·数智护理教育专题·

扩展现实技术在本科护理教学中应用效果的系统评价

尹京凤　栗朝慧　赵燕皓　邹海欧
中国医学科学院&北京协和医学院护理学院，北京 100144
通信作者：邹海欧，Email：haiou5275@163.com

【摘要】 目的　评价扩展现实技术（extended reality，XR）在本科护生教学中的应用效果。**方法**　系统检索中英文数据库 PubMed、Embase、The Cochrane Library、Web of Science、SinoMed、CINAHI、CNKI、VIP、万方中关于 XR 技术与传统教学（lecture-based learning，LBL）在本科护理教学应用效果对比的随机对照试验（randomized controlled trials，RCT），检索时限为建库至 2025 年 10 月。按照纳排标准对检索到的文献进行严格筛选、数据提取和质量评价后，使用 RevMan 5.4 软件进行 Meta 分析。**结果**　共纳入 13 项随机对照试验研究，研究对象共 1 627 人。Meta 分析结果显示，XR 技术在护理本科教学中的效果优于 LBL，可提高本科护生的理论知识（*SMD*=0.64，95%*CI*=0.39~0.89，*P*<0.001）、实践技能（*SMD*=0.91，95%*CI*=0.43~1.39，*P*<0.001）、学习积极性（*SMD*=0.90，95%*CI*=0.48~1.32，*P*<0.001）、学习满意度（*SMD*=0.78，95%*CI*=0.27~1.29，*P*=0.003），但在自我效能（*SMD*=0.41，95%*CI*=0.00~0.82，*P*=0.05）方面，差异无统计学意义。**结论**　XR 技术应用于护理本科教学，可提高护生的理论知识、实践技能、学习积极性和学习满意度，但对护生自我效能的提升效果无差异。

【关键词】 护理教育；　XR 技术；　系统评价；　教学效果
【中图分类号】 R47
DOI：10.3760/cma.j.cn116021-20251120-02257

A systematic evaluation of the application effect of extended reality technology in undergraduate nursing teaching

Yin Jingfeng, Li Chaohui, Zhao Yanhao, Zou Haiou
School of Nursing, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100144, China
Corresponding author: Zou Haiou, Email: haiou5275@ l63.com

【Abstract】 Objective　To evaluate the application effect of extended reality (XR) technology in undergraduate nursing teaching. **Methods**　A systematic search was conducted in Chinese and English databases including PubMed, Embase, The Cochrane Library, Web of Science, SinoMed, CINAHI, CNKI, VIP, and Wanfang Data to retrieve randomized controlled trials comparing the application effect of XR technology with traditional lecture-based learning in undergraduate nursing teaching. The search period covered from the inception of each database to October 2025. After rigorous screening, data extraction, and quality assessment of the retrieved articles according to inclusion and exclusion criteria, a meta-analysis was conducted using RevMan 5.4 software. **Results**　A total of 13 randomized controlled trials involving 1 627 participants were included. Meta-analysis showed that XR technology was more effective than lecture-based learning in undergraduate nursing teaching. XR technology significantly improved undergraduate nursing students' theoretical knowledge [standardized mean difference (*SMD*) =0.64, 95%*CI*=0.39-0.89, *P*<0.001], practical skills (*SMD*=0.91, 95%*CI*=0.43-1.39, *P*<0.001), learning enthusiasm (*SMD*=0.90, 95%*CI*=0.48-1.32, *P*<0.001), and learning satisfaction (*SMD*=0.78, 95%*CI*=0.27-1.29, *P*=0.003). However, no statistically significant difference was observed in self-efficacy (*SMD*=0.41, 95%*CI*=0.00-0.82, *P*=0.05). **Conclusions** The application of XR technology in undergraduate nursing teaching can improve the theoretical knowledge, practical skills, learning enthusiasm, and learning satisfaction of nursing students, but shows no significant

effect in improving their self-efficacy.

【Key words】 Nursing education; Extended reality technology; Systematic evaluation; Teaching effect

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20251120-02257

护理人才培养质量直接关乎患者安全与医疗结局[1-2]。因此，护理教育的核心不仅在于传授理论知识与技能，更在于推动理论知识向临床实践有效转化[3]，以保障医疗服务的高质量与安全性[4-5]。然而，传统护理教学仍面临诸多现实挑战，如教学资源匮乏、多元临床场景实践机会有限、理论与实践转化存在鸿沟，以及护生操作存在临床风险等[6]。在传统模拟教学环境下，受练习频次不足、时长紧张、情境单一及缺乏真实患者反馈等因素影响，预期教学成效难以达成。医疗教育领域发展迅速，而传统教学方式响应技术发展的速度滞后[7]，因此亟须探索创新性教学途径。技术增强学习为医疗教学创新提供了新参考。其中，扩展现实技术（extended reality，XR）凭借多感官、高互动、低风险的特点，在护理专业教学中展现出潜力[7-8]。它被定义为由计算机技术和可穿戴设备生成的所有现实与虚拟组合环境以及人机交互，涵盖虚拟现实（virtual reality，VR）、增强现实（augmented reality，AR）和混合现实（mixed reality，MR）[9]。国家卫生健康委在《全国护理事业发展规划（2021—2025年）》中明确提出“推进护理信息化建设，加强护理学科建设和人才培养”的要求[10]。国务院印发的《教育强国建设规划纲要（2024—2035年）》明确提出[11]，要借助数智化技术驱动教育生态系统性变革。XR技术作为数智融合护理教育的关键载体，依托具身化学习环境与多模态交互机制，激发护生自主学习，支持其在高仿真情境下进行系统化技能训练，有效缓解临床教学资源压力[8]。目前，XR技术在护理教育领域已开展有益探索，涉及护生专业课程教学、技能培训、跨专业教育模拟等多个领域[12-15]，但其对护理教育效果的影响尚无定论。已有研究证实，VR和AR在护理教育中有助于提升知识水平[16-18]，但在技能表现、满意度及操作时效方面的效应尚存争议[16-17]。AR应用可提升护生技能表现和学习积极性，但对自学能力无显著影响[18]。此外，现有系统评价仍存在一定局限：①研究对象：纳入对象较为混杂（包括助产学生、大专护生、本科护生、新入职护士、医学生）[16,19-20]；②技术类别：主要聚焦于VR和AR技术[18,21]；③课程类别：主要集中在人体解剖学和病理学[22]。本科教育是塑造护理职业能力的关键阶段，但目前尚无XR技术在本科护理教学应用的系统评价。因此，本研究对XR技术在本科护理教育效果进行系统评价，以明晰XR技术在本科护理教育中的应用效果，以期为医学院校的本科护理教学改革提供参考。本方案已在PROSPERO注册（注册号CRD420251130336）。

1　资料与方法

1.1　检索策略

2名研究者依据PRISMA 2020指南，采用主题词与自由词相结合的方式，系统检索了中英文数据库，包括PubMed、Embase、The Cochrane Library、Web of Science、SinoMed、CINAHL、CNKI、VIP和万方数据库，检索时间范围为各数据库建库至2025年10月。此外，手动检索了相关主题的灰色文献、参考文献等，以降低漏检的可能性。基于PICO原则构建检索策略，具体检索词如下：英文检索词为（“undergraduate nursing student” OR “Education, Nursing” OR “Students, Nursing” OR “nurs*” OR “baccalaureate nursing students”） AND （“Virtual Reality” OR “Augmented Reality” OR “Mixed Reality” OR “Enhanced Reality” OR “Computer-Assisted Instruction” OR “Computer Simulation” OR “User-Computer Interface” OR “Computer-Assisted Visualization” OR “Immersive Technology” OR “three-dimension*” OR “Unity3D”） AND （“Lectures” OR “Models, Educational” OR “Classroom Teaching” OR “Demonstration, Education” OR “Traditional Teaching” OR “Traditional Teaching” OR “face-to-face teaching” OR “lecture-based learning”） AND （“Randomized Controlled Trial” OR “RCT”）。中文检索词为：“本科护生/护理实习生/护理学生”和“虚拟现实/增强现实/混合现实/扩展现实/计算机辅助教学/计算机模拟/人机交互/沉浸式技术/三维可视化/三维模拟仿真”和“传统教学/课堂教学/讲座/演示教学/模型教学”和“随机对照试验”。

