

增强现实对学生创造力的影响

——一项基于22项实验与准实验的元分析

陈会萍

聊城大学传媒技术学院, 山东 聊城

收稿日期: 2025年7月30日; 录用日期: 2025年8月28日; 发布日期: 2025年9月9日

摘 要

增强现实将虚拟信息技术与真实世界巧妙融合, 在教育教学领域展现出了有益成果。然而, 关于增强现实是否能够有效提升学生创造力目前尚未达成一致结论。为此, 本研究采用元分析方法, 对国内外的22篇实验和准实验研究文献进行分析, 研究发现增强现实对学生创造力具有正向积极影响。增强现实对提升学生不同学段的创造力均有积极作用; 增强现实对人文和理工类的创造力均有正向影响; 基于任务的AR对学生创造力的影响程度高于其他AR技术形式。研究结果为未来利用增强现实技术提升学生创造力的教学实践和研究提供了重要参考。

关键词

增强现实, 创造力, 元分析

The Impact of Augmented Reality on Students' Creativity

—A Meta-Analysis Based on 22 Experimental and Quasi-Experimental Studies

Huiping Chen

School of Media and Technology of Liaocheng University, Liaocheng Shandong

Received: Jul. 30th, 2025; accepted: Aug. 28th, 2025; published: Sep. 9th, 2025

Abstract

Augmented Reality (AR) seamlessly integrates virtual information with the real world and has demonstrated promising applications in educational settings. However, there remains no consensus regarding its efficacy in enhancing students' creativity. To address this, the present study

conducted a meta-analysis of 22 experimental and quasi-experimental studies from domestic and international literature. The findings revealed that AR exerts a significant positive effect on students' creative development. Specifically, the results indicate that: 1) AR effectively enhances creativity across all educational levels; 2) AR shows equally beneficial effects on creativity cultivation in both humanities and STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) disciplines; and 3) task-based AR interventions prove more effective in fostering creativity compared to other AR technological approaches. These results provide valuable empirical evidence to inform future pedagogical practices and research endeavors aimed at leveraging AR technology to enhance student creativity.

Keywords

Augmented Reality, Creativity, Meta-Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

增强现实(Augmented Reality, AR), 也被称作“扩增实境”或“扩增现实”, 它是在虚拟现实技术基础上发展而来的一项新兴技术, 最早由 Tom Caudell 提出其概念[1]。国内外围绕增强现实在教育领域开展了大量研究与实践探索, 比赫斯特的《魔法书》以 3D 场景动画的形式在书中呈现故事或事物, 借助特制眼镜装置, 实现现实与虚拟场景的融合[2]; 美国加利福尼亚州 Infinite Z 公司开发的 Z Space 是一种全新的三维显示器, 通过交互设备与虚拟物体互动, 帮助用户看到 3D 图像[3]。国内, 北京师范大学蔡苏小组利用增强现实技术复现了八年级物理课程中的探究凸透镜成像规律的实验[4]。虽然增强现实在教育领域的研究与实践日渐增多, 然而关于此种教学方式是否对学生的创造力具有显著影响的问题, 迟迟没有定论, 缺乏对增强现实影响学生创造力全面而系统的整理与分析。基于此, 本研究采用元分析方法, 梳理增强现实的实证研究成果, 探究增强现实对学生创造力的影响, 以期增强现实更好地服务于教育教学, 促进学生探索精神、高阶思维的培养提供借鉴。

2. 文献综述

2.1. 增强现实

增强现实通过识别现实环境中的特定标记物或空间特征, 为虚拟 3D 模型定位, 从而将虚拟对象与现实环境实时叠加, 使用户看到二者的融合[5]。目前, 增强现实在教育领域的应用已取得显著成效。在高等教育阶段, 增强现实能有效提升大学生的实验技能并改善其科学态度[6]; 在基础教育领域, 基于增强现实的翻转学习模式显著增强了小学生的学习动机和批判性思维[7]; 而将增强现实融入一种基于探究的学习框架(QIMS), 则显著提高了小学生的知识创造效能[8]。这些实证研究为增强现实教育应用奠定了理论与实践基础。基于现有成果, 本研究采用蔡苏等人的分类标准[4], 将增强现实划分为基于角色扮演、基于位置和基于任务三种形式, 以系统考察不同增强现实应用形式对学生创造力的差异化影响。

