生成式人工智能赋能虚拟仿真技术在基层继续医学教育中的适配分析与应用路径构建

金典[1]，朱海涛[2]，赵夫文[3,4]，杨春霞[5]，马思远[1]，周靖威[6]，沈龙祥[1,2,6]
1. 上海交通大学医学院附属第六人民医院，上海；
2. 射阳县人民医院，江苏盐城；
3. 射阳县临海中心卫生院，江苏盐城；
4. 射阳县中医院，江苏盐城；
5. 扬中市西来桥镇卫生院，江苏镇江；
6. 上海第二工业大学，上海
DOI：10.62836/jer.v4n11.1499

摘要：基层继续医学教育（continuing medical education，CME）是提升基层医生专业素养的关键，但长期受到资源短缺、师资匮乏、需求脱节及学习意愿不足等困境的制约。虚拟仿真技术虽能针对性解决部分问题，却存在诸多局限，使得其难以与基层CME实现深度适配。本文系统梳理基层CME现存问题、虚拟仿真技术的适配价值与核心局限，重点分析生成式人工智能（Generative Artificial Intelligence，GAI）对虚拟仿真的进阶赋能，并构建针对基层CME痛点、匹配基层医生需求的GAI赋能虚拟仿真技术全流程应用路径。本文旨在为GAI赋能的虚拟仿真系统在基层CME中的应用提供理论参考与实践路径，助力基层医疗卫生人才队伍高质量建设，推动基层CME数字化转型。
关键词：生成式人工智能；虚拟仿真；基层医生；继续医学教育

Adaptability Analysis and Construction of Application Paths of Generative Artificial Intelligence-Enabled Virtual Simulation Technology in Primary Continuing Medical Education

Dian Jin[1], Haitao Zhu[2], Fuwen Zhao[3,4], Chunxia Yang[5], Siyuan Ma[1], Jingwei Zhou[6], Longxiang Shen[1,2,6]
1.The Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai;
2.Sheyang County People's Hospital, Yancheng, Jiangsu;
3.Linhai Central Health Center of Sheyang County, Yancheng, Jiangsu;
4.Sheyang County Hospital of Traditional Chinese Medicine, Yancheng, Jiangsu;
5.Xilaiqiao Town Health Center of Yangzhong City, Zhenjiang, Jiangsu;
6.Shanghai Polytechnic University, Shanghai

Abstract: Primary continuing medical education (CME) is the key to improving the professional literacy of primary care physicians, but it has long been constrained by dilemmas such as resource shortage, lack of teachers, disconnection between training content and actual needs, and insufficient learning willingness. Although virtual simulation technology can solve some of these problems in a targeted manner, it has many limitations that make it

difficult to achieve deep adaptation with primary CME. This paper systematically sorts out the existing problems of primary CME, the adaptation value and core limitations of virtual simulation technology, focuses on analyzing the advanced empowerment of Generative Artificial Intelligence (GAI) on virtual simulation, and constructs a full-process application path of GAI-enabled virtual simulation technology that targets the pain points of primary CME and matches the needs of primary care physicians. This paper aims to provide theoretical reference and practical paths for the application of GAI-enabled virtual simulation systems in primary CME, help the high-quality construction of primary medical and health talent teams, and promote the digital transformation of primary CME.

Keyword: generative artificial intelligence; virtual simulation; primary care physicians; continuing medical education

在乡村振兴战略与健康中国建设的背景下，基层医疗卫生服务体系已经成为民生保障的核心环节[1]，而CME是更新基层医生的专业理论知识并提高其专业技能水平的重要途径。但当前基层CME正面临着教育资源供给不足、培训内容与基层临床实际需求脱节、工学矛盾突出、基层医生学习内驱力不足以及基层师资力量匮乏等困境，这些困境倒逼着基层CME去寻求技术赋能的新路径。虚拟仿真技术凭借低成本复刻临床场景、无风险实操训练、支持碎片化学习等优势，为基层CME的困境破解提供了可行方向，但虚拟仿真技术在基层落地过程中，仍存在难以突破的适配性瓶颈，无法完全匹配基层CME的独特需求。而GAI的快速迭代，为虚拟仿真技术的适配性瓶颈破解提供了全新的技术思路。基于此，本文系统梳理基层CME的现存问题、虚拟仿真技术的适配价值与核心局限，进而提出GAI赋能虚拟仿真技术的优势以及应用路径。

