.06	-0.02	0.05	—	0.18*	0.23**	0.39**
6. 反向数字回忆	-0.02	0.11	0.25**	0.08	0.2*	—	0.22**	0.14
7. 找茬	0.17*	0.10	0.15	0.02	0.24**	0.22**	—	0.33**
8. X 先生	0.24**	0.07	0.12	0.18*	0.35**	0.21*	0.38**	—

注: ** $p < 0.01$ (双侧); * $p < 0.05$ (双侧)。下同

表 2 四年级被试 AWMA 各题目间相关系数

题目	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Digit recall	—							
2. word recall	0.52**	—						
3. dot matrix	-0.04	0.17	—					
4. maze memory	-0.02	-0.07	0.37**	—				
5. counting recall	0.38**	0.23	0.21	0.11	—			
6. backward digit recall	0.16	0.29*	0.26	0.22	0.30*	—		
7. odd one out	0.15	0.15	0.16	0.06	0.26	0.36**	—	
8. mr.x	0.22	0.08	0.49**	0.37**	0.35*	0.41**	0.32*	—

显。此外,四年级儿童的工作记忆表现低于六年级儿童及成人,但这种差异是否真正存在仍需进一步检验。以年龄为自变量,以策略运用情况及 AWMA 得分为因变量进行多组单因素方差分析,结果显示:在策略选择上,年级主效应显著($F(2, 308) = 349.14, p < 0.05, \eta^2 = 0.82$),事后检验显示,四年级

个体策略选择情况明显劣于六年级($p < 0.05$)和成人($p < 0.05$),六年级明显劣于成人($p < 0.05$)。策略执行上,上调和下调两种策略,年级主效应均不显著(上调: $F(2, 308) = 2.17, p = 0.12, \eta^2 = 0.03$; 下调: $F(2, 308) = 0.70, p = 0.49, \eta^2 = 0.01$)。AWMA 中,不同工作记忆成分随年龄变化表现出不同变化

表 3 六年级被试 AWMA 各题目间相关系数

题目	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Digit recall	—							
2. word recall	0.42**	—						
3. dot matrix	0.12	0.05	—					
4. maze memory	0.16	0.16	0.30*	—				
5. counting recall	-0.15	-0.03	-0.26	-0.04	—			
6. backward digit recall	0.09	0.13	0.19	-0.13	0.31*	—		
7. odd one out	0.14	0.08	0.03	0.05	0.31*	0.13	—	
8. mr.x	0.15	0.02	-0.06	0.17	0.49**	0.26	0.31*	—

表 4 成人被试 AWMA 各题目间相关系数

题目	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Digit recall	—							
2. word recall	0.44**	—						
3. dot matrix	0.21	0.01	—					
4. maze memory	0.02	0.06	0.38**	—				
5. counting recall	0.04	-0.17	0.44**	0.01	—			
6. backward digit recall	-0.15	-0.05	0.50**	0.18	0.43**	—		
7. odd one out	0.26	0.09	0.26	-0.02	0.25	0.14	—	
8. mr.x	0.27	0.16	0.24	0.03	0.05	0.28*	0.59**	—

表 5 不同组被试策略运用得分

年级	人数	策略选择		策略执行	
		最佳选	无选上调	无选下调	
四年级	53	66.93 ± 4.19	96.95 ± 4.19	98.88 ± 2.78	
六年级	49	77.69 ± 4.24	97.92 ± 2.75	97.85 ± 9.01	
成人	52	88.69 ± 4.19	98.20 ± 2.42	99.04 ± 1.68	

表 6 不同组被试 AWMA 得分

工作记忆成分	题目	四年级	六年级	成人
语音环路	数字回忆	45.19 ± 5.46	45.43 ± 6.31	49.85 ± 4.94
	词组回忆	24.11 ± 2.82	25.08 ± 3.09	24.37 ± 5.45
视空模板	点矩阵	21.68 ± 6.15	25.86 ± 6.38	20.43 ± 5.18
	迷宫记忆	25.19 ± 3.44	24.17 ± 2.57	24.36 ± 4.86
中央执行	计数回忆	25.58 ± 5.11	23.00 ± 5.87	28.30 ± 5.66
	反向数字回忆	22.23 ± 5.40	26.24 ± 5.97	21.05 ± 5.58
	找茬	29.47 ± 6.23	29.82 ± 5.34	29.04 ± 5.73
	X 先生	14.87 ± 5.01	15.16 ± 4.86	20.90 ± 4.88

趋势。语音环路、视空模板及中央执行上, 年级主效应均达到显著水平(语音环路: $F(2, 308) = 7.41, p < 0.001, \eta^2 = 0.09$; 视空模板: $F(2, 308) = 7.38, p < 0.05, \eta^2 = 0.09$; 中央执行: $F(2, 308) = 15.59, p < 0.05, \eta^2 = 0.30$) (详见图 2a、2b、2c)。