2.2. 创造力

直至今日, 国内外学者对创造力的定义尚未统一, 但普遍接受的定义框架至少包含创造性的过程、产品、个人和环境四种要素。理论界对创造力的维度划分也各不相同, 比较认可的模型主要有: 吉尔福

特的“智力三维结构模型”，从智力的内容、操作和产物三个维度构建[9]；阿曼贝尔的“创造力的三因素模型”，涵盖相关领域的知识与技能、创造力技能以及任务动机[10]；阿本的4P模型及创造性组合模型，强调问题、人、过程和产品的相互作用[11]；斯滕伯格的“创造力三侧面模型”，由智力、智力风格和人格特征构成[12]。这些维度对于我们深入研究增强现实对学生创造力的影响具有极为重要的参考价值。本研究应用了Kozbelt等人(2010)提出的创造力分类[13]，即把创造力分为创新思维、创新实践能力和创新人格特质这三个维度。

3. 研究设计

3.1. 文献检索

本研究使用中国知网、Web of Science、ProQuest、ScienceDirect、Scopus、Wiley 和 EBSCO (包括ERIC)、Google Scholar 作为文献数据检索平台，以关键词为：1) 增强现实类(增强现实技术、增强现实交互技术、翻转学习、移动系统、AR 应用程序、增强现实内容创作)；2) 创造力类(学生创造力、学生创新能力、创造性表现、创造性成就、创造性思维、批判性思维、想象性思维、聚合思维、发散思维、创造性实践、创造性探究、创造性设计、创造性问题解决、创造性自我效能感、创造性兴趣、创造性态度以及创造动机)。初检获得 1321 篇文献，去重后保留 1094 篇。

3.2. 文献筛选

为进一步对已检索到的文献进行深度筛选，制定了以下筛选标准：1) 研究内容涉及增强现实对学生创造力的影响，剔除偏离研究主题的有效文献；2) 研究方法为实验或准实验，自变量为是否使用增强现实，因变量为创造力，删除文献综述、理论探讨、软件开发等类型文献；3) 研究需设置实验组和对照组，比较学生在创造力方面的差异，去除仅有前测和后测结果，没有对照实验的研究；4) 研究对象是学生；⑤研究应提供计算效应值所需的数据，如实验组与对照组的平均值、样本数、标准差、样本量、t 值、p 值等数据。筛选流程如图 1。

