

# 材料类型和数量对发展性计算障碍儿童数序判断的影响

周路平

湖南师范大学教育科学学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2022年7月2日; 录用日期: 2022年8月2日; 发布日期: 2022年8月10日

## 摘要

目的: 了解材料类型和数量对发展性计算障碍儿童数序判断的影响, 为改善儿童的数序认知及数学学习状况提供参考。方法: 采用数序前后比较任务, 以阿拉伯数字、汉语小写数字、点阵数字及实物个数为材料, 对26名计算障碍儿童和25名正常儿童进行测试。结果: 在完成正确数上, 不论是符号刺激(阿拉伯数字:  $F = 11.568$ ,  $p = 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.147$ ; 汉语数字  $F = 7.498$ ,  $p = 0.008$ ,  $\eta^2 = 0.101$ )还是非符号刺激(点阵数字:  $F = 6.985$ ,  $p = 0.010$ ,  $\eta^2 = 0.094$ ; 实物材料  $F = 7.781$ ,  $p = 0.007$ ,  $\eta^2 = 0.104$ ), 计算障碍儿童均明显不及正常儿童。在完成时间上, 与正常儿童相比, 计算障碍儿童在符号刺激中(阿拉伯数字  $F = 4.972$ ,  $p = 0.029$ ,  $\eta^2 = 0.069$ ; 汉语数字  $F = 7.155$ ,  $p = 0.009$ ,  $\eta^2 = 0.096$ )差异明显, 但在非符号刺激上, 二者差异不显著。计算障碍儿童小数量符号刺激的完成时间好于大数量, 而大数量非符号刺激则快于小数量; 正常儿童不论是符号刺激还是非符号刺激, 其小数量的完成时间均好于大数量。结论: 刺激材料的类型和数量不仅影响计算障碍儿童的数序判断, 而且对数字距离效应产生消极作用。

## 关键词

发展性计算障碍, 儿童, 数序判断, 材料类型, 数量

# The Influence of Material Type and Quantity on Number Order Judgment in Children with Developmental Dyscalculia

Luping Zhou

College of Education Science, Hunan Normal University, Changsha Hunan

Received: Jul. 2<sup>nd</sup>, 2022; accepted: Aug. 2<sup>nd</sup>, 2022; published: Aug. 10<sup>th</sup>, 2022

文章引用: 周路平. 材料类型和数量对发展性计算障碍儿童数序判断的影响[J]. 国际神经精神科学杂志, 2022, 11(3): 41-46. DOI: 10.12677/ijpn.2022.113007

## Abstract

**Objective:** To investigate the influence of material type and quantity on number order judgment in children with developmental, and improve the number order cognition and mathematics learning of children. **Methods:** Using Arabic numerals, Chinese numerals, lattice numerals and material objects, 26 children with dyscalculia and 25 normal children were tested with the task of comparing number order. **Results:** In the correct number, whether it is a symbolic stimulus (Arabic numerals:  $F = 11.568$ ,  $p = 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.147$ ; Chinese numerals:  $F = 7.498$ ,  $p = 0.008$ ,  $\eta^2 = 0.101$ ) or non-symbolic stimulus (dot matrix:  $F = 6.985$ ,  $p = 0.010$ ,  $\eta^2 = 0.094$ ; material object:  $F = 7.781$ ,  $p = 0.007$ ,  $\eta^2 = 0.104$ ), children with dyscalculia were significantly lower than normal children. In terms of completion time, compared with normal children, children with dyscalculia is obvious difference in symbolic stimulation (Arabic numerals:  $F = 4.972$ ,  $p = 0.029$ ,  $\eta^2 = 0.069$ ; Chinese numeral:  $F = 7.155$ ,  $p = 0.009$ ,  $\eta^2 = 0.096$ ), but there is no significant difference in non-symbolic stimuli. In dyscalculia children, the completion time of the small number of symbolic stimuli was better than that of the large number, while the large number of non-symbolic stimuli was faster than that of the small number. For both symbolic and non-symbolic stimuli in normal children, the completion time of a small amount of stimulus is better than that of a large amount of stimulus. **Conclusion:** The type and quantity of stimulus materials not only affect the number order judgment of children with dyscalculia, but also have a negative effect on the number distance effect.

