

小学高年级数学障碍儿童解答算术应用题的眼动研究

卢佳^{1,2}, 周丽清², 俞佳¹

(1.温州大学教师教育学院, 浙江 温州 300325; 2.杭州师范大学教科院, 浙江 杭州 310000)

【摘要】 目的: 探查数学障碍儿童解答应用题的规律。方法: 采用自编数学应用题(难度分简单、一般)对小学 5、6 年级学生(数学障碍组、数学障碍阅读障碍共生组和平常组)进行眼动实验。结果: ①无论是列式成绩还是眼动指标, 不同难度差异显著。②MD 儿童在观察时间、瞳孔直径、注视点持续时间和兴趣区总注视时间指标上接近平常儿童组, 并显著好于 MDRD 儿童。结论: MD 儿童主要是数学能力不足, MDRD 儿童主要是阅读能力不足。

【关键词】 数学学习障碍; 阅读障碍; 算术应用题; 眼动; 小学生

中图分类号: R395.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3611(2012)05-0631-04

Eye Movement During Solving Arithmetic Word Problems of Children with Mathematics Disabilities

LU Jia, ZHOU Li-qing, YU Jia

Institute of Teacher Education, Wenzhou University, Wenzhou 325035, China

【Abstract】 **Objective:** To explore the way that how children with mathematics disabilities solve arithmetic word problem. **Methods:** An eye movement test was administered to 32 students from fifth and sixth grade. The subjects were divided into three group: MD group, MDRD group and control group. The degree of difficulty in the test had two level: easy and normal. **Results:** ①There were significant differences between easy level and normal level in both the performance of solving arithmetic word problems and eye movement indicator. ②The MD group's performance was near to the normal group and better than the MDRD group significantly in observation length, pupil diameter, fixation duration and fixation duration in AOL. **Conclusion:** MD children is the lack of mathematical ability, the MDRD children is the lack of reading ability.

【Key words】 Mathematics disabilities; Reading disabilities; The type of mathematics Disabilities; Eye-movement

数学障碍(Mathematics Disability, MD)是学习障碍(learning disabilities)的一种,是指与数学学习有关的能力或技能的缺损而导致学生数学学习成绩明显落后于同年龄或同年级儿童的现象。MD 与阅读障碍(Reading Disabilities, RD)共生的现象很普遍, Ackerman 等研究发现 RD 与 MD 的共生率高达 80%^[1], Geary 等则认为二者的共生率只是高于 50%^[2,3]。尽管 MD 与 RDMD 应属于不同的亚类型,但大多数研究者在研究 MD 儿童与正常儿童应用题解决过程中的差异时,没有将二者区分开。

Hallahan 等的研究表明, MD 儿童与 MDRD 儿童的数学应用题解题行为表现并不一样。例如:当测验有时间限制时, MD 儿童和 MDRD 儿童在简单应用题上所犯的误差差不多;但是当测验没有时间限制时, MD 儿童犯的误差要比 MDRD 儿童少,他们的成绩接近一般学生的水平^[4]。因此,结合 RD 来考察 MD 儿童,对于更清楚地考察小学 MD 儿童解答应用题的特征,拓展对 MD 儿童的认识是十分必要的。

以往对于数学问题解决的研究多采用口语报告法或问卷法,这些方法多少会干扰儿童的实际解题

过程,因此有很大的局限性。眼动方法能较好的克服这些方法的局限性,因为眼动本身就是问题解决过程中的一部分,它不需要被试做任何附加的努力或训练,因此不会引起问题解决过程的混乱。将眼动分析方法应用于阅读研究领域,已经取得了丰硕的研究成果。国外也有越来越多的研究者将此方法应用于数学解题过程的研究。Hegarty 等人基于 Mayer 的理论,借助眼动仪做了精密的实验研究,分析了大学生解一致问题(如“比……多”用加法计算)和不一致问题(如“比……多”用减法计算)的不同过程^[5]。冯虹、阴国恩等人对小学阶段不同年级学生解比较应用题过程中的解题指标和眼动指标进行分析,结果表明:随着年级的增高,学生解题过程中的各种眼动指标之间的差异逐渐缩小;解题时数学成绩优生与差生的眼动模式差异显著,解一致性不同题目时的眼动指标差异显著^[6]。但总的来说国内对数学解题过程的眼动研究还比较少。本研究通过把小学 5、6 年级儿童分为 MD 组、MDRD 组和控制组,自编不同难度的算术应用题,记录每组被试的眼动数据来考察他们解答算术应用题时的认知特点和差异。