1 基层CME的现存问题

1.1 教学资源供给总量不足及区域分配不均

我国目前的医学教育体系以在校医学生的培养为核心，经费、教学器材、教学场地等资源优先向院校教育倾斜，CME只能获得少量资源，而基层CME作为其末端环节，资源供给更受限制。从区域分布来看，基层CME经费投入呈东部高、中西部低的分布，中西部基层实践基地的覆盖率不足东部的50%，偏远乡镇卫生院甚至缺乏基础的技能训练素材[1,2]。

1.2 教学内容与基层临床需求脱节，实操性训练匮乏

在教学内容设计上，目前基层CME的核心内容大多聚焦于三甲医院的复杂病例与疑难诊疗场景，而针对基层常见病、慢病规范管理、简易急救的培训课程占比不足，且未考虑不同岗位、不同能力层级基层医生的个性化需求，统一化的培训内容无法匹配基层医生的差异化学习诉求。在培训模式上，基层CME仍以线下讲座、线上录播为主，而实际操作训练占比较低[3]，基层医生听得多、练得少，即使学习了理论，遇到真实病例还是不会处理[4]。

1.3 基层医生工学矛盾突出，参加继续教育的意愿不足

基层医生日常诊疗任务繁重、缺乏系统培训时间，工学矛盾突出[4]，是基层医生参与CME意愿不足的核心根源。例如乡村医生既要完成日常诊疗任务，还需开展健康监测、组织社区居民体检以及承担数据统计等一系列公卫工作，可自由支配的学习时间极为碎片化。一项对湖南省703名乡村医生的调查显示，有31.57%的乡村医生因工学矛盾而不愿意参与培训[5]。此外，也有部分基层医生对CME的价值认知不足，安于现有诊疗模式，对新知识、新技能的学习需求不强。一项对新疆基层医生的

问卷调查显示，12.7%的医生认为没有必要参加CME[3]。此外，在执行CME激励政策时落地不到位的情况下，CME考核与职业发展衔接不紧密，这进一步降低了基层医生参与培训的积极性[5]。

1.4 基层师资匮乏导致实时指导与即时纠错反馈机制缺失

当前基层CME已陷入师资匮乏困境，体现为师资数量不足、质量参差不齐的双重问题。一方面，受职称、编制等条件限制，真正具有丰富基层临床经验的基层医生无法进入CME的教师团队[6]；另一方面，因基层CME教师工作的有效激励措施缺乏，导致教师教学的投入度与积极性不高[7]。而师资匮乏直接导致基层CME的实时指导与即时纠错反馈机制缺失：基层医生在开展实操训练时常面临无带教教师实时指导的情况，在日常诊疗中遇到的问题也无即时咨询渠道，最终陷入学错难改、练错难纠的低效困境。

2 虚拟仿真对基层CME的适配价值与不足之处

2.1 虚拟仿真的适配价值

虚拟仿真技术的低成本、可复用等特性，与解决基层CME的资源匮乏、师资短缺等痛点问题高度契合。第一，虚拟仿真资源经一次开发即可反复使用，且无实体材料消耗，能以低成本为基层机构提供实操训练机会，弥补基层缺设备、场地的硬件短板[8-11]。第二，基层医生需要掌握的应急处置、规范转诊等操作，因存在较高的医疗风险与伦理约束，无法在真实患者身上开展训练，虚拟仿真技术可提供无风险的实操训练机会，契合基层安全的训练诉求[10-12]。第三，虚拟仿真系统可内置标准化操作流程，将待训练技能的规范步骤、关键节点转化为虚拟场景中的可视化指引，以此替代教师的基础教学环节[10]，同时虚拟仿真系统支持无限制重复练习，基层医生可针对易错环节反复模拟[13]。

虚拟仿真技术还可适配基层医生的学习需求特点。一方面，虚拟仿真技术支持碎片化学习，基层医生可利用诊疗间隙、下班后等业余时间完成短时训练，无需专门离岗进行长时间培训[14]。另一方面，虚拟仿真技术可构建高度还原的场景，将抽象的医学知识转化为可感知、可操作的具象体验，还可融入积分、闯关、排名、成就解锁等游戏化设计元素，从而解决传统培训的枯燥感，提升基层医生的学习积极性[14-16]。

