

心算加工年老化及其机制研究^{1)*}

刘 昌^{**} 李德明 李贵芸^{***}

(中国科学院心理研究所, 北京, 100101)

摘 要 以 172 名 20-79 岁成人为被试对心算加工的年老化过程及其机制进行了研究。任务为连续减法心算, 依难度分为 5 种: 1000-1、1000-3、1000-7、1000-13 及 1000-17。结果表明, 年龄与心算难度存在明显的交互作用, 且随着年龄增加, 不同难度心算效率均以幂函数形式降低。结构方程建模分析发现心算加工年老化过程存在两个中介作用因子, 即速度因子和非速度因子, 且速度因子对非速度因子存在明显的正效应。

关键词 心算, 年龄, 结构方程建模。

分类号: B842.3

1 前言

心算 (mental arithmetic) 是日常生活中一种重要的思维活动, 具有明显的问题大小效应 (problem-size effect), 即解答一个较大的问题比解答一个较小的问题需要更长的时间, 出现更多的错误^[1]。关于其心理活动机制的研究进展, 我们已作了综述^[2]。由于人口老龄化问题的日益突出, 以及心算与年龄因素之间的密切联系, 心算年老化及其机制已成为一个活跃的研究课题。初步研究表明, 心算反应时和正确率均与年龄及心算难度有密切关系^[3-6], 即心算加工的问题大小效应具有明显的年龄差异。基于这一特点, 一些研究者尝试将心算加工的中枢加工成分和外周加工成分进行分离, 以探讨心算加工年老化机制。具体做法是以反应时对问题大小作回归分析得到斜率和截距, 斜率表示问题大小每增加一单位所需要的时间, 截距表示当问题大小等于零时的反应时间, 由此而认为斜率代表中枢加工过程 (包括提取和决策), 截距代表外周加工过程 (包括编码和反应执行)^[5, 7, 8], 这样得出每个被试的中枢加工时间和外周加工时间, 然后另行统计分析心算活动的中枢加工和外周加工的年老化。该方法在理论上具有合理性, 但是, 这种分离受统计中各种误差因素的影响较大, 在实际操作中不太可行。

其实, 运用结构方程建模 (structural equation modelling, 也称为协方差结构分析, analysis of covariance structure) 考查心算加工年老化机制是更为合适的研究方法^[9, 10]。

1) 本文初稿收到日期: 1998-07-22, 修改稿收到日期: 1998-11-04。

* 国家自然科学基金资助项目 (39570258)。

** 现工作单位: 华中师范大学心理系 (武汉 430079)。

*** 外聘实验师。

结构方程建模由于可引进潜变量且对理论假设进行验证型分析,因而对于探讨心算加工年老化是由一共同因子影响还是由多个因子影响尤为合适^[11]。图1可说明这一点,按照这一假设模型进行协方差结构分析,如果潜变量因子数 $n_1=1$,说明心算加工年老化是由一共同中介因子所影响,如果潜变量因子数 $n_1>1$,说明心算加工年老化是由多个中介因子所影响。

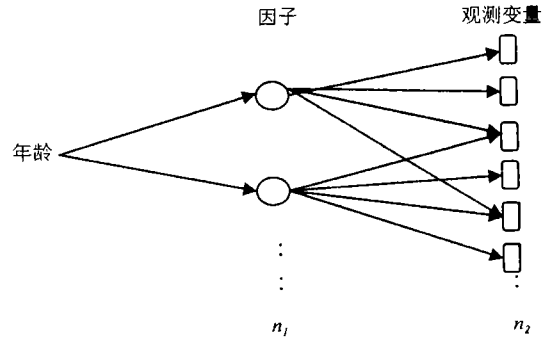


图1 心算加工年老化机制的假设模型
(n_1 为中介潜变量因子数, n_2 为观测变量数)

本研究首先探讨心算难度与年龄的关系,并对心算年老化过程作出数学描述,然后利用结构方程建模对年龄与心算的关系建立结构方程模型,探讨心算加工年老化过程中的中介作用因子,以阐明心算加工年老化的作用机理。目前在认知老化研究领域,对记忆等认知活动研究较多,但对思维活动的研究较少,其原因可能是因为思维活动较为复杂。国内有关思维老化的研究更不多见。因此,本研究对于探讨思维活动的老化规律及其机制有重要意义。

2 方法

2.1 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(15.1 ± 1.5 年),以 10 岁段划分为 6 个年龄组,组间文化程度基本匹配($P > 0.05$)。具体数据参见表 1。