3.4 不同年级工作记忆各成分对其两位数乘法估算策略运用的影响

为考察不同年级被试的工作记忆各成分对其两位数乘法估算策略运用表现的影响, 以语音环路、视空模板、中央执行三个工作记忆子成分为潜变量, 借助结构方程模型中的潜变量路径分析对上述影响进行探究。

3.4.1 策略选择

为考察不同年级被试工作记忆各成分对两位数乘法估算策略选择的影响, 对每个年龄组的被试分别建构结构方程模型(如图 2 所示), 以极大似然估计考察模型对数据的拟合情况。结果发现, 模型均拟合良好(模型拟合情况见表 7)。不同年级模型中, 虽然工作记忆各成分与策略选择间的路径系数各有不同, 但都只有中央执行对策略选择的预测达到了显著水平。

3.4.2 策略执行

为考察不同年级被试工作记忆各成分对两位数乘法估算策略执行的影响, 对每个年龄组的被试分别建构如图 3 所示的结构方程模型, 以极大似然估计考察模型对数据的拟合情况。结果发现, 四、六年级模型均拟合良好, 成人模型拟合较差(模型拟合情况见表 8)。在不同年级模型中, 工作记忆各成分与策略执行间的路径系数都未达到显著水平。

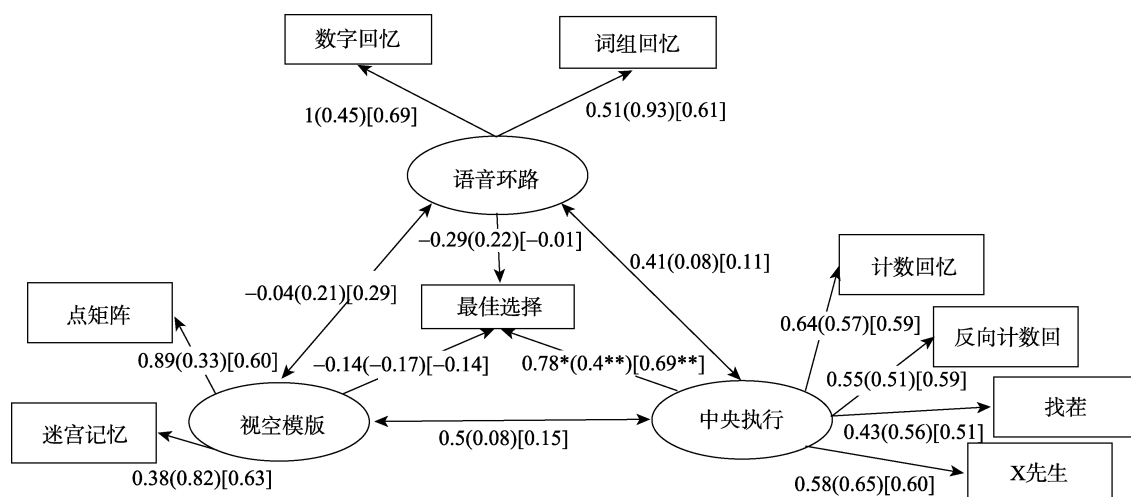


图 2 各年龄被试工作记忆各成分对策略选择影响模型

注: **在 0.01 水平(双侧)上显著; *在 0.05 水平(双侧)上显著。图中括号外的值属于四年级被试, 小括号内的值属于六年级被试, 中括号内的值属于成人被试。

表 7 模型拟合指标

年级	χ^2	df	p	CFI	IFI	NFI	RMSEA
四年级	21.37	20	0.37	0.98	0.99	0.81	0.04
六年级	20.68	25	0.71	1.00	1.10	0.75	0.00
成人	19.23	22	0.63	1.00	1.00	0.84	0.00

4 分析与讨论

4.1 工作记忆成套测验 AWMA 的适用性

近年来, AWMA 在国外工作记忆研究领域得到了广泛应用。而从本研究结果上看, 我国被试的 AWMA 成绩与 Baddeley 和 Hitch (1974) 提出的工作记忆多成分模型的拟合程度较好, 不同年龄被试各自工作记忆成分内题目间相关系数均达到了显著,

且大部分成分间题目间的相关系数小于成分内题目间的相关系数。即 AWMA 的信度较高, 分别对工作记忆中语音环路、视空模版及中央执行各成分进行了有效测量, 数据较符合工作记忆理论模型, 所以能进行接下来的分析。这一结果为该测验在中国文化背景下的适用性提供了初步证据支持, 使其在国内的相关研究及教学实践中得到进一步应用。