1 对象与方法

1.1 被试

通过以下标准进行被试的筛选:①智商标准:对学生施测《瑞文标准推理测试》,剔除所占常模百分等级大于 95%及小于 5%的学生,即选取智力平常儿童。②RD 标准:对筛选出的智力正常儿童施测杨双编制的《标准化阅读水平测验》,定义所占常模百分等级小于 5 的学生为阅读障碍儿童。③MD 标准:依据数学期末考试成绩,选取年级排名后 10%的学生,并通过访谈班主任和任课老师,排除那些可能因为情绪问题、家庭教养问题等因素导致成绩落后的学生,剩余的确定为数学障碍儿童(RD 百分等级大于 5)。④视敏度标准:裸视视力或矫正视力在 1.0 以上。

依据上述筛选标准,在温州市茶山第一小学高年级学生中筛选出的被试组成情况如表 1 所示(已经剔除了眼动数据记录质量低于 80%的被试)。

表 1 被试组成情况

	MD 组	MDRD 组	控制组	总和
五年级	5	6	4	15
六年级	7	6	4	17
总和	12	12	8	32

1.2 实验仪器

实验采用瑞典 Tobii1750 眼动仪。其中用于呈现刺激材料的显示器分辨率为 1024×768。此外,还有一台计算机用于主试监控和记录实验数据以及一个鼠标用于被试者的反应。

1.3 实验材料

结合温州一所普通小学 5、6 年级所使用的数学教材(人教版)自编 35 道算术应用题对该校高年级学生 92 人和 3 名小学数学老师进行测试(题目只要求列出算式,不需要算出结果),并同时要求他们对题目的难易程度做出评定:简单、一般、困难。因为 MD 儿童数学成绩原本就不好,为了避免出现地板效应,根据每一题的正确率和评定结果排除了难度为“困难”的题目,只选取 3 道难度一般与 5 道难度为简单的应用题,制作成背景、字体大小、行间距均一致的实验图片材料。其中,2 道简单难度的应用题作为练习材料,其余六道题作为正式实验材料。所有题目编排在一张 A4 纸上作为一份测验卷。

1.4 实验设计

采用 3(学生类型:MD 组、MDRD 组以及控制组)×2(题目难度:简单、一般)的混合设计。因变量为被试的应用题列式成绩及眼动指标。

1.5 实验程序

实验中有三名主试,一名操作眼动仪以及宣读指导语;一名监控实验过程与实验环境,记录被试是否按正确步骤进行实验;另一名负责被试的实验后测试。每次对一名被试进行施测。

第一步,将被试领进实验室,让其端坐在显示器前的椅子上,调整椅子高度以及与显示器之间的距离,手放在鼠标上,简要说明有关眼动实验的要求;第二步,进行定标过程;第三步,向被试宣读指导语,待被试回答准备好后,呈现练习材料,进行练习。在过程中及时给予指导,让被试熟悉与明确实验步骤;然后对被试的表现进行评估,决定进入正式实验还是再做一次练习;第四步,宣读指导语,进行正式实验。第五步,正式实验结束后,带领被试到另一房间,呈现应用题测验卷,让被试重新将算式写出来。

1.6 数据采集与处理

运用瑞典 Tobii 公司 Tobii Studio 眼动仪配套软件采集数据,并运用 SPSS13.0 进行描述统计和重复测量多因素方差分析。

2 结果

2.1 三组被试解答应用题的列式成绩

列式成绩的计分方法:每道题的分值为 6 分,完全正确得 6 分,完全错误得 0 分;可以两步计算的应用题,一步正确得 3 分;可以三步列式的应用题,一步正确得 2 分,二步正确得 4 分;将每道应用题的列式得分相加作为列式成绩。

