

5~6岁幼儿数感与计算流畅性的关系：序数知识的中介作用

梁笑¹ 时鹏² 梁晓燕¹ 杨庆丽³ 孙美婷⁴

1. 山西大学教育科学学院, 太原;

2. 太原市常青藤中学校, 太原;

3. 芮城县党政机关幼儿园, 运城;

4. 山西大学自动化与软件学院, 太原

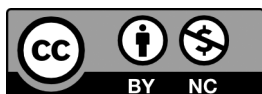
摘要 | 目的: 考察5~6岁幼儿数感对计算流畅性的预测作用, 并检验序数知识在二者关系中的中介作用。方法: 采用间隔6个月的追踪设计, 以山西省芮城县某幼儿园220名大班幼儿为研究对象, 在秋季学期入学时测量幼儿的数感与序数知识, 在次年春季学期入学时测量其计算流畅性。采用Pearson相关分析和中介效应检验考察变量间关系。结果: (1) 数感与序数知识 ($r = 0.270, p < 0.001$)、计算流畅性 ($r = 0.251, p < 0.001$) 均呈显著正相关, 序数知识与计算流畅性呈显著正相关 ($r = 0.406, p < 0.001$)。 (2) 中介效应检验显示, 数感能够显著正向预测计算流畅性 ($\beta = 0.251, p < 0.001$) 和序数知识 ($\beta = 0.270, p < 0.001$); 在同时纳入数感与序数知识后, 数感对计算流畅性的直接预测作用仍显著 ($\beta = 0.153, p = 0.017 < 0.05$), 序数知识对计算流畅性具有显著正向预测作用 ($\beta = 0.365, p < 0.001$)。Bootstrap检验表明, 序数知识的中介效应显著, 95%置信区间为 [0.051, 0.156], 中介效应占总效应的39.04%。结论: 5~6岁幼儿的数感能够直接预测其后续计算流畅性, 也可以通过序数知识间接发挥作用。序数知识可能是数感影响早期计算能力的重要认知路径之一。本研究为理解学前儿童早期计算能力的发展机制及优化幼儿园数学教育活动提供了实证依据。

关键词 | 数感; 计算流畅性; 序数知识; 中介效应; 学前儿童

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

计算流畅性是幼儿早期数学能力发展的重要表现, 也是幼小衔接阶段数学学习准备的核心指标之一。计算

流畅性通常指幼儿在限定时间内准确、快速完成基本加减计算的能力, 兼具计算正确性和计算速度两个方面, 能够较好反映幼儿计算策略的熟练程度、计算事实提取效率以及计算过程的自动化水平 (Fuchs et al., 2006;

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)。

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, 时鹏, 梁晓燕, 杨庆丽, 孙美婷. (2026). 5~6岁幼儿数感与计算流畅性的关系: 序数知识的中介作用. *中国心理学前沿*, 8(5), 698-705.

<https://doi.org/10.35534/pc.0805104>

Ma et al., 2024)。5~6岁幼儿正处于由幼儿园非正式数学经验向小学正式数学学习过渡的关键阶段，其计算策略往往仍依赖手指辅助、逐一计数或具体情境支持，尚未完全形成稳定、高效的心理运算方式（Baroody, 2003）。因此，计算流畅性不仅是评价幼儿当前早期计算能力的重要指标，也可能影响其进入小学后对系统数学学习的适应（Duncan et al., 2007）。由此可见，探讨幼儿计算流畅性的发展基础及其作用机制，对于理解早期数学能力发展和优化幼小衔接阶段数学教育具有重要意义。

从数学认知发展的角度看，幼儿计算能力的形成并非始于正式计算教学，而是建立在更早出现的、先天具有的数量表征能力之上。核心系统理论认为，人类个体早期即具有对非符号数量进行近似表征和比较的能力，这种能力通常被称为数感，是幼儿数量认知发展的重要基础（Feigenson et al., 2004；康丹等，2020），通常采用点阵比较任务进行测量（Halberda et al., 2008；Inglis & Gilmore, 2014）。已有研究表明，幼儿的数感与其未来的计算成绩和数学成绩存在稳定关系，数感水平较高的儿童往往在后续数学学习中表现更好（Schneider et al., 2017；Van Marle et al., 2014；梁笑等，2021）。然而，既有研究更多关注数感与一般数学成绩、计算正确率或综合计算能力之间的关系，对数感能否预测兼具速度和准确性的计算流畅性关注相对不足。计算流畅性不同于单纯的计算正确性，它不仅要求幼儿算得对，还要求幼儿算得快，因而更依赖数量关系表征、策略选择效率和计算过程自动化。因此，有必要进一步考察5~6岁幼儿的数感是否能够预测其后续计算流畅性的发展。