4.2 年龄对工作记忆表现的影响

对工作记忆成绩的分析发现, 不同年龄被试工作记忆表现存在显著差别, 但这种差异在不同的工作记忆成分上并未获得一致结果。整合不同年龄被试 AWMA 八个分测验中的成绩发现, 语音环路、中央执行两个成分的得分都表现出了随年龄增加

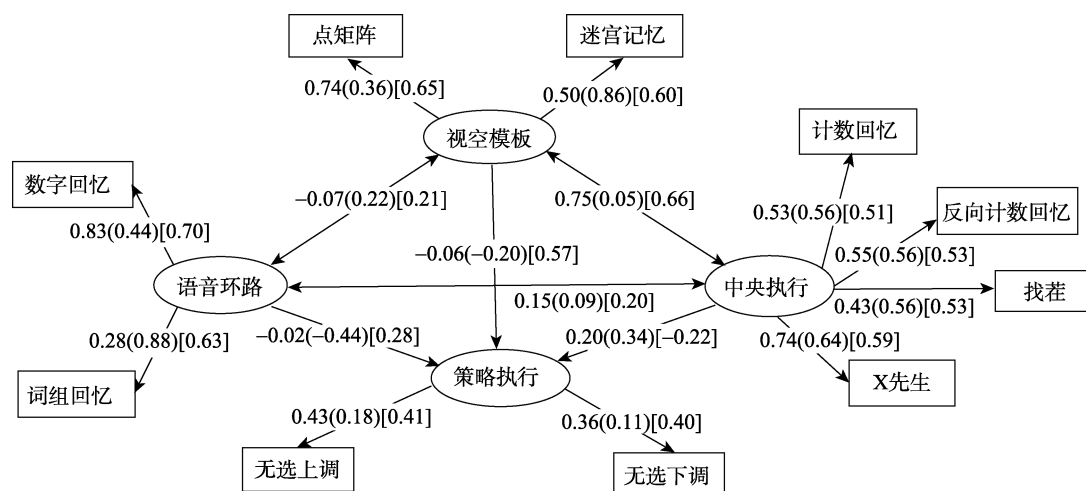


图 3 各年龄被试工作记忆各成分对策略执行影响模型

注: **在 0.01 水平(双侧)上显著; *在 0.05 水平(双侧)上显著。图中括号外的值属于四年级被试, 小括号内的值属于六年级被试, 中括号内的值属于成人被试。

表 8 模型拟合指标

年级	χ^2	df	p	CFI	IFI	NFI	RMSEA
四年级	33.44	29	0.26	0.93	0.95	0.70	0.05
六年级	35.21	34	0.41	0.96	0.97	0.54	0.03
成人	65.40	34	0.00	0.57	0.62	0.44	0.14

而上升的趋势。而视空模板成分上, 六年级学生的表现却优于成人, 二者表现均优于四年级学生。已有研究指出, 工作记忆表现与流体智力相类似 (Unsworth, Fukuda, Awh, & Vogel, 2014), 其基本模块结构在 6 岁前就已形成, 青春期阶段, 工作记忆三成分不断发展, 且这种发展存在一定差异性。本研究发现在一定程度上验证了先前研究结果。由于对视觉进行训练会明显提高个体视觉加工任务的表现。我国小学四年级之前的数学学习主要涉及四则运算、一元一次方程的求解及简单应用题的解决, 训练了学生的数概念、基本运算法则的掌握及简单逻辑分析能力。进入五年级后, 学生开始接触图形分解、简单立体几何等内容, 这些都需要视觉加工的参与, 强化学生视觉信息加工能力。六年级学生在数学学习中经常要完成该类问题, 使视觉信息加工能力短期内受到反复训练, 而成人对这种能力的专门训练机会相对较少, 因此表现出一定程度的下降, 从本研究结果上即表现为六年级学生在视空模板成分上的得分高于四年级学生和成人。此外, 在语音环路、视空模板上, 虽然年级主效应均达到了显著水平, 但效应量较低。以往研究发现, 顺背数字能力在 9 岁时基本达到成人水平, 而倒背数字能力仍在继续发展(吴卫国, 苏彦捷, 2008); 词语复杂广度在 18 岁达到高峰, 视空间广度在 14~16 岁达到高峰(段小菊, 施建农, 冉瑜英, 2009), 这些证据表明工作记忆各子系统有不同的发展轨迹。而本研究在 3 种成分下采用相同的 3 个年龄阶段, 可能导致部分工作记忆成分的处理效应偏低。因此, 今后研究中可以扩大年龄跨度, 以期获得进一步确定证据。

