

A Review of Studies on Working Memory of Developmental Dyscalculia

Qiang Li

Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing
Email: swestu@163.com

Received: Apr. 6th, 2016; accepted: Apr. 19th, 2016; published: Apr. 27th, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Developmental dyscalculia is a specific learning disability. In recent years, research on developmental dyscalculia has attracted attention from more and more researchers. Working memory is broadly related to mathematics skills, and it has a strong predicted effect on mathematics achievement. A lot of studies indicate that working memory impairment is one of the causes of developmental dyscalculia. But it is difficult to draw any firm conclusions regarding what aspect of working memory is impaired. The article reviews the study on working memory of developmental dyscalculia based on three aspects: visual-spatial working memory, verbal working memory and executive function. We point out that further researchers should improve from the selection of subjects, the type and quantity of working memory task in order to know what aspect of working memory is impaired.

Keywords

Developmental Dyscalculia, Visual-Spatial Working Memory, Verbal Working Memory, Executive Function

发展性计算障碍的工作记忆研究进展

李 强

西南大学心理学部, 重庆
Email: swestu@163.com

收稿日期: 2016年4月6日; 录用日期: 2016年4月19日; 发布日期: 2016年4月27日

文章引用: 李强(2016). 发展性计算障碍的工作记忆研究进展. *心理学进展*, 6(4), 526-531.
<http://dx.doi.org/10.12677/ap.2016.64070>

摘要

发展性计算障碍是一种特殊的学习障碍。近年来发展性计算障碍引起学者们的极大关注。工作记忆与数学能力相关，并且对数学成就具有很强的预测作用。研究表明工作记忆缺陷可能是发展性计算障碍的原因之一，但是发展性计算障碍与工作记忆具体功能模块的关系不明朗。综述从视空间工作记忆、言语工作记忆、执行功能三个方面对前人的研究进行梳理，指出未来应从被试的选取，工作记忆任务的种类和数量等方面进行改进，进一步明确发展性计算障碍的工作记忆具体模块缺陷。

关键词

发展性计算障碍，视空间工作记忆，言语工作记忆，执行功能

1. 引言

科恩(Cohn)在1968年首次提出“发展性计算障碍”(developmental dyscalculia)这一术语后，这一领域引起了研究者的极大关注。随后，斯莱德(Slade)和拉塞尔(Russell)使用了另外一个术语：“特异性计算技能障碍”(specific disorder of arithmetic skills)来命名计算技能存在着缺陷的现象。因此，“发展性计算障碍”也称作“特异性计算技能障碍”(张树东, 董奇, 2008)。发展性计算障碍(Developmental Dyscalculia, DD)又称为数学障碍(Mathematics Disorder, MD)，一种特殊的数学学习障碍，其中智力和言语能力是完整未受损伤的(Mammarella, Hill, Devine, Caviola, & Szűcs, 2015)。不同于学习障碍，可以说发展性计算障碍是学习障碍的一种。不同的研究者对发展性计算障碍的定义虽有一定的不同，但基本上都包含以下几点：1) 智力正常(排除智力低下和智力超常)；2) 阅读能力以及识字量在正常范围内；3) 数字加工和计算能力落后于同龄的正常儿童。

近年来，越来越多的学者认为发展性计算障碍的成因可能与一般认知能力缺陷有关。无论对于儿童还是对于成年人来说，像工作记忆，执行功能，语义记忆以及加工速度这些认知功能对数学成就都是非常重要的(Swanson, Jerman, & Zheng, 2008)。研究者分别从短时记忆(Bull & Johnston, 1997; Mammarella et al., 2015)，长时记忆(Geary, 1993)，工作记忆(Geary, Hoard, Byrd-Craven, & DeSoto, 2004; Geary, Hoard, Nugent, & Byrd-Craven, 2008)，注意(Szucs, Devine, Soltesz, Nobes, & Gabriel, 2013)，加工速度(Bull & Johnston, 1997; Chan & Ho, 2010)等方面对发展性计算障碍展开了研究，并且部分研究支持了一般认知能力缺陷假说。