更重要的是，数感如何影响计算流畅性仍需进一步解释。数感是一种非符号数量表征能力，而计算流畅性则是建立在符号数字理解和符号计算基础上的复杂能力。幼儿从非符号数量感知发展到流畅的符号计算，并不是简单的直接转换过程，而需要经历对符号数字意义、数字间关系以及计算规则的逐步建构（De Smedt et al., 2013；张佳佳，2018）。因此，数感对计算流畅性的影响可能并非完全直接发生，而是需要通过某些符号数量知识或数字关系加工能力发挥作用。揭示该中介机制，有助于进一步理解早期数感向计算能力转化的过程。

经文献分析发现，序数知识可能是连接数感与计算流畅性的关键认知环节。序数知识是指幼儿对数字在序列中先后位置及顺序关系的理解，包括相邻数识别、数字排序、前后数判断以及数字序列规则理解等能力（Lyons & Beilock, 2011；夏岚，2022）。与基数知识强调数字代表有多少不同，序数知识更强调数字之间谁在前、谁在后，以及相邻关系如何。近年来，符号关联假说（Symbol-Symbol Association Account）指出，幼儿掌握

符号数字意义并不完全依赖数字符号与非符号数量之间的一一映射，还依赖其对数字符号之间关系的理解，尤其是数字比较、数字排序和相邻数判断等序数加工能力（Reynvoet & Sasanguie, 2016；Lau et al., 2021；Spaepen et al., 2018）。该观点提示，幼儿对数字的掌握并非孤立形成，而是在符号数字系统的关系网络中逐渐建构起来的。

从数感到序数知识的路径看，较好的数感可能有助于幼儿理解数字序列中的序数关系。数感水平较高的幼儿对数量差异更敏感，更容易把握数量递增或递减的变化规律，从而为理解符号数字的先后关系提供基础。例如，幼儿能够较好地地区分“多”和“少”，有助于其进一步理解数字序列中较大的数字通常位于较靠后的位置。已有研究发现，数感能够预测幼儿后续的序数加工能力，并且这种作用不能完全由一般的数字识别或基数知识所解释（Malone et al., 2021）。这说明，数感可能参与幼儿对数字顺序结构的建构。对于5~6岁幼儿而言，基本计数和数字识别能力已逐渐稳定，幼儿开始更频繁地利用数字之间的相邻关系和顺序关系解决数学问题，因此序数知识可能成为数感向计算能力转化的重要通道。

从序数知识到计算流畅性的路径看，序数知识能够为早期加减计算提供直接支持。幼儿在解决简单加减问题时，常将加法理解为沿数字序列向后移动，将减法理解为沿数字序列向前移动。例如，解决“4+2”时，幼儿可以从4开始继续数两个数；解决“6-1”时，幼儿可以从6向前退一个数。若幼儿能够熟练掌握数字的先后顺序和相邻关系，就更容易形成接着数、倒着数以及基于序数知识的快速计算策略，从而减少逐一计数带来的时间消耗，提高计算速度和准确性。已有研究表明，数字排序能力能够显著预测儿童计算表现（Lyons & Beilock, 2011），且其作用不能完全由大小比较、计数能力或一般认知能力解释（夏岚，2022；Vogel et al., 2017）。发展研究还表明，随着幼儿数学经验的增加，计算能力的认知基础可能由早期较多依赖基数加工，逐渐转向更加依赖序数加工（Sasanguie & Vos, 2018；Xu & LeFevre, 2021）。因此，序数知识不仅是幼儿理解符号数字系统的重要组成部分，也可能是促进计算流畅性发展的关键因素。

综上，已有研究虽然表明数感是幼儿数学能力发展的重要基础，但关于数感如何作用于计算流畅性的机制解释仍相对不足。序数知识作为幼儿理解符号数字关系的重要能力，一方面可能受到数感的影响，另一方面又能够通过支持数序策略和计算自动化促进计算流畅性发展。因此，序数知识可能在数感与计算流畅性之间发挥中介作用。基于此，本研究采用间隔6个月的追踪设计，以5~6岁大班幼儿为研究对象，在秋季学期入学时测量幼儿的数感和序数知识，在次年春季学期入学时测量其

计算流畅性，考察数感对计算流畅性的预测作用，并进一步检验序数知识在二者关系中的中介效应。本研究提出以下假设：第一，5~6岁幼儿的数感能够显著正向预测其后续计算流畅性；第二，序数知识在数感与计算流畅性之间发挥中介作用，即数感既可以直接预测计算流畅性，也可以通过序数知识间接预测计算流畅性。假设模型如图1所示。

