

交互式虚拟现实在科学教育中应用对学习成效的影响效果研究——基于 56 篇实验或准实验研究的元分析

A Study on the Impact of Interactive Virtual Reality Technology on Students' Learning

Outcomes in Science Education: A Meta Analysis

刘玲慧, 逯行*, 孙紫怡, 苗婷薇

浙江师范大学教育学院

15635080416@163.com, * 1020352929@qq.com

【摘要】 本研究对 56 项关于交互式虚拟现实技术应用于科学教育的研究进行元分析, 揭示科学教育中交互式虚拟现实技术对学生学习成效的影响。对总体效应和调节效应进行了分析, 计算效应大小时使用了随机效应模型, 结果表明, 交互式虚拟现实技术应用到科学教育中对学生的学习成效具有中等程度的影响, 有助于提升学生的学习成效。

【关键词】 交互式; 虚拟现实; 科学教育; 学习成效; 元分析

Abstract: This study meta-analyzed 56 studies on the application of interactive virtual reality technology to science education to reveal the effects of interactive virtual reality technology in science education on students' learning effectiveness. Overall and moderating effects were analyzed, and a random-effects model was used to calculate the effect size, which showed that interactive virtual reality technology applied to science education has a moderate effect on students' learning effectiveness and helps to improve students' learning effectiveness.

Keywords: interactive, virtual reality, science education, learning effectiveness, meta-analysis

1. 引言

当前虚拟现实技术的应用已深入各个领域, 如教育、医疗等方面。学术界虚拟现实技术的应用也成为研究热点, 交互式的 VR 技术使学生可以探索虚拟学习环境, 无论是重现历史故事、展示复杂科学原理, 还是探索神秘宇宙, 都变得触手可及。近年来, 国家对科学教育给予前所未有的重视, 如何能够提升科学教育的效果, 开创科学教育新局面成为关键问题。Chen 和 Chu (2024) 探究 VR 辅助探究式学习对学生学习效率的影响, 结果表明该方法能显著提高学生的科学成绩。Dunnagan 等 (2020) 进行的一项 VR 实验室体验项目, 结果表明, 两组学生的学习结果没有显著差异。虚拟现实技术以较强的交互性为主要特征应用于教育教学过程中, 目前对于其在科学教育的应用效果如何, 当前的研究没有对这一问题形成统一的结论。综上, 本研究通过使用元分析的方法, 尝试分析 2006 年以来国际及国内交互式虚拟现实应用到科学教育中对学生学习成效的影响效果, 期望能够为研究者和教师提供参考。

2. 研究设计

2.1. 文献检索流程

文献检索选择时间跨度为 2006 年到 2024 年, 对于中文文献, 选取 CNKI 数据库, 主题词为“虚拟现实”或“VR”或“虚拟仿真”并含“实验”或“准实验”, 同时主题涉及到“科学”或科学教育所包含的生物、物理和化学等学科, 共检索到中文文献 169 篇。对于外文文献, 选取 Web of Science 数据库, 主题词有“virtual reality”或“VR”并包含“experiment”或“quasiexperiment”, 同时选择涉及“physics”“chemistry”等科学教育领域学科的关键词

进行搜索,共检索到英文文献篇 175 篇。为避免遗漏,本研究还通过参考文献进行人工搜索,以补充文献。文献检索流程如图 1 所示。

2.2. 文献纳入标准

检索到的文献依据以下标准进行筛选: (1) 研究主题必须是虚拟现实技术对学生学习的影响,包含有小学、初中、高中以及本科阶段的在校学生; (2) 研究内容中虚拟现实技术的使用含有交互,且涉及学科内容属于科学教育; (3) 研究类型为实验研究或者准实验研究,或者用到案例为实验研究或准实验研究; (4) 研究中必须包括实验组和对照组; (5) 研究中提供了足够的信息可供提取和计算。基于上述筛选标准,本研究最终获得符合标准的文献 56 篇,其中中文文献有 29 篇,英文文献 27 篇,一共获得 91 个效应值。

2.3. 文献编码

为了进行下一步的研究,本研究对所筛选的 56 篇文献进行编码,编码信息包括文章信息、样本量、实验学段、实验学科及 VR 交互方式(李彤彤等, 2018; 李宝敏, 2019)。本研究中科学教育包含小学阶段设置的科学课程、中学阶段设置的化学、物理等课程以及本科阶段涉及自然科学知识的课程,同时包含上述内容在教学过程中所进行的教育教学活动。研究涉及小学、初中、高中、大学多个学段,涉及科学、生物、化学等多个科学教育所包含的学科。

