

AR/VR 技术对学生数学学习成效的影响：一项荟萃分析

Impact of AR and VR Technologies on Students' Mathematics Learning

Outcomes: A Meta-Analysis

刘付¹, 方媛^{1*}¹杭州师范大学颐教育学院*2511024623@qq.com

【摘要】近年来, 增强现实 (AR) 与虚拟现实 (VR) 技术在数学学习中的应用逐渐受到关注, 但其对学习成效的具体影响仍然存在争议。本研究采用元分析方法, 通过文献检索与筛选, 最终获得20个有效样本, 并使用漏斗图检验了样本的有效性。研究采用 Hedges' adjusted g 作为效应量的表征指标, 分析了AR/VR技术对数学学习成效的整体效果。结果表明, AR/VR 技术对数学学习成效具有中等程度的正向影响 ($g=0.59$), 其中在学习动机与学习兴趣等非认知维度上的促进作用尤为显著。此外, 干预时间与教学方法在技术效果发挥过程中呈现显著调节作用。最后, 本文根据研究结果, 提出了提升AR/VR技术在数学中应用效果的相关建议。

关键词: 增强现实技术; 虚拟现实技术; 学习成效; 元分析; 数学教育

Abstract: In recent years, the application of augmented reality (AR) and virtual reality (VR) technologies in mathematics learning has attracted increasing attention; however, their specific effects on learning outcomes remain controversial. This study adopts a meta-analytic approach. Through systematic literature retrieval and screening, 20 eligible samples were ultimately included, and funnel plots were used to examine publication bias. Hedges' adjusted g was employed as the effect size index to analyze the overall impact of AR/VR technologies on mathematics learning outcomes. The results indicate that AR/VR technologies have a moderate positive effect on mathematics learning outcomes ($g = 0.59$), with particularly significant benefits observed in non-cognitive dimensions such as learning motivation and learning interest. In addition, intervention duration and instructional methods were found to play significant moderating roles in the effectiveness of these technologies. Finally, based on the findings, this study proposes recommendations for enhancing the effectiveness of AR/VR applications in mathematics education.

Keywords: augmented reality technology; virtual reality technology; learning outcomes; meta-analysis; mathematics education

1. 前言

随着信息技术的迅速发展, 尤其是增强现实 (AR) 和虚拟现实 (VR) 技术的兴起, 教育领域正在经历一场深刻的变革。教育部 (2018) 年发布的《教育信息化 2.0 行动计划》明确指出, 信息技术与教育教学的深度融合是未来教育发展的核心目标。AR/VR 技术的引入不仅为教学带来了更加沉浸式的体验, 还为学生创造了更直观、立体的学习环境。这些技术能够通过虚拟与现实的融合, 将知识以更生动的形式呈现, 从而激发学生的学习兴趣和提升他们的参与感。因此, 技术在教育中的应用已成为学者们广泛关注的话题。然而, 关于该技术在提高学习成效方面的实际效果, 学术界仍存在不同的观点。如 Del (2014) 认为增强现实技术的使用对学习成效具有积极正向影响, 将增强现实技术引入到小学数学图形教学中能显著提升学生的学习兴趣 and 空间想象力; 而郑玲 (2021) 认为虚拟现实 (VR) 模拟所需的互动性会增加学生额外认知负担, 过度依赖这类技术可能会增加学生的认知负担, 从而影响学习效果。因此, 如何评估 AR/VR 技术对数学学习成效的影响, 尤其是其在不同学段、学科以及教学方法中的

作用, 仍然是一个值得深入探讨的问题。为了更全面地分析 AR/VR 技术的教学效果, 本研究采用元分析方法, 整合国内外的相关研究, 探讨不同教学环境、干预时间及教学方法等因素对学习成效的调节作用, 旨在为教育实践提供更加科学的依据。

2. 研究设计

2.1. 文献检索与筛选

本研究以“Augmented Reality”、“AR”、“Virtual Reality”、“VR”和“Math*”“Learning Outcomes”、“Learning Effect”、“Learning Achievements”、“Learning Performance”为关键词, 在 Web of science、Scopus、EBSCO 等外文数据库中进行检索; 文献的检索时间均设为 2018 年 1 月至 2025 年 5 月。之后, 本研究通过以下筛选标准进一步遴选文献: ①研究主题为增强现实技术和虚拟现实技术对学习成效影响的相关研究; ②研究方法是双组实验下的实证研究, 实验组使用技术手段而对照组采用传统教学方法; ③研究采用的学习形式是校园内的正式学习, 而不是非正式学习; ④在实验设计中, 对实验开展的具体过程有详细的说明, 如实验学段, 干预时间等; ⑤实验干预的条件是在教学过程中使用与不使用增强现实技术或者虚拟现实技术; ⑥研究结论提供完整的实验数据, 如样本量 N 、平均值 M 、标准差 SD 等。筛选后, 本研究最终得到 20 个有效样本。