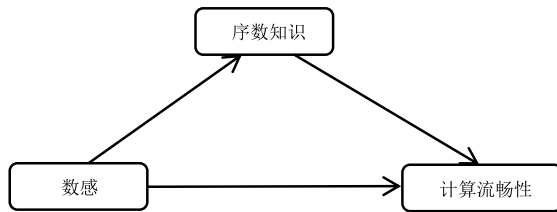


图 1 假设模型图

Figure 1 Hypothesized model diagram

2 对象和方法

2.1 研究对象

本研究采用间隔6个月的两时间点追踪设计，从山西省芮城县某幼儿园招募220名5~6岁大班幼儿（男童108名，女童112名， $M = 67.53$ 个月， $SD = 2.49$ 个月）。在秋季入学时（T1），测量幼儿的数感和序数知识；在次年春季入学时（T2），测量幼儿的计算流畅性。所有幼儿均为正常发育儿童，无明显视力、听力障碍，无已知神经系统疾病或发展性障碍，能够理解并完成测查任务。研究开展前，已取得幼儿园同意，并由幼儿监护人签署书面知情同意书。所有测评均遵循自愿参与原则，研究过程中对幼儿个人信息进行匿名化处理，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

采用Halberda等人开发的Panamath点阵比较任务测量幼儿的数感水平（Halberda et al., 2008）。该任务通过计算机同时呈现两组不同颜色的点阵，要求幼儿判断哪一组圆点数量更多。圆点颜色分别为黄色和蓝色，幼儿以口头方式作答，由主试根据幼儿回答进行按键记录：判断黄色圆点更多按“F”键，判断蓝色圆点更多按“J”键。正式任务共包含152个试次。每个试次中两组圆点的数量范围为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个水平。每个刺激呈现时间为2000 ms。为降低感觉线索对数量判断的影响，任务在点阵总面积、凸包大小以及空间分布等方面进行控制，并平衡数量较多点阵在屏幕左右两侧出现的位置。同时，黄色圆点数量更多和蓝色圆点数量更多的试次数量保持

一致，一致条件与不一致条件的试次数量也保持平衡。正式测验前设置练习试次，以确保幼儿理解任务要求。程序自动记录幼儿在正式试次中的反应情况。本研究以正确率作为幼儿数感水平的指标，正确率越高，表明幼儿的数感越好。该任务已被广泛用于儿童相关研究（赵振国，2008；陈英和，2015），在本研究中的内部一致性系数为0.862。

2.2.2 序数知识

采用数字排序任务测量幼儿的序数知识，该任务参考Xu等人关于儿童数字顺序知识测量的研究设计（Xu & LeFevre, 2021）。任务材料为印有1~9范围内数字的卡片。每个试次向幼儿呈现三张数字卡片，要求幼儿按照“从小到大”的顺序进行排列。幼儿完成排列后，主试进一步询问“这三个数字中哪个最大，哪个最小”，以确认幼儿是否真正理解其排序结果。任务共包含12个正式试次，其中6个为相邻数字组，例如“3、1、2”；6个为不相邻数字组，例如“3、1、5”。每个试次中，幼儿能够正确完成排序，并准确指出最大数和最小数，计1分；排序错误、不能明确指出最大数或最小数，或无法完成该试次，计0分。总分范围为0~12分，得分越高，表明幼儿对数字顺序关系的掌握越好。在本研究中的内部一致性系数为0.796。

2.2.3 计算流畅性

采用简单加减法计算任务测量幼儿的计算流畅性，该任务参考Ouyang等人的早期计算调查方式（Ouyang et al., 2021）。任务包含加法题和减法题各6道，共12道题。所有题目中的加数、减数和计算结果均限定在1~10范围内，以保证任务难度适合5~6岁幼儿的发展水平。任务采用口头情境题形式呈现。加法题示例如：“我给你4个积木，再给你3个积木，现在一共有几个积木？”减法题示例如：“你有5个积木，丢了3个，还剩几个积木？”测验过程中，幼儿可以根据自身需要使用手指辅助计算，但主试不主动提示计算策略，也不提供正确与否的反馈。每道题回答正确计1分，回答错误或未作答计0分，计算总分范围为0~12分。同时，主试使用秒表记录幼儿完成全部12道题所用的总时间。为同时反映计算的准确性与速度，本研究采用“计算正确题数/完成任务总时长”作为计算流畅性指标。该指标越高，表明幼儿能够在较短时间内完成更多正确计算，计算流畅性越好。在本研究中的内部一致性系数为0.914。

