发展性计算障碍儿童的数量转换缺陷*

张 丽[1] 蒋 慧[1] 赵 立**[2]
（[1]西南大学心理学部，重庆，400715）（[2]西南大学校医院，重庆，400715）

摘 要 本研究拟考察发展性计算障碍儿童的认知缺陷成因。实验 1 要求被试在三种形式 (点 / 点，数 / 数，点 / 数) 下进行数量比较，实验 2 仅将点集替换为汉字数字词。结果表明障碍组和正常组在数 / 数、点 / 数和汉字 / 汉字比较任务上的成绩存在显著差异，而在点 / 点和汉字 / 汉字比较上没有差异。据此推论，计算障碍儿童符号加工能力受到损伤，符号与非符号数量转换能力存在缺陷，但非符号加工能力和不同符号间数量转换没有缺陷，支持语义提取缺陷假设。

关键词 发展性计算障碍 数量比较 语义提取缺陷 符号与非符号数量转换

1 问题提出

发展性计算障碍 (developmental dyscalculia，以下称计算障碍) 是一类特异性学习障碍，它是指排除智力落后和教育无能等因素的影响，儿童在数学加工和计算能力等方面的发展明显落后于同龄人的现象 (张树东 , 董奇 , 2004)，即一般认为计算障碍儿童的数量加工并不受智力影响 (Brankaer, Ghesquière, & De Smedt, 2014)。然而，近来也有研究发现尽管计算障碍儿童智力处于正常范围，仍较正常儿童差 (Landerl, 2013)。因此对于计算障碍儿童来说，智力对其造成的影响仍没有统一的认识。

已有研究对计算障碍的认知成因进行了探讨。观点之一是数字模块缺陷假说，该假说认为人生来具有基本的数量加工和操作数量的能力，这种能力由大脑顶叶的特殊神经环路控制，计算障碍便是这种数量基本加工能力受损引起的 (Butterworth, 1999)。该假说得到了一些研究的支持 (Landerl, Bevan, & Butterworth, 2004; Mazzocco, Feigenson, & Halberda, 2011)。例如，Landerl 等 (2004) 发现计算障碍儿童在数字阅读和命名、数字比较、数字写作、数字序列以及数点任务上表现出损伤，这说明计算障碍儿童无法准确加工数量，不能理解数量的意义，表现出数量表征缺陷。

然而，Butterworth 的观点受到语义提取缺陷假说的挑战。数量有多种表达形式，包括符号 (2、二、two 等) 和非符号 (点集、实物等)。而上述研究任务都与符号的语义信息有关，例如从读、写阿拉伯数字中提取数量信息，并没有同时探究符号与非符号的加工。Rousselle 和 Noël (2007) 发现计算障碍儿童在符号任务上出现缺陷，而非符号任务上没有缺陷，由此提出语义提取缺陷假说，该假说认为计算障碍源自个体在将数字符号转换为基本数量的过程中加工异常，而不是数量加工本身缺陷。该假说也获得了其他研究的支持 (Cañizares, Crespo, & Alemañy, 2012; De Smedt & Gilmore, 2011)。

可以看出，研究者对计算障碍的认知成因仍存在很大争议。因此，本研究的主要目的是检验上述两种假说。具体来讲，首先考察障碍儿童的符号和非符号加工是否存在缺陷，如果符号和非符号加工均有缺陷则支持数字模块缺陷假设，如果仅出现符号加工缺陷则支持语义提取缺陷假说。这与之前研究一致 (Cañizares et al., 2012; De Smedt & Gilmore, 2011; Rousselle & Noël, 2007)。其次，本研究还将考察障碍儿童符号与非符号转换是否存在缺陷。如果符号与非符号转换受损，则说明非符号到符号的通路存在缺陷，也能支持语义提取缺陷假说。以往关于数量转换的文献相对较少 (李小溪 , 杨佳欣 , 路浩 , 王芳 , 赵晖 , 2015; 王芳 , 路浩 , 杨红 , 赵晖 , 2012; Lyons, Ansari, & Beilock, 2012)。Lyons 等 (2012) 发现相对符号比较和非符号比较，符号与非符号比较最慢，因此符号与非符号比较需要额外转换。李小溪等 (2015) 筛查出基本数量加工能力缺陷的计算障碍