4.3 两位数乘法估算策略运用的年龄发展趋势

结果显示, 年龄对两位数乘法估算策略运用不同方面的影响表现出不同趋势, 具体为: 随着年龄增长, 个体策略选择成绩有着明显提高, 而策略执行上提高并不明显。策略选择能力随年龄而提高这一发现与以往的研究结果相吻合(Brigham & Pressley, 1988; Lemaire & Callies, 2009)。但策略选择与策略执行是两个不同的认知加工过程, 其涉及的资源及高级加工机能都存在着差异。本研究使用的两位乘

法估算题目所有被试都能完成, 相较于小学生, 成人解决该类问题的经验相对更多, 且其较高的认知加工能力在一定程度上克服策略适用性所带来的简单策略选择倾向, 因此其策略选择成绩表现出明显优势。但策略执行上, 这种优势在成人身上没表现出来。这种情况与西方已有研究发现相悖(Piercy, 1998)。但我们认为这恰好反映出中、西方学生在算术认知加工领域的文化区别。国外小学生在完成算术运算时多采用数手指策略、出声计数策略、直接提取策略和分解策略四种策略(Geary, Hoard, Byrd-Craven, Nugent, & Numtee, 2007)。而中国小学生, 九九乘法表的熟练背诵可以帮助其迅速获得答案, 不需要对问题进行计算(Zhou et al., 2006)。这种直接提取答案的能力从小学二年级起就为学生所熟练掌握, 成为中国文化背景下个体完成估计任务的一项必备能力, 因此策略执行在年龄上的差异并不明显。今后研究中, 可以按所要考察的策略选择, 根据被试的实际情况适当提高问题难度, 以期获得进一步探究。

4.4 工作记忆成分预测两位数乘法估算中策略运用的年龄相关差异

两位数乘法估算的策略选择方面结果显示, 不同年龄被试的工作记忆测验得分及策略选择测验得分与根据工作记忆理论和策略运用理论所构建的理论模型达到了显著拟合水平。进一步分析发现不同年龄被试工作记忆中央执行成分对两位数乘法估算策略选择的预测效果均达到显著水平, 而语音环路、视空模板则没有。本研究结果与以往发现较吻合但也存在着一定出入。相似发现在于中央执行功能在策略选择过程中的突出作用。本研究在 3 个年龄段的被试中均获得了中央执行对策略选择的显著预测效应。这与以往研究(Wylie et al., 2012; Hubber, Gilmore, & Cragg, 2014)达成了一致。值得注意的是, Lemaire 和 Lecacheur (2010)曾发现, 只有在策略序列中抑制上一个策略同时激活当前策略, 个体才会获得较高的策略选择成绩。Hodzik 和 Lemaire (2011)则指出, 转换功能不仅影响个体在任务中使用策略的多寡, 也对其策略选择过程产生了明显影响。Dunlosky 和 Hertzog (2000)则证实高刷新功能被试在编码策略上的优势。因此可以推论, 中央执行对两位数乘法估算策略选择的制约作用可能主要是通过转换、抑制和刷新子功能实现。由于本研究未涉及中央执行的不同子功能, 因此其对策略选择过程是否存在不同影响还有待深入探讨。

本研究与以往研究的出入主要在于语音环路和视空模板对策略运用过程的预测效应。以往研究认为,视空模板在算术认知过程中主要负责视空间信息的保持与操纵,而语音环路则对非提取策略的使用有一定影响(Fürst & Hitch, 2000; Imbo & Vandierendonck, 2007)。但本研究并没有获得类似结果。我们认为估算策略使用类型的不同是造成这种差异的主要原因。正如前文中提到的那样,西方被试在完成估算任务时主要采用过程性计算策略,这种策略是一种典型的非提取型策略;而本研究中被试在完成估算任务时,主要采取回忆策略(一种提取策略)。有研究发现精确计算中间结果的保持则依赖于语音环路(Fürst & Hitch, 2000),而提取策略并不涉及中间结果的产生。因此本研究结果与以往研究结果并不完全矛盾,反而互为补充,分别描绘了工作记忆不同子成分对不同策略的作用机制。