## Keywords

Developmental Dyscalculia, Children, Number Order Judgment, Material Type, Quantity

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

发展性计算障碍(Developmental dyscalculia, DD)是指排除了智力落后和教育无能等因素的影响, 数字加工和计算能力的心理年龄与实际年龄间存在着明显的差异[1], 主要表现为数字信息处理和算术事实的学习上存在持续性受损问题, 属于一种特殊的学习障碍[2]。一些研究发现, DD 患者在完成算术任务时常常采用不合理的解题策略[3]; 在工作记忆、抑制、空间技能或语音能力等方面, 存在一种或多种认知性障碍[4]。按照数字模块缺陷假设的观点, 由于计算障碍的基本数量加工和操作数量能力受损, 导致 DD 儿童无法准确加工数量, 不能理解数量的意义, 引发数量表征的缺陷[5] [6]。但也有研究者认为, DD 儿童在数量表征上的问题并非是数量加工本身的缺陷导致, 而是源自个体在将数符号转换为基本数量的过程中出现了异常[7] [8] [9]。作为数学概念中的重要内容, 数序表征与数量表征一样, 同样是学龄儿童开始数学知识学习的基础。Brannon 的研究表明, 11 月大的婴儿能区别升序和降序的差异, 且非数字顺序判断能力的发展要先于数字顺序[10]; 数序加工不仅激活了大脑顶内沟和角回等区域, 也与额叶和顶叶网络的非典型发展有关[11]。同时, 不论采用阿拉伯数字、点阵数量还是字母表、线段长度等刺激材料, 都发现了数的距离效应[12]。由于数量意义在数概念中的重要作用, 以往大量的数认知研究主要围绕数量是如何被表征、加工和执行的, 涉及数序认知加工的内在机制及大脑特征等方面的内容仍相对偏少, 尤其在儿童计算障碍领域更是如此。Wiese 指出, 作为数字的中心特性, 数序意义对个体的数学认知十分

重要[13]。发展性计算障碍患者的数量加工问题不仅受刺激材料的类型影响,而且材料的数量也有很大的干扰[9] [14]。由于数序加工与数量加工之间有着一定的认知差异,且发展性计算障碍儿童的数序判断是否也存在类似于数量比较任务中表现出的加工障碍,以及刺激材料的类型和数量如何影响 DD 儿童的数序认知,均需要得到进一步的探究。因此,开展 DD 儿童数序判断特征的研究,不仅可以更好的了解数序加工水平对儿童数学学习的影响,而且可以为改善这些儿童的数学学习困难提供一定的数据支持。

## 2. 方法

### 2.1. 对象

参照 Cañizares 等[8]、张树东等[1]提出的诊断标准,以长沙市某普通小学 3~5 年级 754 名年龄在 8~11 岁的小学生为调查对象,其中,计算障碍儿童入组标准为:1) 符合精神障碍诊断和统计手册第四版修订本(DSM-IV-TR)的相关要求;2) 中国修订韦氏儿童智力量表 FIQ 分数  $\geq 85$ ;3) 小学多重成就测验(MATs)[15]中的数学成绩  $\leq$  常模 - 1.5 个标准差,阅读或语文成绩在平均值以上;4) 连续三次以上的期中或期末考试的成绩均低于班级或年级平均水平,语文成绩正常;班主任或数学教师评定为数学学习不良;5) 排除因教育不当、智力或精神发育迟滞、儿童注意缺陷/多动综合征(ADHD)和其他原因所引起的学习困难。最终确定 31 名被试组成计算障碍组,筛查率为 4.1%。另外,在同年级、同班级中选取年龄、性别、家庭背景等大致相同的 30 名计算正常儿童,经中国修订韦氏儿童智力量表和小学多重成就测验的考察后组成正常对照组。所有参与实验的儿童由研究者严格按照相应标准进行筛选,入组儿童均为右利手且视力正常或矫正正常,都获得其父母或法定监护人的同意并签署知情同意书;整个实验活动中,儿童有暂停、中止或退出实验的权利。同时,不论被试的实验完成与否,研究者都给予他们相应的物品奖励和必要的心理关怀。

