

# 孤独症幼儿早期数学能力的结构分化及其认知预测

梁笑<sup>1</sup> 梁晓燕<sup>1</sup> 杨庆丽<sup>2</sup> 李小进<sup>3</sup>

1. 山西大学教育科学学院, 太原;
2. 山西省芮城县党政机关幼儿园, 运城;
3. 山西省芮城县中医医院, 运城

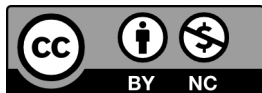
**摘要** | 目的: 在区分正式与非正式数学能力的基础上, 考察数感与一般认知因素对孤独症幼儿早期数学能力的差异化预测作用。方法: 采用6个月追踪设计, 对48名3~6岁孤独症幼儿进行两次测评。基线测量数感、工作记忆与抑制控制, 6个月后测量正式与非正式数学能力, 在控制智力水平后进行分层回归分析。结果: (1) 非正式数学能力与工作记忆 ( $r=0.700, p<0.001$ )、抑制控制 ( $r=0.471, p=0.001$ ) 及数感 ( $r=-0.508, p<0.001$ ) 显著相关; 正式数学能力与工作记忆 ( $r=0.613, p<0.001$ ) 和数感 ( $r=-0.521, p<0.001$ ) 显著相关。(2) 在控制言语智力与操作智力后, 工作记忆 ( $\beta=0.574, p<0.001$ ) 与抑制控制 ( $\beta=0.332, p=0.002$ ) 显著预测非正式数学能力, 而数感预测作用不显著 ( $\beta=-0.218, p=0.054$ ); 在预测正式数学能力时, 工作记忆 ( $\beta=0.377, p=0.017$ ) 与数感 ( $\beta=-0.309, p=0.031$ ) 具有显著独特贡献, 而抑制控制不显著。结论: 孤独症幼儿正式与非正式数学能力在认知预测机制上存在结构分化。非正式数学能力主要依赖一般认知资源的支持, 正式数学能力则体现数感与一般认知因素的协同作用。本研究为孤独症幼儿数学能力的分维度评估与针对性教育干预提供了实证依据。

**关键词** | 孤独症; 早期数学能力; 数感; 工作记忆; 抑制控制; 纵向研究

Copyright © 2026 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## 1 引言

早期数学能力是儿童认知发展的核心领域之一, 也是预测后续学业成就的重要指标 (梁笑等, 2021)。大量纵向研究表明, 学前阶段的数学能力不仅与入学后的数学成绩密切相关, 还与阅读理解、问题解决及

执行功能的发展存在广泛而稳定的联系 (李欢, 彭洁, 2025)。对于孤独症谱系障碍 (Autism Spectrum Disorder, ASD) 儿童而言, 数学能力的获得不仅关系到学业学习本身, 还在很大程度上影响其在融合教育情境中的课堂参与、规则理解与学习适应。学前阶段作为数学概念和数量表征形成的关键时期, 为孤独症儿童提

基金项目: 山西省科技战略研究专项 (202404030401069); 山西省社会科学界联合会科研专项课题 (XQJY202502); 山西省高等学校教学改革创新项目 (J20240073)。

通讯作者: 梁晓燕, 山西大学教育科学学院教授, 研究方向: 青少年发展与教育、社会性评价、网络心理学。

文章引用: 梁笑, 梁晓燕, 杨庆丽, 李小进. (2026). 孤独症幼儿早期数学能力的结构分化及其认知预测. *中国心理学前沿*, 8(3), 239-246.

<https://doi.org/10.35534/pc.0803037>

供了通过结构化学习情境发展基础数学能力的重要窗口 (Leibovich T & Ansari D, 2016)。因此,系统揭示学前儿童数学能力的发展机制,尤其是孤独症等特殊儿童群体的数学发展特点,不仅具有重要的理论意义,也对优化早期教育评估与干预实践具有现实价值。

国外大量研究发现,孤独症儿童数学能力的发展呈现出显著的个体差异和结构不均衡特征 (Wang L et al., 2023)。一方面,部分孤独症儿童在机械计数、算术事实识记等程序性任务中表现出相对优势;另一方面,其在数概念理解、策略迁移和灵活运用方面往往存在困难。这种局部优势、整体受限的数学表现模式提示,孤独症儿童的数学学习和发展并非单一维度,而可能由多种认知成分共同作用。从能力结构角度看,早期数学能力通常被区分为非正式数学能力与正式数学能力 (梁笑等, 2021)。非正式数学能力指儿童在接受系统学校教育之前,通过日常经验自然形成的数学认知,包括口头计数、数序理解、数概念掌握以及借助具体物品解决简单数量问题等;正式数学能力则强调符号性与规则性,主要包括阿拉伯数字识别、数字比较、算术事实和规范化运算。已有研究指出,这两类能力在认知加工路径和发展节律上存在显著差异,但在孤独症幼儿群体中的区分性研究仍相对不足 (Liang X et al., 2022)。