1.2　文献的纳入与排除标准

纳入标准：①研究对象：本科护生；②干预措

施：试验组采用XR技术进行教学，需具备Sherman和Craig提出的4个基本组成部分（虚拟世界、沉浸感、感官反馈、互动性）[23]，并基于XR（包括VR、MR、AR）开发技术增强教学模型；对照组采用传统教学技术（包括课堂讲座、演示、基于模型的教学等）或非虚拟现实模拟场景（包括高保真/低保真模拟、人体模型模拟等）；③研究结局：护生理论知识、实践技能、自我效能感、学习满意度和学习积极性，结局指标测量工具需通过信效度检验；④研究设计：随机对照试验（randomized controlled trial，RCT）。排除标准：①大四且有临床经验的护生；②重复发表或信息不全的文献；③会议论文、摘要和目录；④非中英文文献；⑤非RCT。

1.3　文献筛选和资料提取

经Endnote软件与人工方法去除重复文献后，由2名研究者按照纳排标准独立筛选文献。通过先阅读文献题目与摘要进行初筛，再阅读文献全文进行复筛，双人就纳入文献结果进行讨论达成共识后确定纳入文献。对于有分歧的文献，由第3名研究者进行仲裁。2名研究者独立提取文献资料信息，并进行交叉核对，提取的信息包括作者、发表年份、国家、研究对象年级、课程内容、样本量、干预措施、结局指标等。在结局指标提取方面，鉴于柯氏四级培训评估模式（Kirkpatrick model，KM）是评价技术对教学效果有效性的经典工具[24-28]，本研究在该理论指导下，从反应层（学习满意度、学习积极性）与学习层（理论知识、实践技能、自我效能感）提取5项核心结局指标。

1.4　文献质量评价

2名研究者采用Cochrane评价手册中的RCT质量评价标准，对纳入文献的质量进行独立评价。评价内容共7项，包括随机序列产生、分配隐藏、对研究对象及实施者采用盲法、对结果测评者采用盲法、结果数据的完整性、选择性报告研究结果以及其他偏倚来源。针对本研究的教育干预情境，在“其他偏倚来源”中，重点评估以下因素：①基线可比性：护生的年龄、年级和前期课程成绩等是否均衡；②潜在利益冲突：纳入文献的研究资金是否来源于XR技术开发企业或推广机构；③是否存在混杂：对照组护生是否接触过XR技术的干预内容。按照上述标准，对纳入文献的偏倚风险，采用“低”“不清楚”“高”逐条进行质量评价。若纳入文献满足全部条件，则为A级；满足部分条件，则为B级；完全不满足条件，则为C级。独立评价完成后，2名研究者就评价结果进行讨论并达成共识，若有分歧，则由第3名研究者进行仲裁。

1.5　统计学方法

采用RevMan 5.4软件对纳入文献进行Meta分析。本研究仅涉及计量资料，采用标准化均数差（standardized mean difference，SMD）及95%可信区间（confidence interval，CI）来表示。采用I^2值进行异质性检验，若I^2<50%且P>0.1，表明同质性较好，故采用固定效应模型；若I^2≥50%且P≤0.1，表明异质性较高，故采用随机效应模型。针对高异质性的情况，若数据允许，本研究将进一步通过敏感性分析、亚组分析或Meta回归探索异质性的潜在来源。若经上述处理后异质性仍未显著降低，将谨慎解释合并结果，并采用描述性分析对结果进行定性总结，以避免强行合并可能带来的偏倚。 在发表偏倚评估方面，若单个结局指标纳入的研究数量≥10篇，计划采用漏斗图并结合Egger's线性回归检验进行评估；若纳入研究数量不足10篇，考虑到检验效能不足及结果不稳定，将不进行定量的发表偏倚评估。

2　结果

2.1　文献筛选结果

共检索到1 278篇文献，去除重复文献共143篇，阅读标题摘要初筛1 135篇文献，阅读全文复筛46篇文献，最终纳入13篇[29-41]文献，文献筛选流程见图1。

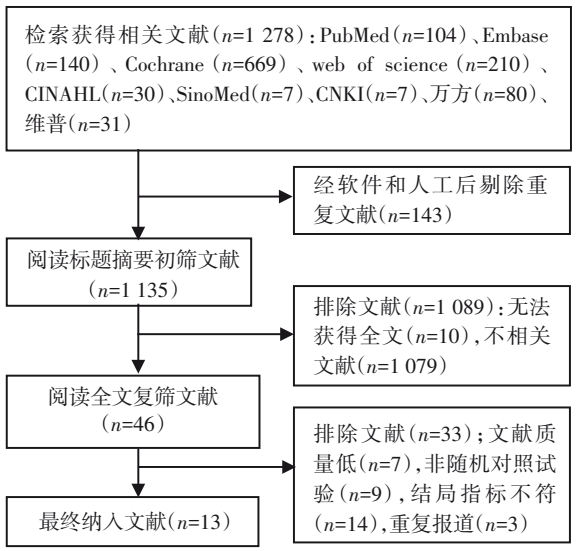


图1　文献筛选流程图

2.2　纳入文献的基本特征与质量评价

本研究纳入13篇文献[29-41]，这些文献来自10个国家，发表年份为2018年至2025年，样本总量为

1 627 名，其中试验组 827 名，对照组 800 名。在 XR 技术类型方面，8 篇文献[30-32,35-38,40]使用 VR，3 篇文献[29,39,41]使用 AR，1 篇文献[34]使用 MR，1 篇文献[33]同时使用 VR 和 MR。纳入文献的基本特征见表 1。在文献筛选阶段，先对 20 篇文献进行质量评价，排除 7 篇因随机分配方法错误或数据严重缺失等问题被评价为 C 级的文献，最终纳入 13 篇。纳入文献偏倚风险见图 2，根据评价结果，3 篇为 A 级，各领域均为低风险；10 篇为 B 级，主要表现为难以实施盲法。纳入文献偏倚风险总结见图 3。

