

# 工作记忆在心算加工年老化 过程中的作用\*

刘 昌<sup>1,2</sup> 李德明<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院心理研究所, 北京 100101)

(<sup>2</sup>华中师范大学心理学系, 武汉 430079)

**摘 要** 我们以前的研究表明<sup>[1]</sup>, 心算加工年老化过程存在两个中介作用因子, 可能分别与认知加工中的记忆成分和速度成分有关, 而记忆成分中工作记忆的作用可能尤为重要. 在该研究基础上, 本研究以 172 名 20~79 岁成人为被试, 进一步探讨了工作记忆在心算加工年老化过程中的作用. 结果表明: (1) 工作记忆与年龄、工作记忆与心算难度、以及年龄、工作记忆和心算难度三因素间均存在明显的交互作用; (2) 工作记忆能力的高低对心算加工效率影响明显, 高工作记忆能力组的心算效率约是低工作记忆能力组心算效率的 1.32 倍; (3) 工作记忆对心算年老化的作用量约为 30%~50%. 上述结果说明, 工作记忆在心算加工年老化过程中起重要作用.

**关键词** 工作记忆, 心算, 年龄

过去十年来, 心算加工年老化已成为认知老化领域的重要研究内容之一. 以往研究表明, 心算反应时和正确率均与年龄及心算难度有密切关系<sup>[2~5]</sup>, 即心算加工的问题大小效应具有明显的年龄差异. 我们在关于心算加工年老化及其机制研究中观察到: (1) 年龄与心算难度之间存在明显的交互作用; (2) 以年龄对心算效率进行回归分析, 所得 5 个回归方程均为幂函数, 表明不同难度心算加工效率(正确率与正确反应时之比)的年老化过程均以幂函数形式降低, 但不同难度心算效率降低程度不同, 而且从年龄对各心算的回归方程来看, 年龄对各心算加工的回归效果是很显著的, 但解释量都比较小(测定系数  $r^2$  值从 0.099 到 0.275 不等)<sup>[1]</sup>. 由此可以推测, 心算加工年老化还存在其它可解释成分. 也就是说, 存在其它影响心算加工年老化过程的认知因素, 如记忆成分.

与心算加工关系最直接最密切的记忆成分可能是工作记忆(working memory). 工作记忆是一种对信息进行暂时性的加工和储存的记忆系统, 这对于心算加工显然十分必需. 有研究表明, 心算所需时间与工作记忆广度存在明显的负相关<sup>[6]</sup>, Logie 等人要求被试进行心算的同时完成另一个任务, 该任务用于干扰工作记忆, 结果发现对工作记忆的干扰会对心算产生明显影响<sup>[7]</sup>. Jonides<sup>[8]</sup>

收稿日期: 2000-09-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30070265)

作者简介: 刘昌, 男, 1968 年 9 月生, 博士

\* 本文为刘昌博士论文《心算年老化的认知心理机制及功能磁共振成像研究》(获 2000 年全国优秀博士学位论文)的一部分

曾提出有关心算加工的一个假设模型,该模型显示,心算需要工作记忆和长时记忆同时参与,长时记忆提供与心算直接有关的各种知识和解答策略,而实际的计算是在工作记忆的直接参与下进行的。因此,工作记忆不仅仅是一个记忆系统,也代表一种对信息进行同时加工和储存的能力。

我们在采用结构方程建模方法探讨心算加工的老年化机制时发现<sup>[1]</sup>,心算加工老年化过程存在两个中介作用因子(mediator),可能分别与认知加工中的记忆成分和速度成分有关,而记忆成分中工作记忆的作用可能尤为重要。本文报告工作记忆在心算加工老年化过程中的作用的研究结果。

## 1 方法

### 1.1 被试

共 172 人,20~ 79 岁(男 92 名,女 80 名),身体基本健康,受教育年限均在 12 年以上(平均 15.1 ± 1.5 年),以 10 岁段划分为 6 个年龄组,组间教育程度基本匹配(Bonferroni 检验表明,6 个年龄组中两两间教育程度差异不显著, $P > 0.05$ )。具体数据参见表 1。