在影响数学能力发展的个体因素中,研究者通常区分领域特异性因素与领域一般性因素。数感作为一种对非符号数量进行近似估计与比较的能力,被视为数量加工的核心系统,是数学能力发展的重要基础 (曹贤才等, 2016)。在典型发展儿童中,数感与后续数学成绩之间存在稳定关联,但这一关系往往通过数量和符号数字映射间接发挥作用 (Schneider M et al., 2016)。然而,在孤独症儿童中,数感与数学能力之间的关系尚未形成一致结论,部分研究发现其预测作用较弱或不稳定 (Fernández-Cobos R et al., 2025)。与数感不同,工作记忆与抑制控制等领域一般性认知资源在数学发展中被认为具有更为广泛的支撑作用。工作记忆通过维持和更新步骤信息,支持计数、运算和问题解决;抑制控制则帮助儿童抑制无关反应,避免重复或错误操作 (李莉等, 2016)。在孤独症儿童中,执行功能发展的个体差异尤为突出,这可能进一步放大一般认知因素在数学任务中的作用。

近年来,国内学者也开始关注孤独症儿童的数学能力发展及其认知基础,但相关研究仍以综述性研究或干预研究为主,基于系统实证数据的机制性研究相对较少 (杨洁等, 2024)。一些初步的实证研究发现,孤独症儿童在基础计算或规则性任务中可能表现出相对优势,但在数概念理解、应用题解决和策略迁移方面存在明显困难;另有研究探讨了执行功能、注意控制等因素与孤独症儿童数学表现之间的关系,初步揭示了一般认知能力的重要作用 (Li X et al., 2024)。然而,现有研究多

聚焦于单一数学指标或单一认知变量,且多采用横断设计,较少从能力结构分化的视角系统考察正式与非正式数学能力的差异机制 (Mou Y et al., 2025)。同时,将数感与执行功能纳入同一模型进行综合比较的研究仍较为有限,相关结论尚未形成整合框架 (Li J et al., 2026)。因此,有必要在区分数学能力维度的基础上,进一步澄清不同认知资源在孤独症幼儿数学发展中的独特与共同作用。

综合既有研究可以发现,尽管国内外已有研究关注孤独症儿童的数学表现及其相关认知因素,但仍存在两个亟待深化的问题:其一,较少在同一研究框架下明确区分正式与非正式数学能力,导致不同研究结果难以整合,也不利于揭示能力结构的分化特征;其二,缺乏在统一模型中同时比较数感与领域一般性认知因素对不同数学能力维度的相对与独特贡献,因而难以明确二者在孤独症幼儿数学发展中的功能分工。基于此,本研究采用为期6个月的追踪设计,在控制言语智力水平的基础上,系统考察数感、工作记忆与抑制控制对3~6岁孤独症幼儿正式与非正式数学能力的差异化预测作用。依据领域特异与领域一般并行发展的双路径理论,并结合孤独症幼儿的认知特点,本研究提出假设:在同时纳入数感与一般认知因素的模型中,非正式数学能力主要依赖一般认知资源的支持,而正式数学能力则体现数感与一般认知因素的协同作用。

## 2 对象和方法

### 2.1 研究对象

本研究从某市两家孤独症康复机构招募3~6岁孤独症幼儿48名(男童28名,女童20名,  $M=4.62$ 岁,  $SD=1.04$ )。所有被试均由三甲医院专科医生依据《精神疾病诊断与统计手册》第五版(DSM-5)诊断标准确诊为孤独症谱系障碍,并经儿童孤独症评定量表(Childhood Autism Rating Scale, CARS)评估,得分均高于30分,达到孤独症诊断标准。

纳入标准为:(1)年龄在3至6岁之间;(2)无明显听力或视力障碍,视力或矫正视力正常;(3)无严重神经系统疾病或脑器质性损伤史;(4)能够理解简单指令并配合完成测试任务。为保证数据质量,对无法完成全部核心任务或中途退出者的数据予以剔除。所有被试在参加研究前,其监护人均签署书面知情同意书。研究方案通过所在高校伦理委员会审批,符合心理学研究伦理规范(批件号: SXULL2025056)。