表 1　纳入文献的基本特征

纳入研究	年份	国家	教学内容	技术	样本量（T/C）	干预			结局指标		
						频率（次）	时长（min）	措施（T/C）	测量内容	测量时点	测量工具
Aebersold 等[29]	2018	美国	鼻饲操作	AR	35/34	1	20~25	交互式三维解剖模型/LBL	②	立即后测	知识测评
Andreasen 等[30]	2023	挪威	护患沟通	VR	86/87	1	45	交互式桌面程序/LBL	④	立即后测	自制问卷
Blaní é 等[31]	2020	法国	护理决策	VR	65/54	1	120	交互式严肃游戏/LBL	②④⑤	立即后测 1 个月	专业量表 自制问卷
Chan 等[32]	2021	中国	化疗管理	VR	38/39	不限（1 周）	25	360°视频讲义/LBL	①⑤	立即后测	专业量表
Chen 等[33]	2021	中国	健康评估	VR MR	40/39	不限（18 周）	5~10	MR 头盔+VR 遥控器+3D 全息软件/LBL	①②	立即后测	知识测评 自制问卷
In 等[34]	2024	日本	术后护理	MR	17/17	1	34.3 ± 9.6	MR 模拟器+头戴式显示器/LBL	②	立即后测	知识测评
Jeong 和 Cha[35]	2024	韩国	孕产妇护理	VR	30/29	1	120	IVR 模拟程序+头戴式显示器+遥控器/LBL	①③④	立即后测	专业量表
Lee 等[36]	2023	中国	输血知识	VR	75/76	不限（1 周）	19	动画 VR 视频++头戴式显示器/LBL	①③④	立即后测	专业量表
Liu 等[37]	2025	中国	儿科疼痛知识	VR	100/84	不限（3 d）	–	交互式 VR+自学应用/LBL	①	立即后测	自制问卷
Mayor Silva 等[38]	2023	西班牙	护患沟通	VR	50/50	1	45	VR 模拟器+VR 眼镜+VR 耳机/LBL	②	立即后测	自制问卷
Othman 等[39]	2024	埃及	机械通气	AR	205/205	不限（2 周）	–	AR 移动应用程序/LBL	①③⑤	立即后测 1 个月	自制问卷
Padilha 等[40]	2019	葡萄牙	内科护理	VR	21/21	不限（8 周）	45	交互式临床 VR 模拟器/LBL	①③④	立即后测 2 个月	自制问卷
Sezgunsay 和 Basak[41]	2025	土耳其	压力性损伤	AR	65/65	不限（4 周）	30~35	AR 移动应用程序/LBL	①②⑤	立即后测	自制问卷

注：LBL 为传统教学法，包括课堂教学、讲座、演示示范；T 为试验组，C 为对照组；①理论知识；②实践技能；③自我效能感；④学习满意度；⑤学习积极性。

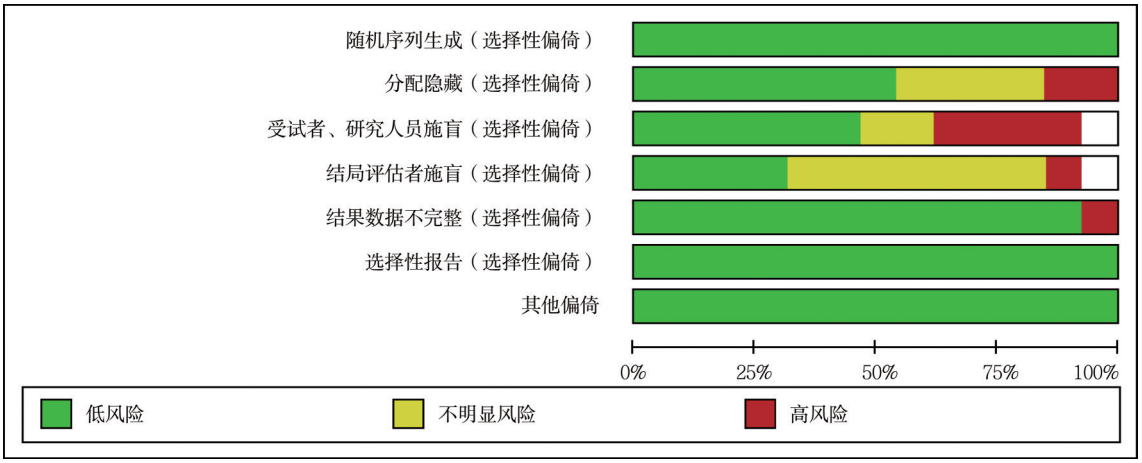


图 2　纳入文献的偏倚风险图

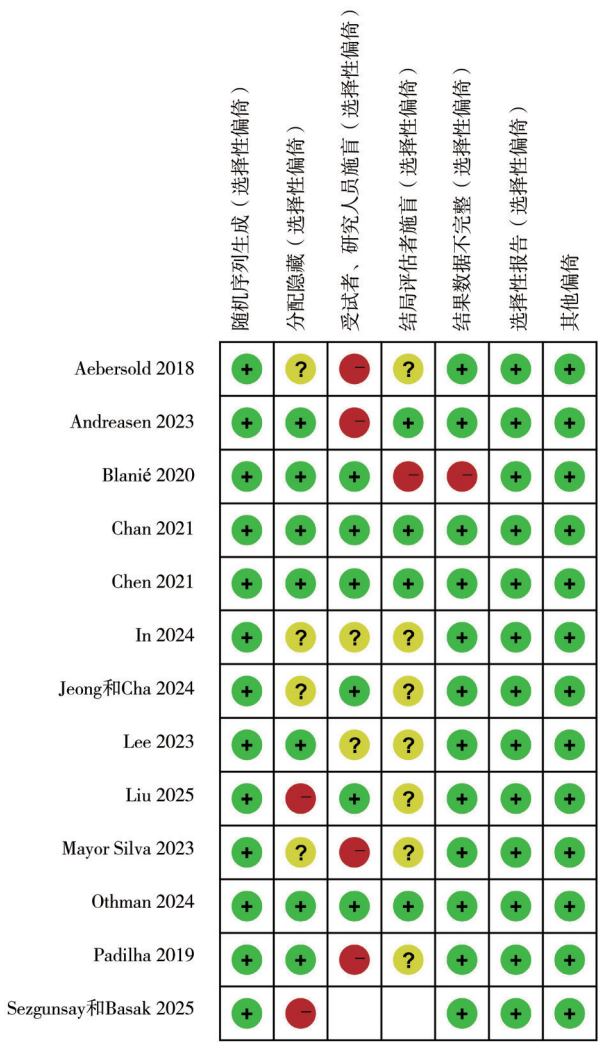


图3　纳入文献的偏倚风险总结图

2.3　Meta分析结果

2.3.1　理论知识

8篇文献[32-33,35-37,39-41]对XR技术提升理论知识水平的有效性进行了评价。结果显示，纳入的研究存在显著异质性（P<0.001，I^2=72%）。因此，采用随机效应模型合并效应量。依据Cohen's准则判读效应量大小：以0.2、0.5和0.8分别作为小效应、中等效应和大效应的界值[42]。与LBL相比，XR技术对提升护生理论知识水平有中等偏大效应量的正向影响（图4），且差异具有统计学意义（*SMD*=0.64，95%*CI*=0.39~0.89，P<0.001）。考虑到研究间异质性较高，本研究采用逐一剔除法进行敏感性分析。结果显示，剔除任意一篇文献后，*SMD*在[0.55，0.71]之间波动，I^2在[44%，76%]之间变化，异质性水平未见明显改变，所有重测结果的P值均与原方向一致，这表明研究结果具有稳健性，结局指标敏感性变化过程见附件2。不过，受原始研究数量不足的限制，未能进一步开展发表偏倚评估、亚组分析和Meta整合。

2.3.2　实践技能

6篇文献[29,31,33-34,38,41]评估了XR技术提升实践技能水平的有效性。结果显示，纳入的研究存在显著异质性（P<0.001，I^2=85%）。因此，采用随机效应模型合并效应量。相较于LBL，XR技术对提升护生实践水平具有大效应量的正向影响（图5），且差异具有统计学意义（*SMD*=0.91，95%*CI*=0.43~1.39，P<0.001）。考虑到研究间异质性较高，本研究采用逐一剔除法进行敏感性分析。结果显示，剔除任意一篇文献后，*SMD*在[0.80，1.10]之间波动，I^2在[50%，88%]之间变化，异质性水平未明显改变，所有重测结果的P值均与原方向一致，这表明研究结果具有稳健性。但受原始研究数量不足的限制，未能进一步开展发表偏倚评估、亚组分析和Meta整合。