一般认知领域中研究最多的就是工作记忆。心理学界普遍把工作记忆定义为在处理复杂认知新颖的、熟悉的或已经形成技能的任务中对与任务相关的信息的控制、规划和主动保持，它涉及多重表征编码和不同的子系统。众多研究发现工作记忆与数学能力具有相关关系(Purpura & Ganley, 2014; Raghobar, Barnes, & Hecht, 2010)，一些纵向研究同样表明工作记忆对数学成就具有很强的预测作用(Geary, 2011; Swanson, 2011)。对儿童进行工作记忆任务训练能提高其工作记忆能力，儿童的计算能力也相应提高(Kroesbergen, van't Noordende, & Kolkman, 2014)。不少研究发现数学障碍儿童的工作记忆与正常儿童相比，确实存在显著不足。Baddeley及其同事(1974)提出工作记忆系统的三成分结构模型。他把工作记忆看成是“一种具有独特过程的记忆系统”，并将其分成三个组成成分：中央执行系统、语音环和视觉-空间模板。本文拟从视空间工作记忆，言语工作记忆和中央执行系统三个方面来对有关发展性计算障碍的工作记忆研究进行总结，并在此基础上阐述关于数学障碍的工作记忆未来的研究方向。

2. 发展性计算障碍的视空间工作记忆研究

多数研究者认为视空间工作记忆缺陷是发展性计算障碍的原因之一，并且给出了实证性的研究支持。研究者采用视觉矩阵广度任务(visual-matrix span task)来测量视空间工作记忆容量，发现数学障碍组以及数学、阅读双障碍组的工作记忆容量要比正常发展组的小(Andersson, 2010)；纵向研究采用相同的任务得出一致的结论(Andersson & Lyxell, 2007)。研究者使用与众不同任务(odd one out)测量视空间工作记忆。结果表明，数学障碍儿童在该任务上表现要差于正常儿童(Szucs et al., 2013)。研究者设计实验程序在屏幕中央分别呈现一定数目的蓝色方块，呈现完毕后被试要按照从后往前的顺序分别在屏幕上指出蓝色方块的位置，通过这种任务来测量工作记忆广度，同样发现数学障碍儿童的视空间工作记忆与正常发展儿童相比存在不足(Mammarella et al., 2015)。研究者通过对以往有关数学障碍的文献进行元分析发现，正常儿童视空间记忆任务表现要好于数学学习障碍儿童(Swanson & Jerman, 2006)。国内有学者认为数学学习障碍儿童视觉空间工作记忆广度显著低于正常儿童(宛燕, 陶德清, 廖声立, 2007)。相反，有研究者认为数学障碍儿童不存在视空间工作记忆的缺陷。研究者同样使用视觉矩阵任务，结果发现数学障碍儿童和正常儿童在视空间工作记忆广度上没有明显的差异(Andersson, 2008)。还有研究者认为数学学习障碍与视空间工作记忆能力下降无关(刘昌, 2004)。

3. 发展性计算障碍的言语工作记忆研究

研究者分别使用多种不同任务测量言语工作记忆广度，进而比较数学障碍儿童和正常儿童之间的差异。研究者以数学障碍儿童和正常儿童为研究对象，使用听句子广度任务(listening span task)测量言语工作记忆广度。结果表明：数学障碍儿童的工作记忆容量要低于正常儿童(D'Amico & Passolunghi, 2009)。研究者采用数点数广度任务(Counting Span Working Memory Task)研究一、三、五年级的数学障碍儿童和正常儿童言语工作记忆的差异，结果发现三个年级的数学障碍儿童言语工作记忆都要差于正常儿童。还有研究者使用数字广度任务(digit span task)和词语广度任务(word span task)也得出相同的结论(Andersson & Lyxell, 2007)。元分析研究发现，数学障碍儿童言语工作记忆表现要差于正常儿童；并且即使是平衡了年龄、智力等因素的干扰以后，这种差异仍然存在(Swanson & Jerman, 2006)。国内学者认为数学学习障碍儿童言语工作记忆广度显著低于正常儿童(宛燕等, 2007)。并非所有的研究结论都支持数学障碍儿童的言语工作记忆缺陷假说。有研究者同样采用听句子广度任务，结果发现两组儿童的言语工作记忆并不存在差异(Andersson, 2010; Szucs et al., 2013)。其他研究者设计任务口头给被试呈现一定数量的单词，呈现完毕以后被试要按照从后往前的顺序回忆出这些单词。回忆单词的最大量就代表言语工作记忆广度的最大值。结果也没有发现两组儿童在言语工作记忆上的差异(Mammarella et al., 2015)。