2.3 研究程序

本研究分两个时间点进行。T1测评安排在秋季学期初，幼儿完成数感任务和序数知识任务；T2测评安排在春季学期初，幼儿完成计算流畅性任务。两次测评间隔约6个月。所有任务均在幼儿园内相对安静、光线适宜的独立房间中进行，由经过统一培训的研究人员对幼儿进行一对一的个别施测。

在正式测验开始前，主试通过简短交流帮助幼儿熟悉测评环境，并通过练习试次确认幼儿理解任务规则。若幼儿在练习阶段未能理解任务要求，主试按照标准指导语再次说明，直至幼儿能够完成练习试次后再进入正式测验。T1阶段中，数感任务和序数知识任务之间安排短暂休息，以降低疲劳效应。T2阶段完成计算流畅性任务，测验过程控制在幼儿能够持续配合的时间范围内。每名幼儿单次测评时间约为20~30分钟。

测评过程中，主试使用鼓励性语言维持幼儿的参与动机，但不对幼儿作答的正误进行反馈。若幼儿出现明显疲劳、注意力下降或情绪波动，主试适当暂停测验并给予短暂休息。所有原始数据由两名研究人员分别核对，确保数据记录和录入的准确性。

2.4 统计学处理

采用SPSS 27.0进行数据整理与统计分析。首先进行共同方法偏差检验；其次对所有变量进行描述性统计，并采用Pearson相关分析考察三个变量之间的相关关系；随后进行中介效应检验，采用Hayes开发的PROCESS宏程序Model 4进行分析（Hayes, 2018）。以T1数感为自变量，T2计算流畅性为因变量，T1序数知识为中介变量，检验序数知识在数感与计算流畅性之间的中介作用。中介效应显著性采用Bootstrap方法进行检验，重复抽样5000次，计算偏差校正的95%置信区间。当置信区间不包含0时，认为中介效应显著。所有统计检验均采用双侧检验，显著性水平设定为 $\alpha = 0.05$ 。

3 结果

3.1 共同方法偏差检验

本研究主要变量均采用客观行为任务测量，且数感、序数知识与计算流畅性分别通过不同任务获得，其中计算流畅性在间隔6个月后的第二时间点测量。上述研究设计和测量程序在一定程度上降低了共同方法偏差的可能性。为进一步检验共同方法偏差，本研究采用Harman单因素法进行统计检验，结果显示特征根大于1的公因子共有2个，第一个公因子解释的变异量为25.31%，低于40%的临界标准，且未出现单一公因子解释大部分变异的情况。由此表明，本研究不存在严重的共同方法偏差，可开展后续数据分析。

3.2 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，数感与序数知识呈显著正相关（ $r = 0.270, p < 0.001$ ），数感与计算流畅性呈显著正相关（ $r = 0.251, p < 0.001$ ），序数知识与计算流畅性呈显著正相关（ $r = 0.406, p < 0.001$ ）。

表1 描述统计与相关分析（ $N = 220$ ）

Table 1 Descriptive statistics and correlations ($N = 220$)

变量	M	SD	1	2	3
数感	0.95	0.04	—		
序数知识	11.44	1.72	0.270***	—	
计算流畅性	0.08	0.05	0.251***	0.406***	—

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

3.3 中介效应检验

采用PROCESS宏程序Model 4检验序数知识在数感与计算流畅性之间的中介作用。以T1数感为自变量，T2计算流畅性为因变量，T1序数知识为中介变量，采用Bootstrap法重复抽样5000次进行中介效应检验。

结果如表2所示。首先，数感对计算流畅性具有显著正向预测作用， $\beta = 0.251, p < 0.001$ ，说明T1数感水平越高，T2计算流畅性表现越好。其次，数感能够显著正向预测序数知识， $\beta = 0.270, p < 0.001$ ，说明数感水平较高的幼儿，其序数知识水平也较高。最后，在同时纳入数感和序数知识后，序数知识能够显著正向预测计算流畅性， $\beta = 0.365, p < 0.001$ ；数感对计算流畅性的直接预测作用仍然显著， $\beta = 0.153, p = 0.017 < 0.05$ 。

表2 序数知识的中介效应检验

Table 2 Test of the mediating effect of ordinal knowledge

预测变量	方程1 (计算流畅性)		方程2 (序数知识)		方程3 (计算流畅性)	
	β	<i>t</i>	β	<i>t</i>	β	<i>t</i>
数感	0.251	3.836***	0.270	4.145***	0.153	2.403*
序数知识					0.365	5.740***
R^2	0.063		0.073		0.187	
<i>F</i>	14.719***		17.185***		24.911***	

