

适应性支架教学的运作机制：小学数学学习中支持策略与学生学习表现的交互作用

How Adaptive Scaffolding Works: The Interaction Between Support Strategies and Student Learning Performance in Elementary Math Learning

刘靖熙¹, 孙丹儿¹

*dsun@eduhk.hk

【摘要】 分数概念长期被认为是小学数学学习中的关键难点，传统学习系统多采用静态提示或固定支架，难以在真实课堂中匹配不同学生的学习需要。本研究设计并评估自适应分数学习系统 ScaffoldiaMyMaths，将支架策略具体化为四条可对比的自适应路径（A/B/C/D），以检验不同支持逻辑与学生原有能力水平之间的交互作用。研究采用课堂情境下的准实验设计，对 149 名四、五年级学生开展为期 3–4 周的干预，通过前后测比较学习增益，并进一步比较不同支架路径在不同能力组学生中的差异表现。初步结果显示整体成绩存在显著提升，且更具表现驱动调整的路径对中等水平学生更有效。研究为智能学习环境中的自适应支架设计提供可复现的策略框架与证据基础。

【关键词】 适应性支架教学法；小学数学；智能辅导系统；支持策略

Abstract: Fractions remain a persistent challenge in elementary mathematics. Many technology-based learning systems still rely on static scaffolding, which may not fit learners with diverse prior achievement. This study develops and evaluates ScaffoldiaMyMaths, an adaptive learning system that operationalizes four distinct scaffolding paths (A/B/C/D) to examine how support strategies interact with student proficiency in fraction learning. A classroom-based quasi-experiment ($N=149$) was conducted with Grade 4–5 students over 3–4 weeks using comparable pre/post tests. Results indicate a statistically reliable overall improvement, and performance-sensitive scaffolding paths yield stronger gains for medium-achieving students. The study contributes an inspectable and testable design blueprint for adaptive scaffolding in intelligent learning environments.

Keywords: Adaptive scaffolding, Elementary mathematics, Intelligent tutoring systems, Support strategies

1. 研究背景

分数学习被认为是小学数学走向更高阶推理的重要门槛，其困难主要来自概念结构的转变：学生需要从整数直觉转向“部分—整体”“比率关系”等理解，因此容易形成长期性误解并影响后续学习（National Mathematics Advisory Panel, 2008）。计算机辅助学习环境为分数教学提供了支持契机，它能够整合多表征并提供即时反馈，促进学生在互动中修正错误概念（Moreno & Mayer, 2007）。然而，现实中许多学习系统仍以静态提示或统一化支架为主，难以适配学生能力差异，且支架过多可能带来无关负荷或抑制自主推理（Sweller et al., 2011）。

因此，关键问题并非“是否提供支架”，而是“如何依据学习者状态动态调整支架”。目前研究仍缺乏在同一平台下对不同支架策略进行系统比较，并检验其与学生前置水平交互机制的证据（VanLehn, 2011）。基于此，本研究以小学分数学习为情境，构建可对比的自适应支架

策略框架，探究不同支架逻辑在不同能力学生中的差异化效果，为智能学习环境的精准支持设计提供依据。

2. 研究背景

小学数学中的学习困难往往并非源于能力缺陷，而是教学支持与学习者需求之间存在失配，因此“如何提供恰当支持”始终是关键议题。在此背景下，计算机辅助教学（CAI）被认为能够通过可重复练习、即时反馈与个性化节奏，为数学薄弱学生提供有效补偿，并在实证研究中显示出对数学学习表现的促进作用（Kroesbergen & Van Luit, 2003）。然而，分数学习作为小学阶段典型的高难度概念主题，学生常出现顽固性误解与迁移困难，这使得单纯的练习强化难以解决深层的概念建构问题，学习支持需要更具结构性与适配性。

支架理论指出，当学习者无法独立完成任务时，外部支持能够帮助其在可达范围内推进理解与问题解决（Wood et al., 1976）。后续研究进一步区分了预设、相对稳定的“硬支架”与基于学习状态动态调整的“软支架”，强调支架应随学习进展逐步渐退，以避免依赖并维持适度挑战（Saye & Brush, 2002）。但在真实课堂中，教师难以持续为不同起点学生提供高频、个性化的动态支架，因此技术化支架成为可扩展的解决路径。与此同时，现有分数领域的技术干预研究仍存在不足：许多研究样本较小或干预组件混杂，导致难以分离并验证“具体哪一种支架策略更有效、对哪类学生更有效”。因此，有必要在同一学习系统中构建可对比的支架策略，并检验其在不同能力水平学生中的差异化作用机制，为智能学习环境的自适应支持设计提供更清晰的证据基础。

3. 研究方法

3.1. 研究问题

本研究旨在在真实课堂情境中检验 ScaffoldiaMyMaths 所内置的四类支架路径（A/B/C/D）在分数学习中的差异化成效，因此研究围绕三个核心问题展开：