### 2.2 研究工具

#### 2.2.1 数感

本研究采用Halberda等人(2008)开发的Panamath非符号数量比较任务测量儿童的数感水平 (Halberda J et

al., 2008)。该任务通过计算机呈现两组不同颜色(黄色与蓝色)的圆点阵,要求幼儿判断哪一组数量更多。幼儿以口头方式作答,由主试根据回答进行按键记录(黄色多按“F”键,蓝色多按“J”键)。正式实验共包含152个试次,每个试次中两组圆点数量范围为5~21个。数量比例设置为1.1、1.2、1.3、1.4、1.5、2.4、2.5、2.6共8种难度等级。为控制低层视觉线索的干扰,实验在点阵总面积、凸包大小及空间分布上进行平衡设置,包含一致条件(数量与面积一致)与不一致条件(数量与面积不一致),并平衡大数量点阵的左右位置。每个刺激呈现时间为2000毫秒。程序自动计算出每名被试的韦伯分数(Weber Fraction,  $w$ )作为数感指标。韦伯分数越大,则表明被试的数感越差。该任务已被广泛用于儿童及孤独症群体的数量加工研究,具有良好的信度与结构效度。

### 2.2.2 工作记忆

采用Corsi方块敲击测验(Corsi Block-Tapping Test, CBT)评估视觉空间工作记忆广度(Corsi P M, 1972)。该任务是孤独症儿童工作记忆研究中应用最广泛的工具之一。实验材料为固定排列的9个塑料方块。主试按照预设序列依次敲击方块,被试需按相同顺序复现。任务广度由2逐级递增至9,每一广度包含5组不同序列。当被试在某一广度中正确完成至少3组序列后进入下一广度,直至无法通过标准为止。最终得分为被试能够正确复现的最大序列长度(广度值)。该测验主要反映视觉空间信息的暂时存储与顺序保持能力,具有较高的重测信度,并已在孤独症样本中验证其适用性。

### 2.2.3 抑制控制

采用嵌套规则的白天—黑夜任务测量抑制控制能力(焦小燕等, 2017)。该任务在经典白天黑夜Stroop任务基础上引入嵌套规则与Go/No-Go成分,更适用于学前儿童。任务包含三个阶段:第一阶段为简单命名;第二阶段为反向命名(看到“太阳”说“黑夜”,看到“月亮”说“白天”);第三阶段在反向规则基础上增加嵌套规则,当刺激中出现特定卡通形象时需执行不同规则或保持沉默。每个阶段包含练习试次和正式试次,各类刺激随机呈现。计分方式为正确反应计1分,错误或无反应计0分,最终以正式试次正确率作为抑制控制指标。该任务能够综合评估儿童抑制优势反应和规则转换能力,具有良好的发展敏感性(Wang L et al., 2023)。

### 2.2.4 早期数学能力

采用早期数学能力测验第三版(Test of Early Mathematics Ability-3, TEMA-3)评估儿童的早期数学水平(Ginsburg H & Baroody A J, 2003)。该测验适用于3~8岁儿童,已被广泛用于典型发展与孤独症儿童的数学能力研究。TEMA-3共72题,区分为非正式数学能力(40题)与正式数学能力(32题)两个维度。非正式数

学能力主要评估口头计数、数序理解、数概念掌握及利用具体材料解决简单数量问题等能力;正式数学能力则侧重于阿拉伯数字识别与读写、算术事实以及规范化运算规则的掌握。本研究分别计算两类能力的原始得分进行分析。该测验具有良好的内部一致性和结构效度,能够有效区分不同数学能力维度。

### 2.2.5 言语智力和操作智力

采用韦氏学前及小学初级智力量表第三版(Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence-III, WPPSI-III)评估儿童的言语智力与操作智力(Bullen J C et al., 2020)。该量表适用于2岁6个月至7岁3个月儿童,是当前孤独症儿童智力评估中使用最广泛的工具之一。量表包含10个分测验,通常划分为言语分测验(常识、理解、算术、词汇、相似性)与操作分测验(拼图、几何图形设计、积木设计、迷宫、图画补缺)。本研究分别提取言语智商与操作智商作为控制变量纳入回归模型。该量表具有良好的重测信度与效标关联效度。