* 本研究得到全国教育科学规划教育部青年科学课题“发展性计算障碍儿童的认知缺陷成因”（EBA130367）的资助。
** 通讯作者：赵立。E–mail: lilyking_0717@126.com
DOI:10.16719/j.cnki.1671–6981.20180213

儿童，发现其计算成绩显著低于正常儿童。王芳等(2012) 对障碍儿童进行聚类分析后发现，主要存在非符号加工缺陷型、符号加工缺陷型和符号、非符号转换缺陷型三种子类型。可以看出，上述研究或者没有对障碍儿童的符号与非符号转换能力是否有缺陷进行直接探讨；或者虽然探讨了，但仅使用了阿拉伯数字作为符号材料，而没有考察其他符号，例如汉字数字词与阿拉伯数字的转换是否存在缺陷。

为了回答上述两个问题，本研究设计了两个实验。其中实验 1 让被试在三种情况下 (点 / 点，点 / 数，数 / 数) 进行数量比较，主要考察障碍儿童符号加工、非符号加工以及两者的转换。如果障碍儿童的符号加工存在缺陷，这个缺陷是否存在普遍性？为了回答该问题，我们开展了实验 2。实验 2 与实验 1 一致，仅将点集材料替换为汉字数字词。主要考察障碍儿童符号加工损伤是否具有普遍性 (即汉字数字词加工是否损伤) 及不同符号间 (汉字数字词与阿拉伯数字) 转换能力是否有缺陷。

2 实验 1

实验 1 使用数量比较任务，比较正常儿童和计算障碍儿童在三种条件下 (点 / 点，点 / 数，数 / 数) 的成绩。

2.1 方法

2.1.1 被试

被试分为计算障碍组 (19 名) 和正常组 (26 名)，共计 45 名被试，全部来自江苏省盐城市三所公立小学。

被试筛选所使用的测验有海德堡数学能力测试和韦氏智力测验计算子测验，瑞文智力测验。另外，本研究还使用语文识字测验和小学生识字量测试排除阅读障碍的影响。具体的筛选共进行了两轮 (Peng, Sun, Li, & Tao, 2012; Szucs, Devine, Soltesz, Nobes, & Gabriel, 2013)。在第一轮的筛选中，对三所小学 411 名二年级儿童进行施测，采用瑞文标准推理测验，语文识字测试和海德堡数学能力测试。以整个样本量为参照组，25% 作为临界点 (Peng et al., 2012)，将识字测验处于前 75%，海德堡数学能力测验处于后 25% 的 58 人定义为潜在障碍组，并随机筛选出正常组 26 人 (识字测验和海德堡数学能力测验都处于前 75%)。这 83 个儿童的瑞文标准推理测验分数均大于 90。第二轮采用韦氏智力测验计算子测验和小学生识字量测验对上述 83 名儿童进行施测。以第一轮中 26 名正常儿童作为参照组，从潜在障碍组中确定障碍组 19 人 (识字量处于前 75%，计算测验处于后 25%)。

2.1.2 实验设计

实验为 2(分组：障碍组、正常组) × 3(刺激形式：点 / 点、点 / 数、数 / 数) × 2(数值距离：大距离、小距离) 混合设计，其中分组是组间变量，刺激形式和数值距离是组内变量。

2.1.3 任务和程序

实验程序改编自 Lyons 等 (2012)，采用 E-Prime 1.0 编制。实验按刺激形式不同共分为 3 块，每块 24 试次。每个试次具体过程如下：刺激呈现前先呈现“+”注视点 600ms，接着呈现一个数字或点集材料 150ms，700ms 的空屏间隔后再呈现另外一个数字或点集材料。最后呈现黑色空屏，让被试按键反应，被试需要判断先后呈现的刺激 (数字或点集) 哪个表征的数量更大，“F”键表示先呈现的数量大，“J”键表示后呈现的数量大。4000ms 后被试还没反应，则自动进入下一试次。实验中记录被试的反应时和正确率。