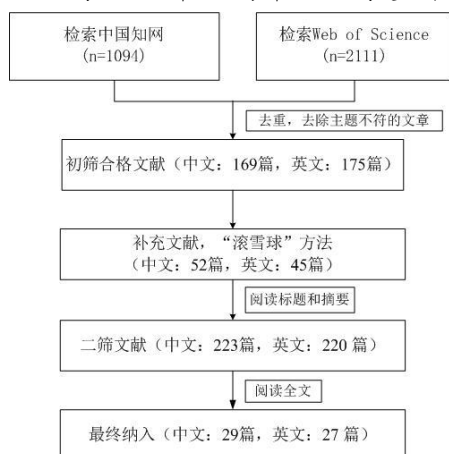


图 1 文献检索流程图

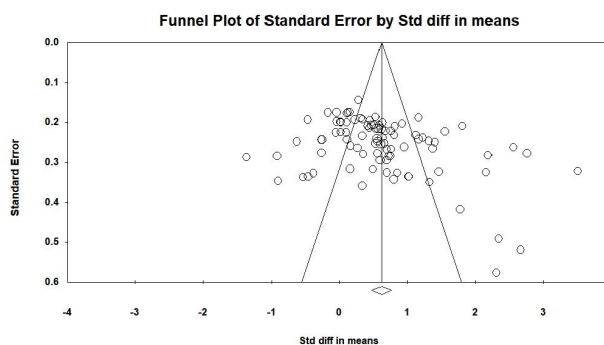


图 2 漏斗图

2.4. 数据分析

2.4.1. 发表偏倚和异质性检验

本研究的漏斗图(如图 2)显示效应值分布右侧多于左侧,可能存在发表偏倚。Egger's 回归检测结果显示 $P=0.00256<0.05$, 达到显著水平,说明存在一定的发表偏倚。因此,采用剪补法判断发表偏倚是否会对研究结果造成较大影响,结果显示剪补后 Q 值和置信区间与之前相同,需要剪补的研究数量为 0,表明发表偏倚对于研究的影响不大,结果较稳健(如表 1)。异质性检验的总体效应值分布如表 2 所示。本研究 I^2 值为 88.389%,同时, Q 值越大对应的 P 值小于 0.05,说明异质性程度较高,选择随机效应模型。

2.4.2. 研究工具和效应值选择

本研究使用 Comprehensive Meta Analysis V3 软件处理和分析数据。同时,本研究选取标准化均差(standardized mean difference, SMD)作为效应值。

3. 研究结果分析

3.1. 总体效应分析

根据合并效应值结果(如表 2),合并后的 SMD 值为 0.618,对应的 P 值为 $0.000<0.001$,达到了统计的显著水平。Cohen(1992)认为当效应值为 0.2 左右,可认为影响较小;当效应值在 0.5 上下时,被认为有中等影响;当效应值在 0.8 左右时,被认为是影响显著。基于此,本研究认为交互式虚拟现实技术应用到科学教育中对学生的学习成效具有中等程度的影响,有助于提升学生的学习成效。

表 1 剪补法数据表

类型	修 剪	固定效应			随机效应			Q 值
	数量	点估计值	下限	上限	点估计值	下限	上限	
观测值	0	0.52681	0.47756	0.57607	0.61797	0.47141	0.76452	766.53116
调整值		0.52681	0.47756	0.57607	0.61797	0.47141	0.76452	766.53116

表 2 总体效应值表

模型	效应值和 95%的置信区间				双尾检验		异质性检验				Tau 平方		
	样 本	点 估 计 值	下 限	上 限	Z 值	P 值	Q 值	Df	P 值	I ²	Tau 平方	标 准 误	Tau 平方
固定效应	90	0.527	0.478	0.576	20.964	0.000	766.	89	0.000	88.	0.434	0.079	0.659
随机效应	90	0.618	0.471	0.765	8.265	0.000	531			389			

表 3 学习成效的调节效应分析表

调节变量	类型	数 量	SMD	标 准 误	方 差	95%置信区间		双尾检验		异质性		
						下 限	上 限	Z	P	Q	df	P
学科	地理	7	0.263	0.143	0.021	-0.018	0.544	1.835	0.066	36.293	6	0.000
	工程	2	2.494	0.357	0.127	1.795	3.193	6.993	0.000			
	化学	7	0.689	0.239	0.057	0.222	1.157	2.889	0.004			
	科学	31	0.751	0.132	0.017	0.493	1.009	5.702	0.000			
	生物	12	0.524	0.134	0.018	0.261	0.787	3.902	0.000			
	数学	2	0.655	0.503	0.253	-0.332	1.641	1.301	0.193			
	物理	29	0.457	0.161	0.026	0.142	0.772	2.847	0.004			
学段	本科	19	0.638	0.196	0.039	0.253	1.023	3.248	0.001	1.552	3	0.670
	初中	20	0.739	0.140	0.020	0.464	1.015	5.263	0.000			
	高中	22	0.495	0.138	0.019	0.225	0.765	3.598	0.000			
	小学	29	0.615	0.139	0.019	0.343	0.887	4.434	0.000			
交互方式	触控笔	4	1.306	0.271	0.074	0.774	1.838	4.811	0.000	10.142	3	0.017
	佩戴设备	13	0.961	0.223	0.054	0.504	1.418	4.119	0.000			
	手柄控制	6	0.600	0.324	0.105	-0.035	1.234	1.852	0.064			
	鼠标点击	67	0.517	0.081	0.007	0.357	0.676	6.349	0.000			