策略执行的分析发现,四、六年级的儿童,其工作记忆测验得分及策略执行测验得分与根据工作记忆理论和策略运用理论所构建的理论模型达到显著拟合水平,但进一步分析却发现工作记忆三成分对策略选择的预测效果均未达到显著水平,而成人工作记忆测验得分及策略执行测验得分与根据工作记忆理论和策略运用理论所构建的理论模型却未达到显著拟合水平。工作记忆作为认知加工的基础性环节,对于高级认知加工起重要作用。四、六年级儿童在工作记忆测验和策略执行测验上的成绩与理论模型达到了拟合水平,这说明工作记忆在其策略执行过程中发挥了一定作用,3个工作记忆成分对策略运用的预测效应分析也表明影响作用存在,只是这种作用很小,被其他因素的作用所掩盖。一项跨文化研究指出,中国被试在完成乘法计算时采用了一种特殊的提取策略,这种策略的使用使其在该任务上的表现远远好于同龄美国被试(Schön, Ebner, & Kothmeier, 2012)。我们认为这种特殊的提取策略正是掩盖因素。借助提取策略,被试只需要根据提示策略对运算数初步加工即可,从长时记忆中调取答案,并不需要再调用工作记忆对信息进行进一步的加工与转换。因此,工作记忆在策略运用中的作用被削弱了。而成人两个测验成绩与理论模型未达到拟合,也可以用“作用被掩盖”进行解释。周新林和董奇(2003)曾发现信息编码的复杂性会影响认知加工表现,高复杂性会造成反应时的延长及正确率的下降。而且过去经验对信息编码及组合具有促进作用。本研究中,我们认为成年人

丰富的策略执行经验使他们在信息编码过程中较四、六年级学生更具优势,这种优势主要表现在对同等复杂性信息加工效率的提高以及占用工作记忆资源的减少上。成人被试丰富的提取策略使用经验会使答案提取达到自动化水平,进而减少工作记忆资源有限对策略执行所造成的制约。

5 结论

本研究可得出如下认识:

(1) 年龄影响着个体工作记忆不同成分的表现。表现为除视空模板成分外,其他各成分的得分随着年龄增长而提高。

(2) 个体在面对两位数乘法估算任务时,年龄影响其策略选择。表现为随着年龄增长,个体的策略选择表现明显提升。

(3) 不同年龄被试的工作记忆不同成分对估算策略选择的影响不同,中央执行对策略选择一直具有显著预测效应,语音环路和视空模板却均未表现出预测效应。此外,工作记忆的不同成分对不同年龄个体策略执行的预测效应均不明显。

参 考 文 献

- Alloway, T. P. (2007). *Automated Working Memory Assessment*. London: Harcourt Assessment.
- Alloway, T. P. (2009). Working memory, but not IQ, predicts subsequent learning in children with learning difficulties. *European Journal of Psychological Assessment*, 25(2), 92-103.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89.
- Blanchard-Fields, F., Chen, Y. W., & Norris, L. (1997). Everyday problem solving across the adult life span: Influence of domain specificity and cognitive appraisal. *Psychology & Aging*, 12(4), 684-693.
- Brigham, M. C., & Pressley, M. (1988). Cognitive monitoring and strategy choice in younger and older adults. *Psychology and Aging*, 3(3), 249-253.
- Bull, R., Johnston, R. S., & Roy, J. A. (1999). 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*, 15(3), 421-442.
- Cantrell, S. C., Almasi, J. F., Carter, J. C., Rintamaa, M., & Madden, A. (2010). The impact of a strategy-based intervention on the comprehension and strategy use of struggling adolescent readers. *Journal of Educational Psychology*, 102(2), 257-280.
- Chen, Y. H., & Wang, M. Y. (2009). The relationship between executive functions and arithmetical cognitive strategies of children. *Psychological Science*, 32(1), 34-37.