经过对所有数据进行离线处理,排除实验过程中因被试原因终止或累积正确完成次数为 0 或单次完成时间小于 100 ms 等异常数据后,最终纳入统计分析的每组有效人数分别为:计算障碍组 26 人(男 14 女 12 人,平均  $9.94 \pm 0.85$ ),正常对照组 25 人(男 13 女 12 人,平均  $9.89 \pm 0.63$ ); $X^2$  检验结果表明,两组男女人数之间的差异不显著( $X^2 = 0.017, p = 0.895$ )。

### 2.2. 实验材料

采用符号和非符号两种形式为刺激材料,其中,符号刺激分为阿拉伯数字(1~9,不含 5)和汉语小写数字(一~九,不含五)两类;非符号刺激分为点阵数字(点阵 1~9,不含 5)和实物(香蕉;个数 1~9,不含 5)两类(均按规则排列)。每类刺激 8 个,共 32 个刺激。所有刺激均采用 Photoshop10.0 软件加工完成,符号刺激的字体为宋体,字的大小为  $2.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm}$ (图片尺寸与非符号刺激一致),非符号刺激的图片尺寸为  $3.1 \text{ cm} \times 3.1 \text{ cm}$ 。所有刺激的颜色均为黑色,分辨率 100 像素,计算机屏幕的背景采用灰色。

### 2.3. 设备与程序

实验程序采用 E-prime 2.0 编制,通过一台 Dell 电脑(21 吋彩色显示屏)呈现刺激,屏幕分辨率为  $1280 \times 1024$ ,60 Hz 刷新频率。实验中被试端坐屏幕前,眼睛与屏幕保持视距约为 50 cm。每次实验前有练习活动,儿童需完全掌握实验内容后才能进入正式实验。正式实验由 4 个 block 组成,每类刺激一个 block,每个 block 有 48 个试验(trial)。被试每完成一个 block,可以自主休息至少 1 分钟以上,整个过程大约需要 15 分钟。

正式实验开始后,首先在屏幕中央出现一个黑色注视点“+”400 ms,提醒被试做好按键准备,空屏 1000 ms 后在屏幕中央会呈现一个 400 ms 的比较刺激(先呈现);其后,空屏 100 ms 再出现目标刺激(后呈

现), 等待被试按键反应。被试的任务是对两个刺激之间的数序关系进行判断, 若后呈现刺激的顺序在先呈现的刺激之前, 就用左手或右手的食指按“Z”键; 反之, 就用右手或左手的食指按“M”键。当被试反应完成或反应时间超过 2000 ms, 本次的试验都将结束, 计算机对被试的数序判断情况(完成时间、正确性等)进行记录。实验中为了减少顺序效应和利手等因素的干扰, 其刺激呈现与按键过程采用拉丁方和被试间相结合的方式平衡。整个实验在 2021 年 3~6 月间进行, 采用数序前后比较任务方式, 在儿童相对熟悉的环境下选择独立、安静的房间, 由研究者对所有实验对象进行逐个施测。实验设计采用被试间(计算障碍/正常儿童)和被试内(材料类型/数量)混合模式, 数据统计工具为 SPSS for windows 20 中文版, 主要方法为  $t$  检验、方差分析及  $X^2$  检验等。