2.2 心算任务

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...”(以下将分别简称为心算 1、心算 3、心算 7、心算 13 及心算 17)。为了避免心算过程中由于问题熟悉性程度不同而出现的“缠结”效应(“ties”effect)^[12,13],不采用类似“1000-2...”或“1000-5...”这类题目。

2.3 实验程序 and 数据分析

实验在 386 微机上进行。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(用其他连续减法题“1000-2...”和“1000-5...”练习,以熟悉题目形式)后,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。

数据分析采用多元方差分析(MANOVA)、回归分析以及结构方程建模。

3 结果

3.1 不同难度心算的年老化过程

各年龄组 5 种难度的心算正确率及平均正确反应时见表 1。从表 1 中可清楚看到,对于

同一年龄组,随着减数(分别为1、3、7、13及17)增大,正确率下降,反应时延长,表明心算加工问题大小效应的普遍性。MANOVA分析结果表明,不同难度心算的正确率之间存在明显差异 [$F(4, 684) = 46.70, P < 0.001$],不同难度心算的反应时之间也存在明显差异 [$F(4, 684) = 197.49, P < 0.001$]。因此,在本研究中心算的难度可以从正确率和反应时角度加以界定,即对于难度较大的心算,正确率较低,反应时较长。故可引入一新指标——“心算效率”,用正确率和正确反应时的比率表示,以进一步考查心算加工的年轻化过程。

表1 被试的基本情况及其5个难度水平心算的正确率和反应时

项目	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	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	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
受教育年限	15.3	1.4	14.7	1.9	14.6	1.5	14.9	1.5	15.5	1.2	15.7	0.9
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)	1.10	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	6.9	88.9	9.5	90.3	9.1	88.9	10.7	86.8	13.6	80.0	14.7
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	5.15
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

对年龄和心算难度水平的 MANOVA 分析表明,年龄与心算难度之间存在明显的交互作用(反应时: $F(20, 664) = 3.01, P < 0.001$; 心算效率: $F(20, 664) = 2.96, P < 0.001$),说明年龄对反应时和心算效率的影响依心算难度的不同而有所不同(图2)。

令年龄为 X 变量、不同难度的心算效率分别为 Y_1 、 Y_3 、 Y_7 、 Y_{13} 、 Y_{17} 变量,以 X 变量对 Y 变量作回归分析,得到 5 个最优回归方程,它们均为幂函数,表明心算加工效率的年轻化均以幂函数形式降低。方程如下:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 4.50X^{-0.45} & [r^2 = 0.099, F(1, 170) = 18.72, P < 0.001] \\
 Y_3 &= 2.62X^{-0.57} & [r^2 = 0.158, F(1, 170) = 31.98, P < 0.001] \\
 Y_7 &= 2.96X^{-0.72} & [r^2 = 0.275, F(1, 170) = 64.63, P < 0.001] \\
 Y_{13} &= 1.92X^{-0.67} & [r^2 = 0.275, F(1, 170) = 64.49, P < 0.001] \\
 Y_{17} &= 1.51X^{-0.68} & [r^2 = 0.259, F(1, 170) = 59.42, P < 0.001]
 \end{aligned}$$