4. 发展性计算障碍的执行功能研究

中央执行系统，是工作记忆的核心、一个容量有限的控制系统。主要功能是负责各部分间的协调及信息处理过程的监控，在认知中起关键作用。研究发现中央执行功能结构的非单一性，即它是一个多维度的结构，包括三个具体的子功能，即转换功能、工作记忆刷新功能，以及抑制功能(Miyake et al., 2000)。

与转换、刷新功能相比，多数研究者就数学学习障碍儿童的抑制能力进行了研究。在一项纵向研究中，通过改进听句子广度任务的计分方法来衡量抑制能力，发现数学学习障碍儿童的抑制能力差于正常儿童(D'Amico & Passolunghi, 2009)。研究者使用信号终止任务(stop-signal task)以及多种 Stroop 任务来测量抑制能力，发现所有任务上的表现数学障碍儿童都要差于正常儿童(Szucs et al., 2013)。我国学者采用数值大小干扰(magnitude-size stroop)范式来研究发展性计算障碍儿童的抑制能力。研究发现，抑制能力发展迟缓是数学障碍产生的原因之一(王晓芳, 刘潇楠, 罗新玉, 周仁来, 2009)。其他研究者也发现抑制能力

缺陷是发展性计算障碍的成因(Passolunghi & Siegel, 2001, 2004)。并非所有的研究结论都支持抑制能力缺陷假说。研究者通过负启动任务来测量抑制能力。研究表明：在数学障碍儿童和正常儿童中抑制能力不存在差异(D'Amico & Passolunghi, 2009)。还有研究者利用字色 Stroop 测验(the stroop color-word test)来测量抑制能力，同样没有发现显著差异(Andersson & Lyxell, 2007)。

数学障碍儿童与正常儿童相比存在转换能力不足。研究者使用连线任务(trail-making task)测量数学障碍儿童和正常儿童的转换能力，结果发现数学障碍儿童的转换能力要差于正常儿童(Andersson, 2008, 2010; Andersson & Lyxell, 2007; McLean & Hitch, 1999; Szucs et al., 2013)。其他研究者采用相同的任务却发现了完全相反的结论，他们在两组儿童中并没有发现显著的转换能力差异(Andersson, 2008, 2010)。

少数研究发现数学障碍儿童存在刷新和计划功能缺陷。研究者利用伦敦塔测试(Tower of London Test)分别测量正常儿童和数学障碍儿童的执行功能。结果发现正常儿童的计划能力要优于数学障碍儿童(Sikora, Haley, Edwards, & Butler, 2002)。研究者使用最后三位数字刷新任务(N-back Task)测量儿童的刷新能力，结果发现障碍儿童的表现要差于正常儿童(Swanson & Beebe-Frankenberger, 2004)。

5. 研究不足与展望

近年来随着人们对发展性计算障碍的关注，这一领域取得了极大的进步。但目前仍然还有一些问题需要解决。

第一，发展性计算障碍与工作记忆具体功能模块的关系不明朗(谢立培, 张树东, 2015)。大量研究针对数学学习障碍儿童的工作记忆进行展开，一系列的研究但不是全部研究，支持了工作记忆缺陷假说。研究表明数学学习困难的儿童在需要同时储存和加工信息的工作记忆任务上表现较差。但是我们很难确定到底是工作记忆的哪一功能模块或者是哪些模块存在缺陷。首先是没有研究使用大量的任务来测量工作记忆相应的功能模块(Andersson & Östergren, 2012)。研究使用的任务相对单一，并且没有针对工作记忆的功能模块采用多种类型的任务来测验；其次，前人的研究被试年龄存在很大差异(Raghubar et al., 2010)。儿童处于一个快速发展的阶段，工作记忆容量的大小在不同年龄阶段的儿童是不同的。然而多数研究并没有对年龄、家庭经济状况等因素进行匹配。