2.2. 变量设定与文献编码

在变量设定方面, 本研究将增强现实技术和虚拟现实技术作为自变量, 同时以顾小清(2018)提出的将学习效果划分为认知和非认知层面两类为参考依据, 研究 AR 和 VR 技术对学习成效的影响作用。同时, 本研究将学段、干预时间等设置为调节变量, 首先研究自变量对因变量的整体作用效果, 然后引入调节变量, 更深入研究调节变量如何影响学习效果。

2.3. 分析方法和工具

本研究采取元分析法(Meta-analysis), 即综合多个实验或准实验研究结果并从中获得实验平均效应值的统计分析方法, 借助 Comprehensive (1988) Meta-Analysis 2.0 工具开展研究。在不同的元分析文献中, 根据结果变量类型的不同而使用不同的效应量, 常用的效应量有 Cohen's d 、Glass' estimator g 和 Hedges' adjusted g 等。本研究拟采用 Hedges' adjusted g 作为效应量的表征指标, 分析增强现实技术和虚拟现实技术对学业成效的影响作用。

3. 分析与检验

3.1. 描述性分析

在学段方面, 实验对象主要集中在小学和初中, 分别占比 35% 和 40%。AR/VR 技术的应用学科以数学为主, 占比 40%, 其次为物理学科, 占比 30%。在教学方法的选择上, 探究发现法和任务驱动法最为常见, 占比分别为 32% 和 28%。在应用场景方面, 课堂和实验室是主要的教学场所, 分别占比 60% 和 25%。

3.2. 发表偏倚检验

在检验 AR 技术对学习成效的整体效果之前, 本研究对所收集到的 41 个样本进行偏倚度检验。研究的样本效应值均分布于主轴的两侧, 只有少数位于漏斗的下部, 这说明样本的有效性较好, 基本不存在发表偏倚。同时 $egger$ 回归大于 0.05, 也同样说明了基本不存在发表偏倚。为后续研究提供了有力的证据。

3.3. 综合效果检验

3.3.1. AR/VR 技术对学习成效的综合效果分析

本研究根据异质源构造随机效应模型(Random Effects Models)和固定效应模型(Fixed Effects Models)来考察样本文献的异质性。一般来说, 当样本文献间的异质性较小时, 宜采用固定效应模型; 对存在明显异质性的研究($I^2 \geq 75\%$ 时使用), 应采用随机效应模型。在异质性检验中, 发现 41 个有效样本的异质性结果 $I^2 = 85\%$, 其值大于 75%, 表明样本文献间存在明显

的异质性，因此本研究选用随机效应模型来计算主效应量。根据 Hedges’adjusted g 的效应值统计理论当 $d \geq 0.5$ 时，通常认为有中等影响。经计算，随机效应模型的效应值为 0.59，说明增强现实技术和虚拟现实技术对学习成效有中等程度的影响作用。

3.3.2. AR/VR 对学习成效各个维度的效果分析

本研究对 AR/VR 技术对学习成果各个维度的影响进行效果分析，表 1 展示了各维度的效果值。在学习成果上，学习动机的效果值最大，为 $d=0.77$ ，表明 AR/VR 对学习动机的提升效果显著。在认知层面，学习能力的效果值为 $d=0.54$ ，显示 AR/VR 对认知层面有较为明显的影响，但在空间能力上，效果值较低，为 $d=0.70$ ，可能与学习者的空间认知能力密切相关，需要进一步的优化。且在非认知层面，学习兴趣的效果值为 $d=0.78$ ，表明 AR/VR 对学习者的提升具有较强的作用。进一步分析显示，各维度的 p 值均小于 0.05，表明这些影响具有统计学显著性。

表 1 部分维度效果分析

学习成效各个维度	效应值 (d)	95%的置信区间		异质性检验			组间效应			
		下限	上限	Q 值	df	p	I ²	Qn	df	p
学习成绩	0.597	0.01	0.76	92.74	29	0.000	69%			
认知层面	0.543	-0.06	1.01	56.61	4	0.022	93%	11	5	0.000
空间能力	0.702	0.36	1.04	39.51	2	0.000	59%			

3.4. 调节效应检验

3.4.1. 不同学段对学习成效的影响作用

针对小学、初中和高中三个学段，学习效果的效应值分别为 0.53、0.75 和 0.36，其中小学和初中的效应值均高于 0.5，说明 AR 技术对这两个学段的学习效果有较强的积极影响。尤其是初中学段，效应值为 0.75，远高于高中学段的 0.36，表明 AR 技术对初中学段的学习效果提升作用最为显著。在各学段的异质性检验中，所有的 Q 值均显著，且 p 值均小于 0.05（小学：p=0.000；初中：p=0.000；高中：p=0.000），表明学段之间在学习效果上存在显著差异。同时，I²值也较高（小学：82%，初中：86%，高中：84%），进一步证明了学段之间的学习效果差异较大。在组间效应检验中，Q 值为 4.30，p 值为 0.57（p>0.05），表明学段之间对学习效果的调节作用不存在显著差异。总的来说，AR 技术对不同学段的学习效果产生了显著的影响，尤其是对初中学段的影响最为明显，而学段间的差异主要体现在效应值的大小上。