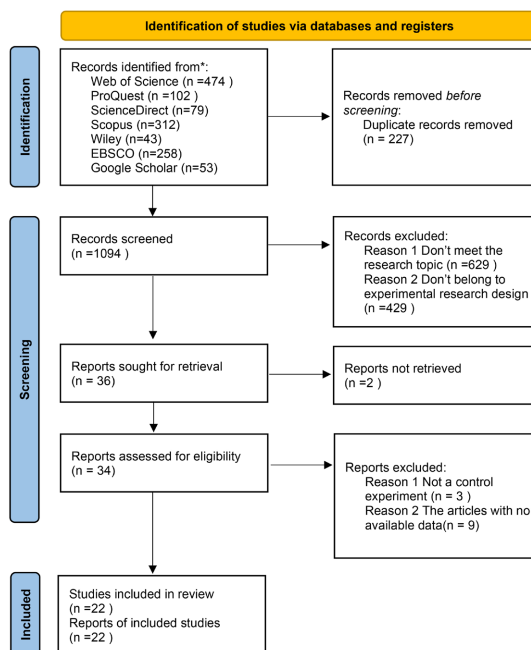


Figure 1. PRISMA flow chart
图 1. PRISMA 流程图

筛选过后，得到符合以上标准的文献共 22 篇如表 1，含 52 个效应量(其中部分实验与准实验研究包括多个效应量)。

Table 1. 22 journal papers used for meta-analysis
表 1. 用于元分析的 22 篇期刊论文

序号	题目	序号	题目
1	Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories [6].	12	Integrating augmented reality into problem based learning: The effects on learning achievement and attitude in physics education [23].
2	Comparison of augmented reality and conventional teaching on special needs students' attitudes towards science and their learning outcomes [14].	13	The effect of augmented reality activities on improving preschool children's spatial skills [24].
3	Effects of learning physics using Augmented Reality on students' self-efficacy and conceptions of learning [15].	14	The effects of augmented reality on elementary school students' spatial ability and academic achievement [25].
4	Landscape interpretation with augmented reality and maps to improve spatial orientation skill [16].	15	The effect of Augmented Reality Technology on middle school students' achievements and attitudes towards science education [26].
5	Developing an interactive augmented reality system as a complement to plant education and comparing its effectiveness with video learning [17].	16	Using augmented reality technology in storytelling activities: Examining elementary students' narrative skill and creativity [27].
6	Impacts of an augmented reality-based flipped learning guiding approach on students' scientific project performance and perceptions [7].	17	Design and Evaluation of a Deep Learning Recommendation Based Augmented Reality System for Teaching Programming and Computational Thinking [28].
7	Effects of augmented reality-based multidimensional concept maps on students' learning achievement, motivation and acceptance [18].	18	Integrating augmented reality into inquiry-based learning approach in primary science classrooms [8].
8	An augmented reality-based mobile learning system to improve students' learning achievements and motivations in natural science inquiry activities [19].	19	Ethno-STEM Integrated Digital Teaching Material with Augmented Reality to Promote Students' Learning Skills and Innovation [29].
9	Effects of a haptic augmented simulation on K-12 students' achievement and their attitudes towards physics [20].	20	Augmented Reality Textbook: A Classroom Quasi-Experimental Study [30].
10	MantarayAR: Leveraging augmented reality to teach probability and sampling [21].	21	Exploring Imaginative Capability and Learning Motivation Difference Through Picture E-Book [31].
11	A framework utilizing augmented reality to improve critical thinking ability and learning gain of the students in Physics [22].	22	The impact of a critical fiction analysis based on using augmented reality technology on developing students' critical thinking and critical writing at Tabuk University [32].

3.3. 文献编码

本研究基于 Kozbelt 等人提出的创造力分类，将因变量创造力分为创新思维(批判性思维、发散性思维、收敛性思维、联想思维、逆向思维等)、创新实践能力(创造性探究、创造性实践、创造性设计、创造性应用、创造性问题解决等)和创新人格特质(好奇心、创造性自我效能感、创造性兴趣、创造性态度、创造性动机等)三个维度。然后，将学段、学科、增强现实形式设为本研究的调节变量，具体编码情况见表 2。

Table 2. Coding of moderator variables
表 2. 调节变量的编码情况

编码对象	编码情况
学段	学前；小学；中学(初中、高中)；大学(专科、本科、研究生)
学科	理工(数学、生物、计算机等)；人文(语文、英语等)
增强现实形式	基于角色扮演的 AR、基于位置的 AR；基于任务的 AR

3.4. 研究方法

本研究使用元分析方法探讨增强现实对学生创造力的影响。首先，对相关实验及准实验研究编码；然后提取均值、标准差、样本量等数据来计算效应值；同时，考虑到不同研究的不同(准)实验设计以及一些研究的小样本量，本研究使用 Hedges’s g [33]为最终效应值；最后，借助 CMA3.0 软件作为元分析工具进行效应量计算、异质性检验、调节变量分析及发表偏倚检验。

4. 研究结果

4.1. 增强现实对创造力的影响

4.1.1. 增强现实对学生创造力各维度的影响

本研究从创新思维、创新实践能力、创新人格特质三个维度深度剖析增强现实对学生创造力的影响，经过计算，得到表 3 所示的结果，创新思维、创新实践能力、创新人格特质维度的合并效应值分别为 0.830、0.978、0.862，均在 0.01 水平上显著。可见，增强现实无论是在创新思维启发层面、创新实践能力提升层面还是创新人格特质养成层面，均具有显著影响，均处于高度影响水平。进一步观察组间效应，得到 $Q = 0.390$ ， $p = 0.823 > 0.05$ ，结果显示并不存在显著差异，可见增强现实对创新思维、创新实践能力、创新人格特质层面的影响作用基本相同。

Table 3. The impact of augmented reality on each dimension of students’ creativity
表 3. 增强现实对学生创造力各维度的影响

维度	效应数	合并效应值 (Hedges’s g)	95%置信区间		渐进		组间效应
			下限	上限	z 值	p 值	
创新思维	15	0.830	0.536	1.125	5.533	0.000	$Q = 0.390$, $p = 0.823$
创新实践能力	24	0.978	0.610	1.346	5.210	0.000	
创新人格特质	13	0.862	0.452	1.272	4.120	0.000	