### 3. 结果

根据以往文献并结合本研究的目的, 将被试完成正确数和完成时间的结果按组别(计算障碍组/正常对照组)和刺激材料类型(阿拉伯数字/汉语数字/点阵数字/实物材料)分别进行统计。在完成正确数(个)/完成时间(ms)的结果上, DD 组分别为: 阿拉伯数字  $3.46 \pm 1.10/789.59 \pm 216.37$ 、汉语数字  $4.05 \pm 0.98/802.30 \pm 246.13$ 、点阵数字  $4.02 \pm 1.00/868.71 \pm 277.15$ 、实物个数  $4.02 \pm 1.09/799.32 \pm 233.48$ ; 正常对照组分别为: 阿拉伯数字  $4.29 \pm 1.09/662.09 \pm 254.91$ 、汉语数字  $4.64 \pm 0.86/650.36 \pm 218.90$ 、点阵数字  $4.60 \pm 0.84/733.20 \pm 296.18$ 、实物个数  $4.69 \pm 0.88/714.81 \pm 309.39$ 。以组别为自变量、性别及年级为协变量分别进行多因素方差分析, 结果表明: 在完成正确数上, 组别主效应显著, 不论是符号刺激(阿拉伯数字:  $F = 11.568, p = 0.001, \eta^2 = 0.147$ ; 汉语数字:  $F = 7.498, p = 0.008, \eta^2 = 0.101$ )还是非符号刺激(点阵数字:  $F = 6.985, p = 0.010, \eta^2 = 0.094$ ; 实物材料:  $F = 7.781, p = 0.007, \eta^2 = 0.104$ ), DD 组均明显不及正常对照组。在完成时间上, 两组之间的差异主要表现在符号材料中(阿拉伯数字:  $F = 4.972, p = 0.029, \eta^2 = 0.069$ ; 汉语数字:  $F = 7.155, p = 0.009, \eta^2 = 0.096$ ), 而非符号材料(点阵数字:  $F = 3.791, p = 0.056, \eta^2 = 0.054$ ; 实物材料:  $F = 1.528, p = 0.221, \eta^2 = 0.022$ )中的差异则并不明显。其余主效应及交互效应均不显著。

以材料类型(4 水平: 阿拉伯数字/汉语数字/点阵数字/实物个数)  $\times$  数量大小(2 水平: 小 1~4、大 6~9)为自变量、性别及年级为协变量, 分别对 DD 组和正常组的数据进行重复测量方差分析, 结果表明, 在完成时间上, DD 组中, 材料类型的主效应显著( $F = 4.898, p = 0.006, \eta^2 = 0.123$ ), 进一步的  $t$  检验发现, 汉语数字材料的反应时明显不及阿拉伯数字( $Md = 119.45, p = 0.004$ )与实物材料( $Md = 109.72, p = 0.005$ ); 数量大小的主效应不显著( $F = 0.018, p = 0.895, \eta^2 = 0.001$ ); 材料类型  $\times$  数量大小的交互效应显著( $F = 2.712, p = 0.050, \eta^2 = 0.072$ ), 符号材料中的小数量结果均好于大数量(阿拉伯数字:  $Md = -42.08, p = 0.020$ ; 汉语数字:  $Md = -34.32, p = 0.023$ ), 而非符号材料中则正好相反(点阵:  $Md = 24.00, p = 0.044$ ; 实物:  $Md = 41.73, p = 0.015$ )。正常对照组中, 材料类型主效应不显著( $F = 1.869, p = 0.165, \eta^2 = 0.052$ ), 数量大小主效应边缘显著( $F = 3.475, p = 0.071, \eta^2 = 0.093$ ), 小数量的结果好于大数量( $Md = -25.488, p = 0.071$ ); 材料类型  $\times$  数量大小的交互效应不显著( $F = 0.653, p = 0.569, \eta^2 = 0.019$ )。

另外, 在完成正确数上, DD 组中, 材料类型的主效应显著( $F = 6.264, p = 0.005, \eta^2 = 0.152$ ), 阿拉伯数字材料的结果均显著低于汉语数字( $Md = -0.594, p = 0.009$ )、点阵( $Md = -0.566, p = 0.008$ )和实物材料( $Md = -0.566, p = 0.009$ ), 而其它材料之间的差异则不显著; 同时, 其它主效应和交互效应均不显著。正常对照组中, 不论是主效应还是交互效应都不显著。

### 4. 讨论

在数学学习中, 数的次序(数序)和量值(数量)习得既是个体认识和理解大小、先后等数字关系的基础, 也是掌握和使用加减、乘除等数学规则的前提。作为数认知中的两个基本概念, 数量用来衡量数目的多