## 2.3 研究程序

研究采用纵向追踪设计,所有测验均在康复机构内相对安静、光线适宜的独立测评室中进行,由经过统一培训的心理学研究生担任主试。测试采用一对一形式进行,以减少环境干扰并提高儿童配合度。为避免疲劳效应,每名儿童的T1测评分两次完成,每次约25~35分钟,两次间隔不超过一周。T2测评在一次完成,总时长控制在30分钟以内。测试顺序在不同被试之间进行适度平衡,以降低顺序效应的影响。

在正式测验前,主试均进行标准化练习试次,确保儿童理解任务规则。若儿童在测试过程中出现明显疲劳或情绪波动,主试适当安排短暂休息。所有数据均在当场记录并由两名研究人员进行复核,以保证数据录入的准确性。通过上述程序控制,本研究在施测环境、主试训练、时间安排及顺序平衡等方面进行了系统规范,以提高测量结果的可靠性与内部效度。

### 2.4 统计学处理

采用SPSS 25.0进行统计分析。首先进行描述统计与用Pearson相关分析,其后通过分层回归检验各预测变量的独特贡献。第一步输入言语智力和操作智力作为控制变量,第二步输入工作记忆与抑制控制,第三步输入数感。该策略有助于比较领域一般性与领域特异性因素的相对解释力。所有变量均进行多重共线性检验,结果显示模型满足统计假设。

## 3 结果

### 3.1 描述统计与相关分析

描述统计和相关分析结果如表1所示。相关分析显示,非正式数学能力与工作记忆( $r=0.700$ ,

$p < 0.001$ )、抑制控制 ( $r = 0.471, p = 0.001$ ) 及数感 ( $r = -0.508, p < 0.001$ ) 显著相关。正式数学能力与工作记忆 ( $r = 0.613, p < 0.001$ )、数感 ( $r = -0.521, p < 0.001$ ) 及抑制控制 ( $r = 0.345, p = 0.017$ ) 呈显著相关。

表 1 描述统计与相关分析 ( $N = 48$ )

Table 1 Descriptive statistics and correlation analysis ( $N = 48$ )

变量	$M \pm SD$	1	2	3	4	5	6	7
1. 言语智力	68.48 ± 13.31	—						
2. 操作智力	74.13 ± 21.36	0.615***	—					
3. 抑制控制	3.88 ± 2.91	0.197	0.284	—				
4. 工作记忆	2.58 ± 1.93	0.344*	0.415**	0.296*	—			
5. 数感	1.15 ± 0.71	-0.212	-0.256	-0.141	-0.524***	—		
6. 非正式数学	14.06 ± 9.69	0.103	0.194	0.471**	0.700***	-0.508***	—	
7. 正式数学	3.09 ± 2.55	0.205	0.289	0.345*	0.613***	-0.521***	0.776***	—

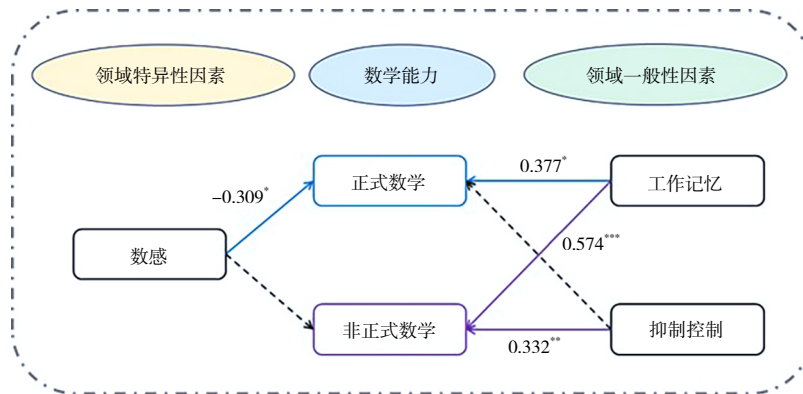
注: \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ 。

### 3.2 分层回归分析

在预测非正式数学能力时, 整体模型显著,  $F(5, 43) = 15.096, p < 0.001, R^2 = 0.665$ , 调整后  $R^2 = 0.621$ 。加入抑制控制和工作记忆后, 模型解释率显著提升 ( $\Delta R^2 = 0.569, p < 0.001$ )。最终模型中, 工作记忆 ( $\beta = 0.574, t = 4.810, p < 0.001$ ) 与抑制控制 ( $\beta = 0.332, t = 3.322, p = 0.002$ ) 均为显著预测因子, 而数感未达到显著水平 ( $\beta = -0.218, p = 0.054$ )。