2.3.3　自我效能

4篇文献[35-36,39-40]对XR技术提升自我效能的有效性进行了评价。结果显示，纳入的研究存在显著

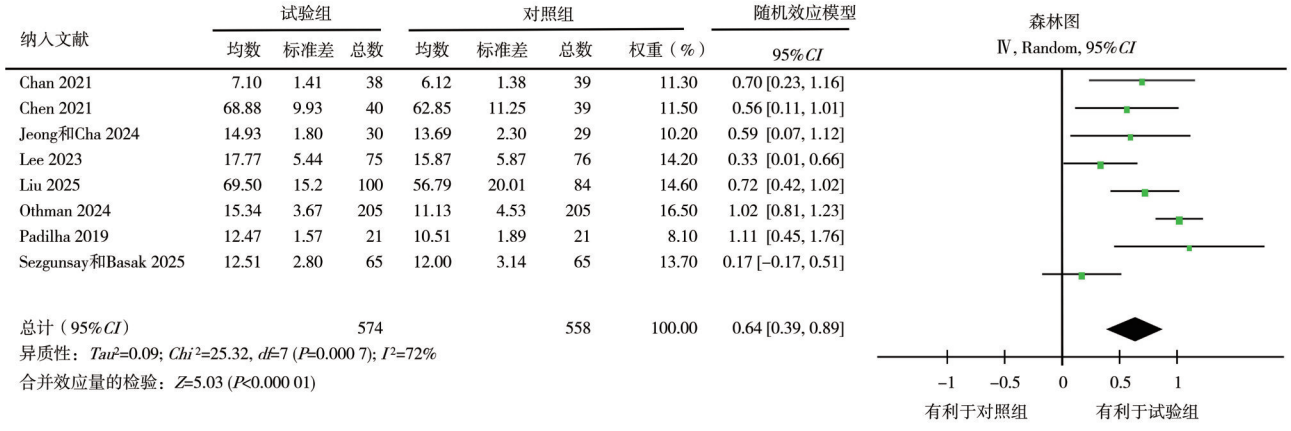


图4　XR技术对本科护生理论知识影响的Meta分析结果

异质性（P=0.04，I^2=63%）。因此，采用随机效应模型合并效应量。与LBL相比，XR技术对提升护生的自我效能有正向的小到中等效应量影响（图6），但差异未达到统计学意义（*SMD*=0.41，95%*CI*=0.00~0.82，P=0.05）。考虑到研究间异质性较高，本研究采用逐一剔除法进行敏感性分析。结果显示，剔除任意一篇文献后，*SMD*在[0.35，0.55]之间波动，I^2在[34%，72%]之间变化。结果的统计学显著性受Lee等[36]的研究影响较大，剔除该研究后，异质性未见明显改变（I^2=56%），差异达到统计学显著水平（P=0.03）。而剔除其他任意一篇文献后，重测结果的P值与原方向一致。不过，受原始研究数量不足的限制，未能进一步开展发表偏倚评估、亚组分析和Meta整合。

2.3.4　学习满意度

5篇文献[30-31,35-36,40]对XR技术提升学习满意度的有效性进行了评价。结果显示，纳入的研究存在显著异质性（P<0.001，I^2=87%）。因此，采用随机效应模型合并效应量。与LBL相比，XR技术对提升护生的学习积极性有较大效应量的正向影响（图7），且差异具有统计学意义（*SMD*=0.78，95%*CI*=0.27~1.29，P=0.003）。考虑到研究间异质性较高，本研究采用逐一剔除法进行敏感性分析。结果显示，剔除任意一篇文献后，*SMD*在[0.50，0.97]之间波动，I^2在[71%，90%]之间变化，异质性水平未见明显改变，所有重测结果的P值均与原方向一致，表明研究结果具有稳健性。但受原始研究数量不足的限制，未能进一步开展发表偏倚评估、亚组分析和Meta整合。

2.3.5　学习积极性

4篇文献[31-32,39,41]评估了XR技术提升学习积极性的有效性。结果显示，纳入的研究存在显著异质性（P=0.010，I^2=72%）。因此，采用随机效应模型合并效应量。与LBL相比，XR技术对提升护生学习积极性有较大效应量的正向影响（图8），差异具有统计学意义（*SMD*=0.90，95%*CI*=0.48~1.32，P<0.001）。考虑到研究间异质性较高，本研究采用逐一剔除法进行敏感性分析。结果显示，剔除任意一篇文献后，*SMD*在[0.70，1.06]区间波动，I^2在[0%，81%]区间变化，所有重测结果的P值均与原方向一致。剔除Othman等[39]的研究后，异质性显著改变（I^2=0%）。但受原始研究数量不足的限制，未能进一步开展发表偏倚评估、亚组分析和Meta整合。