少或大小,而数序则代表数的先后次序。Wynn 指出,儿童在学习背诵数字序列时,先理解数的顺序概念,而后才发展出对数字数量意义理解的能力,表明儿童的数序和数量理解能力的发展并不同步,二者可能处于不同的时期或阶段,属于两种不同的表征系统[12]。实际生活中,数序和数量一样,其数的意义既可以采用符号(如阿拉伯数字、言语数字)形式予以表达,也可以借助非符号(如点阵、实物)方式进行标识。以往有关不同刺激材料影响 DD 儿童数认知的研究主要集中于数量的表征、加工和执行等方面,李小溪等人发现,DD 儿童不论在符号材料(如阿拉伯数字)还是非符号(如点阵)材料的数量加工,以及两种材料间转换任务中,均表现出明显的基本数量加工缺陷[16],但也有些研究表明 DD 儿童在非符号数量加工中,与普通儿童之间并不存在显著差异[7]。本研究中,不论是符号(阿拉伯数字、汉语小写数字)材料还是非符号(点阵数字、实物个数)材料,DD 儿童数序判断的反应准确性均明显不及正常对照组儿童;而反应时指标上,DD 儿童只在符号材料上与正常儿童之间存在显著差异,非符号材料上的差异则不明显,反映出不同的刺激材料对 DD 儿童数序判断的最终结果产生了不同的影响。究其原因,可能与本研究的任务要求及儿童对材料的熟悉程度有关。实验中尽管我们采用了四类刺激材料,但对中高年级的小学生来说,不同材料的熟悉程度是不一样的:一般来说,阿拉伯数字是他们最熟悉的内容,其次是汉语小写数字,而点阵与实物一类的非符号材料虽然并不陌生,但在儿童的日常数学学习中已很少遇见,其熟悉程度显然不及阿拉伯数字和汉语数字材料。同时,由于实验任务要求儿童在进行按键反应时,尽量做到又准又快。如此一来,当遇到不太熟悉的刺激时,正常对照组儿童为了保证较高的反应准确性,在“反应时-准确性”权衡的影响下,不得不放慢自己的按键速度,而这种反应时上的延迟自然会缩小与 DD 儿童之间的差异,导致在不熟悉的非符号材料上出现了差异不显著现象。另外,数量加工中的距离效应表明,刺激材料的数值大小(或多少)对个体的认知加工有显著作用,一个数字与距离它近的数字相比较时,其反应时比距离远的数字要长。数字距离效应不仅在数量和数序比较任务中被发现,而且在数字、线段长度、点阵、字母表等不同实验材料中都得到证实[12]。本研究中,不论是符号材料还是非符号材料,正常对照组儿童均表现出较明显的数字距离效应,但 DD 儿童仅在阿拉伯材料中出现了这种距离效应。位置编码模型认为,当一个神经元对某一个数字作最大程度的反应时,对其邻近数字的反应会随着距离的增加而减弱。同时,当比较刺激的量值大小越接近目标刺激时,将增大二者之间的分辨难度。本研究中的数序判断任务涉及多种刺激材料,儿童在进行判断时先要有效识别刺激材料的具体量值大小,然后再作出前后顺序的比较并决策(按键反应),其整个加工过程往往涉及人的持续注意、工作记忆、执行功能等多种认知能力的调动与运用。DD 儿童由于在注意保持、短时记忆、执行功能、信息刷新等方面存在较大不足[17],在面对难度逐渐加大的刺激材料(汉语数字、点阵及实物)比较任务时,无法保持应有的持续性、稳定性和执行力,导致难以出现明显的数字距离效应。因此,为了改善 DD 儿童的数序认知水平,在完善现行小学数学课堂教学的基础上,尽力提升这些儿童的注意、记忆、思维等方面的基本心理素质水平,增强对不同刺激、不同难度下的适应性是十分必要的。数序认知与数量认知是儿童数概念学习中的重要内容,其发展水平高低对儿童数学知识的掌握和运用有着直接的影响。本研究从刺激材料类型及数量两方面对发展性计算障碍儿童的数序判断进行考察,尽管发现这些 DD 儿童在数序认知上存在诸多不足,但这些不足究竟与 DD 儿童的注意、执行功能、决策以及脑神经活动等方面的关系如何;数序认知缺陷对 DD 儿童正常的学校课堂学习产生了哪些现实阻碍,本研究均未予以更深入的探查与阐释。发展性计算障碍的认知问题涉及行为、认知、神经机制等多因素的作用,因此,今后还需要从生理与心理、先天与习得等多方面进行广泛的了解。