方差分析发现组别变量主效应显著, $F=30.67(2,30),P<0.01$;题目难度变量主效应显著, $F=92.46(1,30),P<0.01$;组别与题目难度之间交互作用不显著。多重比较结果显示 MD 组与 MDRD 组之间无显著差异,控制组成绩显著好于 MD 组和 MDRD 组。

表 2 三组被试的应用题列式成绩

	题目难度	
	简单	一般
MD组	13.25 ± 4.33	3.92 ± 2.15
MDRD组	11.25 ± 4.27	1.42 ± 2.15
控制组	18.00 ± 0.00	12.50 ± 5.24

2.2 三组被试的眼动指标

选取观察时间(Observation Length)、瞳孔直径(Pupil Diameter)、注视点持续时间(Fixation Duration)、不同兴趣区(The area of interest,AOI)注视时间四个眼动指标进行统计,其中观察时间是指从开始呈现刺激到被试点击鼠标之间的时间长度;注视

点持续时间是指每个注视点的平均注视停留时间;兴趣区是指研究者所关注的被试对刺激的注视区域。实验中划分了两组兴趣区:数字组与关键词组。“数字组”是指具体的数值;“关键词组”是指与解题密切相关的词,如“一星期”、“比……多”、“提早”等。结果见表 3。

以观察时间为因变量,方差分析发现组别变量主效应显著, $F=3.48(2,30),P<0.05$;题目难度变量主效应显著, $F=7.90(1,30),P=0.01$;组别与题目难度之间交互作用不显著, $F=0.08(2,30),P=0.93>0.05$ 。多重比较结果显示 MD 组与控制组之间无显著差异,MDRD 组的观察时间显著大于 MD 组和控制组。

以瞳孔直径为因变量,方差分析发现组别变量主效应显著, $F=9.20(2,30),P<0.01$;题目难度变量主效应显著, $F=13.16(1,30),P<0.01$;组别和题目难度之间交互作用显著, $F=6.20(2,30),P<0.01$ 。简单效应检验发现,MDRD 组在不同难度时的瞳孔直径没有差别且都显著大于 MD 组和控制组,控制组在简

单难度时瞳孔直径最小,在一般难度时,两组差异不显著。

以注视点持续时间为因变量,方差分析发现组别变量主效应显著, $F=4.16(2,30),P<0.05$;题目难度变量主效应显著, $F=42.19(1,30),P<0.01$;组别和题目难度之间交互作用显著, $F=8.35(2,30),P<0.01$ 。简单效应检验发现,简单难度时,MDRD 组的注视点持续时间显著大于控制组和 MD 组,而在一般难度时,三组差异不显著。

分别以数字区的注视时间和关键词区的注视时间为因变量,方差分析发现组别变量在前者中主效应显著, $F=5.38(2,30),P<0.05$,在后者中主效应不显著, $F=3.01(2,30),P=0.07$;题目难度变量在两种条件下主效应都显著, $F=38.15(1,30),P<0.001,F=29.77(1,30),P<0.001$ 。组别与题目难度交互作用均不显著, $F=0.32(2,30),P=0.73,F=1.15(2,30),P=0.24$ 。多重比较发现,MD 组与控制组在数字区的注视时间无显著差异,MDRD 组的注视时间显著大于控制组和 MD 组。