进一步的Bootstrap检验结果如表3所示。数感对计算流畅性的总效应为0.251，直接效应为0.153，中介效应为0.098。序数知识中介效应的95%置信区间为[0.051, 0.156]，不包含0，说明序数知识在数感与计算流畅性之间的中介效应显著。中介效应占总效应的39.04%，表明数感不仅能够直接预测幼儿后续计算流畅性，也能够通过序数知识间接预测计算流畅性。由于在纳入序数知识后，数感对计算流畅性的直接效应仍达到显著水平，因此序数知识在数感与计算流畅性之间起部分中介作用。

表3 序数知识中介效应的Bootstrap检验

Table 3 Bootstrap test of the mediating effect of ordinal knowledge

路径	效应值	SE	BootLLCI	BootULCI	效应占比
总效应	0.251	0.065	0.002	0.122	
直接效应	0.153	0.063	0.017	0.028	60.96%
中介效应	0.098	0.026	0.051	0.156	39.04%

注：表中效应值为标准化效应值；Bootstrap重复抽样次数为5000次。

根据上述结果，本研究的两个假设均得到支持。即5~6岁幼儿的数感能够显著正向预测其后续计算流畅性，且序数知识在二者之间发挥部分中介作用。中介模型路径如图2所示。

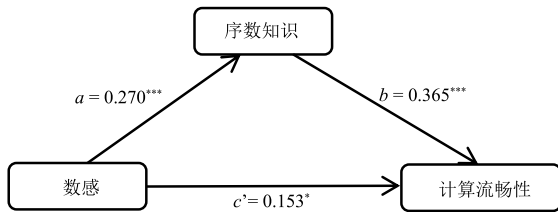


图 2 序数知识中介效应的Bootstrap检验

Figure 2 Bootstrap test of the mediating effect of ordinal knowledge

4 讨论

本研究采用间隔6个月的追踪设计，考察5~6岁幼儿数感对后续计算流畅性的预测作用，并进一步检验序数知识在二者关系中的中介效应。结果显示，数感、序数知识与计算流畅性两两显著正相关；数感不仅能够显著正向预测幼儿后续计算流畅性，还能够通过序数知识间接预测计算流畅性。该结果支持了本研究提出的假设，说明早期数感与后续计算流畅性之间存在发展联系，而序数知识是这一转化过程中的重要认知因素。

4.1 数感对计算流畅性的预测作用

本研究发现，5~6岁幼儿的数感能够显著正向预测6个月后的计算流畅性，即数感水平越高的幼儿，在后续简单加减法任务中表现出更好的计算流畅性。这一结果与既有研究关于早期数感与数学表现关系的发现基本一致。已有研究指出，幼儿早期对数量大小、数量差异和数量关系的敏感性，是其理解符号数字和发展计算能力的重要基础。本研究进一步将结果变量聚焦于计算流畅性，发现数感不仅与一般数学能力或计算正确率有关，也与兼具速度和准确性的计算表现有关。

这一结果可能与数感在早期数量加工中的基础作用有关。数感较好的幼儿能够更敏感地区分数量多寡，更容易形成对数量大小和数量变化的直观理解。在解决简单加减问题时，这种数量敏感性可能有助于幼儿更快地把握题目中的数量关系，减少对具体物操作或逐一计数的依赖，从而提高计算效率。计算流畅性并非单纯反映儿童是否掌握某一计算规则，而是体现其在一定时间内快速、准确完成运算的能力。因此，数感对计算流畅性的预测作用说明，早期数感可能为幼儿形成更高效的计算策略提供了基础。

同时需要注意的是，本研究中数感对计算流畅性的预测效应虽然达到显著水平，但效应量并不大。这提示数感是计算流畅性发展的重要基础之一，但并不是唯

一决定因素。幼儿计算流畅性的形成还可能受到计数能力、工作记忆、加工速度、抑制控制、数学经验和家庭数学环境等多种因素影响 (Geary, 2011; Bull et al., 2008; LeFevre et al., 2010)。尤其对于5~6岁幼儿而言，其计算能力仍处于由具体操作、手指计数向心理计算过渡的阶段，计算流畅性的个体差异可能同时受到数量表征能力和符号数字知识发展的共同影响。因此，在解释数感与计算流畅性的关系时，应避免将二者关系简单理解为直接、单一的因果路径，而应进一步关注其中的中介机制。

4.2 序数知识在数感与计算流畅性之间的中介作用

本研究进一步发现，序数知识在数感与计算流畅性之间发挥部分中介作用，中介效应占总效应的39.04%。这一结果说明，数感不仅可以直接预测幼儿后续计算流畅性，还可以通过促进序数知识的发展间接影响计算流畅性。该发现为理解数感如何转化为符号计算能力提供了较为具体的机制解释。