4.1.2. 整体影响

效应量(ES)是反映实验效果强度或变量之间相关程度的重要指标。在特定效应值计算过程中，当研究包含多组实验设计时，将计算每组设计的效应值；当分析中包含的文献呈现多个因变量时，将计算每个因变量的效应值。并且，0.2 表示小效应，0.5 表示中效应，0.8 表示大效应[34]。

增强现实对创造力的总体影响如表 4 所示，在随机效应模型下，22 个有效样本(共 52 个效应值)的合并效应值为 0.908，表明基于增强现实的教学对学生的创造力有高等正向影响。95%置信区间为 0.694~1.121，双尾检验 $Z = 8.322$ ， $p = 0.000 < 0.001$ ，达到统计学显著水平，表明基于增强现实的教学对创造力的促进效果显著高于不使用增强现实的教学。

4.2. 异质性检验

在异质性检验的常用方法中，Q 检验和 I^2 检验较为常见。Q 检验假设所有研究具有同质性，其结果重点聚焦于 p 值。当 p 值大于 0.1 时，意味着研究呈现出同质性；反之，若 p 值小于或等于 0.1，则表明存在异质性。 I^2 统计量用于衡量效应量总变异中由非随机误差导致的真实异质性所占的比例。根据 Higgins 等人的研究，25%判断为低异质性、50%判断为中异质性、75%判断为高异质性程度。根据统计分析，本研究得出表 4 所呈现的数据 $p = 0.000$ ， $I^2 = 90.463\%$ 。这一结果表明，异质性检验达到了显著水平，而且呈现出较高的异质性。基于此，本研究决定采用随机效应模型来计算合并效应值，避免因偏离真实值而导致的偏差，从而确保研究结果的真实性和无偏性。

Table 4. The impact of augmented reality on creativity as a whole
表 4. 增强现实对创造力整体的影响

模型	样本量	合并效应值 (Hedges's g)	95%置信区间		渐进		异质性检验			
			下限	上限	z 值	p 值				
固定效应模型	52	0.822	0.757	0.887	24.718	0.000	Q	df	p	I^2
随机效应模型	52	0.908	0.694	1.121	8.322	0.000	534.776	51	0.000	90.463

4.3. 调节变量分析

本研究使用随机效应模型来评估研究的效应大小是否随调节变量变化，以找到异质性的原因。本研究对学段、学科、增强现实形式三个调节变量进行调节效应检验，经过计算，得到表 5 所示的结果。

Table 5. Results of moderating effect test
表 5. 调节效应检验结果

变量	维度	样本量/效应数	合并效应值 (Hedges's g)	95%置信区间		渐进		组间效应
				下限	上限	z 值	p 值	
学段	学前	4	1.423	0.941	1.904	5.791	0.000	Q = 7.112 p = 0.068
	小学	23	0.713	0.412	1.015	4.639	0.000	
	中学	10	0.813	0.575	1.050	6.710	0.000	
	大学	15	1.106	0.596	1.615	4.255	0.000	
学科	理工	39	0.789	0.559	1.018	6.743	0.000	Q = 3.229 p = 0.072
	人文	13	1.259	0.880	1.719	5.375	0.000	
增强现实形式	基于角色扮演的 AR	10	0.333	0.073	0.593	2.514	0.012	Q = 17.112 p = 0.000
	基于位置的 AR	19	0.924	0.494	1.354	4.212	0.000	
	基于任务的 AR	23	1.111	0.836	1.386	7.917	0.000	

4.3.1. 增强现实对不同学段的学生创造力的影响

由表 5 可知，小学阶段的 Hedges's $g = 0.713 > 0.5$ ，属于中等效应值，且 p 值在 0.001 水平上显著，表明增强现实对小学阶段学生的创造力存在的影响处于中度水平；而在学前阶段(Hedges's $g = 1.423$, $p = 0.000$)、中学阶段(Hedges's $g = 0.813$, $p = 0.000$)、大学阶段(Hedges's $g = 1.106$, $p = 0.000$)，增强现实对学生创造力的影响同样显著，有积极作用，处于高度影响水平。学段的组间效应($Q = 7.112$, $p = 0.068 > 0.05$)显示，组间差异未达到显著水平，表明学段不会对基于增强现实学生的创造力产生影响，不同学段对应