表 3 三组被试眼动指标

	MD 组		MDRD 组		控制组	
	简单	一般	简单	一般	简单	一般
观察时间(s)	17.36 ± 6.35	27.79 ± 15.50	29.44 ± 20.59	42.69 ± 59.94	16.55 ± 12.68	26.32 ± 36.78
瞳孔直径(mm)	4.08 ± 0.43	4.18 ± 0.40	4.65 ± 0.17	4.65 ± 0.30	3.84 ± 0.38	4.24 ± 0.58
注视点持续时间(ms)	0.42 ± 0.27	0.37 ± 0.26	0.90 ± 0.37	0.41 ± 0.23	0.71 ± 0.20	0.28 ± 0.09
不同兴趣区注视时间						
数字区(ms)	16.64 ± 5.30	32.71 ± 10.96	26.21 ± 8.73	38.14 ± 10.19	17.35 ± 6.74	32.09 ± 10.11
关键词区(ms)	2.16 ± 0.84	4.75 ± 1.93	2.08 ± 0.74	3.68 ± 3.21	2.91 ± 1.70	6.64 ± 3.49

3 讨 论

Hallahan 等人的研究表明,当测验没有时间限制时,MD 儿童犯的错误要比 MDRD 儿童少,他们的成绩接近普通学生的水平^[4]。本实验的结果与此刚好相反,MD 和 MDRD 组之间的得分无显著差异,并且均明显低于控制组的得分。原因可能来自两方面,一是被试的动机不高。大多数被试是由于老师的指示来参与实验,且实验结果并不影响他们在现实中的数学成绩,也不会将结果反馈给家长。因此他们在实验过程中可能倾向于追求速度而不是准确性。二是题目难度。评定难度的被试与参与实验的被试不是来自同一所学校,因此可能评定上存在一定误差,尽管排除了高难度的题目,仍有可能让两组 MD 儿童认为题目偏难。

观察时间是研究被试认知加工速度的一个定量指标。表 3 结果表明,MD 儿童的解题时间与普通儿

童的解题时间无显著差异,并且显著少于 MDRD 儿童的观察时间。这说明 MD 儿童的认知加工速度接近一般儿童,而 MDRD 儿童的认知加工速度较慢。

瞳孔直径是个体心理负荷的敏感指标,它会随着心理努力的程度而变化。在加工难度较大的材料时,瞳孔直径会相应的变大;而在加工比较容易的材料时,由于心理负荷小,瞳孔直径则不会变化。表 3 结果表明,随着难度的增加,认知加工的紧张程度升高,被试的瞳孔直径也都相应变大。而面对相同难度的题目时,MD 儿童与正常儿童的瞳孔直径无显著差异,并且都显著小于 MDRD 儿童的瞳孔直径,说明面对同一认知加工任务,MDRD 儿童的认知加工紧张度和心理负荷更大,他们要比 MD 儿童以及正常儿童更难完成任务。

注视点持续时间反映了认知过程中对于信息提取的难易程度,持续时间越长意味着获取信息越困难。表 3 结果表明,MDRD 儿童在应用题上的注视点

持续时间显著大于 MD 儿童。说明对于同一加工材料,MD 儿童能够更容易的从中提取信息,而 MDRD 儿童则需要更多的时间和更多的努力才能够对信息进行提取。一般来说,题目难度越大,被试就越难从题目中提取信息以用于之后的认知加工过程,但实验结果刚好相反,被试在简单难度上的注视点持续时间明显大于在一般难度上的时间。这个结果确实很难解释,也许跟被试动机有关,也许跟不同难度题目长度差异有关,也许跟注意力有关,需要进一步实验来确认。

兴趣区内的总注视时间是被试对兴趣区是否感兴趣以及感兴趣程度的一个标志。被试越感兴趣,兴趣区域内被注视的时间就越多;被试越觉得兴趣区中的内容重要,对于兴趣区注视的时间就越长。实验结果显示,在数字兴趣区内,MD 组与控制组的总注视时间无显著差异,而 MDRD 组的总注视时间则显著大于 MD 组;在关键词兴趣区,三组儿童之间均无显著性差异。