首先，数感能够显著预测序数知识。数感反映幼儿对非符号数量差异的判断和比较能力，而序数知识则反映幼儿对数字先后位置和顺序关系的理解。二者虽然分别对应非符号数量加工和符号数字关系加工，但在发展上具有连续性。数感水平较高的幼儿通常对数量变化更敏感，更容易理解数量随数词或数字顺序逐渐增加的规律，从而有助于建立数字符号之间的顺序关系。换言之，幼儿对多少、大小的非符号数量关系的理解，可能为其进一步把握数字序列中前后、相邻和间隔的符号关系提供基础。这与相关研究关于数感能够预测数字顺序加工能力的结论一致 (Malone et al., 2021)。

其次，序数知识能够显著预测计算流畅性。对于学前儿童而言，简单加减法在很大程度上依赖序数知识。儿童解决“4+2”时，可以将其理解为从4开始沿数字序列向后移动两个位置；解决“6-1”时，可以理解为从6开始向前退一个位置。由此可见，数字顺序关系不仅是幼儿理解数字符号意义的重要内容，也是其形成接着数、倒着数和基于数序关系推算策略的基础。序数知识越好的幼儿，越可能在计算中较快调用数字序列关系，减少逐一计数带来的时间消耗，从而表现出更高的计算流畅性。已有研究也表明，数字排序能力和数字顺序加工能够稳定预测儿童计算表现，并且这种作用不能完全由数字大小比较或一般计数能力解释。

最后，本研究发现序数知识发挥的是部分中介作用，而非完全中介作用。这一结果具有重要理论意义。一方面，它说明数感对计算流畅性的影响确实可以通过序数知识这一符号数字关系加工路径实现；另一方面，数感对计算流畅性仍存在显著直接效应，说明二者之间还可能存在其他作用路径。例如，数感可能通过促进幼儿对数量变化的直观理解、提高数量估计效率、支持符

号数字大小比较，或减少计算过程中认知资源消耗等方式直接影响计算流畅性。此外，计数能力、基数知识、数字大小比较、工作记忆和视觉形状知觉等变量也可能在数感与计算流畅性之间发挥中介或调节作用（LeFevre et al., 2010; Krajewski & Schneider, 2009）。因此，序数知识是数感影响计算流畅性的一个重要但并非唯一的认知环节。

4.3 对幼儿数学教育的启示

本研究结果对幼儿园数学游戏活动和幼小衔接具有一定启示。首先，应重视幼儿早期数感的培养。幼儿园数学游戏活动不宜过早局限于机械的数字书写和计算训练，而应通过点数、比较、估计、匹配、分类和数量变化游戏等方式，引导幼儿在具体情境中感知数量大小和数量关系。已有研究指出，高质量的早期数学活动应重视幼儿对数量、空间、模式和关系的主动探索，而不仅是形式化的符号练习（梁笑，2025）。

其次，应加强幼儿对数字顺序关系的理解。研究结果表明，序数知识是数感影响计算流畅性的重要中介变量。因此，在幼儿园数学游戏活动中，可以通过数字排序、找相邻数、补全数列、数轴游戏、前后数判断、从任意数开始顺数和倒数等活动，帮助幼儿理解数字之间的先后关系和相对位置。尤其是在幼小衔接阶段，教师和家长可以将数量比较活动与数字排序活动结合起来，使幼儿在理解多少关系的基础上进一步理解顺序关系。

最后，应在计算活动中引导幼儿使用基于数序关系的策略。对于5~6岁幼儿而言，简单加减法不应只强调结果正确，更应关注儿童计算策略的变化。教师可以通过实物、手指、数轴和口头数数等多种方式，引导幼儿从逐一计数逐渐过渡到接着数、倒着数和利用相邻数关系进行推算。例如，在解决“5+1”“5+2”等问题时，引导幼儿发现结果与数字序列中后继数之间的关系；在解决“6-1”“6-2”等问题时，引导幼儿理解减法与数字序列向前移动之间的联系。这样既有助于提高计算正确性，也有助于促进计算过程的自动化。

4.4 研究不足与展望

本研究仍存在一些不足。第一，本研究采用两时间点追踪设计，虽然数感和序数知识测量早于计算流畅性，但数感与序数知识是在同一时间点测量的，因此只能说明变量之间具有时间先后意义上的预测关系，尚不能作严格因果推断。未来研究可采用三时间点或多时间点追踪设计，分别测量数感、序数知识和计算流畅性，以更准确检验中介路径的时间顺序。第二，本研究样本来自山西省某一所幼儿园，样本来源相对集中，可能限制结果的推广性。未来研究可扩大样本范围，纳入不同地区、不同办园类型和不同家庭社会经济背景的幼儿，以提高研究结论的外部效度。第三，本研究主要考察数感、序数知识和计算流畅性三者之间的关系，尚未纳入