3.2. 调节效应分析

本研究根据学科、学段以及交互方式进行了调节效应分析，分析结果如表 3 所示。

3.2.1 不同学科对学习成效的调节作用

根据分析结果（如表 3），异质性检验的 Q 值为 36.293，P 值为 $0.000 < 0.001$ ，说明学科差异对整体效果会产生显著影响。在不同学科中，地理和数学双尾检验的 P 值均大于 0.05，不具备显著水平，但效应值处于中等程度，说明交互式 VR 技术应用到数学中对学生学习的促进作用一般；化学、物理、工程、科学和生物学科双尾检验的 P 值均小于 0.001，说明交互式 VR 技术应用这些学科中对学生的学习具有显著的正向促进作用。

3.2.2. 不同学习阶段对学习成效的调节作用

根据分析结果（如表 3），异质性检验的 P 值为 $0.670 > 0.05$ ，说明学段差异不会对学生学习成效产生显著影响。本科、初中、高中和小学组双尾检验的 P 值均小于或等于 0.001，具有显著性，且效应值均处于中等及以上，说明交互式 VR 技术对于不同学段的学生学习都具有显著的促进作用。

3.2.3. 不同互动方式对学习成效的调节作用

根据分析结果（如表 3），异质性检验的 P 值为 $0.017 < 0.05$ ，说明不同交互方式对于整体效果会产生显著影响。在不同交互方式中，触控笔、佩戴设备和鼠标点击双尾检验的 P 值均

小于 0.001, 具有显著影响。触控笔和佩戴设备效应值均达到 0.9 以上, 说明相较于鼠标点击来说触控笔和佩戴设备更能促进学生的学习成效。手柄控制双尾检验的 P 值大于 0.05, 而效应值处于中等程度, 说明手柄控制对于学生的学习起到的促进作用一般。

4. 结论与思考

本研究通过元分析方法综合分析了交互式虚拟现实技术在科学教育中应用对学生学习成效的影响效果。结果表明, 交互式虚拟现实技术在科学教育中应用对学生学习成效的整体影响达到统计的显著水平, 表明有助于提升学生的学习成效。此外, 通过调节效应分析, 发现学段差异不会对整体效果造成影响, 但学科差异和交互方式差异会产生显著影响, 由此可知在不同学科以及不同交互类型对于交互式 VR 技术的应用的效果不同。基于研究结果, 我们为科学教育教师提出一些建议: 第一, 学科是一个很重要的调节因素, 因此在科学教育中, 对于不同学科与交互式 VR 技术的融合要考虑学科特点, 对于科学、物理和化学等实践性和综合性较强的学科, 应当充分发挥交互式 VR 技术的教学优势。而对于数学学科, 应当更注重教学内容与技术的整合, 找到合适的融合点, 进一步提高教学效果。第二, 从研究结果来看, 相较于使用触控笔、鼠标点击和佩戴头盔或 VR 眼镜来说, 手柄控制的效果一般, 因此, 教师要根据教学内容选择效果更好的交互方式。

参考文献

- 李彤彤、庞丽和王志军(2018)。翻转课堂教学对学生学习效果的影响研究——基于 37 个实验和准实验的元分析。《电化教育研究》, 39(5), 99 - 107。
<https://doi.org/10.13811/j.cnki.eer.2018.05.015>
- 李宝敏、王钰彪和任友群(2019)。虚拟现实教学对学生学习成绩的影响研究——基于 40 项实验和准实验的元分析。《开放教育研究》, 25(4), 82 - 90。
<https://doi.org/10.13966/j.cnki.kfjyyj.2019.04.009>
- Chen, C.-H., & Chu, Y.-R. (2024). VR-assisted inquiry-based learning to promote students' science learning achievements, sense of presence, and global perspectives. *Education and Information Technologies*, 29(15), 19421 - 19441.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155 - 159.
- Dunnagan, C. L., Dannenberg, D. A., Cuares, M. P., Earnest, A. D., Gurnsey, R. M., & Gallardo-Williams, M. T. (2020). Production and Evaluation of a Realistic Immersive Virtual Reality Organic Chemistry Laboratory Experience: Infrared Spectroscopy. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 258 - 262.