2.2 虚拟仿真的核心局限

虚拟仿真技术虽为基层CME破解了实操机会短缺、高风险场景难模拟、工学矛盾突出等部分痛点，但在基层实际应用中仍存在明显局限。

第一，虚拟场景的开发与设计难以完全匹配基层CME的独特需求。首先，基层特色场景开发需依赖人工建模与脚本编写，成本高、周期长，既导致无法快速生成贴合基层诊疗特点的虚拟场景，也导致场景内容更新迭代慢，无法实时对接临床指南更新与区域疾病谱变化，训练内容易与基层临床的实际情况脱节。其次，现有虚拟场景多为标准化设计，没有根据基层医生的职称层级、技能短板、岗位需求、所在区域疾病谱差异来设计个性化虚拟场景，仍未摆脱统一化培训的局限[17]。最后，虚拟患者的对话多为固定的脚本，无法模拟基层患者以方言就诊、症状表述模糊、隐瞒病史以及患者因熟人关系提出的不规范的就医请求等基层常见接诊场景，导致训练场景与实际工作场景有所脱节。

第二，与基层的硬件与网络条件适配性差，基层落地门槛过高。虚拟仿真系统需要依赖专用VR/AR设备、高性能服务器等硬件设施支撑[11]，而基层医疗机构往往缺乏这类专用硬件设备，也难以承担高额的采购与维护成本。同时，虚拟仿真系统对网络的要求较高，偏远地区的基层医疗机构网络条件较差，易出现卡顿、延迟、加载失败等问题，导致无法正常使用系统功能。这种硬件与网络的高门槛限制了虚拟仿真技术在基层地区的大规模推广应用[10,18]。

第三，系统操作复杂度较高。现有虚拟仿真系统的交互模式多为标准化的键盘、鼠标或手柄操作，对使用者的数字素养有一定要求。而我国基层医生尤其是中老年乡村医生的数字素养普遍偏低，

难以熟练掌握虚拟仿真系统的操作流程[5]。

第四，评价体系表层化，无法替代优质带教的深度评价与个性化指导。现有虚拟仿真系统的评价模式仅能通过预设流程判断基层医生的操作是否合规，无法对诊疗逻辑、临床决策、医患沟通技巧等基层医生的核心能力进行深度评价[19]。此外，评价反馈无法对错误操作的原因、规范标准、改进方向进行可解释性的详细指导，难以替代优质带教老师的个性化、过程性指导价值。

而GAI对虚拟仿真技术的赋能，恰好能针对性弥补其上述缺陷，实现虚拟仿真技术与基层CME的适配。

3 GAI赋能虚拟仿真应用于基层CME的进阶优势

3.1 GAI赋能虚拟场景生成：低成本生成基层特色化、个性化场景

首先，GAI为虚拟仿真系统注入智能化生成及动态更新的能力，解决虚拟仿真系统的场景开发效率低、内容更新滞后的问题。借助GAI的智能内容生成能力[19]，GAI赋能的虚拟仿真系统可自主生成基层特色虚拟场景，无需复杂的人工建模与脚本编写，在提升内容供给效率的同时减少基层医疗单位在虚拟场景开发、管理中的人力投入，降低虚拟仿真系统的运营经费与人员成本[17,20]。同时，依托检索增强生成（Retrieval-Augmented Generation，RAG）技术[21]，GAI可动态对接临床指南与区域疾病谱变化，从而实时更新虚拟场景中的训练内容与诊疗标准，确保训练内容始终贴合基层临床实际需求。其次，通过分析基层医生的学习数据（如操作错误点、测试薄弱项）及工作岗位特点，GAI赋能的虚拟仿真系统可自动生成基层医生的个性化学习画像[22]，并据此生成虚拟场景资源[19]，如为乡村医生生成骨质疏松、糖尿病等慢病管理场景，为基层妇幼保健医生生成孕产妇产后随访、母乳喂养指导场景，为基层骨科医生生成四肢简单骨折院前固定场景[23-25]。最后，GAI赋能的虚拟患者可实现非脚本化对话，能模拟基层患者以方言就诊、隐瞒病史、表述模糊等基层常见情况[26,27]，基层医生需通过主动追问、逻辑梳理才能获取关键信息，从而倒逼基层医生提升适配基层患者特点的沟通与病史采集能力[28]。