3.4.2. 不同干预时间对学习成效的影响作用

针对不同干预时间的学习效果，效应值呈现一定的变化趋势。具体来说，小于 1 周的干预时间效应值为 0.34，较低，说明该时间段的干预对学习效果的提升作用相对较弱。而干预时间为 1-4 周和 5-8 周时，效应值分别为 0.81 和 0.87，均高于 0.5，显示出干预时间较长时，学习效果有显著提升。在异质性检验中，所有干预时间段的 Q 值均显著，且 p 值均小于 0.05（小于 1 周：p=0.000；1-4 周：p=0.000；5-8 周：p=0.000；大于 8 周：p=0.003），表明各干预时间段之间在学习效果上存在显著差异。在组间效应检验中，Q 值为 13.8，p 值为 0.003（p<0.05），表明不同干预时间对学习效果的影响存在显著的调节作用。干预时间越长，学习效果越显著，短期干预（小于 1 周）对学习效果的提升作用相对较弱。

4. 优化 AR/VR 技术支持下的教学建议

基于综合结果分析可知，AR/VR 技术对数学学习成效具有积极的促进作用，尤其在学习动机和学习兴趣方面。尽管不同学段和学科的效果差异不显著，但在干预时间长度和教学方法的选择上，效果的差异较为明显。基于上述研究结果，本文从提升技术应用效果、优化干预时间和选择适当教学方法等方面，提出了以下优化建议：

4.1. 提升 AR/VR 技术对学习成效的作用

虽然 AR/VR 技术对数学学习成效的综合效应值为 0.59, 显示出中等程度的促进作用, 但目前的应用尚未实现技术与教学的深度融合。为了进一步提升技术对学习成效的影响, 教师应在教学中不断探索技术应用的最佳实践, 理论与实践相结合。只有通过教师、科研人员与政府共同努力, 才能实现 AR/VR 技术在数学教育中的深度应用, 提升整体教学效果。

4.2. 优化干预时间, 延长学习周期

研究发现, 不同干预时间对学习成效的影响具有显著差异。具体来说, 干预时间越长, 学习效果越明显, 特别是在 5-8 周的干预阶段, 效应值高达 0.87。短期 (小于 1 周) 干预的效果较为平淡, 效应值仅为 0.34。因此, 教师在应用 AR/VR 技术时, 应根据课程内容和学习目标合理规划干预周期, 尽量延长干预时间, 以确保技术应用的最佳效果。

4.3. 在技术应用中选择合适的教学方法

根据不同教学方法的效应分析, 探究发现法 ($d=0.83$) 和任务驱动法 ($d=0.62$) 结合 AR/VR 技术的使用能显著提升数学学习效果。尤其是探究发现法, 通过激发学生的主动学习兴趣, 能够有效提升他们对数学知识的理解与掌握。任务驱动法通过小组合作, 促进学生之间的互动与协作, 也能有效提高学习成效。教师在实施 AR/VR 技术时, 应选择能激发学生学习兴趣和提升学习主动性的教学方法, 以实现最佳的学习效果。

5. 总结

本研究通过元分析方法对 AR/VR 技术在数学教育中的应用效果进行了全面分析。通过收集 20 项国内外实验与准实验研究数据, 并计算效应值, 发现 AR/VR 技术对数学学习成效具有中等程度的积极影响, 回答了 AR/VR 技术能否提升数学学习成效的问题。具体来说, 从 AR/VR 技术对学习成效的各个维度的影响来看, 技术在认知层面的学习成绩和非认知层面的学习动机、学习兴趣等方面均显示出显著的促进作用。此外, 通过对学段、教学方法等调节变量的分析, 发现 AR/VR 技术对数学学习成效的影响在不同学段、学科上未显示出显著差异, 但在不同教学方法和干预时间的选择上, 存在明显的差异。基于以上结果, 本研究从教学效果的优化、教学方法的选择以及教学干预时间等方面提出了相应的建议, 以期促进 AR/VR 技术与数学教育教学的深度融合。然而, 本研究也存在一些不足之处, 如样本量较小、学科分类不够细化、分析结构尚需进一步优化等。未来研究可在样本量的增加、学科类别的细化以及技术与教学融合的多维度探讨上进行深入, 以便更好地评估 AR/VR 技术对学习成效的长远影响。

参考文献

顾小清, 胡梦华. (2018). 电子书包的学习作用发生了吗?——基于国内外 39 篇论文的元分析. 电化教育研究, (5), 19-25.

教育部. (2018, 4 月 25 日). 教育部关于印发《教育信息化 2.0 行动计划》的通知. 中华人民共和国教育部政府门户网站. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/201804/t20180425_334188.html

郑玲, 刘革平, 谢涛, 等. (2021). 协作学习中虚拟现实技术对学习效果的影响——2007—2019 年国际实证论文的元分析研究. 中国远程教育, (4), 56-64.

Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (4th ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Del Cerro Velázquez, F., & Morales Méndez, G. (2021). Application in augmented reality for learning mathematical functions: A study for the development of spatial intelligence in secondary education students. Mathematics, 9(4), 369. <https://doi.org/10.3390/math9040369>