在预测正式数学能力时, 整体模型显著,  $F(5, 43) = 6.683, p < 0.001, R^2 = 0.468$ , 调整后  $R^2 = 0.398$ 。加入数感后, 模型解释率显著增加 ( $\Delta R^2 = 0.376, p < 0.001$ )。最终模型中, 工作记忆 ( $\beta = 0.377, t = 2.505, p = 0.017$ ) 与数感 ( $\beta = -0.309, t = -2.235, p = 0.031$ ) 为显著预测因子, 而抑制控制不显著 ( $\beta = 0.200, p = 0.121$ )。

如图1所示, 上述结果表明一般认知因素对非正式数学能力的解释力较强, 而数感仅对正式数学能力具有独特预测作用。



注: \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ 。

图 1 分层回归模型图

Figure 1 Hierarchical regression model diagram

## 4 讨论

本研究采用6个月追踪设计, 在区分正式与非正式数学能力的基础上, 系统考察了数感与一般认知因素对3~6岁孤独症幼儿早期数学能力的差异化预测作用。研究表明, 正式数学能力与非正式数学能力在认知预测机制上呈现出清晰分化: 工作记忆在两类数学能力中均具有显著预测作用; 抑制控制仅显著预测非正式数学

能力; 数感则仅对正式数学能力具有独特预测效应。这一结果为理解孤独症幼儿早期数学能力的结构特征与发展机制提供了更为精细的实证证据。

### 4.1 非正式数学能力主要依赖一般认知资源的支持

研究结果显示, 在控制言语智力后, 工作记忆与抑制控制均能显著预测孤独症幼儿的非正式数学能力, 而数感的预测作用未达到显著水平。这一发现与既有关于典型发展儿童的研究结论基本一致, 即非正式数学能力

更多依赖领域一般性认知资源，而非主要依赖数感这一领域特异性数量加工能力。

从任务特征来看，TEMA-3中的非正式数学能力主要涉及口头计数、数字保持、利用具体物品解决简单数量问题等内容。这类任务虽然在表面上与数量相关，但其核心认知要求并非对数量大小的快速感知，而是对信息序列的保持、更新与执行（Bonny J W & Lourenco S F, 2013）。例如，在口头计数或物品分配任务中，儿童需要持续保持数词序列、抑制重复或跳跃计数的冲动，并将当前计数结果与操作对象进行绑定。这一过程高度依赖工作记忆的容量与抑制控制能力（Raghubar K P et al., 2010）。

在孤独症幼儿群体中，上述依赖关系可能更加突出。一方面，孤独症幼儿普遍存在执行功能发展的个体差异，尤其是在工作记忆维持和反应抑制方面表现出不稳定性<sup>[26]</sup>。另一方面，其对社会情境理解和言语语用方面的困难，使得非正式数学任务中隐含的情境信息与操作规则更容易增加认知负荷，从而加剧一般认知资源对非正式数学任务执行表现的限制作用（马姗姗等，2025）。因此，本研究中一般认知因素对非正式数学能力的显著预测效应，可能反映了孤独症幼儿在日常数学活动中执行控制瓶颈的关键作用。

#### 4.2 数感对正式数学能力的选择性预测作用

与非正式数学能力不同，本研究发现，在控制言语智力和一般认知因素后，数感仍能显著预测孤独症幼儿的正式数学能力。这一结果为数感在数学发展中的选择性作用假设提供了直接支持。正式数学能力主要包括阿拉伯数字识别、数字比较以及算术事实等符号化、规则化任务。这类任务的核心要求在于建立稳定的数量—符号映射关系，并准确表征数字之间的大小关系。数感作为一种对非符号数量差异的敏感性指标，被认为是数量和符号数字映射形成的重要基础（Wang L et al., 2021）。已有研究指出，数感并不会直接转化为所有类型的数学能力，而是通过支持符号表征的精确性，从而影响后续的算术加工（Guo L et al., 2021）。