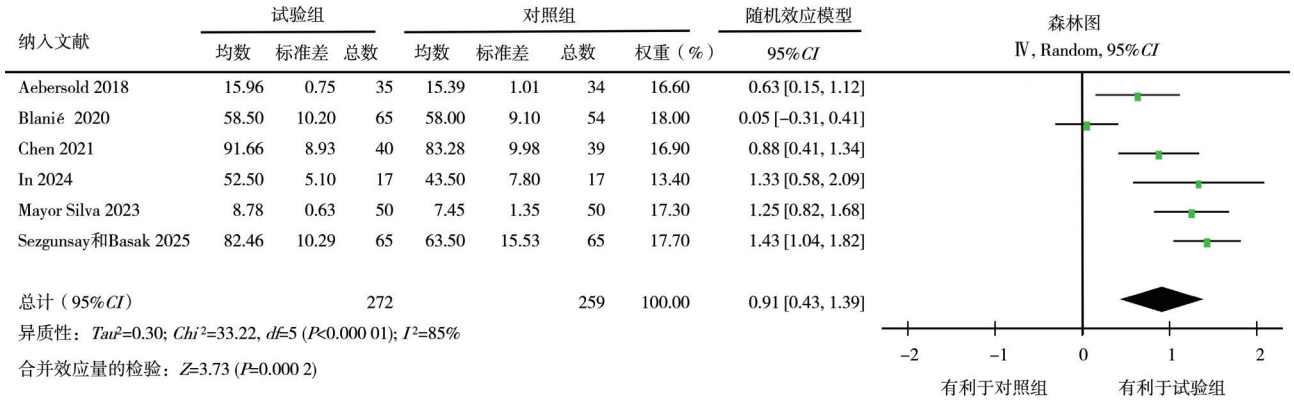


图5　XR技术对本科护生实践技能影响的Meta分析结果

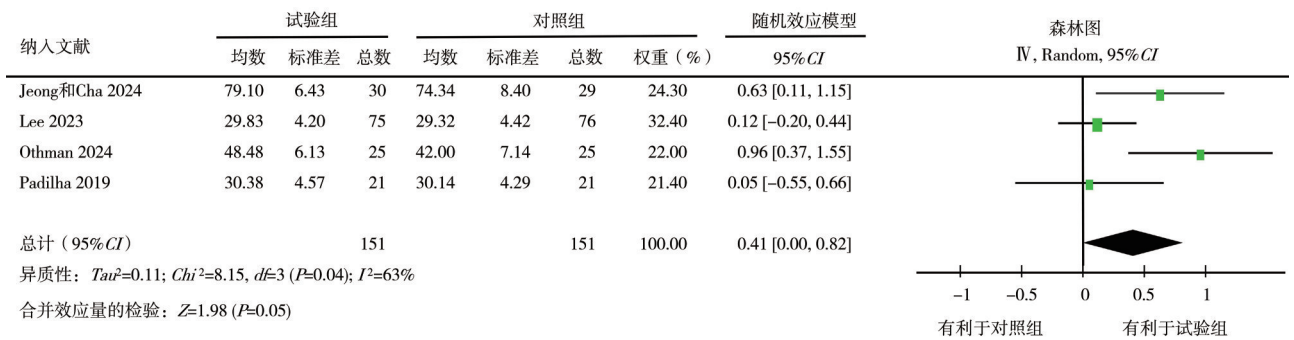


图6　XR技术对本科护生自我效能影响的Meta分析结果

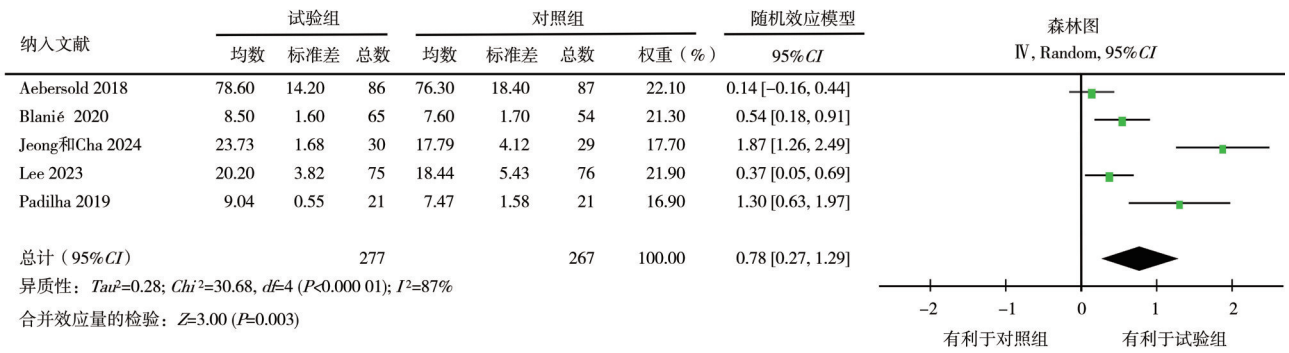


图7　XR技术对本科护生学习满意度影响的Meta分析结果

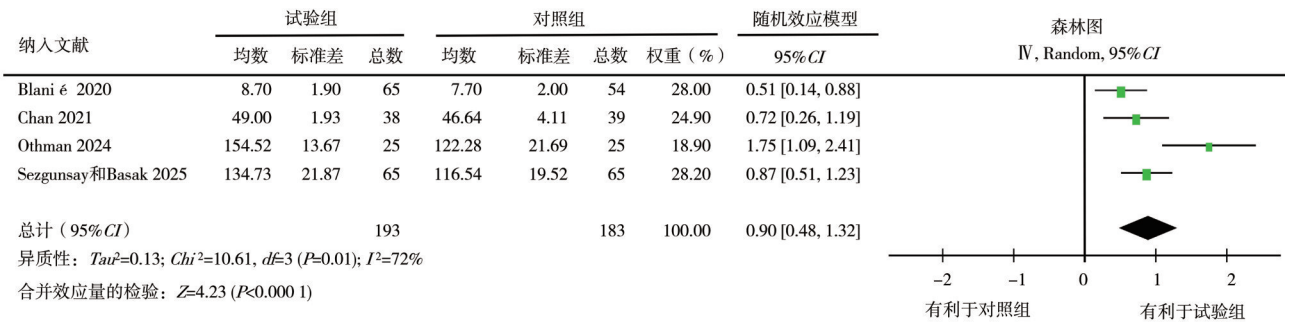


图8　XR技术对本科护生学习积极性影响的Meta分析结果

3　讨论

3.1　研究分析

本Meta分析结果显示，XR技术应用于护理本科教学，可有效提升护生的理论知识水平、实践技能、学习积极性以及学习满意度，凸显出其在教育领域的应用潜力。既往的系统评价结果与之呼应：Chen等[17]、豆欣蔓等[43]证实，VR可促进知识掌握；Liu等[16]表明，相较于LBL，VR在知识、技能及满意度方面更具优势；Sung等[44]指出，沉浸式VR/AR可有效提升知识技能水平。此外，多项研究一致报告，护生对VR/AR教学具有较高的满意度和学习积极性[44-45]。尽管XR技术表现出色，但本研究指出，其在提升护生自我效能方面未显示出显著差异，这与部分现有文献的结论有所不同。未来，亟待深入阐释其作用机制，并探索能有效提升自我效能的教学设计与干预策略。

3.2　XR技术应用于护理本科教学有助于提高护生的理论知识

本Meta分析结果显示，与LBL相比，将XR技术应用于本科护生教学，可有效提高其理论知识水平，且差异具有统计学意义。纳入的文献中有3篇[31,39-40]测量了1~2个月后护生的知识保留情况，结果显示，在短期知识保留方面，XR技术优于LBL。不过，XR技术在本科护生教学中的长期效果仍需进一步验证。根据认知负荷理论，图式是组织和存储知识的心理结构，有效学习的关键在于创建和自动化图式[46]。相较于传统LBL的线性知识灌输方式，XR技术依托情境嵌入式学习，能促进学习者在既有认知架构上整合新知，实现图式优化与知识深度内化[47]。同时，该理论指出，不当的教学设计会诱发外在认知负荷，阻碍学习成效[46]。不同于LBL依赖静态呈现与口头讲授，XR借助多通道感知（如三维解剖可视化、动态生理过程模拟），可显著降低护生理解基础医学抽象概念时的认知负荷[48]，提升理论掌握效率。

3.3　XR技术应用于护理本科教学有助于提高护生的实践技能

本Meta分析结果显示，与LBL相比，将XR技术应用于本科护生教学，可有效提高其实践技能，且差异具有统计学意义。纳入文献中，护生所练习的护理操作内容、干预时长（20~120 min）、干预频次（如1次、不限次）、XR技术具体实现方式（360°视频、交互式模拟）以及评价标准（如自制问卷、专业量表）存在差异，这在一定程度上解释了异质性的来源。实践教学是培养高素质护理人才的关键，更关乎未来临床护理质量的提升[49]。相较于LBL单一教学场景，XR技术可构建高保真、无患者风险的多

元模拟环境，复现临床复杂病例和急危重症护理场景，且具有即时反馈的技术优势。基于迁移理论的目标导向刻意练习[50]，可促进护生将理论转化为实践[7,26-27]。实证研究表明，护生在心肺复苏[51]、药物安全管理[52]及护患沟通[53]等专业能力方面显著提升，为知识、技能与态度向临床情境有效迁移提供了证据支持。尽管XR技术已拓展至多领域护理培训，但其在具身反馈精度、微观互动差异及生态效度方面存在局限，这仍是制约技能向真实临床情境迁移的关键因素。同时，高质量XR设备和内容的开发与迭代成本较高，也是目前面临的现实挑战[8,54]。XR技术为护理学生提供了前所未有的刻意练习机会，有效提升了其实践技能和自信心，促进了护生技能向临床实践的迁移。