的创造力没有显著差异,但需注意, p 值处于0.05~0.1之间(接近显著水平),不能完全排除差异存在的可能性。同时, p 值边缘显著而效应值显著的结果,凸显了教育技术研究中兼顾统计显著性与实际效果大小的必要性,为相关研究的方法论反思提供了例证。在未来的实践中,可扩大样本量明确隐性差异,提升AR适配精准度。

4.3.2. 增强现实对不同学科的学生创造力的影响

由表5可知,增强现实对人文类学科的学生创造力的影响远超其他类别, $Hedges's\ g = 1.259 > 0.8$,具有统计学意义($p = 0.000$),且处于高度影响水平;对理工类学科的影响次之,但也达到中度影响水平, $Hedges's\ g = 0.789 > 0.5$,同样具有统计学意义($p = 0.000$),对创造力起正向影响。学科的组间效应($Q = 3.229, p = 0.072 > 0.05$)显示,增强现实对不同学科学生的创造力均有积极作用,且存在的差异并不显著。但是, p 值处于0.05~0.1的边缘显著区间,且人文类效应值(1.259)显著高于理工类(0.789),这为学科差异的潜在性提供了讨论依据。

4.3.3. 增强现实不同形式对学生创造力的影响

由表5可知,基于角色扮演的AR、基于位置的AR和基于任务的AR对学生创造力都有促进作用, $Hedges's\ g$ 值分别为0.333、0.924、1.111。其中,基于位置的AR和基于任务的AR对学生创造力的影响处于高度影响水平, p 值小于0.01,其影响具有统计学意义。此外,增强现实形式的组间效应($Q = 17.112, p = 0.000 < 0.05$)显示,学生的创造力在不同的AR形式下呈现出明显的差异性。根据 $Hedges's\ g$ 值可以发现,基于任务的AR对学生创造力的作用强度最高。

4.4. 发表偏倚检验

图2为本研究得到的发表偏倚检验漏斗图,根据漏斗图,可以看出,大多数研究的效应值散点均匀地对称地分布在平均效应值的两侧,且多数集中于漏斗图的中上部分,初步表明存在发表偏倚的可能性很小。继续采用Egger's检验和失安全系数进行评估, t 值 $= 1.87 < 1.96$, p 值 $= 0.067 > 0.05$,失安全系数为8688,远高于临界值270($5K + 10$, K 表示效应值数目),表明研究没有明显的发表偏倚,研究获得的效应值较为稳固,研究结论能够正确反映真实情况。

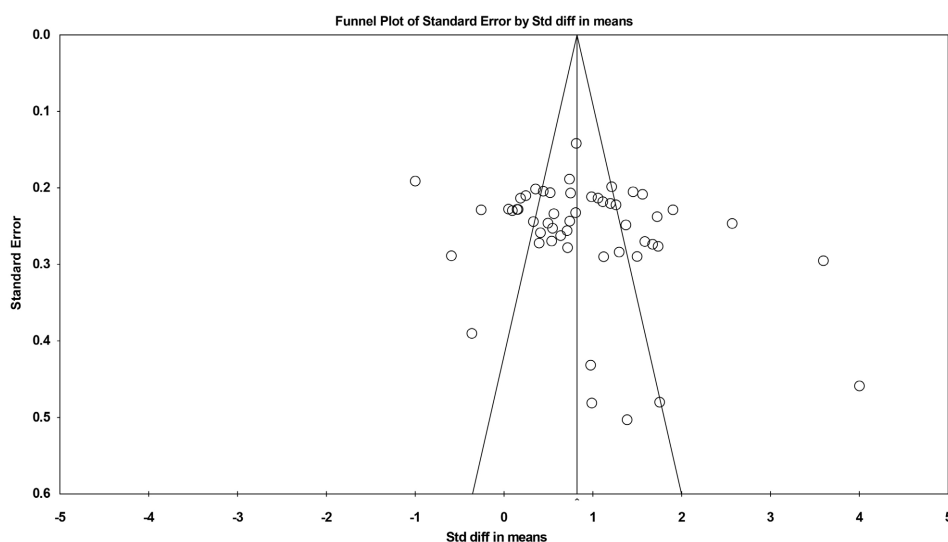


Figure 2. Funnel plot for publication bias test
图2. 发表偏倚检验漏斗图

5. 讨论与建议

5.1. 研究结论

5.1.1. 增强现实对学生创造力有正向影响

研究表明,增强现实对提高学生创造力具有高等正向影响。

在创新思维方面,增强现实能够汇聚分散的学习资源,将晦涩的理论知识转化为直观形象的呈现形式。原本孤立的知识点通过增强现实串联,学生能够洞察知识间的内在联系,以动态、系统的思维模式剖析问题。这种从创意萌生(对知识的多元联想)到精准聚焦(将知识整合用于解决问题)的思维过程,促使学生的创新思维持续拓展。