在孤独症幼儿中，数感对正式数学能力的预测作用可能具有更为突出的意义。一方面，孤独症幼儿在程序化、规则明确的任务中往往表现出相对优势（Griffiths A J et al., 2024）。正式数学任务结构清晰、反馈明确，更有利于其利用数量差异敏感性完成加工。另一方面，相较于非正式数学任务，正式数学任务对社会理解与语用推理的依赖较低，从而使数感的作用不易被语言与情境因素所遮蔽（Hawes Z C K et al., 2019）。此外，本研究发现，在预测正式数学能力时，工作记忆与数感均为显著预测因子，表明正式数学能力的发展并非单一因素驱动，而是数量加工与一般认知资源协同作用的结果。这一发现与多成分整合模型的观点一致，即数学能力的发展需要领域特异性加工系统与领域一般性认知资源的动

态配合（Solt é sz F et al., 2010）。

#### 4.3 抑制控制在两类数学能力中的差异化作用

本研究还发现，抑制控制仅在非正式数学能力模型中表现出显著预测作用，而在正式数学能力模型中其效应未达到显著水平。这一结果与部分典型发展研究中发现抑制控制对早期数学能力的贡献存在任务依赖性一致（Bull R & Lee K, 2014）。非正式数学任务往往包含更多潜在干扰，例如在点数或分配任务中，儿童需要抑制对显著物理特征（如物品大小、排列方式）的关注，避免重复计数或遗漏计数（Schneider R M et al., 2021）。因此，抑制控制在此类任务中具有直接作用（Fuhs M W & McNeil N M, 2013）。相比之下，正式数学任务规则明确、刺激结构高度规范，干扰来源较少，对抑制控制的即时需求相对降低，这可能解释了其在正式数学能力中的预测效应减弱。

#### 4.4 研究价值和局限性

综合而言，本研究在区分正式与非正式数学能力的基础上，揭示了孤独症幼儿早期数学发展的结构分化特征及其差异化认知基础。结果表明，不同数学能力维度在认知支持系统上呈现出功能分工：非正式数学能力主要依赖领域一般性认知资源，而正式数学能力则体现出数感与一般认知因素的协同作用。这一发现不仅支持早期数学能力多维结构的观点，也进一步验证了领域特异性与领域一般性因素并行发展的双路径模型在孤独症群体中的适用性。既有研究多基于典型发展样本构建理论框架，本研究将该模型扩展至特殊儿童群体，为理解孤独症幼儿认知发展模式提供了新的实证依据。在实践层面，本研究提示，数学能力评估不宜仅依赖总体分数或单一指标，而应基于能力结构进行分维度分析。对于非正式数学能力相对薄弱的孤独症幼儿，可优先通过强化工作记忆维持、规则保持与抑制干扰等训练提升其执行功能基础；而对于正式数学能力不足的幼儿，则应更加关注数感与符号数量之间的映射训练，帮助其建立稳定而精确的数量表征。基于能力维度差异进行干预，有助于提高教育支持的针对性与有效性。

尽管本研究为理解孤独症幼儿早期数学能力的认知机制提供了有价值的证据，但仍存在若干局限。首先，本研究样本量相对有限，且被试主要来源于同一康复机构，样本代表性与地区多样性仍有待提升。未来研究可通过多中心合作扩大样本规模，并纳入不同教育背景与功能水平的孤独症儿童，以增强结论的稳健性与推广性。其次，本研究采用的测量方式主要为行为指标，尚未从神经或加工层面揭示数感与执行功能在数学发展中的作用机制。后续研究可结合功能性脑成像、事件相关电位或眼动追踪等技术，进一步探讨数量加工与执行控制在孤独症儿童中的神经协同模式。再次，虽然本研究采用了纵向设计，但追踪时间仍相对有限，尚不足以全