表 1 各年龄组被试的基本情况及其工作记忆广度、不同难度水平心算的测量结果

变量	20~ 29 (n = 35)		30~ 39 (n = 28)		40~ 49 (n = 31)		50~ 59 (n = 26)		60~ 69 (n = 28)		70~ 79 (n = 24)	
	M	SD										
年龄(岁)	23.7	2.7	33.6	2.8	43.3	2.7	55.6	3.2	63.5	2.3	73.6	3.3
教育(年)	15.3	1.4	14.7	1.9	14.6	1.5	14.9	1.5	15.5	1.2	15.7	0.9
工作记忆广度	7.00	2.24	5.04	2.17	5.03	2.29	5.58	2.72	5.07	2.28	4.08	1.69
心算 1												
正确率(%)	98.3	5.7	98.9	4.2	98.4	4.5	98.5	6.1	99.6	1.9	97.1	6.2
反应时(秒)	1.01	0.46	1.09	0.72	1.47	0.94	1.67	0.92	1.31	0.56	1.92	0.91
心算 3												
正确率(%)	96.9	5.3	94.6	7.9	92.6	9.9	95.4	7.6	88.9	11.7	87.1	11.2
反应时(秒)	2.38	1.13	3.10	1.61	3.59	1.88	3.84	2.31	3.55	1.75	4.56	3.12
心算 7												
正确率(%)	96.0	5.7	98.9	4.2	98.4	4.5	98.5	6.1	99.6	1.9	97.1	6.2
反应时(秒)	3.57	1.44	4.26	1.89	4.95	1.93	5.40	2.72	5.95	2.78	8.42	5.51
心算 13												
正确率(%)	94.9	8.2	87.9	10.6	84.8	10.9	87.3	12.1	88.2	9.1	81.7	13.4
反应时(秒)	4.58	2.02	5.00	1.89	6.18	3.86	6.98	3.01	6.97	2.85	9.33	3.40
心算 17												
正确率(%)	94.9	7.0	91.1	9.5	84.5	11.2	83.1	12.8	85.4	11.7	77.5	12.2
反应时(秒)	5.68	2.39	6.71	3.69	7.63	4.13	8.88	4.55	9.74	4.78	11.04	7.39

注:表中 n 为人数, M 为平均值, SD 为标准差。

### 1.2 任务设计

#### 1.2.1 心算

与我们已报告的研究方法<sup>[1]</sup>相同,以系列心算(即连续减法)形式设计 5 个难度水平的心算任务,分别为“1000- 1...”、“1000- 3...”、“1000- 7...”、“1000- 13...”及“1000- 17...”,以下分别简称为心算 1、心算 3、心算 7、心算 13 及心算 17。

#### 1.2.2 工作记忆

工作记忆指标采用数字工作记忆广度,任务设计参考 Salthouse 和 Babcock<sup>[9]</sup>的研究。根据工作记忆对信息同时进行加工和储存的特点,要求被试计算完题后再回忆答案。算述题型为随机的两位数减法,答案为一位正数(如 79- 73= ?)。工作记忆任务从 1 道题开始,计算和回忆均正确,即开始第二轮;第二轮将增加到 2 道题计算和顺序回忆均正确,即开始第三轮……如此依次增加题

目。当计算或回忆出现错误后,再重复一次,连续出现两次错误,测验即告结束。被试最后一轮按顺序回忆的正确答案数这个个数即为该被试的数字工作记忆广度。

### 1.3 实验程序 and 数据分析

实验在 386 微机上进行。

系列心算任务测验开始前,指导语显示在屏幕上(主试者根据情况作适当讲解),被试者明白测验要求及经 2 次练习后(用其它连续减法题,如“1000- 2 ...”和“1000- 5 ...”练习,以熟悉题目形式),要求既快又准确地用小键盘上的数字键连续输入每次运算结果。每道题连续运算 7 次,记录后 5 次运算的正确率和平均正确反应时。反应时精确到 0.01 秒。

工作记忆广度测量开始前,指导语显示在屏幕上(主试者根据情况作适当讲解),让被试者明白测验要求并有 2 次练习。测量开始后,计算机按照上述任务设计方式呈现题目,被试输入完一道题的答案后计算机立即清屏,然后呈现下一道题。题目呈现后等待 3 秒,如被试仍不回答将被视为错误。整个过程被试用小键盘上的数字键输入答案。测量完毕,计算机记录被试最后一轮正确计算和顺序回忆正确答案数字的个数。

