

# 不同亚型数学学习障碍儿童的执行功能对数学基本能力的影响

张妍<sup>1</sup>, 钟思嘉<sup>1</sup>, 郝春东<sup>2</sup>, 刘春梅<sup>3</sup>, 蔡丽<sup>1</sup>, 韩雪<sup>1</sup>

(1.哈尔滨工程大学人文社会科学学院, 哈尔滨 150001; 2.黑龙江大学教育学院, 哈尔滨 150080; 3.哈尔滨学院教育科学学院, 哈尔滨 150086)

**【摘要】 目的:** 探讨不同亚型数学学习障碍儿童的执行功能对数学基本能力的影响。**方法:** 采用中国小学生数学基本能力测试量表测试数学运算和逻辑思维与空间-视觉功能; 采用汉诺塔、Stroop 字色干扰测验、WCST 考查执行功能。**结果:** ①混合型 MD 的数学总分和数学运算成绩不仅低于对照组, 且低于单纯型 MD。②影响数学运算的指标: 词测验时间、字义干扰测验时间、字义干扰错误数和颜色干扰错误数; 影响逻辑思维与空间-视觉的指标: 移动 3 个圆盘时间、完成分类次数、字义干扰测验时间、色测验错误数。③MD 儿童普遍存在抑制控制能力缺陷及认知转换、策略提取和维持能力缺陷; 混合型 MD 还存在汉字-语音加工速度和计划能力缺陷。这些缺陷是造成 MD 儿童数学基本能力缺损的部分原因。**结论:** 混合型 MD 数学基本能力受损更严重。不同亚型 MD 的执行功能缺陷及数学基本能力缺损的原因存在差异。

**【关键词】** 亚型; 数学学习障碍; 执行功能; 数学基本能力

中图分类号: R395.2 文献标识码: A 文章编号: 1005-3611(2013)06-0959-04

## Executive Function in Children with Mathematics Disorder of Different Subtypes and Its Effect on Basic Mathematical Abilities

ZHANG Yan, ZHONG Si-jia, HAO Chun-dong, LIU Chun-mei, CAI Li, HAN Xue

College of Humanities and Social Sciences, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

**【Abstract】 Objective:** To explore the effect of executive function on basic mathematical abilities in children with mathematics disorder subtypes. **Methods:** We used Chinese rating scale of pupil's basic mathematical abilities to evaluate basic mathematical abilities, and used the tower of hanoi test, the stroop test and the wisconsin card sorting test to evaluate executive function. **Results:** ① Mathematics total score and mathematical operation score in RD/MD group was not only lower than those of the control group, but also lower than those of MD group. ② The impact indicators of mathematical operation score included words test time, Chinese meaning interference test time, Chinese meaning interference errors and color interference errors. The impact indicators of logical thinking and spatial-visual function score included the time of moving three disc, number of finishing classification times, Chinese meaning interference test time and color test errors. ③ There were generally deficits of suppression control, cognitive transformation, strategy extracting and maintaining capacity in MD Children. In addition, Chinese-phonological processing speed and ability of planning were also impaired in children with RD/MD. These defects may account for the basic mathematical abilities defects in MD children. **Conclusion:** Basic mathematical abilities defects in RD/MD children are worst. The reason for executive function defects and basic mathematical disabilities in MD and RD/MD children may be different.

**【Key words】** Subtypes; Mathematics disorder; Executive Function; Basic mathematical abilities

儿童数学学习障碍(mathematics disorder, MD)主要表现为智商正常,在受到正常教育的前提下,依然数学学习成绩低下,难以掌握数学知识与技能,甚至不能理解最基本的数量关系。该问题已引起心理学、教育学、精神医学等多学科研究者的极大关注。根据 MD 是否伴有阅读障碍(reading disabilities, RD),

研究者又将其细分为单纯型 MD 和混合型 MD(reading and mathematics disorder, RD/MD)两种亚型。目前关于 MD 的绝大多数研究是将 MD 作为一个聚类群体去研究<sup>[1-5]</sup>,而对于单纯型 MD 和混合型 MD 这两类亚型极少进行分型研究<sup>[6]</sup>,这无疑会影响研究结论的准确性、可靠性和研究结果的一致性。