3.2 GAI降低硬件门槛：适配基层硬件与经费条件

GAI可针对性解决虚拟仿真技术与基层现有硬件、网络适配性不足的问题，推动虚拟仿真技术在基层真正落地。首先，通过GAI驱动的智能模型压缩，系统可自动识别虚拟场景中的核心区域（如血压测量时的袖带绑扎、听诊器放置规范）与非核心区域（如诊所背景的装饰物品），在针对性压缩非核心资源的同时精准保留核心操作所需的场景细节，降低系统算力需求[29]。其次，GAI可通过模型轻量化与多端推理优化协同实现部署降本。具体而言，GAI可结合模型量化、剪枝、知识蒸馏、边缘推理框架及CPU推理加速技术，降低虚拟仿真系统中场景生成、智能交互和实时反馈模块的算力需求；同时，可依托TensorFlow/oneDNN、TensorFlow Lite、ONNX Runtime等成熟推理优化框架，提升普通CPU、移动端和边缘设备的运行效率，使部分原本依赖高性能GPU的功能迁移至基层常用的普通电脑、平板电脑或智能手机终端，从而增强虚拟仿真技术在基层医疗机构中的硬件兼容性和落地可行性[30]。最后，GAI可自动识别虚拟仿真用户的终端设备性能、用户在线数量以及帧率需求，动态调整服务器算力分配及场景渲染精细度，从而避免卡顿、延迟等问题，让基层医疗机构无需额外采购高性能服务器就能支撑更多用户，减少硬件采购经费支出[31,32]。

3.3 GAI赋能人机交互：打破语言与操作壁垒

针对基层中老年医生数字化素养偏低、普通话不标准的痛点，GAI可降低虚拟仿真的操作门槛。一方面，利用自然语言处理（Natural Language Processing，NLP）技术[33]，GAI赋能的虚拟仿真系统支持语音指令操作，基层医生可通过如“打开高血压患者问诊场景”“调整学习难度”等语音指令完成操作，无需复杂的键盘与鼠标或手柄

操作[34]；另一方面，GAI赋能的虚拟患者不仅可精准识别各地方言，还能以对应的方言进行自然回应，基层医生用方言即可完成问诊、医患沟通等训练，避免因基层医生的语言隔阂导致系统操作障碍[35]。这种低门槛交互模式让中老年基层医生也能无障碍地使用虚拟仿真系统进行学习。

3.4 GAI赋能教学评价：从单纯判断对错到可解释性指导

GAI打破传统CME模式及虚拟仿真系统只能判断对错的低效评价模式，建立多维度、动态化的评价体系。借助数据采集技术，GAI可全面捕捉基层医生在虚拟仿真系统上学习的全过程数据[19,20,33]，如问诊是否有遗漏、抗生素使用时机是否恰当等临床决策行为，还可借助NLP技术分析问诊对话的逻辑完整性、术语准确性，判断受教育程度较低的基层患者是否能明白医生的意思。同时，依托可解释性人工智能（Explainable AI，XAI）技术，GAI可打破黑箱评价，为基层医生提供专家式的具象化指导[37]。如在老年膝骨关节炎基层诊疗场景中，系统根据基层医生的错误操作不仅判定操作有误，还会详细反馈“该患者为轻度原发性膝骨关节炎，无手术指征，不建议优先选择手术治疗，建议给予口服对症药物规范治疗，同时完善骨质疏松筛查”[38]，让基层医生能在基层师资短缺时依然能享受专家级的实时指导[16,39]。掌握学习理论提出只要给予充足时间与适当教学，几乎所有的学生都可以掌握绝大多数的学习内容[40]；Ericsson提出的刻意练习理论认为，以目标为导向且伴随反馈的练习效果最优[41]，而GAI赋能的虚拟仿真技术恰好能提供无限次练习以及实时的个性化反馈，正是实现上述理论的最佳工具。

4 应用场景构建

基于前文梳理的基层CME的痛点与GAI赋能虚拟仿真技术的优势，本文针对性构建该技术适配基层CME需求的应用场景。

4.1 闲暇时：基于个性化的碎片式推送

GAI赋能的虚拟仿真系统通过分析基层医生的日常空闲时段（如早交班前5分钟、门诊低谷期），自动生成并推送1-2个微型训练场景到医生的智能手机或电脑中，将学习嵌入基层医生的工作间隙。在此基础上，根据医生当日的诊疗预约情况，系统将生成并推送与当日接诊患者类型对应的训练场景，例如医生当日需接诊多例慢性肩痛患者，系统同步推送阶梯化药物治疗、规范康复训练与转诊指征判断的微型训练场景，实现即学即用的训练效果[42,43]。针对区域公共卫生应急需求，系统还可建立应急响应式生成推送机制，如某乡镇本周上呼吸道感染病例激增，系统将会向全辖区的基层医生生成并推送上呼吸道感染的规范诊疗、防控流程训练场景，快速提升基层医生的突发公共卫生事件应急处置能力。