3.4 XR技术应用于护理本科教学对护生的自我效能无明显改善

本Meta分析结果显示，与LBL相比，XR技术应用于本科护生教学时，其自我效能无明显改善，且差异无统计学意义。自我效能反映个人执行临床任务和做出专业决策的感知能力，是专业技能、态度和行为发展的重要心理基础[55]，会受不同变量相互作用的影响[56]。原因可能如下：①干预强度：自我效能的形成依赖长期、多元的经验积累，单次、短时的XR技术干预可能难以显著改变学生对自我效能的感知，其效果需在反复实践中逐步建立；②评价标准：Jeong[35]、Lee[36]、Othman[39]和Padilha[40]的研究采用不同评估量表，且处于不同文化背景，工具的异质性与文化的差异性叠加，可能会模糊XR技术对护生自我效能的影响；③课程设计：当前，教师利用XR技术进行精细化课程设计的能力仍有欠缺[57]，制约了学习目标与技术应用的有效融合，导致护生自我效能感未能有效提升；④技术接受度：基于技术接受模型[58]，护生虽肯定XR技术的直观性和趣味性，但虚拟与真实仍存在差距[59]，对自我效能提升作用有限。此外，技术劣势（如头显不适、交互延迟、系统故障）产生的冗余认知负荷，会进一步挤占心理资源，制约自我效能建构[60]；⑤自我效能感稳定性：自我效能感指个体在不同情境下应对挑战的能力和自信，被认为是相对稳定的心理特质[61]。研究证实了XR技术在护理教学中对护生自我效能稳定性的影响[62]。值得注意的是，本研究中自我效能感的P=0.05是一个边缘性结果，虽在严格的统计学界定下无显著性差异，但这并不意味着干预无效。首先，敏感性分析结果显示，SMD在[0.35，0.55]之间波动，表明其具有实质性教育意义的中等程度效应，提示XR技术应用于护理本科教学有助于增强护生处理任务的自我效能；其次，当剔除Lee等[36]的研究后，结果具有显著性，而剔除其他任意一篇文献后，重测结果P值与原方向一致。这可能与纳入文献数量较少或总体样本量不足有关，导致统计效能降低，从而增加了假阴性错误的风险。因此，我们认为XR技术在提升护生自我效能感方面具有潜在的积极作用，这一趋势应在未来通过更大样本量的研究进一步验证。

3.5 XR技术应用于护理本科教学有助于提高护生的学习积极性

本Meta分析结果显示，与LBL相比，将XR技术应用于本科护生教学，可有效提高其学习积极性，且差异具有统计学意义。相较于LBL的单向传授模式，游戏化“闯关”机制通过增强动机吸引力，激发护生内在学习动力，这与Keller的ARCS动机理论所强调的提升教学材料的动机吸引力能增强教育有效性相符[63]。XR技术的新颖性与交互性是提升学习投入度的关键因素。Wespi等[14]构建的沉浸式急救情境，通过嵌入虚拟角色互动与团队协同决策，促使护生进行高阶认知加工，并通过任务达成获得积极强化，进而维持高水平学习动机。但其结果异质性较高，通过敏感性分析发现，Othman等[42]的研究是异质性的主要来源。剔除该项研究后，组间异质性消除。经审查，该研究报告的效应量（SMD=1.75）远高于其余研究的平均水平（SMD=0.70），而其在干预措施或人群特征方面与其余研究无显著差异，这可能与研究中未详细报告的潜在变量（如护生的基线学习积极性水平、实施具体细节等）有关。无论是否纳入该研究，合并结果始终显示，XR技术对提升护生学习积极性有较大效应量的正向影响，表明研究结果具有稳健性。

3.6 XR技术应用于护理本科教学有助于提高护生的学习满意度

本Meta分析结果显示，与LBL相比，将XR技术应用于本科护生教学，可有效提高其学习满意度，且差异具有统计学意义。学习满意度是衡量教育干预效果的一个重要指标，它反映了学生对自身学习经历的主观评价。在本研究中，结果仅涉及VR技术，对于MR、AR技术的满意度情况仍需进一步探索。In等[34]的研究因缺乏学习满意度的合并结果，为避免主观偏倚对合并结果产生影响，故在该项Meta分析中被剔除。基于自我决定理论

(self-determination theory),自主、胜任与归属这三种基本心理需求得到满足,可有效激发护生的内在动机[64]。XR 技术通过创设支持上述需求的学习环境,促进护生学习积极性,进而介导学习满意度的提升[65-66]。相较于 LBL,XR 技术的实时反馈功能也有助于提高护生的学习满意度。在罗维等[67]开发的心血管急救虚拟仿真实验项目中,通过语音提示、提示框、可视化图标等交互形式,实时对护生的操作进行矫正提醒,学生普遍反馈该系统能灵敏地纠正操作。此外,XR 系统支持护生操作数据的自动化采集与分析,能够深入洞察其学习趋势与薄弱环节[68],为实现个性化教学提供数据参考。总而言之,护生的满意度不仅源于 XR 技术本身的新颖性,更在于该技术聚焦于“教师难教、学生难学”的教学痛点,且深度契合护理教学内容,有效助力护生专业能力的发展。

3.7　研究的局限性

本研究尚存在一定局限性:①研究对象方面:本研究纳入的对象均为护理专业本科护生,其研究结论在其他群体中的外推性有待验证;②结局指标方面:纳入研究评估的结局指标不尽相同,部分指标无法进行定量合成,这限制了结果的普适性;③研究设计方面:部分纳入研究未报告分配隐藏情况,存在潜在的选择偏倚风险,未来需优化研究设计;④异质性来源与结果解释方面:纳入研究在多数结局指标上表现出较高异质性,尽管采用了随机效应模型并尝试进行敏感性分析,但异质性仍未完全消除。因此,应谨慎解读其效应量,实际教学效果受具体实施情境的影响可能较大。

4　结语

综上所述,XR 技术在护理本科教学中的效果优于 LBL 教学法,可提升本科护生的理论知识水平、实践技能,增强其学习积极性,提高满意度,初步证实了其教学价值。未来,仍需开展多中心、大样本量且设计严谨的 RCT 研究,系统追踪与评估 XR 技术在护理教学中的长期效果。在积累足够多的高质量原始研究后,开展亚组分析与 Meta 回归,深入探讨 XR 技术类型、课程属性及干预时长等因素对教学效果的影响,明确 XR 技术的最佳应用情境,为其在护理教育中的精准推广提供依据。此外,需构建标准化的技术应用方案及评价框架,以量化 XR 技术的教学效果,降低异质性。在应用 XR 技术的过程中,院校应加大对 XR 教学资源及教师专业技术培训的投入;教师应整合 XR 技术优势、课程内容与护生需求,因地制宜地开展数智化教学。同时,护生也应主动适应教学模式变革,增强综合能力,以更好地适配动态的社会需求。唯有如此,才能使 XR 技术真正成为可持续、可信赖的护理教育有力工具。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明　尹京凤:文章构思撰写;栗朝慧:数据分析;赵燕皓:文献检索;邹海欧:审订论文

参考文献

[1] Chau JPC, Lo SHS, Choi KC, et al. Associations between nurse-to-patient ratio, nurse educational level, and nurse-sensitive patient outcomes: a 12-month prospective observational study [J]. Int Nurs Rev, 2025, 72(1): e13091. DOI: 10.1111/inr.13091.

[2] Porat-Dahlerbruch J, Aiken LH, Lasater KB, et al. Variations in nursing baccalaureate education and 30-day inpatient surgical mortality [J]. Nurs Outlook, 2022, 70(2): 300-308. DOI: 10.1016/j.outlook.2021.09.009.

[3] Hampton KB, Smeltzer SC, Ross JG. The transition from nursing student to practicing nurse: an integrative review of transition to practice programs [J]. Nurse Educ Pract, 2021, 52: 103031. DOI: 10.1016/j.nepr.2021.103031.

[4] Hobenu KA, Adefuye AO, Naab F, et al. Strategies to enhance clinical teaching and learning in undergraduate nursing education: a scoping review [J]. PLoS One, 2025, 20(6): e0305789. DOI: 10.1371/journal.pone.0305789.

[5] Park E, Choi J. Attributes associated with person-centered care competence among undergraduate nursing students [J]. Res Nurs Health, 2020, 43(5): 511-519. DOI: 10.1002/nur.22062.

[6] Hakim A. Investigating the challenges of clinical education from the viewpoint of nursing educators and students: a cross-sectional study [J]. SAGE Open Med, 2023, 11: 20503121221143578. DOI: 10.1177/20503121221143578.

[7] Kavanagh J, Sharpnack P. Crisis in competency: a defining moment in nursing education [J]. Online J Issues Nurs, 2021, 26(1): 1-11. DOI: 10.3912/ojin.vol26no01man02.