第二，发展性计算障碍往往是伴随其他认知障碍共同出现，大量研究并没有对此进行区分。与发展性计算障碍密切相关的障碍类型有发展性阅读障碍和注意力缺陷/多动障碍(ADHD)，三者具有很高的并发性(白学军, 臧传丽, 2006)。研究表明，阅读障碍儿童和多动障碍儿童也存在在工作记忆方面的缺陷(郭强, 冯建新, 冯敏, 2015; 王颖, 洪雷, 陈毅文, 2013)。因此，今后的研究应将单纯的发展性计算障碍儿童和与其他认知障碍共存的发展性计算障碍儿童进行区分研究。国外多数研究者以是否伴有阅读障碍将被试分为数学障碍组和阅读、数学双障碍组进而展开研究(Andersson, 2010; Andersson & Lyxell, 2007; Swanson & Jerman, 2006)，国内相应的区分研究很稀缺。

综上所述，今后有关发展性计算障碍的工作记忆研究，应从工作记忆任务的数量与种类、发展性计算障碍是否伴有其他认知障碍等方面进行改进，从而更好的验证发展性计算障碍的工作记忆具体模块缺陷。

参考文献 (References)

- 白学军, 臧传丽(2006). 发展性计算障碍研究及数学教育对策. *辽宁师范大学学报(社会科学版)*, (1), 45-49.
- 郭强, 冯建新, 冯敏(2015). 国内汉语阅读障碍研究聚焦述评. *绥化学院学报*, 35(1), 109-115.
- 刘昌(2004). 数学学习困难儿童的认知加工机制研究. *南京师大学报: 社会科学版*, (3), 81-88.
- 宛燕, 陶德清, 廖声立(2007). 小学数学学习困难儿童的工作记忆广度研究. *中国特殊教育*, (7), 46-51.

- 王晓芳, 刘潇楠, 罗新玉, 周仁来(2009). 数学障碍儿童抑制能力的发展性研究. *中国特殊教育*, (10), 55-59.
- 王颖, 洪雷, 陈毅文(2013). 工作记忆与发展性阅读障碍. *中国临床心理学杂志*, 21(4), 627-630.
- 谢立培, 张树东(2015). 国内数学学习障碍研究进展. *现代特殊教育*, (8), 30-34.
- 张树东, 董奇(2008). 发展性计算障碍研究述评. *比较教育研究*, 28(12), 35-39.
- Andersson, U. (2008). Mathematical Competencies in Children with Different Types of Learning Difficulties. *Journal of Educational Psychology*, 100, 48-66. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.100.1.48>
- Andersson, U. (2010). Skill Development in Different Components of Arithmetic and Basic Cognitive Functions: Findings from a 3-Year Longitudinal Study of Children with Different Types of Learning Difficulties. *Journal of Educational Psychology*, 102, 115-134. <http://dx.doi.org/10.1037/a0016838>
- Andersson, U., & Lyxell, B. (2007). Working Memory Deficit in Children with Mathematical Difficulties: A General or Specific Deficit? *Journal of Experimental Child Psychology*, 96, 197-228. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2006.10.001>
- Andersson, U., & Östergren, R. (2012). Number Magnitude Processing and Basic Cognitive Functions in Children with Mathematical Learning Disabilities. *Learning and Individual Differences*, 22, 701-714. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lindif.2012.05.004>
- Baddeley, A. D., Hitch, G. J., & Bower, G. A. (1974). *Recent Advances in Learning and Motivation*. New York: Edit Bower GA Academic, 47-89.
- Bull, R., & Johnston, R. S. (1997). Children's Arithmetical Difficulties: Contributions from Processing Speed, Item Identification, and Short-Term Memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 65, 1-24. <http://dx.doi.org/10.1006/jecp.1996.2358>
- Chan, B. M.-Y., & Ho, Connie. S.-H. (2010). The Cognitive Profile of Chinese Children with Mathematics Difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 107, 260-279. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2010.04.016>
- D'Amico, A., & Passolunghi, M. C. (2009). Naming Speed and Effortful and Automatic Inhibition in Children with Arithmetic Learning Disabilities. *Learning and Individual Differences*, 19, 170-180. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lindif.2009.01.001>
- Geary, D. C. (1993). Mathematical Disabilities: Cognitive, Neuropsychological, and Genetic Components. *Psychological Bulletin*, 114, 345-362. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.114.2.345>
- Geary, D. C. (2011). Cognitive Predictors of Achievement Growth in Mathematics: A 5-Year Longitudinal Study. *Developmental Psychology*, 47, 1539-1552. <http://dx.doi.org/10.1037/a0025510>
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., & DeSoto, M. C. (2004). Strategy Choices in Simple and Complex Addition: Contributions of Working Memory and Counting Knowledge for Children with Mathematical Disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88, 121-151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2004.03.002>
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., & Byrd-Craven, J. (2008). Development of Number Line Representations in Children with Mathematical Learning Disability. *Developmental Neuropsychology*, 33, 277-299. <http://dx.doi.org/10.1080/87565640801982361>
- Kroesbergen, E. H., van't Noordende, J. E., & Kolkman, M. E. (2014). Training Working Memory in Kindergarten Children: Effects on Working Memory and Early Numeracy. *Child Neuropsychology*, 20, 23-37. <http://dx.doi.org/10.1080/09297049.2012.736483>
- Mammarella, I. C., Hill, F., Devine, A., Caviola, S., & Szűcs, D. (2015). Math Anxiety and Developmental Dyscalculia: A Study on Working Memory Processes. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 37, 878-887. <http://dx.doi.org/10.1080/13803395.2015.1066759>
- McLean, J. F., & Hitch, G. J. (1999). Working Memory Impairments in Children with Specific Arithmetic Learning Difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 240-260. <http://dx.doi.org/10.1006/jecp.1999.2516>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100. <http://dx.doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Passolunghi, M. C., & Siegel, L. S. (2001). Short-Term Memory, Working Memory, and Inhibitory Control in Children with Difficulties in Arithmetic Problem Solving. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, 44-57. <http://dx.doi.org/10.1006/jecp.2000.2626>
- Passolunghi, M. C., & Siegel, L. S. (2004). Working Memory and Access to Numerical Information in Children with Disability in Mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88, 348-367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2004.04.002>
- Purpura, D. J., & Ganley, C. M. (2014). Working Memory and Language: Skill-Specific or Domain-General Relations to Mathematics? *Journal of Experimental Child Psychology*, 122, 104-121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2013.12.009>