在正式实验之前，进行 12 试次练习，以确保被试明白规则及熟悉按键。实验开始时会提示被试接下来呈现的是三种刺激形式中的哪一种。

2.2 结果和分析

为保证正确率和反应时的分析都是有价值的，

表 1 人口统计学变量和被试筛选表

	障碍组 (*n*=19)			正常组 (*n*=26)			*t* 值
	n	*M*	*SD*	*n*	*M*	*SD*	
年龄(月)		95.47	3.84		95.64	3.65	.153
女性	11			13			
瑞文推理测验		111.53	12.20		123.18	8.42	3.88**
语文识字测试		59.84	17.51		67.32	15.76	1.53
海德堡数学测验		71.84	8.74		107.86	8.14	14.45**
小学生识字量测试		964.27	144.74		1042.40	141.46	1.84
计算		11.21	3.84		19.39	3.05	8.13**

注：** $p < .01$

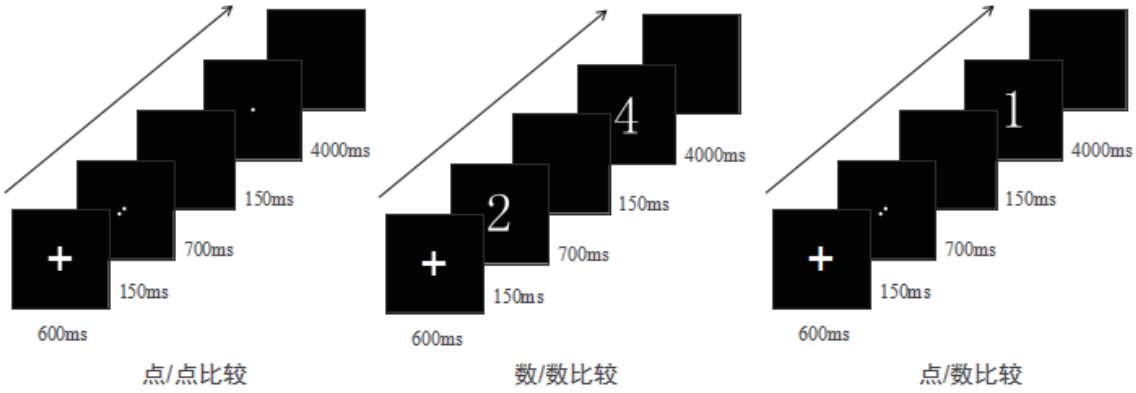


图 1　实验 1 流程图

首先检验速度—准确率权衡现象，结果发现r = -.148，p > .05，说明没有速度—准确率权衡，随后进行了正确率和反应时的分析。反应时分析过程为：首先删除错误反应的试次数 (占 34.78%)，然后再删除 200ms 以下的试次数 (占 10.52%)，最后删除 3 个标准差以外的试次数 (占 1.30%)。最后由于缺失值太多 (占 81.9% ~ 98.6%)，筛选出来的被试删掉了障碍组 4 个和正常组 1 个。对余下 40 名被试的正确率和反应时进行 2(分组) × 3(刺激形式) × 2(数值距离) 重复测量方差分析，结果如下。

正确率的分析结果表明，刺激形式主效应显著，$F(2, 37) = 13.35, p < .001, \eta^2 = .44$。事后检验表明，数数比较的正确率高于其余两组，且其余两组无差异。其余效应均不显著，ps > .05。结果说明儿童对数字符号加工比非符号加工更精确。

反应时的分析结果表明，被试分组主效应显著，

表 2　实验 1 正确率和反应时的描述性统计量

		点/点				点/数				数/数			
		大距离		小距离		大距离		小距离		大距离		小距离	
		M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
正确率(%)	障碍组	69	24	66	17	65	22	66	18	78	25	75	23
	正常组	72	24	67	23	73	22	70	20	78	23	78	28
反应时	障碍组	975	535	895	444	1074	341	1218	429	845	333	997	402
(ms)	正常组	810	420	772	324	870	484	792	269	730	245	723	270

$F(1, 38) = 5.87, p < .05, \eta^2 = .14$；刺激形式主效应显著 $F(2, 37) = 4.38, p < .05, \eta^2 = .21$；数值距离主效应不显著，$p$ = .60。被试分组和刺激形式交互作用边缘显著，$F(2, 37) = 2.60, p = .08, \eta^2 = .02$。进一步简单效应检验表明，交互作用来源于两方面：(1) 点数比较时组间差异显著，$F(1, 38) = 11.80, p < .005$，数数比较时组间差异边缘显著，$F(1, 38) = 3.34, p$ = .07，障碍组的反应时均比正常组长，而点点比较时组间差异不显著，p = .345；(2) 障碍组三种比较形式之间差异显著，$F(2, 76) = 5.09, p < .05$，事后检验表明，点数比较的反应时长于其余两组且其余两组无差异，而正常组三种比较形式之间差异不显著，p = .233。这说明障碍儿童与正常儿童相比在阿拉伯数字加工和阿拉伯数字与点集数量转换上表现更差，而点集加工没有差异。其余效应均不显著，ps > .05。