儿童 MD 的发病机制比较复杂,涉及多项认知成分和心理过程,其中执行功能对 MD 的影响日益引起人们的重视。执行功能是一种控制所有其他认知活动的元认知过程,具体包括警觉、处理新异信

**【基金项目】** 教育部人文社会科学研究青年基金项目(10YJCX-LX061);中央高校基本科研业务费专项资金自由探索计划项目(HEUCF20101314)

通讯作者:张妍, E-mail: happyzhang666@163.com

息、抑制无关信息、计划和策略的实施、行为监控、运用反馈对行为进行调节等。已有研究发现,MD儿童存在执行功能缺陷<sup>[7-11]</sup>。但不同亚型MD儿童的执行功能缺陷是否存在差异?执行功能与各种数学基本能力有何关系?不同亚型MD儿童的数学基本能力缺陷及其内在发病机制是否有所不同?上述问题的研究对于探明不同亚型MD的发病机制,并制定有针对性的教育和干预措施具有重要现实意义。但目前,此类研究仍极为罕见,故本课题组对此进行了初步探索。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

采用分层随机抽样方法,在哈尔滨市经济文化发展水平不同的三个地区各抽取一所小学,再采用整群抽样方法,对这三所小学2~4年级共2364名学生进行调查。参考美国精神障碍诊断与统计手册(DSM-IV-TR)、全美学习障碍协会(NJCLD,1988)制定的MD定义,分别制定单纯型MD组、混合型MD组(RD/MD)及正常对照组的入组标准如下:

1.1.1 单纯型MD组 ①至少连续两学期数学成绩居全年级统考最下端第10百分位及以下,而语文成绩居于年级第30百分位及以上;②班主任及任课教师对其数学学习能力评定为“差”,而汉语阅读能力评定为“中等及以上”;③联合型瑞文智力测验的总智商 $\geq 70$ ,以排除由智力障碍引起的LD;④无视听觉障碍、精神疾病、明显器质性脑损伤及其他严重躯体疾病。同时具备上述条件者确定为MD儿童。

1.1.2 混合型MD组 ①连续两学期语文与数学成绩均居全年级统考最下端第10百分位及以下;②班主任及任课教师对其评价为数学与汉语阅读能力双差生;③其他同MD组。

1.1.3 正常对照组 选取非学习障碍儿童作为对照组。选取原则请详见本课题组此前于本刊发表的文章《不同亚型学习障碍儿童的执行功能特点》<sup>[11]</sup>。

根据上述标准进行筛选,且经被试及家长知情同意,最后参加本研究的单纯型MD儿童46人(男生26人,女生20人),混合型MD儿童59人(男生38人,女生21人),正常对照组163人(男生101人,女生62人)。

### 1.2 工具

1.2.1 数学基本能力测试 该测试采用根据德国海德堡大学编制的《小学生数学基本能力测试量表》修订的《中国小学生数学基本能力测试量表》。该测试

包括数学运算、逻辑思维与空间-视觉功能两个分量表,共12个分测试。其中抄写数字为热身试题,主要是让学生掌握测试方法,适应测试的气氛;数学运算分量表由加法、减法、乘法、除法、填空、大小比较6个分测试组成,用于评定学生的数学概念、运算速度及计算的准确性;逻辑思维与空间-视觉功能分量表由续写数字、目测长度、方块记数、图形记数、数字连接5个分测试组成,用于评定学生的数学逻辑思维、规律识别、空间立体思维、视觉跟踪能力。由所有的分测试(抄写数字除外)组成总分量表。该测试具有较好的信度和效度<sup>[12]</sup>。

1.2.2 执行功能测试 分别进行汉诺塔测验、Stroop字色干扰测验、威斯康星卡片分类测验(Wisconsin card sorting test, WCST)。具体测试方法详见前述已发文章<sup>[11]</sup>。

### 1.3 测试方法

对所有主试进行专门培训,并在正式实验前进行预实验,使主试充分熟悉测试方法及相关注意事项。正式实验在安静的教室里进行。数学基本能力测试采用团体施测。执行功能测试均按照统一的指导语进行一对一的施测,并均按照汉诺塔——stroop——WCST的顺序测试,以减少被试与测试顺序之间的交互作用引起的误差。被试在正式测试前均做几次练习,充分理解后再进行正式测试。每个测试完成后稍作休息,以减少疲劳效应。