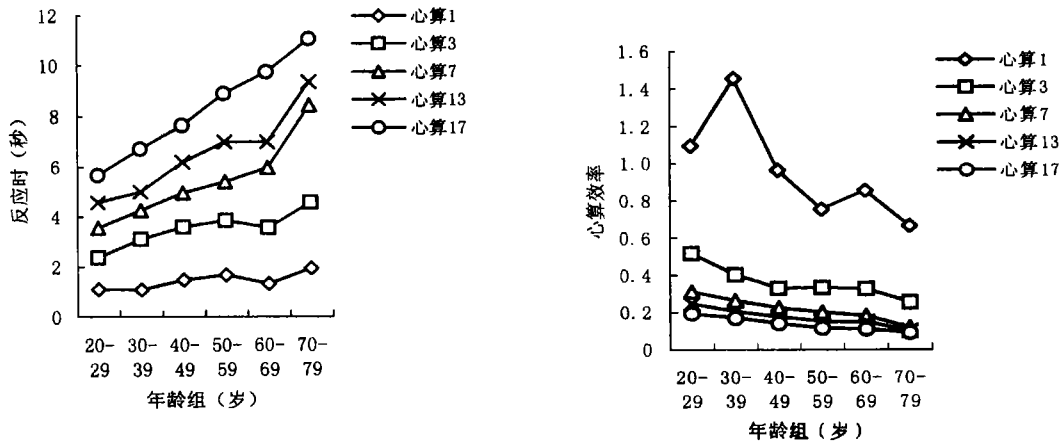


图2 不同难度水平反应时(左图)和心算效率(右图)与年龄的关系

3.2 心算加工老化机制

结构方程建模在 LISREL 8.02 版软件上完成。输入年龄及 5 个难度心算的相关矩阵和标准差(表 2), 参数估计方法采用最大或然法 (Maximum Likelihood, ML)。根据图 1 的理论假设经多次反复调整和计算, 得到一最优结构方程模型如图 3。该模型的吻合指数

表2 年龄及5个难度心算的相关矩阵

变量	1	2	3	4	5	6
1. 年龄	1.000					
2. 心算1	-.261	1.000				
3. 心算3	-.353	0.510	1.000			
4. 心算7	-.499	0.349	0.588	1.000		
5. 心算13	-.511	0.542	0.655	0.674	1.000	
6. 心算17	-.507	0.537	0.672	0.659	0.703	1.000
平均值	47.116	0.979	0.368	0.222	0.175	0.139
标准差	17.494	0.801	0.234	0.122	0.092	0.071

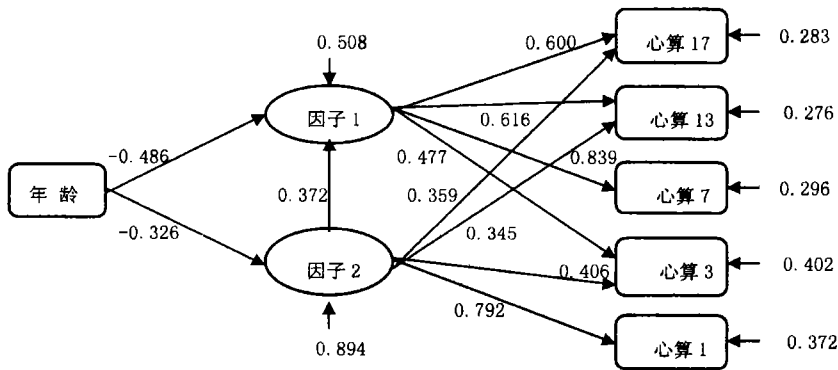


图3 年龄与心算关系的结构方程模型

相当好 ($\chi^2(df = 4, N = 172) = 6.63, P = 0.16$; Standardized RMR=0.019; GFI=0.99; AGFI=0.94; NFI=0.99; NNFI=0.98; CFI=0.99; IFI = 0.99; RFI=0.95), 各路径系数见图 3, 它们均为显著的完全标准化解。

由图 3 可以看到, 心算加工老化过程存在两个中介作用因子, 即潜变量因子 1 和因子 2。年龄对因子 1 和因子 2 均有显著的负效应(effect) (GAMMA 值分别为 -0.486 和 -0.326), 两个因子之间也有密切关系, 因子 2 对因子 1 具有显著的正效应(BETA 值为 0.372)。另外, 心算 1、3、7、13、17 的因子负荷(LAMBDA-Y)见图 3 中数据, 且它们的测量误差(THETA-EPSILON)分别为 0.372 、 0.402 、 0.296 、 0.276 、 0.283 。该结果表明年龄通过作用于两个潜变量因子从而对不同难度水平的心算产生影响。

4 讨论

本研究分别采用多元方差分析和回归分析考查了不同难度心算的老龄化过程。结果看到: (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的老龄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。可以推测, 在心算加工老化过程中存在中介作用因子, 年龄通过这种中介作用因子对心算加工产生影响。中介作用因子是一种潜变量(latent variable), 不能直接观察, 但它反应在心算效率这一观测指标中。为了验证这一点, 本研究进一步采用了结构方程建模分析方法。结果表明, 心算加工老化过程存在两个中介作用因子, 即图 3 中的潜变量因子 1 和因子 2。年龄对因子 1 和因子 2 均存在负效应, 且因子 2 对因子 1 存在明显的正效应。