在创新实践能力方面,学生能够在增强现实营造的任务场景中开展多次实操演练。从提出假设,到通过增强现实模拟实验进行验证,再到根据结果调整方案。如此一来,学生的创造性探究、实践、设计、问题解决等能力会得到锻炼。

在创新人格特质方面,增强现实在一定程度上能够促进与创新人格特质相关的能力发展,如创造性思维、想象力等。比如,使用增强现实辅助的民族科学与 STEM 融合的数字教材,能显著提升学生的创造性思维[29];通过增强现实进行故事创作活动的学生,在想象力方面表现更优[27],研究间接说明增强现实对创新人格特质有积极影响。

因此,在教学中应用增强现实十分重要。

5.1.2. 学段、学科对创造力不起调节效应,增强现实形式对创造力起调节效应

为进一步了解增强现实对学生创造力的影响机制,本研究探讨了 3 个潜在的调节变量,它们共同揭示了不同研究效应值差异的可能原因。结果表明,增强现实形式的差异是其对创造力影响差异的关键因素。

从学段层面来看,增强现实对各个学段创造力的影响不存在显著差异,但相较而言对学龄前儿童创造力的提升效果更有效。这或许是由于学龄前儿童处于知识启蒙阶段,在学习时更倾向于直观的知识呈现方式。增强现实所营造的易于感知的学习环境,更有利于激发他们的创造力。然而,随着学习阶段的推进,学习者获得的经验变得越来越抽象,某些思维定势和功能固着在一定程度上阻碍了创造力的发展。

从学科层面来看,增强现实对各个学科的创造力均有正向影响,且学科间的差异性不显著。虽无显著差异,但从研究数据可以看出,人文类的创造力稍高于理工类学科。增强现实可以为学生提供情境学习场景、自然的互动体验和充足的练习机会,这可以有效激发学生的积极认知,促使其展现出创造性行为。

从增强现实形式层面来看,不同形式的增强现实支持的创造力发展存在显著差异。基于任务的 AR 在提升学生创造力方面效果更强,基于任务的 AR 主要包括基于游戏和基于问题两种形式:基于游戏的学习含角色扮演、挑战活动等,以娱乐、挑战和好奇心驱动任务完成;基于问题的学习侧重培养自主学习、问题解决及知识应用能力,将游戏与问题解决活动纳入模块[5]。二者均以任务为核心,借 AR 构建情境,推动学生通过完成任务实现学习目标。在任务导向的学习进程中,一方面,学生借助增强现实构建的沉浸式虚拟场景,仿若置身于真实问题情境之中,能充分调用所学知识,突破传统思维局限,创新性地探寻解决方案,极大地锻炼了知识综合运用与创新思维能力。另一方面,增强现实能够依据学生的操作表现实时反馈,学生可据此反复调整实践操作,这种个性化的学习体验让学生深度参与各类活动,不断激发创新灵感,促使其创新意识逐步觉醒,科学实践技能也得以稳步提升。因此,相较于其他传统技术手段,基于任务的 AR 在助力学生创造力培养方面,凭借其独特优势,更为有效地推动学生创造力迈向新高度。

5.2. 研究建议

本研究对 22 篇期刊论文进行了元分析,证实了增强现实对提升学生创造力具有积极作用。从理论层面来看,增强现实能够有效提高学生创造力,为教育教学领域应用增强现实技术提供了理论基础。从实践层面来看,本研究的调节效应分析结果进一步表明,增强现实在各学科、学段起到的正面影响作用并无显著差异,因此,可依据教学目标大力推行增强现实在各学科中的应用。而不同呈现形式的增强现实技术可得到不同的提升效果,因此,有必要结合任务形式设计恰当的学习活动以保证增强现实对学生创造力的提升效果。随着增强现实技术的迅猛发展,为充分发挥其在教育领域的潜力,未来还可将增强现实技术与人工智能、大数据相结合,根据学生的学习数据和行为模式,为其提供个性化的学习内容和指导。