面揭示认知因素对数学能力长期发展的持续影响。未来可延长追踪周期,考察数感与执行功能在学龄阶段的预测效应,并探索其与学业成就之间的长期关联。

总体而言,本研究为孤独症幼儿早期数学能力的结构划分与认知机制提供了新的实证支持,也为后续构建更为精细的发展模型奠定了基础。

### 利益冲突和作者贡献说明

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

**作者贡献说明** 梁笑: 研究设计、数据分析与解释、文章撰写、论文修改; 梁晓燕: 研究设计、对文章的知识性内容作批评性审阅、论文修改、经费支持; 杨庆丽: 采集数据、材料支持; 李小进: 采集数据、材料支持。

### 参考文献

- [1] 梁笑, 康静梅, 王丽娟. (2021). 个体近似数量系统与其数学能力之间的关系: 发展研究的证据. *心理科学进展*, 29(5), 827–837.
- [2] 李欢, 彭洁. (2025). 阅读障碍与数学学习障碍共患的研究进展. *中国特殊教育*, (3), 55–64.
- [3] Leibovich T & Ansari D. (2016). The symbol–grounding problem in numerical cognition: A review of theory, evidence, and outstanding questions. *Canadian Journal of Experimental Psychology / Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 70(1), 12.
- [4] Wang L, Liang X, Jiang B & Kang J. (2023). What ability can predict mathematics performance in typically developing preschoolers and those with autism spectrum disorder? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 53(5), 2062–2077.
- [5] Wei X, Zhang S, Zhang J & Li H. (2023). Mathematics performance, response time, and enjoyment of eighth–grade autistic students and their general education peers. *Autism*, 27(8), 2518–2529.
- [6] Liang X, Yin Y, Kang J & Wang L. (2022). Can training in the approximate number system improve the informal mathematics ability of preschoolers? *Acta Psychologica*, 228, 103638.
- [7] 曹贤才, 时冉冉, 牛玉柏. (2016). 近似数量系统敏锐度与数学能力的关系. *心理科学*, 39(3), 7.
- [8] Schneider M, Beeres K, Coban L, Merz S, Susan S, Stricker J & De Smedt B. (2016). *Associations of non–symbolic and symbolic numerical magnitude processing with mathematical competence: A meta–analysis*. Developmental Science.
- [9] Fernández–Cobos R, Polo–Blanco I, Castroviejo E & Rodríguez C. (2025). What predicts early math in autism? A study of cognitive and linguistic factors. *Journal of Autism and Developmental Disorders*.
- [10] 李莉, 周欣, 郭力平. (2016). 儿童早期工作记忆与数学学习的关系. *心理科学进展*, (10), 12.
- [11] 祝孝亮, 赵鑫. (2023). 执行功能在不同年级儿童数学能力中的作用. *心理学报*, 55(5), 696–710.
- [12] 杨洁, 杨粤栋, 户秀美, 李雪. (2024). 循证实践视角下孤独症学生数学教学的方法, 应用及展望. *中国特殊教育*, (2).
- [13] Tonizzi I & Usai M C. (2023). Math abilities in autism spectrum disorder: A meta–analysis. *Research in Developmental Disabilities*, 139, 104559.
- [14] Li X, Li J, Zhao S & Liang X. (2024). Magnitude representation of preschool children with autism spectrum condition. *Autism*, 28(4), 866–880.
- [15] Mou Y, Li J, Ke Z & Li X. (2025). *The proficiency and variability of mathematical ability in populations with autism spectrum disorder: A meta–analysis*. ResearchSquare.
- [16] Li J, Ke Z, Li X & Mou Y. (2026). A systematic review and meta–analysis of the proficiency and variability of mathematical ability in populations with autism spectrum disorder. *Nature Human Behaviour*, 1–14.
- [17] Halberda J, Mazocco M M & Feigenson L. (2008). Individual differences in non–verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455(7213), 665–668.
- [18] Corsi P M. (1972). *Human memory and the medial temporal region of the brain* (Doctoral dissertation). McGill University.
- [19] Chen L, Abrams D A, Rosenberg–Lee M & Dewey D. (2018). Quantitative analysis of heterogeneity in academic achievement of children with autism. *Clinical Psychological Science*, 7(2), 216770261880935.
- [20] 焦小燕, 盖笑松, 郭璇. (2017). 学前儿童抑制控制的发展趋势及其对言语理解和数学认知的预测作用. *心理科学*, 40(2), 7.
- [21] Ginsburg H & Baroody A J. (2003). *TEMA–3: Test of early mathematics ability*. Pro–ed.
- [22] Bullen J C, Swain Lerro L, Zajic M & Chandler M. (2020). A developmental study of mathematics in children with autism spectrum disorder, symptoms of attention deficit hyperactivity disorder, or typical development. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 50(12), 4463–4476.
- [23] Peng P, Yang X & Meng X. (2017). The relation between approximate number system and early arithmetic: The mediation role of numerical knowledge. *Journal of*