[8] Cieslowski B, Anderson M, Brown KM, et al. Extended reality in health care simulation: current state, challenges, and future directions [J]. Nurse Educ, 2025, 50(6): E363-E371. DOI: 10.1097/NNE.0000000000001996.

[9] Fast-Berglund Å, Gong L, Li D. Testing and validating Extended Reality (xR) technologies in manufacturing [J]. Procedia Manuf, 2018, 25: 31-38. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.06.054.

[10] 国家卫生健康委员会. 全国护理事业发展规划(2021—2025年)[J]. 中国护理管理, 2022, 22(6): 801-804. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1756.2022.06.001.

[11] 新华社. 中共中央 国务院印发《教育强国建设规划纲要(2024—2035 年)》[EB/OL]. (2025-01-19)[2025-09-30]. https://www.gov.cn/zhengce/202501/content_6999913.htm.

[12] Herur-Raman A, Almeida ND, Greenleaf W, et al. Next-generation

simulation: integrating extended reality technology into medical education [J]. Front Virtual Real, 2021, 2: 693399. DOI: 10.3389/frvir.2021.693399.

[13] 谷灿, 马贵媛, 彭娟, 等. 增强现实技术在护理本科生车祸救援情境模拟教学中的应用研究[J]. 中华护理教育, 2024, 21(11): 1334-1339. DOI: 10.3761/j.issn.1672-9234.2024.11.010.

[14] Wespi R, Schwendimann L, Neher A, et al. TEAMs go VR: validating the TEAM in a virtual reality (VR) medical team training [J]. Adv Simul, 2024, 9(1): 38. DOI: 10.1186/s41077-024-00309-z.

[15] 邓丽萍, 李玉梅, 潘晴, 等. 虚拟现实技术在胸外科护理临床实习教学中的应用研究[J]. 中华医学教育探索杂志, 2024, 23(8): 1097-1101. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240210-01823.

[16] Liu K, Zhang W, Li W, et al. Effectiveness of virtual reality in nursing education: a systematic review and meta-analysis [J]. BMC Med Educ, 2023, 23(1): 710. DOI: 10.1186/s12909-023-04662-x.

[17] Chen FQ, Leng YF, Ge JF, et al. Effectiveness of virtual reality in nursing education: meta-analysis [J]. J Med Internet Res, 2020, 22(9): e18290. DOI: 10.2196/18290.

[18] Wei W, Gao J, Luo X, et al. A scoping review of the applications of augmented reality in nursing [J]. BMC Nurs, 2025, 24(1): 1105. DOI: 10.1186/s12912-025-03750-1.

[19] Piot MA, Dechartres A, Attoe C, et al. Effectiveness of simulation in psychiatry for nursing students, nurses and nurse practitioners: a systematic review and meta-analysis [J]. J Adv Nurs, 2022, 78(2): 332-347. DOI: 10.1111/jan.14986.

[20] Kim HY, Kim EY. Effects of medical education program using virtual reality: a systematic review and meta-analysis [J]. Int J Environ Res Public Health, 2023, 20(5): 3895. DOI: 10.3390/ijerph20053895.

[21] Cho MK, Kim MY. The effect of virtual reality simulation on nursing students' communication skills: a systematic review and meta-analysis [J]. Front Psychiatry, 2024, 15: 1351123. DOI: 10.3389/fpsyt.2024.1351123.

[22] García-Robles P, Cortés-Pérez I, Nieto-Escámez FA, et al. Immersive virtual reality and augmented reality in anatomy education: a systematic review and meta-analysis [J]. Anat Sci Educ, 2024, 17(3): 514-528. DOI: 10.1002/ase.2397.

[23] Sherman WR, Craig AB. Understanding virtual reality: interface, application, and design [J]. Presence, 2003, 12(4): 441-442. DOI: 10.1162/105474603322391668.

[24] Park S, Shin HJ, Kwak H, et al. Effects of immersive technology-based education for undergraduate nursing students: systematic review and meta-analysis using the grading of recommendations, assessment, development, and evaluation (GRADE) approach [J]. J Med Internet Res, 2024, 26: e57566. DOI: 10.2196/57566.

[25] Liao SC, Hsu SY. Evaluating a continuing medical education program: new world Kirkpatrick model approach [J]. Int J Manag Econ Soc Sci, 2019, 8(4): 1-15. DOI: 10.32327/ijmess/8.4.2019.17.

[26] Kirkpatrick DL. The four levels of evaluation [M]//Evaluating Corporate Training: Models and Issues. Dordrecht: Springer Netherlands, 1998: 95-112. DOI: 10.1007/978-94-011-4850-4_5.

[27] Huang X, Wang R, Chen J, et al. Kirkpatrick's evaluation of the effect of a nursing innovation team training for clinical nurses [J]. J Nurs Manag, 2022, 30(7): 2165-2175. DOI: 10.1111/jonm.13504.

[28] Johnston S, Fox A. Kirkpatrick's evaluation of teaching and learning approaches of workplace violence education programs for undergraduate nursing students: a systematic review [J]. J Nurs Educ, 2020, 59(8): 439-447. DOI: 10.3928/01484834-20200723-04.

[29] Aebersold M, Voepel-Lewis T, Cherara L, et al. Interactive anatomy-augmented virtual simulation training [J]. Clin Simul Nurs, 2018, 15: 34-41. DOI: 10.1016/j.ecns.2017.09.008.

[30] Andreasen EM, Berg H, Steinsbekk A, et al. The effect of using desktop VR to practice preoperative handovers with the ISBAR approach: a randomized controlled trial [J]. BMC Med Educ, 2023, 23(1): 983. DOI: 10.1186/s12909-023-04966-y.

[31] Blanié A, Amorim MA, Benhamou D. Comparative value of a simulation by gaming and a traditional teaching method to improve clinical reasoning skills necessary to detect patient deterioration: a randomized study in nursing students [J]. BMC Med Educ, 2020, 20(1): 53. DOI: 10.1186/s12909-020-1939-6.

[32] Chan HY, Chang HC, Huang TW. Virtual reality teaching in chemotherapy administration: randomised controlled trial [J]. J Clin Nurs, 2021, 30(13/14): 1874-1883. DOI: 10.1111/jocn.15701.

[33] Chen CJ, Chen YC, Lee MY, et al. Effects of three-dimensional holograms on the academic performance of nursing students in a health assessment and practice course: a pretest-intervention-posttest study [J]. Nurse Educ Today, 2021, 106: 105081. DOI: 10.1016/j.nedt.2021.105081.

[34] In N, Wakamatsu R, Miyakawa H, et al. Development and educational effectiveness of a mixed reality (MR) program to support clinical judgment in the observation of postoperative patients [J]. Healthcare, 2024, 12(23): 2357. DOI: 10.3390/healthcare12232357.

[35] Jeong S, Cha C. Effects of immersive virtual reality simulation – based maternity nursing education: a randomized controlled trial [J]. Clin Simul Nurs, 2024, 97: 101631. DOI: 10.1016/j.ecns.2024.101631.

[36] Lee JJ, Tsang VWY, Chan MMK, et al. Virtual reality simulation-enhanced blood transfusion education for undergraduate nursing students: a randomised controlled trial [J]. Nurse Educ Today, 2023, 129: 105903. DOI: 10.1016/j.nedt.2023.105903.

[37] Liu YM, Fan JY, Jaing TH, et al. Effectiveness of a virtual simulation and self-debriefing app on nursing students' pediatric pain knowledge: a randomized controlled trial [J]. Clin Simul Nurs, 2025, 101: 101700. DOI: 10.1016/j.ecns.2025.101700.