## 2 结果

### 2.1 数学基本能力测试结果比较

对不同亚型MD组与对照组的数学基本能力测试结果通过LSD检验进行两两比较。由表1可见,单纯型MD组及混合型MD组的总量表分、数学运算、逻辑思维与空间-视觉功能分值均低于对照组,且混合型MD组的总量表分、数学运算分值均低于单纯型MD组,差别具有统计学意义。

表1 各组数学能力测试结果比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

数学基本能力	MD①	RD/MD②	对照组③	F值	两两比较 $P < 0.01$
总量表分	54.31 $\pm$ 6.05	50.42 $\pm$ 5.07	61.10 $\pm$ 5.10	43.157**	①、②<③, ②<①
数学运算	58.43 $\pm$ 8.16	52.85 $\pm$ 7.03	65.56 $\pm$ 5.85	37.602**	①、②<③, ②<①
逻辑思维与空间-视觉	49.37 $\pm$ 6.05	47.50 $\pm$ 5.05	55.76 $\pm$ 5.94	23.951**	①、②<③

注: \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.001$ , 下同。

### 2.2 执行功能对数学基本能力的影响

为进一步探讨执行功能对数学基本能力的具体影响,分别以全体被试的数学运算成绩、逻辑思维与空间-视觉功能测验成绩为因变量,以各项执行功能测试指标为自变量,进行多元逐步回归分析(入选标

准 $\alpha=0.05$ ,剔除标准 $\beta=0.1$ )。结果如表2所示,由 $\beta$ 系数可知,对数学运算能力有显著影响的指标按照作用大小依次排序为词测验时间、字义干扰测验时间、字义干扰错误数和颜色干扰错误数。对逻辑思维与空间-视觉有显著影响的指标按照作用大小依

次排序为移动3个圆盘时间、完成分类次数、字义干扰测验时间、色测验错误数。

执行功能测试的全部结果请详见本课题组之前所发文章<sup>[11]</sup>。在表2中附上影响数学基本能力的几项执行功能指标测试结果比较。

表2 执行功能对数学基本能力的影响及其测试结果( $\bar{x}\pm s$ )比较

因变量	进入回归方程的变量	单纯型MD①	混合型MD②	对照组③	两两比较 $P<0.05$	B	$\beta$	$t$	Adjusted R <sup>2</sup>	F
数学运算	词测验时间	61.67±15.53	69.02±14.93**	58.26±29.99	③<②	-0.167	-0.283	-3.893	0.318	23.546***
	字义干扰测验时间	185.95±51.50*	208.25±43.86**	166.62±49.82	③<①、②,①<②	-0.035	-0.210	-2.820		
	字义干扰错误数	3.81±3.72	7.12±5.53**	2.81±3.16	③<②,①<②	-0.329	-0.167	-2.468		
	颜色干扰错误数	1.27±1.87	1.98±2.13**	0.81±1.86	③<②	-0.839	-0.161	-2.463		
逻辑思维与 空间-视觉	移动3个圆盘时间	66.36±49.27	86.94±56.68	62.03±59.81	③<②	-0.020	-0.163	-2.388	0.217	13.153***
	完成分类次数	3.96±1.77*	3.67±1.84**	4.85±1.49	③>①、②	1.098	0.274	3.845		
	字义干扰测验时间	185.95±51.50*	208.25±43.86**	166.62±49.82	③<①、②,①<②	-0.018	-0.143	-1.967		
	色测验错误数	2.63±3.49*	3.28±2.54**	1.19±1.99	③<①、②	-0.512	-0.171	-2.302		

### 3 讨 论

本研究结果显示,混合型MD组的数学总成绩不仅低于对照组,且低于单纯型MD组,表明其数学基本能力受损更为严重,应引起更多的关注。并且,两组MD间的数学基本能力差异主要体现在数学运算能力上,混合型MD组的数学运算能力极差,受损较单纯型MD组更加明显,这是导致其数学总成绩低于单纯型MD组的主要原因。