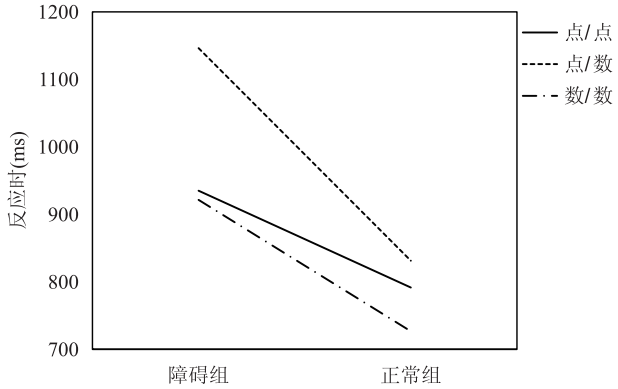


图 2　实验 1 反应时分组与刺激形式的交互作用

由于被试筛选过程中发现智力因素的组间差异显著，所以再将智力因素作为协变量，对正确率和反应时进行 2(分组) × 3(刺激形式) × 2(数值距离) 重复测量方差分析。结果发现，正确率上，数值距离和刺激形式交互作用显著，$F(2, 36) = 3.52, p < .05, \eta^2 = .16$，进一步简单效应分析表明，大距离时，数

数比较的正确率显著高于点点比较和点数比较；小距离时，数数比较的正确率也高于点点比较和点数比较。可以发现，无论是距离大小，数数比较都更加准确，而没有发现组间效应，说明智力因素减弱了组间差异。反应时结果均不显著，*ps* > .05。

3 实验 2

实验 1 正确率的分析结果表明，点集加工比阿拉伯数字加工差。更重要的是，反应时的分析表明数数比较时障碍组的反应比正常组慢，点集比较时却没有差异，说明符号确实影响了障碍儿童数量加工能力。而且，点数比较时也出现了障碍组反应更慢的情况，这说明障碍组儿童在符号与非符号的转换上也存在缺陷。为考察障碍儿童符号加工损伤是否具有普遍性及不同符号间转换能力是否有缺陷，实验 2 将实验 1 中的点集材料替换为汉字数字词材料。