Mayer 认为数学应用题表征中存在两种基本的策略,即直接转换策略和问题模型策略。前者对工作记忆的要求很低,也不依赖问题解决者对于问题类型的知识多少,但当问题描述的情境信息与解题方法相关时,直接转换往往导致错误的答案,这是由于使用直接转换的方法并不能准确表达问题情境^[7]。结合实验结果和前人的研究,可以推断 MDRD 儿童的数学问题表征能力较差,他们在解答算术应用题的过程中采用的是直接转换策略,花了很多时间关注数字,孤立地对数字信息进行加工,抓不住问题中的关键信息及其关系变化,因此对于数字的加工缺乏有效性。这一结果和 Hegarty^[8]、Montague^[9]以及路海东等^[10]研究结果是一致的。

一般儿童面对数学应用题时,基本上能运用问题模型策略,他们首先试图理解问题情境,正确建立起关键词与数字之间的联系,然后再根据情境表征制定解题计划。表 3 结果显示,MD 组在兴趣区的观察时间、注视点持续时间及总关注时间均与控制组相近。因此推断 MD 儿童已经具有了一定的运用问题模型策略解决数学应用题的能力。但是,他们仍然表现出数学障碍,究其原因可能有两方面。一方面,他们缺乏适当的问题表征方式,如胥兴春的研究显示,MD 儿童的问题表征类型单一^[11];郑琳娜的研究发现,MD 儿童都倾向采用语词表征或图画表征,对关系表征和图式表征的应用频数较低。另一方面,MD 儿童还不能熟练区别与运用各种类型的表征方

式,因此在解题过程中不能正确选用适宜的表征,而采用不利于应用题解决的表征方式^[12]。

总的来说,阅读能力明显制约着 MDRD 儿童解答数学应用题的表现。而 MD 儿童虽然在眼动指标上表现与控制组儿童相近,但是列式成绩却显著低于控制组儿童,表明制约他们解答数学应用题的关键是数学能力的缺失。因此对待两类 MD 儿童应该采取不同的措施,对于 MDRD 儿童,当务之急是提高阅读能力,而对于 MD 儿童则应该直接对数学能力加以训练。

参 考 文 献

- 1 Ackerman PT, Anhalt JM, Dykman RA. Arithmetic automatization failure in children with attention and reading disorders: Associations and sequela. *Journal of Learning Disabilities*, 1986, 19: 222-232
- 2 Geary DC, Hoardm MK, Hamson CO. Numerical and arithmetical cognition: Patterns of functions and deficits in children at risk for mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1999, 74: 213-239
- 3 Geary DC, Hamson CO, Hoard MK. Numerical and arithmetical cognition: A longitudinal study of process and concept deficits in children with learning disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2000, 77: 236-263
- 4 Hallahan DP, Lloyd JW, Kauffman JM, Weiss M, Martinez EA. *Learning disabilities: Foundations, characteristics, and effective teaching*. Boston: Allyn and Bacon, 2005
- 5 Hegarty M, Mayer RE, Green C. Comprehension of arithmetic word problems: evidence from students' eye fixations. *Journal of Educational Psychology*, 1992, 84(1): 76-84
- 6 冯虹,阴国恩,安蓉. 比较应用题解题过程的眼动研究. *心理科学*, 2007, 30(1): 37-40
- 7 Hegarty M, Mayer RE, Monk CA. Comprehension of arithmetic word problems: a comparison of successful and unsuccessful problem solvers. *Journal of Educational Psychology*, 1995, 87(1): 18-32
- 8 Hegarty M, Kozhevnikov M. Type of visual-spatial representations and mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 1999, 4: 184-189
- 9 Montague M, Warger C, Morgan T. Solve it! Strategy instruction to improve mathematical problem solving. *Learning Disabilities Research and Practice*, 2000, 15: 110-116
- 10 路海东,董妍. 小学生表征数学应用题策略的研究. *心理发展与教育*, 2003, 19(1): 60-63
- 11 胥兴春,刘电芝. 问题表征方式与数学问题解决的研究. *心理科学进展*, 2002, 10(3): 264-269
- 12 郑琳娜. 小学生数学应用题表征类型对问题解决影响的实验研究. 辽宁师范大学博士研究生学位论文, 2007

(收稿日期:2012-03-08)