[38] Mayor Silva LI, Caballero de la Calle R, Cuevas-Budhart MA, et al. Development of communication skills through virtual reality on nursing school students: clinical trial [J]. Comput Inform Nurs, 2023, 41(1): 24-30. DOI: 10.1097/CIN.0000000000000866.

[39] Othman SY, Ghallab E, Eltaybani S, et al. Effect of using gamification and augmented reality in mechanical ventilation unit of critical care nursing on nurse students' knowledge, motivation, and self-efficacy: a randomized controlled trial [J]. Nurse Educ Today, 2024, 142: 106329. DOI: 10.1016/j.nedt.2024.106329.

[40] Padilha JM, Machado PP, Ribeiro A, et al. Clinical virtual

simulation in nursing education: randomized controlled trial [J]. J Med Internet Res, 2019, 21(3): e11529. DOI: 10.2196/11529.

[41] Sezgunsay E, Basak T. The efficacy of a mobile augmented reality application in improving nursing students' knowledge, skills, and motivation in pressure injury assessment: a randomized controlled trial [J]. Nurse Educ Today, 2025, 148: 106643. DOI: 10.1016/j.nedt.2025.106643.

[42] Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences [M]. 2nd ed. New York: Routledge, 2013. DOI: 10.4324/9780203771587.

[43] 豆欣蔓, 裴菊红, 张玉芳, 等. 虚拟现实技术在护理教学中应用效果的Meta分析[J]. 中华护理教育, 2021, 18(7): 618-623. DOI: 10.3761/j.issn.1672-9234.2021.07.008.

[44] Sung H, Kim M, Park J, et al. Effectiveness of virtual reality in healthcare education: systematic review and meta-analysis [J]. Sustainability, 2024, 16(19): 1-37. DOI: 10.3390/su16198520.

[45] Fugate JMB, Tonsager MJ, Macrine SL. Immersive extended reality (I-XR) in medical and nursing for skill competency and knowledge acquisition: a systematic review and implications for pedagogical practices [J]. Behav Sci, 2025, 15(4): 468. DOI: 10.3390/bs15040468.

[46] Kalyuga S. Schema acquisition and sources of cognitive load [M]// Cognitive Load Theory. New York, NY, US: Cambridge University Press, 2010: 48-64. DOI: 10.1017/CBO9780511844744.005.

[47] Lee S, Park E, Yeom HE. Korean nursing students' experiences of virtual simulation programs replacing in-person mental health nursing practicum during the COVID-19 pandemic [J]. Healthcare, 2024, 12(6): 685. DOI: 10.3390/healthcare12060685.

[48] Jallad ST, Natsheh I, Abu Helo L, et al. Nursing student's perceptions, satisfaction, and knowledge toward utilizing immersive virtual reality application in human anatomy course: quasi-experimental [J]. BMC Nurs, 2024, 23(1): 601. DOI: 10.1186/s12912-024-02254-8.

[49] 史铁英, 姜桐桐, 刘宇, 等. 新时代背景下探索以职业胜任力为核心的护理实践教学模式[J]. 中国实用护理杂志, 2021, 37(34): 2641-2643. DOI: 10.3760/cma.j.cn211501-20210707-01925.

[50] Baldwin TT, Ford JK. Transfer of training: a review and directions for future research [J]. Pers Psychol, 1988, 41(1): 63-105. DOI: 10.1111/j.1744-6570.1988.tb00632.x.

[51] Chidume T, Ware KS, Cooper TS, et al. Deliberate practice and cardiopulmonary resuscitation: Integration in the classroom, lab, and simulation [J]. Teach Learn Nurs, 2023, 18(2): 339-343. DOI: 10.1016/j.teln.2022.12.007.

[52] Cant R, Ryan C, Kelly MA. Use and effectiveness of virtual simulations in nursing student education: an umbrella review [J]. Comput Inform Nurs, 2023, 41(1): 31-38. DOI: 10.1097/CIN.0000000000000932.

[53] 李菊, 赵榕, 卢艳艳, 等. 以情景模拟为基础的刻意训练在护生护患沟通能力培养中的应用[J]. 护理研究, 2017, 31(26): 3253-3256. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6493.2017.26.011.

[54] Kluge MG, Maltby S, Kuhne C, et al. Comparing approaches for selection, development, and deployment of extended reality (XR) teaching applications: a case study at The University of Newcastle Australia [J]. Educ Inf Technol, 2023, 28(4): 4531-4562. DOI: 10.1007/s10639-022-11364-2.

[55] Far AA, Sarmadi MR, Seyf MH, et al. A causal relationships model of future orientation on self-regulated learning: the mediating role of academic self-efficacy and task value among master's degree students attending electronics courses at payame noor university of Tehran [J]. Interdiscip J Virtual Learn Med Sci, 2019, 10(3): 23-31. DOI: 10.30476/ijvlms.2019.45843.

[56] Bandura A. Social foundations of thought and action [M]//Marks D. The Health Psychology Reader. London: SAGE Publications Ltd, 2002: 94-106. DOI: 10.4135/9781446221129.n6.

[57] 甘淋玲, 沙川, 王博. VR技术在中国医学教学中的实践与思考[J]. 中华医学教育探索杂志, 2019, 18(9): 871-875. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-1485.2019.09.002.

[58] Davis FD. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology [J]. MIS Q, 1989, 13(3): 319-340. DOI: 10.2307/249008.

[59] Shorey S, Ng ED. The use of virtual reality simulation among nursing students and registered nurses: a systematic review [J]. Nurse Educ Today, 2021, 98: 104662. DOI: 10.1016/j.nedt.2020.104662.

[60] Curran VR, Xu X, Aydin MY, et al. Use of extended reality in medical education: an integrative review [J]. Med Sci Educ, 2023, 33(1): 275-286. DOI: 10.1007/s40670-022-01698-4.

[61] Luszczynska A, Scholz U, Schwarzer R. The general self-efficacy scale: multicultural validation studies [J]. J Psychol, 2005, 139(5): 439-457. DOI: 10.3200/JRLP.139.5.439-457.

[62] Smith SJ, Farra SL, Ulrich DL, et al. Effectiveness of two varying levels of virtual reality simulation [J]. Nurs Educ Perspect, 2018, 39(6): E10-E15. DOI: 10.1097/01.NEP.0000000000000369.

[63] Keller JM. Development and use of the ARCS model of instructional design [J]. J Instr Dev, 1987, 10(3): 2-10. DOI: 10.1007/BF02905780.

[64] John Wang CK, Liu WC, Kee YH, et al. Competence, autonomy, and relatedness in the classroom: understanding students' motivational processes using the self-determination theory [J]. Heliyon, 2019, 5(7): e01983. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e01983.

[65] Rahayu WP, Sulistyowati R, Pratikto H, et al. Using self-determination and expectancy theory to evaluate hybrid learning [J]. Cogent Educ, 2024, 11(1): 2303535. DOI: 10.1080/2331186X.2024.2303535.

[66] Zhu M, Doo MY, Masoud S, et al. The influence of SDL on learning satisfaction in online learning and group differences between undergraduates and graduates [J]. Educ Inf Technol, 2025, 30(1): 313-331. DOI: 10.1007/s10639-024-12995-3.

[67] 罗维, 金晓燕, 侯罗娅, 等. 基于扩展现实技术的护理虚拟仿真实验教学资源的开发与实践研究[J]. 中华护理教育, 2025, 22(1): 21-26. DOI: 10.3761/j.issn.1672-9234.2025.01.003.

[68] 中国医院协会模拟医学专业委员会. 临床实践技能虚拟仿真应用技术体系标准专家共识[J]. 中国全科医学, 2025, 28(23): 2833-2840. DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2025.0076.

（收稿日期：2025-11-20）
（本文编辑：兰明娟）