3.1 方法

3.1.1 被试

被试同实验 1。

3.1.2 实验设计

实验设计同实验 1，唯一不同的是实验 1 中的点集材料变为了汉字数字词材料。

3.1.3 任务和程序

同实验 1。实验 2 在实验 1 间隔一段休息时间后进行。实验流程如图 3 所示。

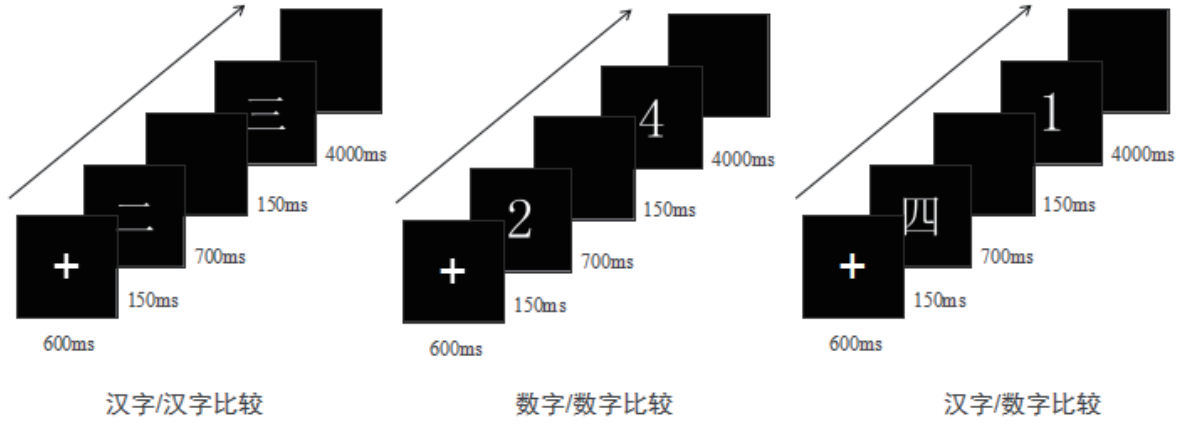


图 3 实验 2 流程图

3.2 结果和分析

实验 2 有 1 个正常组被试未完成实验。与实验 1 一致，首先检验速度—准确率权衡，$r = -.119, p > .05$，说明没有速度—准确率权衡，随后进行了正确率和反应时的分析。反应时分析过程同实验 1。其中错误反应的试次数占 30.00%，200ms 以下的试次占 10.16%，3 个标准差以外的试次占 1.58%。最后由于缺失值太多 (占 69.4% ~ 98.6%)，筛选出来的被试删掉了障碍组 5 个正常组 1 个。对余下 38 名被试的正确率和反应时进行 2(分组) × 3(刺激形式) × 2(数值距离) 重复测量方差分析。

正确率的分析表明，被试分组、刺激形式和数值距离的交互作用边缘显著，$F(2, 35) = 2.84, p = .073, \eta^2 = .15$。进一步简单效应分析表明，汉字 / 汉字比较时障碍组反向距离效应显著，$F(1, 36) = 4.78, p < .05$，大距离的正确率更低；数字 / 数字比较时障碍组距离效应显著，$F(1, 36) = 4.26, p < .05$，大距离的正确率更高，这表明相对于汉字数字词，障碍儿

表 3 实验 2 正确率和反应时的描述性统计表

		汉字/汉字				汉字/数字				数字/数字			
		大距离		小距离		大距离		小距离		大距离		小距离	
		M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
正确率	障碍组	71	21	78	21	78	16	74	19	77	24	71	27
（%）	正常组	78	25	78	27	78	23	78	20	80	25	82	21
反应时	障碍组	876	329	874	355	1064	380	838	290	939	477	854	199
(ms)	正常组	900	304	696	296	805	318	895	334	770	306	797	330

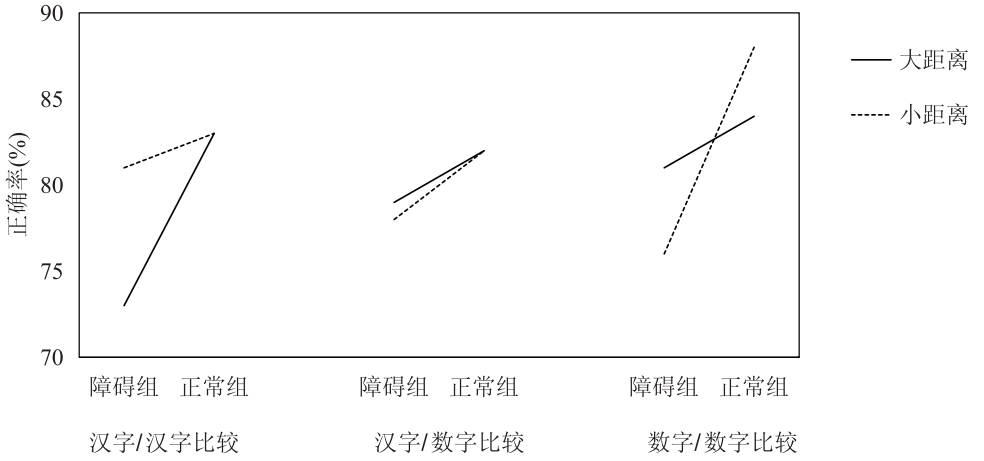


图 4　实验 2 正确率分组、刺激形式和距离的交互作用

童对阿拉伯数字的熟悉程度更高，加工也更自动化；数字 / 数字小距离比较时组间差异边缘显著，$F(1, 36) = 3.89, p = .057$，障碍组的正确率更低。数字加工时正常组比障碍组更精确，这体现在小距离情况下正常组仍能保持较高的正确率。其余效应均不显著，$ps > .05$。