## 5. 结论

与正常对照组儿童相比,不论是符号刺激还是非符号刺激,DD 儿童数序判断的反应准确性均明显偏

低；刺激材料的性质和数量对 DD 儿童数序判断的距离效应产生干扰作用。

## 致谢

感谢湖南省教育厅基金项目(21A0065)和湖南师范大学博士基金启动项目(20120101)的支持。

## 参考文献

- [1] 张树东, 董奇. 发展性计算障碍的诊断与矫治[J]. 中国特殊教育, 2004(2): 21-25.
- [2] Glikzman, Y. and Henik, A. (2018) Conceptual Size in Developmental Dyscalculia and Dyslexia. *Neuropsychology*, **32**, 190-198. <https://doi.org/10.1037/neu0000432>
- [3] Bugden, S. and Ansari, D. (2016) Probing the Nature of Deficits in the ‘Approximate Number System’ in Children with Persistent Developmental Dyscalculia. *Developmental Science*, **19**, 817-833. <https://doi.org/10.1111/desc.12324>
- [4] Devine, A., Hill, F., Carey, E. and Szűcs, D. (2018) Cognitive and Emotional Math Problems Largely Dissociate: Prevalence of Developmental Dyscalculia and Mathematics Anxiety. *Journal of Educational Psychology*, **110**, 431-444. <https://doi.org/10.1037/edu0000222>
- [5] Butterworth, B. (1999) *The Mathematical Brain*. Macmillan, London.
- [6] Landerl, K., Bevan, A. and Butterworth, B. (2004) Developmental Dyscalculia and Basic Numerical Capacities: A Study of 8-9-Year-Old Students. *Cognition*, **93**, 99-125. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.11.004>
- [7] Rousselle, L. and Noël, M.P. (2007) Basic Numerical Skills in Children with Mathematics Learning Disabilities: A Comparison of Symbolic vs Non-Symbolic Number Magnitude Processing. *Cognition*, **102**, 361-395. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.01.005>
- [8] Cañizares, D., Crespo, V. and Alemañy, E. (2012) Symbolic and Non-Symbolic Number Magnitude Processing in Children with Developmental Dyscalculia. *The Spanish Journal of Psychology*, **15**, 952-966. [https://doi.org/10.5209/rev\\_SJOP.2012.v15.n3.39387](https://doi.org/10.5209/rev_SJOP.2012.v15.n3.39387)
- [9] 张丽, 蒋慧, 赵立. 发展性计算障碍儿童的数量转换缺陷[J]. 心理科学, 2018, 41(2): 337-343.
- [10] Brannon, E.M. (2001) The Development of Ordinal Numerical Competence in Young Children. *Cognition Psychology*, **43**, 53-81. <https://doi.org/10.1006/cogp.2001.0756>
- [11] Kuhl, U., Sobotta, S., Consortium, L. and Skeide, M.A. (2021) Mathematical Learning Deficits Originate in Early Childhood from Atypical Development of a Frontoparietal Brain Network. *PLOS Biology*, **19**, e3001407. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001407>
- [12] 高航, 周路平. 数序认知的特征及神经机制[J]. 临床神经电生理学杂志, 2007, 25(17): 61-64.
- [13] Wiese, H. (2003) *Numbers Language and the Human Mind*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [14] 孙霁, 孙沛. 发展性计算障碍成年人数量加工机制的实验研究[J]. 中国特殊教育, 2019(6): 56-62
- [15] 范晓玲, 龚耀先. 4-6 年级多重成就测验的编制[J]. 中国临床心理学杂志, 2005, 13(3): 253-257
- [16] 李小溪, 杨佳欣, 路浩, 王芳, 赵晖. 发展性计算障碍的基本数量加工缺陷及一般认知特征[J]. 中国特殊教育, 2015(8): 56-63.
- [17] Lee, M.R., Ashkenazi, S., Chen, T., Young, C.B., Geary, D.C. and Menon, V. (2015) Brain Hyper-Connectivity and Operation-Specific Deficits during Arithmetic Problem Solving in Children with Developmental Dyscalculia. *Developmental Science*, **18**, 351-372. <https://doi.org/10.1111/desc.12216>