- [陈英和, 王明怡. (2009). 儿童执行功能与算术认知策略的关系. *心理科学*, 32(1), 34–37.]
- Chen, Y. L., Liu, C., Zhang, X. J., Xu, X. D., & Shen, W. B. (2011). An ERP study of mix strategy selection in mental arithmetic. *Acta Psychologica Sinica*, 43(4), 384–395.
- [陈亚林, 刘昌, 张小将, 徐晓东, 沈汪兵. (2011). 心算活动中混合策略选择的ERP研究. *心理学报*, 43(4), 384–395.]
- Downton, A. (2008). Links between children's understanding of multiplication and solution strategies for division. In M. Goos, R. Brown, & K. Makar (Eds.), *Proceedings of the 31st annual conference of the mathematics education research group of Australia* (pp. 171–178). Sydney, New South Wales, Australia: MERGA Inc..
- Duan, X. J., Shi, J. N., & Ran, Y. Y. (2009). The development of working memory span from 8-year-old children to adults. *Psychological Science*, 32(2), 324–326.
- [段小菊, 施建农, 冉瑜英. (2009). 8岁到成年期工作记忆广度的发展. *心理科学*, 32(2), 324–326.]
- Dunlosky, J., & Hertzog, C. (2000). Updating knowledge about encoding strategies: A componential analysis of learning about strategy effectiveness from task experience. *Psychology and Aging*, 15(3), 462–483.
- Duverne, S., Lemaire, P., & Vandierendonck, A. (2008). Do working-memory executive components mediate the effects of age on strategy selection or on strategy execution? Insights from arithmetic problem solving. *Psychological Research*, 72(1), 27–38.
- Farmer, C. M., O'Donnell, B. F., Niznikiewicz, M. A., Voglmaier, M. M., McCarley, R. W., & Shenton, M. E. (2000). Visual perception and working memory in schizotypal personality disorder. *The American Journal of Psychiatry*, 157(5), 781–788.
- Fürst, A. J., & Hitch, G. J. (2000). Separate roles for executive and phonological components of working memory in mental arithmetic. *Memory & Cognition*, 28(5), 774–782.
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (2014). *Working memory and language processing*. London: Psychology Press.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177–190.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., Nugent, L., & Numtee, C. (2007). Cognitive mechanisms underlying achievement deficits in children with mathematical learning disability. *Child Development*, 78(4), 1343–1359.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., & Bailey, D. H. (2012). Mathematical cognition deficits in children with learning disabilities and persistent low achievement: A five-year prospective study. *Journal of Educational Psychology*, 104(1), 206–213.
- Hamamura, T., Heine, S. J., & Paulhus, D. L. (2008). Cultural differences in response styles: The role of dialectical thinking. *Personality and Individual Differences*, 44(4), 932–942.
- Hodzik, S., & Lemaire, P. (2011). Inhibition and shifting capacities mediate adults' age-related differences in strategy selection and repertoire. *Acta Psychologica*, 137(3), 335–344.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., Place, M., Dunning, D. L., Hilton, K. A., & Elliott, J. G. (2010). Working memory deficits can be overcome: Impacts of training and medication on working memory in children with ADHD. *Applied Cognitive Psychology*, 24(6), 827–836.
- Hubber, P. J., Gilmore, C., & Cragg, L. (2014). The roles of the central executive and visuospatial storage in mental arithmetic: A comparison across strategies. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(5), 936–954.
- Imbo, I., Duverne, S., & Lemaire, P. (2007). Working memory, strategy execution, and strategy selection in mental arithmetic. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(9), 1246–1264.
- Imbo, I., & LeFevre, J.-A. (2009). Cultural differences in complex addition: Efficient Chinese versus adaptive Belgians and Canadians. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(6), 1465–1476.
- Imbo, I., & LeFevre, J.-A. (2011). Cultural differences in strategic behavior: A study in computational estimation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(5), 1294–1301.
- Imbo, I., & Vandierendonck, A. (2007). The development of strategy use in elementary school children: Working memory and individual differences. *Journal of Experimental Child Psychology*, 96(4), 284–309.
- Imbo, I., Vandierendonck, A., & Rosseel, Y. (2007). The influence of problem features and individual differences on strategic performance in simple arithmetic. *Memory & Cognition*, 35(3), 454–463.
- Kiss, I., Pisio, C., Francois, A., & Schopflocher, D. (1998). Central executive function in working memory: Event-related brain potential studies. *Cognitive Brain Research*, 6(4), 235–247.
- Lemaire, P., Arnaud, L., & Lecacheur, M. (2004). Adults' age-related differences in adaptivity of strategy choices: Evidence from computational estimation. *Psychology and Aging*, 19(3), 467–481.
- Lemaire, P., & Callies, S. (2009). Children's strategies in complex arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(1), 49–65.
- Lemaire, P., & Lecacheur, M. (2010). Strategy switch costs in arithmetic problem solving. *Memory & Cognition*, 38(3), 322–332.
- Lemaire, P., & Lecacheur, M. (2011). Age-related changes in children's executive functions and strategy selection: A study in computational estimation. *Cognitive Development*, 26(3), 282–294.
- Lemaire, P., & Leclère, M. (2014). Strategy repetition in young and older adults: A study in arithmetic. *Developmental Psychology*, 50(2), 460–468.
- Li, D. M., Liu, C., & Li, G. Y. (2003). Development in digit working memory span across the life span and its influential factors. *Acta Psychologica Sinica*, 35(1), 63–68.
- [李德明, 刘昌, 李贵芸. (2003). 数字工作记忆广度的毕生发展及其作用因素. *心理学报*, 35(1), 63–68.]
- Li, H. X. (2016). *The effect of working memory components and approximate number system accuracy on arithmetic strategy utilization: Evidences form behavior and ERPs* (Unpublished master's thesis). Shandong Normal University, Ji'nan.
- [李红霞. (2016). 工作记忆成分、近似数量系统精确性对个体算术策略运用的影响: 来自行为与ERP的证据 (硕士学位论文). 山东师范大学, 济南.]
- Liu, W. F., Hua, X. T., Feng, H. M., Hu, D. M., & Si, J. W. (2014). The age-related differences of arithmetic strategy use in calculation: The role of metacognitive monitoring and arithmetic knowledge. *Psychological Development and*