RQ1. 学生在干预前后的整体学习成绩是否存在显著变化？

RQ2. 不同支架路径之间的学习增益是否存在差异？

RQ3. 支架策略的成效是否因学生原有学业水平而异？

通过比较路径效果与学习者水平的交互关系，本研究尝试在小学数学分数知识点学习中揭示自适应支架的条件性机制。

3.2. 研究方法

本研究采用准实验设计，在自然课堂中实施“前测—平台学习—后测”的教学干预流程（如图1所示）。研究对象来自大湾区四所小学，共获得149份完整数据（四年级53人、五年级96人）。学生以便利取样方式参与，由学校依据课程安排自愿加入学习活动。干预前已取得伦理审批，并向家长与学生分别完成书面知情同意与同意书，确保参与过程的自愿与透明性。

干预持续三到四周，学生在数学课堂或自习时段使用平台完成3-5个分数核心单元学习，每次学习时间限定在30分钟以内，以贴近学校日常教学节奏。学生首先完成前测以建立学习基础水平，随后在平台中以不同支架路径开展学习活动；每条路径通过调整提示数量、提示节奏与反馈策略构成不同的支架逻辑。干预结束后一周内实施与前测等值的平行后测，用以测量学习变化。

研究使用的主要测量工具为研究团队基于课程标准与教师经验编制的分数测验，分别作为前测与后测使用。试卷由经验丰富的数学教师审阅，经专家评估后定稿，以确保其效度。为避免练习效应，前后测采用平行卷结构，覆盖相同知识点与同等难度，但更换具体数字与情

境。每份试卷包含 13-15 道多类型题目（选择、填空、运算），满分 50 分，作答限时 30 分钟，以反映学生在课堂情境下的真实数学能力。

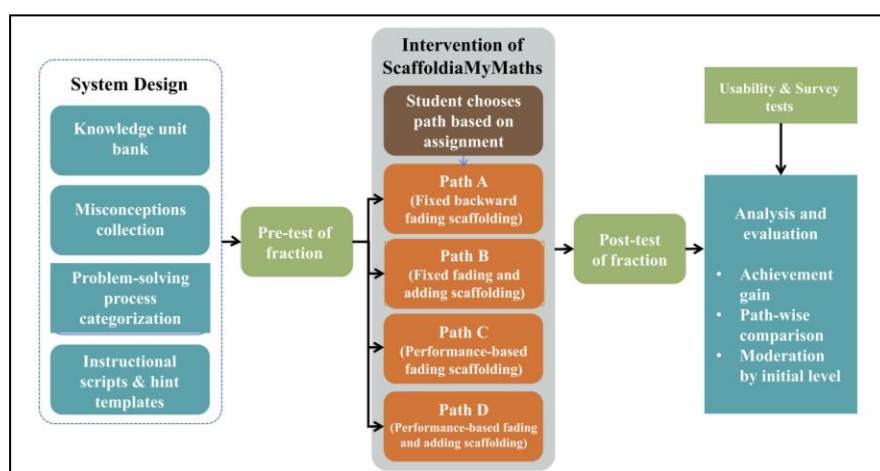


图 1 ScaffoldiaMyMaths 实验干预流程

整体而言，本研究通过课堂情境下的准实验方法、四类型支架路径的对比设计，以及前后测量化数据的收集，检验 ScaffoldiaMyMaths 在分数学习中的成效差异与条件性作用模式，为理解自适应支架在小学数学中的学习调节机制提供实证基础。

4. 实验研究结果

本研究已完成课堂情境下的试验实施与初步数据分析。整体结果显示，学生在使用 ScaffoldiaMyMaths 完成分数学习单元后，其数学成绩在后测相较前测出现小幅但显著的提升，平均分由 62.07 提升至 64.51 ($p < .05$)，说明该平台在分数学习情境中具有一定的促进作用（如图 2 所示）。

进一步比较四种支架路径（A/B/C/D）的学习增益后发现，不同支架策略的效果呈现明显差异趋势（如图 2 所示）。其中，路径 D 的学习提升最为突出，路径 C 次之；路径 A 的提升幅度较小，而路径 B 出现轻微下降。具体而言，路径 C 与路径 D 的平均增益最为明显（约+5.36 与+6.19 分），路径 A 仅呈现温和增长（约+1.35 分），路径 B 则略有负向变化（约-1.16 分），该结果提示“支持强度更高”并不必然带来更好的学习效果，支架策略与学习者需求之间的匹配可能更为关键。