数据分析分别采用:(1) 方差分析(One Way ANOVA);(2) 多元方差分析(MANOVA);(3) 回归分析;(4) 层次回归分析(hierarchical regression analysis)。

## 2 结果

各年龄组被试的基本情况和工作记忆广度、5 种难度心算的正确率及平均正确反应时见表 1。方差分析表明,数字工作记忆广度有明显的年龄差异[ $F(5, 166) = 5.62, P < 0.001$ ],不同难度心算的正确率之间存在明显差异[ $F(4, 684) = 46.7, P < 0.001$ ],不同难度心算的反应时之间也存在明显差异[ $F(4, 684) = 197.49, P < 0.001$ ]。参照文献[1],本研究仍以心算效率——正确率和正确反应时之比——作为心算测验结果指标。

根据工作记忆广度的人数分布,我们以工作记忆广度 5 为标准将被试分为两组,工作记忆广度小于或等于 5 的为低工作记忆能力组(LWM)(92 人),工作记忆广度大于 5 的为高工作记忆能力组(HWM)(80 人),以考查三因素[6(年龄) × 2(工作记忆能力) × 5(心算难度)]对心算效率的影响。MANOVA 分析发现,年龄、工作记忆能力和心算难度的主效应均显著(年龄:  $F(5, 160) = 6.39, P < 0.001$ ; 工作记忆能力:  $F(1, 160) = 13.33, P < 0.001$ ; 心算难度:  $F(4, 640) = 168.93, P < 0.001$ ); 各因素间的交互作用均显著[工作记忆能力 × 心算难度:  $F(4, 640) = 6.74, P < 0.001$ ; 年龄 × 工作记忆能力:  $F(5, 160) = 3.26, P < 0.01$ ; 年龄 × 心算难度:  $F(20, 640) = 3.59, P < 0.001$ ; 年龄 × 工作记忆能力 × 心算难度:  $F(20, 640) = 2.39, P < 0.001$ ]。上述结果表明,工作记忆能力与心算加工的年轻化过程有密切关系。

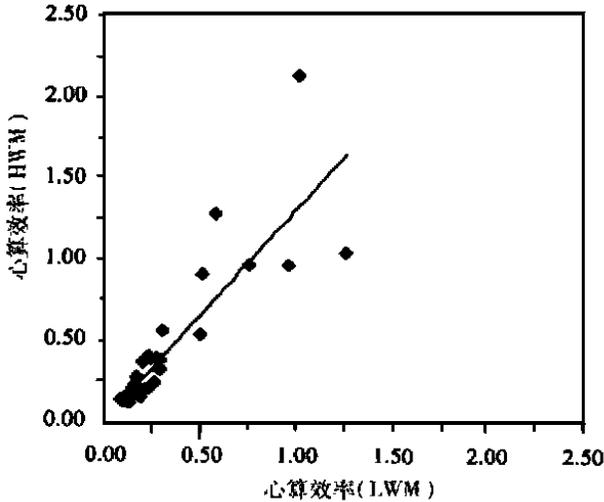
进一步考查工作记忆能力与心算效率的关系,以低工作记忆能力组(LWM)的心算效率对高工作记忆能力组(HWM)的心算效率作回归分析,得到的最优回归拟合方程为幂函数:

$$HWM = 1.32LWM^{0.99} (r^2 = 0.87, F(1, 28) = 195.40, P < 0.001)$$

从图 1 可见此方程接近于一条直线,说明高工作记忆能力组的心算效率约为低工作记忆能力组心算效率的 1.32 倍。

为了考查工作记忆对心算加工年轻化的作用,我们采用层次回归分析方法。层次回归分析的原理可参见 Salthouse 的叙述<sup>[10]</sup>对 5 种难度心算(标准变量)分别进行二种层次多元回归,预测变量分别为:(1) 年龄;(2) 工作记忆、年龄。通过层次回归分析可以得到各预测变量对标准变量(即心算)的解释量(即测定系数),结果见表 2。表 2 中第二列表示为各预测变量依次进入回归方程后测定系数  $R^2$ :(1) 年龄单独进入回归方程后的测定系数  $R^2$ ;(2) 工作记忆选进入回归方程后的测