- Education*, 30(3), 234–243.
- [刘伟方, 华晓腾, 封洪敏, 胡冬梅, 司继伟. (2014). 算术策略运用能力的年龄差异:元认知监测与算术知识的作用. *心理发展与教育*, 30(3), 234–243.]
- Luwel, K., Torbeyns, J., & Verschaffel, L. (2003). The relation between metastrategic knowledge, strategy use and task performance: Findings and reflections from a numerosity judgement task. *European Journal of Psychology of Education*, 18(4), 425–447.
- Marewski, J. N., & Schooler, L. J. (2011). Cognitive niches: An ecological model of strategy selection. *Psychological Review*, 118(3), 393–437.
- Martens, R., Hurks, P. P. M., & Jolles, J. (2014). Organizational strategy use in children aged 5–7: Standardization and validity of the Rey complex figure organizational strategy score (RCF-OSS). *The Clinical Neuropsychologist*, 28(6), 954–973.
- Mata, R., Josef, A. K., & Lemaire, P. (2015). Chapter 6-Adaptive decision making and aging. In T. M. Hess, J. Strough, & C. Lckenhoff (Eds.), *Aging and decision making: Empirical and applied perspectives* (pp. 105–122). New York: Academic Press.
- McAuley, T., & White, D. A. (2011). A latent variables examination of processing speed, response inhibition, and working memory during typical development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(3), 453–468.
- Montague, M. (1992). The effects of cognitive and metacognitive strategy instruction on the mathematical problem solving of middle school students with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 25(4), 230–248.
- Mulligan, J., & Mitchelmore, M. (2009). Awareness of pattern and structure in early mathematical development. *Mathematics Education Research Journal*, 21(2), 33–49.
- Piercy, N. F. (1998). Marketing implementation: The implications of marketing paradigm weakness for the strategy execution process. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 26(3), 222–236.
- Rieskamp, J., & Otto, P. E. (2006). SSL: a theory of how people learn to select strategies. *Journal of Experimental Psychology General*, 135(2), 207–236.
- Roussel, J. L., Fayol, M., & Barrouillet, P. (2002). Procedural vs. direct retrieval strategies in arithmetic: A comparison between additive and multiplicative problem solving. *European Journal of Cognitive Psychology*, 14(1), 61–104.
- Schön, M., Ebner, M., & Kothmeier, G. (2012). It's just about learning the multiplication table. In S. B. Shum, D. Gasevic, and R. Ferguson (Eds.), *Proceedings of the 2nd international conference on learning analytics and knowledge* (pp. 73–81). New York: ACM.
- Siegler, R. S. (2007). Cognitive variability. *Developmental Science*, 10(1), 104–109.
- Siegler, R. S., & Lemaire, P. (1997). Older and younger adults' strategy choices in multiplication: Testing predictions of ASCM using the choice/no-choice method. *Journal of Experimental Psychology: General*, 126(1), 71–92.
- Si, J. W. (2002). *Computational estimation competence of primary school children* (Unpublished doctoral dissertation). Southwest University, Chongqing.
- [司继伟. (2002). 小学儿童估算能力研究 (博士学位论文). 西南师范大学, 重庆.]
- Si, J. W., Xu, Y. L., Feng, H. M., Xu, X. H., & Zhou, C. (2014). Differences of arithmetic strategy use in adults with different math anxieties: An ERP study. *Acta Psychologica Sinica*, 46(12), 1835–1849.
- [司继伟, 徐艳丽, 封洪敏, 许晓华, 周超. (2014). 不同数学焦虑成人的算术策略运用差异: ERP 研究. *心理学报*, 46(12), 1835–1849.]
- Si, J. W., Yang, J., Jia, G. J., & Zhou, C. (2012). The effect of central executive load on adult's strategy using in computational estimation. *Acta Psychologica Sinica*, 44(11), 1490–1500.
- [司继伟, 杨佳, 贾国敬, 周超. (2012). 中央执行负荷对成人估算策略运用的影响. *心理学报*, 44(11), 1490–1500.]
- Simmons, F. R., Willis, C., & Adams, A. M. (2012). Different components of working memory have different relationships with different mathematical skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(2), 139–155.
- Tulving, E. (2014). Memory research: What kind of progress? In L. G. Nilsson (Ed.), *Perspectives on memory research: Essays in honor of Uppsala University's 500th anniversary* (pp. 19–34). Hillsdale, N J: Erlbaum.
- Unsworth, N., Fukuda, K., Awh, E., & Vogel, E. K. (2014). Working memory and fluid intelligence: Capacity, attention control, and secondary memory retrieval. *Cognitive Psychology*, 71, 1–26.
- Wang, X. L., Chen, G. P., Ma, J. Z., Sun, X. Q., & Sun, Z. F. (2013). Development of working memory from 6 to 9 Years of age. *Journal of Psychological Science*, 36(1), 92–97.
- [王晓丽, 陈国鹏, 马娟子, 孙秀庆, 孙志凤. (2013). 6–9 岁儿童工作记忆的发展研究. *心理科学*, 36(1), 92–97.]
- Wu, C. S., Lin, C. T., & Lee, C. (2010). Optimal marketing strategy: A decision-making with ANP and TOPSIS. *International Journal of Production Economics*, 127(1), 190–196.
- Wu, W. G., & Su, Y. J. (2008). Development of digital memory span of 6–12-aged children. *Journal of Ningbo University (Education Edition)*, 30(4), 62–67.
- [吴卫国, 苏彦捷. (2008). 6–12 岁小学生数字记忆广度的发展. *宁波大学学报(教育科学版)*, 30(4), 62–67.]
- Wylie, J., Jordan, J. A., & Mulhern, G. (2012). Strategic development in exact calculation: Group and individual differences in four achievement subtypes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(1), 112–130.
- Zhang, J., & Liu, R. D. (2011). Process and influence factors of learning strategy selection. *Journal of Beijing Normal University (Social Sciences)*, (6), 21–29.
- [张俊, 刘儒德. (2011). 学习策略选择的过程与影响因素. *北京师范大学学报(社会科学版)*, (6), 21–29.]
- Zhou, X. L., Booth, J. R., Lu, J. Y., Zhao, H., Butterworth, B., Chen, C. D., & Dong, Q. (2011). Age-independent and age-dependent neural substrate for single-digit multiplication and addition arithmetic problems. *Developmental Neuropsychology*, 36(3), 338–352.
- Zhou, X. L., Chen, C. S., Dong, Q., Zhang, H. C., Zhou, R. L., Zhao, H., ... Guo, Y. (2006). Event-related potentials of single-digit addition, subtraction, and multiplication. *Neuropsychologia*, 44(12), 2500–2507.
- Zhou, X. L., & Dong, Q. (2003). Representation formats for addition and multiplication facts. *Acta Psychologica Sinica*, 35(3), 345–351.
- [周新林, 董奇. (2003). 加法和乘法算式的表征方式. *心理学报*, 35(3), 345–351.]