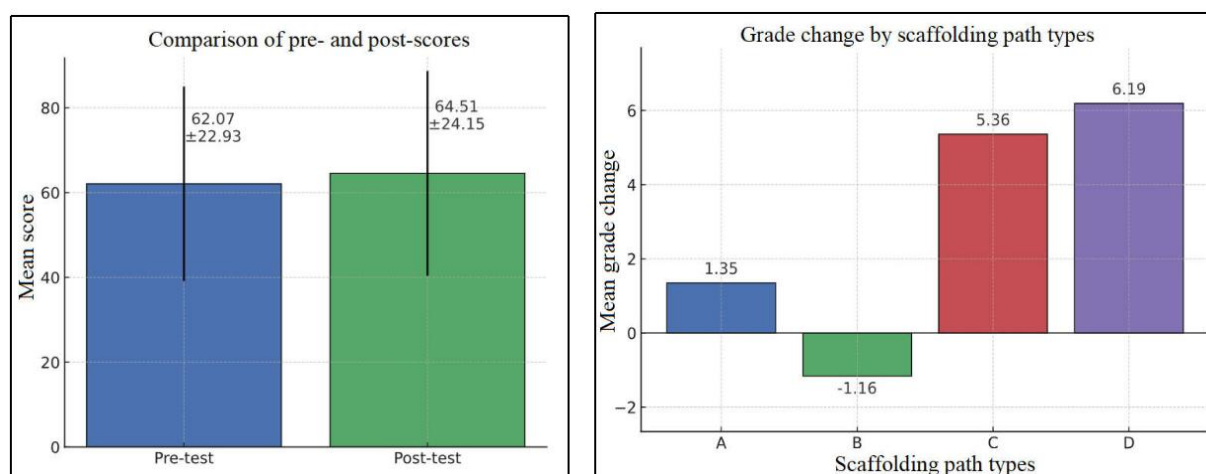


图 3 干预前后测成绩对比图，及不同支架路径对应的平均增益柱状图

结合学习者前测水平的分层分析也显示，自适应程度更高、对表现更敏感的路径（尤其是 C/D）在部分学生群体中更容易体现优势，而高水平学生的整体提升相对有限（如图 3 所示）。

这意味着自适应支架的有效性可能具有条件性，其作用机制需要进一步结合学习过程数据与个体差异来解释与优化。

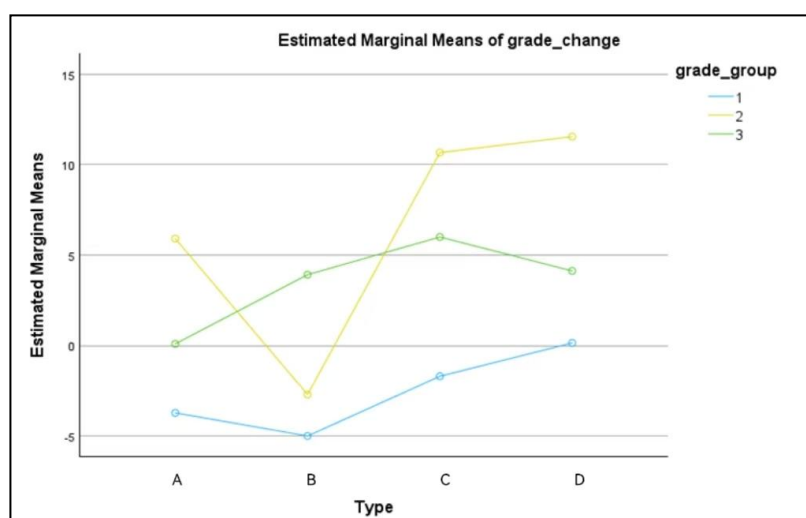


图3 高分组、中分组和低分组学生成绩变化折线图

5. 下一步将展开的研究工作

基于本研究已完成的课堂试验与初步分析，下一阶段将进一步从“结果验证”走向“机制解释”，以提升研究的解释力与可推广性。首先，本研究将引入更细粒度的学习过程数据（如作答时长、连续错误模式、提示调用轨迹与平台交互行为），从学习轨迹层面解释不同支架路径为何在不同学业水平学生中呈现差异化效果，并识别哪些关键行为信号能够更准确触发“渐退”或“补充提示”的自适应决策。

其次，本研究将对现有自适应规则进行优化，使支架调整不仅依赖正确率，还能结合反应时、错误类型与帮助寻求等指标形成更稳定的多信号判断机制，从而提升系统对学习者的即时需求的识别精度与支持匹配度。

最后，为增强外部效度与实践价值，后续研究将扩大样本与实施场域，在更多学校与不同年级开展验证，并探索将该框架迁移至其它数学主题，以检验自适应支架策略在不同知识领域中的稳健性与可复用性。

参考文献

- National Mathematics Advisory Panel. (2008). *Foundations for success: The final report of the National Mathematics Advisory Panel*. U.S. Department of Education.
- Moreno, R., & Mayer, R. (2007). Interactive multimodal learning environments. *Educational Psychology Review*, 19(3), 309-326.
- VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197-221.
- Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. (2003). Mathematics interventions for children with special educational needs: A meta-analysis. *Remedial and Special Education*, 24(2), 97-114.
- Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89-100.
- Saye, J. W., & Brush, T. (2002). Scaffolding critical reasoning about history and social issues in multimedia-supported learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 77-96.