反应时的分析表明，数值距离主效应显著，$F(1, 36) = 7.62, p < .01$, $\eta^2 = .18$，被试分组和数值距离交互作用显著，$F(1, 36) = 4.20, p < .05$, $\eta^2 = .113$。进一步简单效应分析表明，交互作用来源于障碍组反向距离效应显著，$F(1, 36) = 7.38, p < .05$，大距离下反应时更长正常组距离效应不显著，$p = .328$。虽然出现了异常的距离效应，但是障碍儿童的反应仍不如正常儿童精确。其余效应均不显著，$ps > .05$。

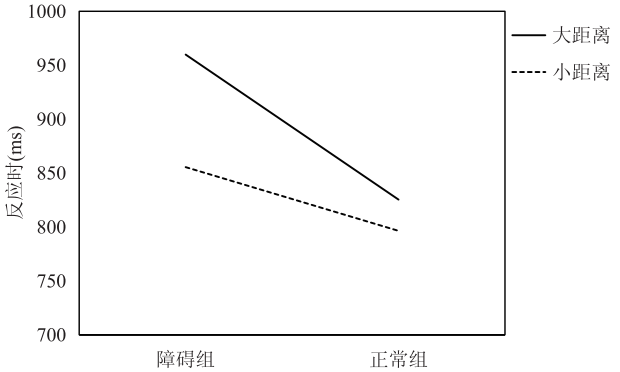


图 5　实验 2 反应时分组与距离的交互作用

与实验 1 一致，将智力作为协变量，对正确率和反应时进行 2(被试分组) × 3(刺激形式) × 2(数值距离) 重复测量方差分析。结果均不显著，$ps > .05$。

4　讨论

本研究利用数量比较任务探讨计算障碍儿童数量加工困难是源于数字模块缺陷还是语义提取缺陷。实验 1 发现计算障碍儿童数 / 数比较和点 / 数比较都有缺陷，但是点 / 点比较与正常儿童无差异；实验 2 也发现障碍儿童和正常儿童在数 / 数比较和汉字 / 汉字比较加工有差异，而汉字 / 数字转换无差异。这说明障碍儿童符号加工、符号与非符号转换有缺陷，但是非符号加工、不同符号间转换完好，支持了语义提取假说。

首先，实验 1 正确率的结果说明儿童非符号加工的表现比符号加工差，这个结果和 Lyons 等 (2012) 一致。这可能是因为个体对数字的熟悉程度远高于点集，所以数字加工也更容易。此外，反应时的分析表明障碍组符号加工和转换的时间都比正常组长，但是非符号比较没有差异，这进一步说明计算障碍儿童不仅符号加工有缺陷，符号与非符号转换也有损伤，但非符号加工完好。这支持了语义提取缺陷假说 (Cañizares et al., 2012; De Smedt & Gilmore, 2011; Rousselle & Noël, 2007)。以往也有研究发现符号加工与数学成就之间相关显著 (De Smedt, Verschaffel, & Ghesquière, 2009; Holloway, & Ansari, 2009)，这表明符号加工不仅对正常儿童的数学学习有重要作用，也是计算障碍重要影响因素。

其次，实验 2 利用汉字数字词与阿拉伯数字进行比较，探讨计算障碍儿童汉字数字词加工及其与阿拉伯数字词转换是否存在缺陷。综合结果发现计算障碍儿童汉字数字词和阿拉伯数字加工都比正常组差，说明两种符号加工都出现损伤。而两种数字符号间的转换，计算障碍儿童没有表现出缺陷。值得注意的是，结果中出现了不一致的距离效应。这可能与个体对阿拉伯数字和汉字数字词的熟悉程度和加工方式差异有关。儿童对汉字熟悉程度较低，

加工倾向于机械背诵，因此汉字数字词比较时并不能直接提取事实，仍需进行序列搜索，导致反向距离效应 (陈秋永 , 2014)。事实上，前人对于距离效应的研究结论也存在不一致之处 (De Smedt, Noël, Gilmore, & Ansari, 2013)，究其原因可能是实验条件控制不一致，比如数字范围、刺激呈现时间等，也可能是随被试年龄的变化距离效应随之变化。

最后，本研究中障碍儿童智力处于正常范围，但与正常儿童相比仍有差异，这体现出被试筛选过程的规范与严格 (占 4.6%)。一般认为智力因素不是计算障碍的成因 (张树东 , 董奇 , 2004)，但近来越来越多的研究开始关注到智力因素在其中的作用。例如，Bartelet, Ansari, Vaessen 和 Blomert (2014) 对 226 名计算障碍儿童进行聚类研究，发现其中一种类型为智力缺陷型。并且智力也会影响个体的数学成就 (Primi, Ferrão, & Almeida, 2010)。显然，智力对计算障碍教育矫正和数学学习有重要意义。