致 谢

衷心感谢指导老师张老师在本研究过程中给予的悉心指导和宝贵建议,您的专业见解和耐心帮助使本研究得以顺利完成。

同时,感谢所有被引用文献的作者和研究者,您们的前期工作为本研究提供了重要的理论基础和方法参考。此外,也要感谢相关学术机构及数据库提供的文献资源支持。

最后,向所有对本研究提供直接或间接帮助的师长、同行及亲友致以诚挚的谢意。

参考文献

- [1] 陈向东, 蒋中望. 增强现实教育游戏的应用[J]. 远程教育杂志, 2012, 30(5): 68-73.
- [2] Billinghamurst, M. and Kato, H. (2002) Collaborative Augmented Reality. *Communications of the ACM*, **45**, 64-70. <https://doi.org/10.1145/514236.514265>
- [3] 刘鑫. 基于 zSpace 的 VR/AR 技术在中小学课堂教学中的应用探究[J]. 中国教育信息化, 2018(14): 93-96.
- [4] 蔡苏, 王沛文, 杨阳, 等. 增强现实(AR)技术的教育应用综述[J]. 远程教育杂志, 2016, 34(5): 27-40.
- [5] 徐子译, 崔虹云. 国内外增强现实技术及其在教学领域的现状分析[J]. 广东化工, 2019, 46(13): 211-212.
- [6] Akçayır, M., Akçayır, G., Pektaş, H.M. and Ocak, M.A. (2016) Augmented Reality in Science Laboratories: The Effects of Augmented Reality on University Students' Laboratory Skills and Attitudes toward Science Laboratories. *Computers in Human Behavior*, **57**, 334-342. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.054>
- [7] Chang, S. and Hwang, G. (2018) Impacts of an Augmented Reality-Based Flipped Learning Guiding Approach on Students' Scientific Project Performance and Perceptions. *Computers & Education*, **125**, 226-239. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.007>
- [8] Wen, Y., Wu, L., He, S., Ng, N.H., Teo, B.C., Looi, C.K., et al. (2023) Integrating Augmented Reality into Inquiry-Based Learning Approach in Primary Science Classrooms. *Educational Technology Research and Development*, **71**, 1631-1651. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10235-y>
- [9] Guilford, J.P. (1967) *The Nature of Human Intelligence*. McGraw Hill.
- [10] Amabile, T.M. (1983) *The Social Psychology of Creativity*. Springer-Verlag.
- [11] Urban, K.K. (1991) Recent Trends in Creativity Research and Theory in Western Europe. *European Journal of High Ability*, **1**, 99-113. <https://doi.org/10.1080/0937445900010114>
- [12] Sternberg, R.J. and Lubart, T.I. (1993) Creative Giftedness: A Multivariate Investment Approach. *Gifted Child Quarterly*, **37**, 7-15. <https://doi.org/10.1177/001698629303700102>
- [13] Kozbelt, A., Beghetto, R.A. and Runco, M.A. (2010) Theories of Creativity. In: *The Cambridge Handbook of Creativity*, Cambridge University Press, 20-47. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511763205.004>
- [14] Alqarni, T. (2021) Comparison of Augmented Reality and Conventional Teaching on Special Needs Students' Attitudes towards Science and Their Learning Outcomes. *Journal of Baltic Science Education*, **20**, 558-572. <https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.558>
- [15] Cai, S., Liu, C., Wang, T., Liu, E. and Liang, J. (2020) Effects of Learning Physics Using Augmented Reality on Students' Self-Efficacy and Conceptions of Learning. *British Journal of Educational Technology*, **52**, 235-251.