Age-related differences of different components of working memory: The predictive effect on strategy utilization in arithmetic

DING Xiao; LV Na; YANG Yalin; SI Jiwei

(School of Psychology, Shandong Normal University, Jinan 250358, China)

Abstract

Arithmetic strategy utilization study is one of research hotspots for mathematical education, which relates to the studies of teaching, psychology, decision-making and so on. Studies showed that arithmetic strategy utilization can predict people's arithmetic performance and was affected by task characteristics, problem situation, strategy adaptability, cognitive ability, emotion, individual development, etc. Accompany with the deep researches about working memory, more and more evidences indicated that working memory, as a higher level cognitive processing, affected arithmetic strategy utilization. However, those findings did not reach a stable consistency. Consequently, the present study explored the predictive effect of different components of working memory on computational estimation for people with different ages.

The present study adopted the choice/no choice paradigm to explore how working memory affected individuals' arithmetic strategy utilization (including strategy selection and strategy execution) by means of the AWMA and two-digit arithmetic estimation tasks. A total of 53 participants in grade 4 ($M = 10.09$ years), 49 participants in grade 6 ($M = 12.18$ years) and 52 undergraduate students ($M = 24.40$ years) were recruited in this study. The whole experiments included two parts, the AWMA and two-digit arithmetic estimation tasks, which were measured separately, and each participant was asked to complete these tests individually.

Major findings were as followings: (1) Significant correlation was obtained between different components of working memory and participants' age. Except visuo-spatial sketchpad, all the components scores of working memory improved significantly accompany with the growth of their ages. (2) In arithmetic strategy utilization, strategy selection was related with age. It showed that arithmetic strategy selection performances of participants improved significantly with the growth of their ages. (3) For participants with different ages, the different relationships were found between different components of working memory and strategy selection. A significant predictive effect was found for central executive component of working memory. Nevertheless, phonological loop and visuo-spatial sketchpad failed to reach the significant level. More vitally, all participants' scores in AWMA and strategy execution test at all ages didn't show significant relationships.

In conclusion, age influenced the performance of working memory central executive and phonological loop, and the performance in the strategy selection tasks was promoted along with the growth of the age. Moreover, central executive, but not phonological loop and visuo-spatial sketchpad, has a predictive effect on arithmetic strategy selection for all of people with different ages. Such an effect was not found for different components of working memory on the prediction of individuals' strategy execution at all ages. These findings have important theoretical implications for understanding the mechanism of working memory system in the use of arithmetic strategies.

Key words strategy utilization; working memory; central executive; age-related differences