与以往研究相比，本研究存在的不足主要有以下两点。其一，本研究仅关注小学二年级的计算障碍儿童，没有涉及其纵向发展。Mazzocco 和 Räsänen (2013) 发现大约有三分之一的计算障碍儿童在诊断的几年后发展成为正常儿童。未来的研究应更关注其纵向发展轨迹。其二，本研究对智力因素的控制尚有不足。但这也说明个体智力和其他一般认知能力对计算障碍仍有重要影响。未来研究中不仅应重视基本数量加工能力的发展，也要观察其一般认知能力的发展，对计算障碍进行综合诊断评估。

综上，本研究结果支持了语义提取缺陷假说。事实上，越来越多的研究都证明符号加工能力对数学学习有重要作用。纵向研究发现儿童 6 岁时的数字符号知识能准确预测 11 个月后的计算能力 (Göbel, Watson, Lervåg, & Hulme, 2014)，并且尽管非符号和符号加工能力都与数学成就相关，但是符号加工与数学成就的关系更紧密 (Fazio, Bailey, Thompson, & Siegler, 2014)。这些研究都提示对计算障碍的干预更应从理解符号意义入手，尤其是对低年级儿童，在认识符号的基础上，更应强调符号表征的数量信息。

参考文献

陈秋永 . (2014). *中文数词数量和顺序加工的神经机制研究* . 苏州大学硕士学位论文 .

李小溪 , 杨佳欣 , 路浩 , 王芳 , 赵晖 . (2015). 发展性计算障碍的基本数量加工缺陷及一般认知特征 . *中国特殊教育* , *8*, 56–63.

王芳 , 路浩 , 杨红 , 赵晖 . (2012). 发展性计算障碍子类型探析 . *第十五届全国心理学学术会议论文摘要集* , *广州* .

张树东 , 董奇 . (2004). 发展性计算障碍的诊断与矫治 . *中国特殊教育* , *2*, 22–26.

Bartelet, D., Ansari, D., Vaessen, A., & Blomert, L. (2014). Cognitive subtypes of mathematics learning difficulties in primary education. *Research in Developmental Disabilities, 35(3),* 657–670.

Brankaer, C., Ghesquière, P., & De Smedt, B. (2014). Numerical magnitude processing deficits in children with mathematical difficulties are independent of intelligence. *Research in Developmental Disabilities, 35(11),* 2603–2613.

Butterworth, B. (1999). *The mathematical brain.* London: Macmillan.

Cañizares, D., Crespo, V., & Alemañy, E. (2012). Symbolic and non–symbolic number magnitude processing in children with developmental dyscalculia. *The Spanish Journal of Psychology, 15(3),* 952–966.

De Smedt, B., & Gilmore, C. K. (2011). Defective number module or impaired access? Numerical magnitude processing in first graders with mathematical difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology, 108(2),* 278–292.

De Smedt, B., Noël, M. P., Gilmore, C., & Ansari, D. (2013). How do symbolic and non–symbolic numerical magnitude processing skills relate to individual differences in children's mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Trends in Neuroscience and Education, 2(2),* 48–55.

De Smedt, B., Verschaffel, L., & Ghesquière, P. (2009). The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology, 103(4),* 469–479.

Fazio, L. K., Bailey, D. H., Thompson, C. A., & Siegler, R. S. (2014). Relations of different types of numerical magnitude representations to each other and to mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology, 123,* 53–72.

Göbel, S. M., Watson, S. E., Lervåg, A., & Hulme, C. (2014). Children's arithmetic development: It is number knowledge, not the approximate number sense, that counts. *Psychological Science, 25(3),* 789–798.

Holloway, I. D., & Ansari, D. (2009). Mapping numerical magnitudes onto symbols: The numerical distance effect and individual differences in children's mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology, 103(1),* 17–29.

Landerl, K. (2013). Development of numerical processing in children with typical and dyscalculic arithmetic skills–A longitudinal study. *Frontiers in Psychology, 4*, 459.

Landerl K, Bevan A, & Butterworth B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8–9–year–old students. *Cognition, 93(2),* 99–125.