定系数  $R^2$  及随后年龄再进入回归方程后的测定系数  $R^2$ , 在这里, 后者的值大于前者, 其差值为表 2 中第三列  $R^2$  增加量, 它表示标准变量中工作记忆所不能解释的差异 (variance) 部分. 这样当得到年龄对心算的解释量  $R^2$ , 以及控制工作记忆变量后年龄对心算的解释量  $R^2$ , (即  $R^2$  增加量) 后, 可按下列关系式计算出控制变量对心算年轻化的作用量:



控制变量对心算年轻化的作用量 = (年龄  $R^2$  - 控制某变量后年龄  $R^2$ ) / 年龄  $R^2$  × 100%,

计算结果表明, 工作记忆对心算 1、心算 3、心算 7、心算 13 及心算 17 的作用量分别为 35.3%、49.6%、32.5%、31.0%、30.3%, 即工作记忆对心算年轻化的作用量在 30% ~ 50% 的范围内.

表 2 层次多元回归分析结果

标准变量/ 预测变量	$R^2$	$R^2$ 增加量	F 值
心算 1			
年龄	0.068		12.42* *
工作记忆	0.043		7.56*
年龄	0.087	0.044	8.13*
心算 3			
年龄	0.125		24.25* *
工作记忆	0.147		29.20* *
年龄	0.210	0.063	13.60* *
心算 7			
年龄	0.249		56.41* *
工作记忆	0.134		26.25* *
年龄	0.302	0.168	40.67* *
心算 13			
年龄	0.261		59.95* *
工作记忆	0.129		25.19* *
年龄	0.309	0.180	43.93* *
心算 17			
年龄	0.257		58.84* *
工作记忆	0.122		23.70* *
年龄	0.301	0.179	43.30* *

注: 对 5 种难度必算分别进行二次回归, 预测变量分别为: (1) 年龄; (2) 工作记忆. 年龄. 各回归多元测定系数  $R^2$  均显著:

\*  $P < 0.01$ ; \*\*  $P < 0.001$ .

### 3 讨论

本研究中我们得到三方面的结果. 首先, 工作记忆与年龄、工作记忆与心算难度, 以及年龄、工

作记忆和心算难度三因素间均存在明显的交互作用;其次,工作记忆能力的高低对心算加工效率影响明显,高工作记忆能力组的心算效率约是低工作记忆能力组心算效率的 1.32 倍;最后,工作记忆对心算年老化的作用量约为 30%~50%。这些结果说明工作记忆在心算加工老化过程中起重要作用。心算活动需要工作记忆提供暂时性的信息储存和加工,因此心算活动中的年龄差异极有可能是由于工作记忆的年龄差异所引起;另一方面,从表 2 中我们看到,当控制工作记忆对心算的差异(解释量)后,年龄对心算的解释量(即  $R^2$  增加量)仍很显著,由此可推测一定存在其它影响心算加工年老化的变量,如加工速度。有人认为心算加工中年龄差异可能与随着年龄增加加工速度的降低有关,且这种降低可能进一步引起工作记忆能力的降低<sup>[5]</sup>,并以加工速度理论解释认知老化的各种现象<sup>[11]</sup>。我们的一项研究表明<sup>[12]</sup>,认知老化过程存在两个中介作用因子,这一结果与我们另一项关于心算加工年老化的研究结果<sup>[11]</sup>是相同的,即心算加工老化过程也存在两个中介作用因子,可能分别与认知加工中的记忆成分和速度成分有关,这提示心算加工中工作记忆与加工速度存在联系,因此进一步研究心算年老化过程中工作记忆与加工速度的关系十分必要。

若工作记忆在心算加工老化过程中起重要作用,则从神经生理的角度来看,老化过程中工作记忆的脑活动将成为心算加工的脑活动的重要基础,换句话说,进行心算加工的脑活动区将包含工作记忆有脑活动区。目前词语性工作记忆(verbal working memory)的脑活动区已基本揭示<sup>[13]</sup>,而关于心算加工年老化的脑生理活动则需要作进一步探讨。我们将另撰文报告这方面的研究成果。