其他可能影响计算流畅性的认知和环境因素。已有研究表明，工作记忆、加工速度、抑制控制、计数能力、基数知识以及家庭数学活动均与儿童早期数学能力发展密切相关。未来研究可进一步构建更完整的多因素模型，考察这些变量在数感影响计算流畅性过程中的中介或调节作用。第四，本研究中数感和序数知识得分整体较高，可能存在一定天花板效应。未来研究可增加任务难度，例如扩大数字范围、设置更复杂的数字排序任务，或结合反应时指标，以更敏感地反映5~6岁幼儿序数知识的个体差异。

综上所述，本研究发现5~6岁幼儿的数感能够显著预测其6个月后的计算流畅性，且序数知识在二者之间发挥部分中介作用。该结果说明，早期数感不仅能够直接影响幼儿计算流畅性，还可能通过促进其对数字顺序关系的理解而间接发挥作用。研究结果为揭示幼儿早期计算能力的发展机制提供了实证依据，也提示幼儿园数学游戏活动应同时重视数量感知、数字顺序理解和基于数序关系的计算策略进行设计。

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：研究设计与实施、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；时鹏：实验材料支持；孙美婷：数据分析支持；杨庆丽：幼儿园被试与场所提供。

参考文献

- [1] Fuchs L S, Fuchs D, Compton D L, et al. (2006). The cognitive correlates of third-grade skill in arithmetic, algorithmic computation, and arithmetic word problems. *Journal of Educational Psychology*, 98(1), 29-43.
- [2] Ma M, Likhanov M & Zhou X. (2024). Number sense-arithmic link in Grade 1 and Grade 2: A case of fluency. *British Journal of Educational Psychology*, 94(3), 897-918.
- [3] Baroody A J. (2003). The development of adaptive expertise and flexibility: The integration of conceptual and procedural knowledge. In A J Baroody A. Dowker (Eds.), *The Development of Arithmetic Concepts and Skills: Constructing Adaptive Expertise* (pp. 1-33). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [4] Duncan G J, Dowsett C J, Claessens A, et al. (21007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428-1446.
- [5] Feigenson L, Dehaene S & Spelke E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307-314.
- [6] 康丹, 张利, 蔡术, 等. (2020). 儿童近似数量系统精确性