多元回归结果显示,影响数学运算能力的指标包括词测验时间、字义干扰测验时间、字义干扰错误数和颜色干扰错误数。通过决定系数 $R^2$ 可知,上述指标可预测数学运算能力总变异的31.8%。这些指标均来自于Stroop字色干扰测验,其中词测验时间可反映被试的汉字-语音加工速度,另外三项指标主要反映被试的抑制控制能力。本研究结果提示,加工速度和抑制控制能力是影响儿童数学运算能力的重要因素。

对于单纯型MD儿童而言,在影响数学运算能力的四个指标中,仅有字义干扰测验时间一项低于正常对照组,其他指标均与正常对照组无统计学差异。这说明单纯型MD儿童并不存在明显的汉字-语音加工速度缺陷,导致其数学运算能力缺损的原因不是加工速度能力,而是由于抑制控制能力缺陷等其他因素。但对于混合型MD而言,其影响数学运算能力的四个指标全部低于正常对照组,并且字义干扰测验时间、字义干扰错误数两项指标还低于单纯型MD组,说明导致其数学运算能力缺损的主要原因既与加工速度慢有关,同时也与严重的抑制控制能力缺陷有关。

可见,抑制控制能力缺陷是导致单纯型MD和混合型MD数学运算能力差的共同原因。国外也有

研究<sup>[13]</sup>表明,MD儿童在抑制控制方面普遍有缺陷。首先表现为控制性注意功能差。MD儿童在面临复杂任务,需要分配注意时,不能有效的使用协调策略,合理分配注意资源;其次,抑制能力差,不能很好抑制无关信息干扰。蔡丹等<sup>[5]</sup>研究也发现MD的执行系统缺损主要是对抗干扰的能力不足,这种对抗干扰的能力就是注意控制能力和抑制能力。因此,在对不同亚型MD进行预防和干预时,提高其抑制控制能力都是值得关注的重要方面。

信息加工速度是思维、智力等能力的一个关键成分,是反映认知发展能力变化的一般性因子<sup>[14]</sup>。加工速度对于MD是否存在影响,目前的研究结论仍存在分歧。如蔡丹等<sup>[5]</sup>研究发现,MD在中央执行系统中的缺损主要是抗干扰能力不足,并非简单的加工速度;王恩国等<sup>[4]</sup>发现MD儿童在加工速度方面存在明显的不足,但加工速度不能解释其与正常对照组在数学学习困难上的差异。但是,周世杰等<sup>[8]</sup>研究则发现加工速度是解释MD儿童心算能力低下的重要因素之一;刘昌等<sup>[7]</sup>研究也认为,较差的语音加工速度可能是引起MD的深层次原因之一。上述研究结论产生分歧的原因,除研究工具的因素外,还应考虑研究对象的异质性及所测数学能力的差异性等。本研究显示,不同亚型MD儿童的缺陷不同,研究结果不能一概而论,如混合型MD儿童存在汉字-语音加工速度缺陷,此缺陷是导致其数学运算能力缺损的特异性因素,但是该缺陷无法解释其逻辑思维与空间-视觉能力缺损;而单纯型MD儿童则不存在汉字-加工速度缺陷。因此,今后宜对MD进行分型研究,并对不同数学基本能力进行细化研究,才更有助于探究不同亚型MD的发病机制,并制定有针对性的干预措施,这将是未来MD研究的必然趋势。



本研究结果显示,影响逻辑思维与空间-视觉功能的指标包括移动3个圆盘时间、完成分类次数、字义干扰测验时间、色测验错误数,上述指标可预测逻辑思维与空间-视觉功能总变异的21.7%。其中移动3个圆盘时间是汉诺塔测验中的一个指标,主要测查执行功能中的计划能力。完成分类次数是威斯康星卡片分类测验中的一项指标,是反映执行功能中认知转换、策略提取与维持的综合性指标。字义干扰测验时间和色测验错误数是Stroop字色干扰测验中的两项指标,字义干扰测验时间主要反映被试在认知颜色时,抑制汉字对颜色的干扰能力;色测验错误数主要反映对颜色的认知准确度。本研究结果提示,执行功能中的计划、认知转换、策略提取、维持和抗干扰能力以及对颜色的认知能力会影响数学基本能力中的逻辑思维与空间-视觉功能。