-
- Raghubar, K. P., Barnes, M. A., & Hecht, S. A. (2010). Working Memory and Mathematics: A Review of Developmental, Individual Difference, and Cognitive Approaches. *Learning and Individual Differences, 20*, 110-122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lindif.2009.10.005>
- Sikora, D. M., Haley, P., Edwards, J., & Butler, R. W. (2002). Tower of London Test Performance in Children with Poor Arithmetic Skills. *Developmental Neuropsychology, 21*, 243-254. http://dx.doi.org/10.1207/S15326942DN2103_2
- Swanson, H. L. (2011). Working Memory, Attention, and Mathematical Problem Solving: A Longitudinal Study of Elementary School Children. *Journal of Educational Psychology, 103*, 821-837. <http://dx.doi.org/10.1037/a0025114>
- Swanson, H. L., & Beebe-Frankenberger, M. (2004). The Relationship between Working Memory and Mathematical Problem Solving in Children at Risk and Not at Risk for Serious Math Difficulties. *Journal of Educational Psychology, 96*, 471-491. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.96.3.471>
- Swanson, H. L., & Jerman, O. (2006). Math Disabilities: A Selective Meta-Analysis of the Literature. *Review of Educational Research, 76*, 249-274. <http://dx.doi.org/10.3102/00346543076002249>
- Swanson, H. L., Jerman, O., & Zheng, X. (2008). Growth in Working Memory and Mathematical Problem Solving in Children at Risk and Not at Risk for Serious Math Difficulties. *Journal of Educational Psychology, 100*, 343-379. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.100.2.343>
- Szucs, D., Devine, A., Soltesz, F., Nobes, A., & Gabriel, F. (2013). Developmental Dyscalculia Is Related to Visuo-Spatial Memory and Inhibition Impairment. *Cortex, 49*, 2674-2688. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2013.06.007>