从图 3 可对因子 1 和因子 2 给出一定的解释。图中心算 1、心算 3、心算 7、心算 13、心算 17 均为因子 1 和因子 2 的内源观测变量, 因子 1 和因子 2 为内源潜变量(endogenous variable)。因子 1 和因子 2 同时对心算 3、心算 13、心算 17 存在直接的效应, 因子 2 通过因子 1 对心算 7 起作用, 但因子 1 对心算 1 无直接或间接的效应, 只有因子 2 对心算 1 存在直接效应。心算 1 由于其太简单, 几乎是一自动化过程, 它更多地受信息加工速度的限制和影响, 因此可以推测因子 2 可能代表认知加工中的速度成分; 而因子 1 对其他难度较大的心算均存在明显的正效应, 它是一种非速度成分, 可能与认知加工的记忆成分有关。这一推测尚需进一步验证。另外, 因子 2 对因子 1 存在直接效应, 即心算加工时速度成分作用于非速度成分。这与 Salthouse^[14]关于记忆老化的结构方程建模研究结果、Verhaeghen 等^[15]关于认知老化的结构方程建模研究结果一致, 也验证和支持了我们关于认知老化模型的研究结果^[16]。其含义可解释为, 在心算加工老化过程中, 数字记忆取决于数字信息加工速度, 加工速度快则有利于数字记忆, 若加工速度慢可能易导致数字遗忘, 这应该是符合认知活动规律的。从理论上讲, 与中介作用因子有关的认知活动, 如工作记忆、感觉运动速度等, 应与心算加工存在较大关系, 如能证明这一点, 不仅可验证上述推测, 还可对心算加工老化的认知心理机制作出进一步的分析。从年龄对各心算的回归方程来看, 年龄对各心算加工的解释是很显著的, 但解释量都比较小(测定系数 r^2 值从 0.099 到 0.275 不等), 这表明, 心算加工老化还存在其他可解释成分。所以, 除了年龄因素, 还应考虑其他认知因素(如工作记忆、加工速度等)对心算加工老化过程的影响, 我们将继续探讨这一问题。

对于认知加工反应时随增龄延长(速度减慢),一般认为与神经系统的年轻化有关。探讨思维活动(心算)及其年轻化,除了阐明其心理活动机理外,还应阐明其脑生理活动机理,这也是我们今后的努力方向。

参 考 文 献

- 1 Ashcraft M H. Cognitive arithmetic: A review of data and theory. *Cognition*, 1992, 44(1):75—106
- 2 刘昌, 李德明. 心算活动机制的研究. *心理学报*, 1998, 31(1):111—117
- 3 孙福立, 李德明, 严亦霁等. 不同认知作业年轻化特点的比较研究. *心理学报*, 1992, 24:372—378
- 4 许淑莲, 吴志平. 分心对记忆影响的年龄差异研究. *心理学报*, 1993, 25(1):39—44
- 5 Allen P A, Ashcraft M H, Weber T A. On mental multiplication and age. *Psychology and Aging*, 1992, 7(4):536—545
- 6 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
- 7 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
- 8 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
- 9 侯杰泰. 为何需要结构方程模式及如何建立潜伏变项? *教育研究学报*, 1994, 9(1):87—92
- 10 Joreskog K G, Sorbom D. LISREL VII: A guide to the program and applications. Chicago, IL: SPSS, 1988
- 11 Salthouse T A. How many causes are there of aging-related decrements in cognitive functioning? *Developmental Review*, 1994, 14(4):413—437
- 12 Groen G J, Parkman J M. A chronometric analysis of simple addition. *Psychological Review*, 1972, 79(4):329—343
- 13 Miller K, Perlmuter M, Keating D. Cognitive arithmetic: Comparison of operations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 1984, 10(1):46—60
- 14 Salthouse T A. Differential age-related influences on memory for verbal-symbolic information and visual-spatial information? *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 1995, 50B:193—201
- 15 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(2):231—249
- 16 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

ON MENTAL ARITHMETIC WITH INCREASING AGE AND ITS MECHANISM

Liu Chang Li Deming Li Guiyun

(*Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101*)

Abstract

A study on mental arithmetic with increasing of age and its mechanism was accomplished in 172 normal subjects of from 20 to 79 years of age. Five mental arithmetic tasks, "1000-1", "1000-3", "1000-7", "1000-13", "1000-17", were designed with a serial calculation in which the subjects sequentially subtracted the same prime number (1, 3, 7, 13, 17) from another number 1000. The results indicated that: (1) There was an obvious interaction between age and mental arithmetic, and mental arithmetic efficiency (the ratio of accuracy to RT) decreased in power function with the advancing of age; (2) There were two mediators (latent variables) which were relative to speed component and non-speed component respectively in the aging process of mental arithmetic, and speed component had significant effect on non-speed component.

Key words mental arithmetic, age, Structural Equation Modelling (SEM).