- <https://doi.org/10.1111/bjet.13020>
- [16] Carbonell Carrera, C. and Bermejo Asensio, L.A. (2016) Landscape Interpretation with Augmented Reality and Maps to Improve Spatial Orientation Skill. *Journal of Geography in Higher Education*, **41**, 119-133. <https://doi.org/10.1080/03098265.2016.1260530>
 - [17] Chang, R., Chung, L. and Huang, Y. (2014) Developing an Interactive Augmented Reality System as a Complement to Plant Education and Comparing Its Effectiveness with Video Learning. *Interactive Learning Environments*, **24**, 1245-1264. <https://doi.org/10.1080/10494820.2014.982131>
 - [18] Chen, C., Huang, C. and Chou, Y. (2017) Effects of Augmented Reality-Based Multidimensional Concept Maps on Students' Learning Achievement, Motivation and Acceptance. *Universal Access in the Information Society*, **18**, 257-268. <https://doi.org/10.1007/s10209-017-0595-z>
 - [19] Chiang, T.H.C., Yang, S.J.H. and Hwang, G.J. (2014) An Augmented Reality-Based Mobile Learning System to Improve Students' Learning Achievements and Motivations in Natural Science Inquiry Activities. *Journal of Educational Technology & Society*, **17**, 352-365.
 - [20] Civelek, T., Ucar, E., Ustunel, H. and Aydin, M.K. (2014) Effects of a Haptic Augmented Simulation on K-12 Students' Achievement and Their Attitudes Towards Physics. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, **10**, 565-574. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1122a>
 - [21] Conley, Q., Atkinson, R.K., Nguyen, F. and Nelson, B.C. (2020) Mantarayar: Leveraging Augmented Reality to Teach Probability and Sampling. *Computers & Education*, **153**, Article ID: 103895. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103895>
 - [22] Faridi, H., Tuli, N., Mantri, A., Singh, G. and Gargrish, S. (2020) A Framework Utilizing Augmented Reality to Improve Critical Thinking Ability and Learning Gain of the Students in Physics. *Computer Applications in Engineering Education*, **29**, 258-273. <https://doi.org/10.1002/cae.22342>
 - [23] Fidan, M. and Tuncel, M. (2019) Integrating Augmented Reality into Problem Based Learning: The Effects on Learning Achievement and Attitude in Physics Education. *Computers & Education*, **142**, Article ID: 103635. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103635>
 - [24] Gecu-Parmaksiz, Z. and Delialioğlu, Ö. (2018) The Effect of Augmented Reality Activities on Improving Preschool Children's Spatial Skills. *Interactive Learning Environments*, **28**, 876-889. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1546747>
 - [25] Tosik Gün, E. and Atasoy, B. (2017) The Effects of Augmented Reality on Elementary School Students' Spatial Ability and Academic Achievement. *Education and Science*, **42**, 31-51. <https://doi.org/10.15390/eb.2017.7140>
 - [26] Sahin, D. and Yilmaz, R.M. (2020) The Effect of Augmented Reality Technology on Middle School Students' Achievements and Attitudes towards Science Education. *Computers & Education*, **144**, Article ID: 103710. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103710>
 - [27] Yilmaz, R.M. and Goktas, Y. (2016) Using Augmented Reality Technology in Storytelling Activities: Examining Elementary Students' Narrative Skill and Creativity. *Virtual Reality*, **21**, 75-89. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0300-1>
 - [28] Lin, P.H. and Chen, S.Y. (2020) Design and Evaluation of a Deep Learning Recommendation Based Augmented Reality System for Teaching Programming and Computational Thinking. *IEEE Access*, **8**, 45689-45699. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2977679>
 - [29] Asrizal, A., Amnah, R., Zan, A.M., Hidayati, H., Helma, H. and Annisa, N. (2024) Ethno-STEM Integrated Digital Teaching Material with Augmented Reality to Promote Students' Learning Skills and Innovation. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, **12**, 1638-1656. <https://doi.org/10.46328/ijemst.4640>
 - [30] Casteleiro-Pitrez, J. (2021) Augmented Reality Textbook: A Classroom Quasi-Experimental Study. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, **16**, 258-266. <https://doi.org/10.1109/rita.2021.3122887>
 - [31] Lin, P.-H., Huang, Y.-M. and Chen, C.-C. (2018) Exploring Imaginative Capability and Learning Motivation Difference through Picture E-Book. *IEEE Access*, **6**, 63416-63425. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2875675>
 - [32] Abdelrahim, A.A.M. (2023) The Impact of a Critical Fiction Analysis Based on Using Augmented Reality Technology on Developing Students' Critical Thinking and Critical Writing at Tabuk University. *Language Teaching Research*, **14**, 1-19. <https://doi.org/10.1177/13621688231155578>
 - [33] Hedges, L.V. (1981) Distribution Theory for Glass's Estimator of Effect Size and Related Estimators. *Journal of Educational Statistics*, **6**, 107-128. <https://doi.org/10.3102/10769986006002107>
 - [34] Cohen, J. (1988) Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 2nd Edition, Lawrence Erlbaum Associates, 26.