Lyons, I. M., Ansari, D., & Beilock, S. L. (2012). Symbolic estrangement: Evidence against a strong association between numerical symbols and the quantities they represent. *Journal of Experimental Psychology General, 141(4),* 635–641.

Mazzocco, M. M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Impaired acuity of the approximate number system underlies mathematical learning disability (dyscalculia). *Child Development, 82(4),* 1224–1237.

Mazzocco, M. M. M., & Räsänen, P. (2013). Contributions of longitudinal studies to evolving definitions and knowledge of developmental dyscalculia. *Trends in Neuroscience and Education, 2(2),* 65–73.

Peng, P., Sun, C. Y., Li, B. L., & Tao, S. (2012). Phonological storage and executive function deficits in children with mathematics difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology, 112(4),* 452–466.

Primi, R., Ferrão, M. E., & Almeida, L. S. (2010). Fluid intelligence as a predictor

of learning: A longitudinal multilevel approach applied to math. *Learning and Individual Differences, 20(5),* 446–451.

Rousselle, L., & 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(3),* 361–395.

Szucs, D., Devine, A., Soltesz, F., Nobes, A., & Gabriel, F. (2013). Developmental dyscalculia is related to visuo–spatial memory and inhibition impairment. *Cortex, 49(10),* 2674–2688.

The Impaired Transformation Ability between Symbolic and Non-Symbolic Numerical Magnitude for Developmental Dyscalculia

Zhang Li[1], *Jiang Hui*[1], *Zhao Li*[2]

([1]Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing, 400715)([2]Southwest University Hospital, Chongqing, 400715)

Abstract　Developmental dyscalculia (DD) is a special category of learning disability, with almost 3%-6% school-age children affected in the world. DD children have two basic features: (1) the development of number processing and calculating lags heavily behind normal achievement (NA) children; (2) other cognitive abilities, such as intelligence, verbal ability and working memory, develop well. DD has negative effects on children not only in learning but also in daily life. Children who suffer DD are frustrated a lot when learning mathematics, leading to their negative attitude to mathematics. The relationship between children and their teachers or parents can also be hurt awfully. In addition, DD will influence children's career in the long run.

The cognitive mechanism of DD has sparked some controversy among researchers. The defective number module hypothesis proposed that humans were born with a "number module" and used an internal "numericity code" that represented and manipulated numericities exactly. The children with DD might suffer from a "defective number module" which led to a range of difficulties in learning arithmetic. However, some different voices could also be heard. For example, Roussell found that the Arabic number processing was badly impaired among DD children. At the same time, the non-symbolic number processing kept intact for DD children. Thus, Roussell proposed the access deficit hypothesis, and he insisted that DD children had difficulty in accessing number magnitude from symbols rather than in processing numericity per se.

In the current study, we used a number comparison paradigm to explore the cognitive mechanism of DD. Nineteen second graders with DD and twenty-six NA second graders completed the experiments. In the experiment 1, participants were asked to compare numerical magnitude under three different number formats conditions (non-symbolic, symbolic , mixture of non-symbolic and symbolic). The results showed that symbolic rather than non-symbolic numerical processing was impaired in DD children. Furthermore, the transformation of symbolic and non-symbolic number magnitude was also terribly impaired. In the experiment 2, Chinese characters were used instead of dots materials. We designed this to verify whether (1) Chinese characters processing was damaged among DD children; and (2) The impaired transformation existed in two different symbolic number magnitudes. However, results indicated that a deficit was found in Chinese characters processing and there were no evidences supporting the transformation impairment between Chinese characters and Arabic numbers in DD Children. Therefore, the impaired transformation existed only in symbolic and non-symbolic numbers.

Our results had important implication in both theory and practice for studying DD. Theoretically, the results favored the impaired access deficit hypothesis, based on impaired symbolic number processing ability and intact non-symbolic processing. Meanwhile, for the first time the current study found that the transformation ability between symbolic and non-symbolic number magnitudes of DD children was weakened. Practically, our findings would be beneficial for interventions of DD children. The transformation ability is so important that the curriculum designed for DD children should focus not only on symbolic number processing, but also on how to establish strong connection between non-symbolic and symbolic magnitudes.

Key words　developmental dyscalculia, numerical magnitude processing, the impaired access deficit, the transformation between symbolic and non-symbolic numerical magnitude