对于单纯型MD儿童而言,在影响逻辑思维与空间-视觉能力的四个指标中,除移动3个圆盘时间与正常对照组无统计学差异外,其他三个指标均逊于对照组。说明其逻辑思维与空间-视觉能力缺损的主要原因不是计划能力缺陷,而是前述其他执行功能及颜色认知能力缺陷。对于混合型MD而言,其影响逻辑思维与空间-视觉能力的四个指标全部低于正常对照组,说明导致其逻辑思维与空间-视觉能力缺损的原因与前述包括计划能力在内的多种执行功能缺陷及颜色认知能力缺陷有关。

本研究结果提示,对于不同亚型MD儿童的逻辑思维与空间-视觉能力缺陷,可以从上述执行功能及颜色认知功能角度着手进行有的放矢地干预。如对于存在颜色认知能力缺陷的MD儿童,可以尝试通过色彩训练来刺激儿童眼内的锥状细胞,形成视觉影像,促进儿童右脑的空间想象能力,从而促进其相关的空间-视觉能力的发展。此外,应该特别注重对MD儿童的认知转换、策略提取和维持能力,尤其是抗干扰能力等执行功能的训练。对于混合型MD儿童,还应该有意识地提高其计划能力。上述能力的提高对于矫正MD儿童的逻辑思维与空间-视觉能力缺陷,进而提高数学成绩将起到积极作用。

综上所述,不同亚型MD儿童的数学基本能力受损情况有所不同,其执行功能缺陷及发病机制也存在某些差异。因此,在未来的教育及干预中,应有

针对性地对其采取相应措施,才能取得更好的矫治效果。

#### 参 考 文 献

- 1 蔡丹,李其维,邓赐平. 数学学习困难初中生的记忆广度特点. 心理科学, 2011, 34(5): 1085-1089
- 2 Raghubar KP, Cirino P, Barnes MA, et al. Errors in multi-digit arithmetic and behavioral inattention in children with math difficulties. Journal of Learning Disabilities, 2009, 42: 356-371
- 3 Geary DC, Hoard MK, Byrd-Craven J, et al. Strategy choices in simple and complex addition: Contributions of working memory and counting knowledge for children with mathematical disability. Journal of Experimental Child Psychology, 2004, 88: 121-151
- 4 王恩国,刘昌,赵国祥. 数学学习困难儿童的加工速度与工作记忆. 心理科学, 2008, 31(4): 856-860
- 5 蔡丹,李其维,邓赐平. 数学学习困难初中生的中央执行系统特点. 心理科学, 2011, 34(2): 361-366
- 6 卢佳,周丽清,俞佳. 小学高年级数学障碍儿童解答算术应用题的眼动研究. 中国临床心理学杂志, 2012, 20(5): 631-634
- 7 周世杰,杨娟,张拉艳,等. 数学障碍儿童的工作记忆研究. 中国临床心理学杂志, 2006, 14(4): 352-354
- 8 周世杰,杨娟,张拉艳. 工作记忆、执行功能、加工速度与数学障碍儿童推理和心算能力的关系. 中国临床心理学杂志, 2006, 14(6): 574-577
- 9 刘昌. 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), 2004, 3: 81-88
- 10 魏勇刚,庞丽娟. 儿童数学认知障碍的执行功能解释. 中国特殊教育, 2007, 7: 57-60
- 11 张妍,刘爱书,张修竹,等. 不同亚型学习障碍儿童的执行功能特点. 中国临床心理学杂志, 2011, 19(6): 769-772
- 12 吴汉荣,李丽. 小学生数学能力测试量表的编制及信效度检验. 中国公共卫生, 2005, 21(4): 473-475
- 13 Passolunghi MC, Siegel LS. Short-term memory, working memory and inhibitory control in children with difficulties in arithmetic problem solving. Journal of Experimental Child Psychology, 2001, 80: 44-51
- 14 Robert K. Speed of information processing: Developmental change and links to intelligence. Journal of School Psychology, 2000, 38(1): 51-61

(收稿日期:2013-06-05)