- 与数学能力的关系研究. *数学教育学报*, 29(3), 19–24.
- [7] Halberda J, Mazocco M M M & Feigenson L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455(7213), 665–668.
- [8] Inglis M & Gilmore C. (2014). Indexing the approximate number system. *Acta Psychologica*, 145, 147–155.
- [9] Schneider M, Beeres K, Coban L, et al. (2017). Associations of non-symbolic and symbolic numerical magnitude processing with mathematical competence: A meta-analysis. *Developmental Science*, 20(3), e12372.
- [10] Van Marle K, Chu F W, Li Y, et al. (2014). Acuity of the approximate number system and preschoolers' quantitative development. *Developmental Science*, 17(4), 492–505.
- [11] 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.
- [12] De Smedt B, Noël M P, Gilmore C, et al. (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.
- [13] 张佳佳. (2018). 小学二年级儿童数感与计算流畅性的纵向研究——家庭社会经济地位和认知水平的影响 (硕士学位论文). 陕西师范大学.
- [14] Lyons I M & Beilock S L. (2011). Numerical ordering ability mediates the relation between number-sense and arithmetic competence. *Cognition*, 121(2), 256–261.
- [15] 夏岚. (2022). 符号数量表征和算术能力的关系: 数字排序能力和顺序工作记忆的中介作用 (硕士学位论文). 江西师范大学.
- [16] Reynvoet B & Sasanguie D. (2016). The symbol grounding problem revisited: A thorough evaluation of the ANS mapping account and the proposal of an alternative account based on symbolic numbers. *Frontiers in Psychology*, 7, 1581.
- [17] Lau N T T, Merkley R, Tremblay P, et al. (2021). Symbolic number knowledge in preschool children: Relations among number comparison, number ordering, and arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology*, 210, 105179.
- [18] Spaepen E, Gunderson E A, Gibson D, et al. (2018). Meaning before order: Cardinal principle knowledge predicts improvement in understanding the successor principle and exact ordering. *Cognition*, 180, 59–81.
- [19] Malone S A, Pritchard V E & Hulme C. (2021). Separable effects of the approximate number system, symbolic number knowledge, and number ordering ability on early arithmetic development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 208, 105120.
- [20] Vogel S E, Haigh T, Sommerauer G, et al. (2017). Processing the order of symbolic numbers: A reliable and unique predictor of arithmetic fluency. *Journal of Numerical Cognition*, 3(2), 288–308.
- [21] Sasanguie D & Vos H. (2018). About why there is a shift from cardinal to ordinal processing in the association with arithmetic between first and second grade. *Developmental Science*, 21(5), e12653.
- [22] Xu C & LeFevre J A. (2021). Children's knowledge of symbolic number in Grades 1 and 2: Integration of associations. *Child Development*, 92(3), 1099–1117.
- [23] 赵振国. (2008). 3 ~ 6 岁儿童数感发展的研究. *心理发展与教育*, (4), 8–12.
- [24] 陈英和. (2015). 儿童数量表征与数概念的发展特点及机制. *心理发展与教育*, 31(1), 21–28.
- [25] Xu C, LeFevre J A. (2021). Children's knowledge of symbolic number in Grades 1 and 2: Integration of associations. *Child Development*, 92(3), 1099–1117.
- [26] Ouyang X, Zhang X, Zhu J, et al. (2021). The development of arithmetic fluency in early childhood: The role of numerical magnitude processing and counting skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 206, 105089.
- [27] Hayes A F. (2018). *Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach* (2nd ed.). New York: Guilford Press.
- [28] Geary D C. (2011). Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: A 5-year longitudinal study. *Developmental Psychology*, 47(6), 1539–1552.
- [29] Bull R, Espy K A & Wiebe S A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 205–228.
- [30] LeFevre J A, Fast L, Skwarchuk S L, et al. (2010). Pathways to mathematics: Longitudinal predictors of performance. *Child Development*, 81(6), 1753–1767.
- [31] Krajewski K & Schneider W. (2009). Early development of quantity to number-word linkage as a precursor of mathematical school achievement and mathematical difficulties: Findings from a four-year longitudinal study. *Learning and Instruction*, 19(6), 513–526.
- [32] 梁笑. (2025). 3 ~ 6 岁幼儿数量认知的发展机制 (博士学位论文). 东北师范大学.

The Relationship between Number Sense and Arithmetic Fluency in 5 to 6Year-old Children: The Mediating Role of Ordinal Knowledge

Liang Xiao¹ Shi Peng² Liang Xiaoyan¹ Yang Qingli³ Sun Meiting⁴

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

2. Taiyuan Ivy Middle School, Taiyuan;

3. Ruicheng County Government-Affiliated Kindergarten, Yuncheng;

4. School of Automation and Software, Shanxi University, Taiyuan

Abstract: Objective: This study aimed to examine the predictive effect of number sense on arithmetic fluency in 5 to 6 year-old children and to test the mediating role of ordinal knowledge in this association. Methods: A follow-up design with a 6-month interval was adopted. A total of 220 children in the senior class of a kindergarten in Ruicheng County, Shanxi Province, were assessed. Number sense and ordinal knowledge were measured at the beginning of the autumn semester, and arithmetic fluency was assessed at the beginning of the spring semester. Pearson correlation analysis and mediation analysis were conducted. Results: (1) Number sense was significantly and positively correlated with ordinal knowledge ($r = 0.270, p < 0.001$) and arithmetic fluency ($r = 0.251, p < 0.001$), and ordinal knowledge was significantly and positively correlated with arithmetic fluency ($r = 0.406, p < 0.001$). (2) Mediation analysis showed that number sense significantly predicted arithmetic fluency ($\beta = 0.251, p < 0.001$) and ordinal knowledge ($\beta = 0.270, p < 0.001$). When number sense and ordinal knowledge were simultaneously entered into the model, the direct effect of number sense on arithmetic fluency remained significant ($\beta = 0.153, p < 0.05$), and ordinal knowledge significantly predicted arithmetic fluency ($\beta = 0.365, p < 0.001$). Bootstrap analysis indicated that the mediating effect of ordinal knowledge was significant, with a 95% confidence interval of [0.051, 0.156], accounting for 39.04% of the total effect. Conclusion: Number sense in 5 to 6 year-old children can directly predict later arithmetic fluency and can also exert an indirect effect through ordinal knowledge. Ordinal knowledge may serve as an important cognitive link through which number sense is transformed into early arithmetic ability. These findings provide empirical evidence for understanding the developmental mechanism of early arithmetic fluency and for optimizing early mathematics activities in kindergarten.

Key words: Number sense; Arithmetic fluency; Ordinal knowledge; Mediating effect; Preschool children