- Experimental Child Psychology*, 157, 111–124.
- [24] Bonny J W & Lourenco S F. (2013). The approximate number system and its relation to early math achievement: Evidence from the preschool years. *Journal of Experimental Child Psychology*, 114(3), 375–388.
- [25] Raghobar K P, Barnes M A & Hecht S A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning & Individual Differences*, 20(2), 110–122.
- [26] Demetriou E A, Lampit A, Quintana D S & Yücel M. (2018). Autism spectrum disorders: A meta-analysis of executive function. *Molecular Psychiatry*, 23(5), 1198–1204.
- [27] 马姗姗, 张珂焱, 谭成慧, 王艳. (2025). 情境式社会认知训练对孤独症儿童症状的影响: 共情的中介效应. *中国临床心理学杂志*, (3).
- [28] Wang L, Liang X, Yin Y & Kang J. (2021). Bidirectional mapping between the symbolic number system and the approximate number system. *Experimental Psychology*, 68(5), 243–263.
- [29] Guo L, Xu X & Dai D Y. (2021). Foundations for early mathematics skills: The interplay of approximate number system, mapping ability, and home numeracy activities. *Cognitive Development*, 59, 101083.
- [30] Griffiths A J, Torres R, Delgado R & Patel S. (2024). Understanding unique employability skill sets of autistic individuals: A systematic review. *Journal of Employment Counseling*, 61(2), 74–104.
- [31] Hawes Z C K, Nosworthy N, Archibald L & Evans B J. (2019). Kindergarten children's symbolic number comparison skills relates to 1st grade mathematics achievement: Evidence from a two-minute paper-and-pencil test. *Learning and Instruction*.
- [32] Soltész F, Szűcs D & Szűcs L. (2010). Relationships between magnitude representation, counting and memory in 4- to 7-year-old children: A developmental study. *Behavioral & Brain Functions*, 6(1), 13.
- [33] Bull R & Lee K. (2014). Executive functioning and mathematics achievement. *Child Development Perspectives*, 8(1), 36–41.
- [34] Schneider R M, Sullivan J, Guo K & Barner D. (2021). What counts? Sources of knowledge in children's acquisition of the successor function. *Child Development*, 92(4), e476–e492.
- [35] Fuhs M W & McNeil N M. (2013). ANS acuity and mathematics ability in preschoolers from low-income homes: Contributions of inhibitory control. *Developmental Science*, 16(1), 136–148.

# Structural Differentiation and Cognitive Predictors of Early Mathematical Ability in Preschool Children with Autism Spectrum Disorder

Liang Xiao<sup>1</sup> Liang Xiaoyan<sup>1</sup> Yang Qingli<sup>2</sup> Li Xiaojin<sup>3</sup>

1. School of Educational Sciences, Shanxi University, Taiyuan;

2. Ruicheng County Government-Affiliated Kindergarten, Yuncheng;

3. Ruicheng County Hospital of Traditional Chinese Medicine, Yuncheng

**Abstract:** Objective: This study aimed to examine the structural differentiation of formal and informal mathematical abilities in preschool children with autism spectrum disorder (ASD) and to investigate the differential predictive roles of number sense and domain-general cognitive factors. Methods: A 6-month longitudinal design was employed. Forty-eight children with ASD aged 3–6 years were assessed at two time points. At baseline, number sense, working memory, and inhibitory control were measured. Six months later, formal and informal mathematical abilities were assessed. Hierarchical regression analyses were conducted after controlling for intellectual functioning. Results: (1) Informal mathematical ability was significantly correlated with working memory ( $r=0.700, p<0.001$ ), inhibitory control ( $r=0.471, p=0.001$ ), and number sense ( $r=-0.508, p<0.001$ ). Formal mathematical ability was significantly correlated with working memory ( $r=0.613, p<0.001$ ) and number sense ( $r=-0.521, p<0.001$ ). (2) After controlling for verbal and performance IQ, working memory ( $\beta=0.574, p<0.001$ ) and inhibitory control ( $\beta=0.332, p=0.002$ ) significantly predicted informal mathematical ability, whereas the predictive effect of number sense was not significant ( $\beta=-0.218, p=0.054$ ). In predicting formal mathematical ability, both working memory ( $\beta=0.377, p=0.017$ ) and number sense ( $\beta=-0.309, p=0.031$ ) showed significant unique contributions, whereas inhibitory control was not significant. Conclusion: Formal and informal mathematical abilities in preschool children with ASD demonstrate structural differentiation in their cognitive predictors. Informal mathematical ability mainly relies on domain-general cognitive resources, whereas formal mathematical ability reflects the joint contribution of number sense and domain-general factors. The findings provide empirical support for dimension-specific assessment and targeted educational intervention in early mathematics for children with ASD.

**Key words:** Autism spectrum disorder; Early mathematical ability; Number sense; Working memory; Inhibitory control; Longitudinal study