另外,长时记忆在心算加工老化过程中的作用可能需要考虑,Geary 等<sup>[4]</sup>指出老年被试使用更成熟策略解决一些简单或复杂的减法算术题,这些策略是在解决心算问题时逐渐形成的,并储存于人的长时记忆系统中。Jonides<sup>[8]</sup>曾假设,心算需要工作记忆和长时记忆同时参与,长时记忆提供与心算直接有关的各种知识和解释策略。显然有可能,一些具有快速解决复杂心算题个体的长时记忆系统中已经储存了大量解题策略及计算程序或子程序,它保证了心算能力的快速而准确,但随着年龄的增长,这种能力将会下降。因此,研究长时记忆在心算加工老化过程中的作用是探讨记忆在心算加工老化过程中的作用的另一内容。与此同时,综合考虑工作记忆、长时记忆、加工速度等因素在心算加工老化过程中的作用,建立一心算加工的认知老化模型,以系统说明心算加工年老化的认知心理机制,还需要作进一步研究。

李贵芸老师在实验阶段给予了全力帮助,特此感谢。

## 参 考 文 献

- 1 刘 昌,李德明,李贵芸. 心算加工老化及其机制研究. 心理学报,1999,31(3):306~312
- 2 Allen P A, Ashcraft M H, Weber T A. On Mental Multiplication and Age. Psychology and Aging, 1992, 7(4): 536~ 545
- 3 Allen P A, Smith A F, Jerge K A, et al. Age Differences in Mental Multiplication: Evidence for Peripheral But not Central Decrements. Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 1997, 52B: 81~ 90
- 4 Geary D C, Frensch P A, Wiley J G. Simple and Complex Mental Subtraction: Strategy Choice and Speed-of-processing Differences in Younger and Elderly Adults. Psychology and Aging, 1993, 8(2): 242~ 256
- 5 Salthouse T A, Coon V E. Interpretation of Differential Deficits: The Case of Aging and Mental Arithmetic. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 1994, 20(5): 1172~ 1182
- 6 Adams J W, Hitch G J. Working Memory and Children's Mental Addition. Journal of Experimental Child Psychology, 1997, 67(1): 21~ 38
- 7 Logie R H, Gilhooly K J, Wynn V. Counting on Working Memory in Arithmetic Problem Solving. Memory & Cognition, 1994, 22(4): 395~ 410
- 8 Jonides J. Working Memory and Thinking. In: Smith E E, Osherson D Eds. Invitation to Cognitive Science: Thinking (Vol. 3, 2nd

- ed. ). Cambridge, MA: MIT Press, 1995. 215~ 265
- 9 Salthouse T A, Babcock R L. Decomposing Adult age Differences in Working Memory. *Developmental Psychology*, 1991, 27: 763~ 776
- 10 Salthouse T A. How Many Causes are There of Aging- related Decrements in Cognitive Functioning? *Developmental Review*, 1994, 14: 413~ 437
- 11 Salthouse T A. The Processing- speed Theory of Adult Age Differences in Cognition. *Psychological Review*, 1996, 103: 403~ 428
- 12 李德明, 刘 昌, 李贵芸. 认知老化模型的研究. *心理学报*, 1999, 31(1): 98~ 103
- 13 Smith E E, Jonides J. Working Memory: A View from Neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 1997, 33: 5~ 42

## The Role of Working Memory in Age Differences in Mental Arithmetic

Liu Chang<sup>1,2</sup> Li Deming<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> *Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*)

(<sup>2</sup> *Department of Psychology, Central China Normal University, Wuhan 430079*)

**Abstract** Previous research<sup>1</sup> established that there were two mediators which appeared to be relative to memory component and speed component of cognitive processing respectively in mental arithmetic in aging. This study, involving a total of 172 adults between 20 and 79 years of age, were conducted to evaluate the relative importance of working memory in mental arithmetic in aging. Three interesting findings were obtained in this study. First, there were the significant interactions among age, working memory, and mental arithmetic complexity. Second, regression of mental arithmetic efficiency in higher working memory on in lower working memory revealed that mental arithmetic efficiency in higher working memory was 1.32 times as high as lower working memory approximately. Third, Hierarchical regression analysis was used to evaluate the contribution of working memory to mental arithmetic in aging which was in the range of 30% ~ 50%. These results led us to conclude that working memory play an important role in adult age differences in mental arithmetic.

**Key words** working memory, mental arithmetic, age