4.2 训练中：虚拟标准化病人的诊疗实战

GAI赋能的虚拟仿真系统聚焦基层医生核心工作场景，高度还原基层独有的接诊特征，同时针对不同需求的基层医生构建了三级训练模式[38]。针对新入职的基层医生，系统可设置引导式训练模式。在训练过程中，系统会通过实时语音提示、可视化指引，引导医生完成完整的诊疗流程，针对关键操作节点、易错环节提前给出规范指引与注意事项，帮助医生快速掌握规范的诊疗流程与操作方法。针对具备一定临床基础、需针对性强化基层独立诊疗能力的基层医生，系统可设置基层全流程训练模式。该模式重点聚焦基层医生在日常诊疗中最常遇到的医患沟通难题与临床决策困境，包括熟人就医场景下如何坚守诊疗规范的难题（如虚拟患者以同村老乡身份说“咱俩都是一个村的，别整那些烦琐检查”）、患者表述模糊甚至隐瞒病史、患者私自服用民间偏方的规范处置等，在贴近基层真实工作的复杂情境中锤炼医生适配基层临床场景的医患沟通技巧与临床逻辑思维[26,27]。针对需提升团队协作能力的基层医生，系统可设置协同式训练模式。该模式聚焦基层转诊、多学科协作、突发公共卫生事件应急处置等需要多角色配合的核心场景，系统可构建多用户协同的虚拟训练场景，支持乡村医生、乡镇卫生院全科医生、公共卫生医生等多角

色同时在线开展协同训练，有效提升基层医疗团队的协同处置能力与转诊衔接效率[44]。

4.3 训练后：伴随式成长

GAI赋能的虚拟仿真系统自动整合基层医生在虚拟仿真训练中的答题数据、接诊表现、诊疗记录，在每次训练结束后生成能力雷达图，直观展示慢病管理、急症处置、医患沟通技巧等维度的进步，让成长过程可视化[36]。系统还会推荐同乡镇排名靠前医生的典型训练案例以供基层医生们互相交流借鉴，同时自动生成并推送对应本次训练中的操作技巧与处置要点的教学视频供基层医生学习[45]。同时，依托GAI的全过程数据采集能力并结合区块链可信存证与智能合约自动执行技术，医生训练的结果还可同步至地方卫健部门的继续教育管理系统，将训练的成绩直接作为基层医生年度考核、职称晋升的参考依据之一，让虚拟仿真训练成果真正对接基层医生的职业发展需求[46]。

5 结论

综上，GAI赋能虚拟仿真技术的融合应用为破解基层CME资源短缺、师资匮乏等现实困境提供了全新的思路，其在优化基层培训质量、提升医生基层诊疗能力方面展现出了显著优势和巨大潜力。随着技术迭代，GAI将进一步赋能虚拟仿真技术，训练场景将更真实地还原基层诊疗的现实情境，打破虚拟训练与实际诊疗的边界，让基层医生的训练体验更贴近真实工作场景。但当前GAI赋能虚拟仿真技术在基层CME的应用尚处于探索阶段，后续还需汇聚多方力量来持续改进该技术，共同推进其在基层真正落地，加速基层CME的高质量转型，为基层医疗卫生服务体系的完善提供有力支撑。

参考文献

[1]刘润华.乡村振兴战略下基层全科医生校地共育模式探索[J].继续医学教育,2025,39(09):73–77.

[2]廖浩君.新中国成立以来卫生资源配置思想演进研究[D].四川大学,2025.

[3]玛依努尔·麦麦提敏,赵长伟,侯铭,等.新疆基层医务人员继续医学教育现状及对策[J].中国社会医学杂志,2024,41(06):669–672.

[4]朱大伟,施浇建.基层全科医生继续医学教育现状调查研究[J].江苏卫生事业管理,2022,33(09):1267–1269.

[5]吴思宇.湖南省乡村医生继续教育存在的问题及对策研究[D].湖南中医药大学,2024.

[6]SHANG R, QIN Y, WANG F, et al. An exploratory study on the mode and method of general education and training for general practice undergraduates: a narrative review [J]. Annals of Translational Medicine, 2022, 10(2).

[7]吴爽,席彪.我国全科医生继续医学教育政策执行的制约因素及优化路径研究[J].中华全科医学,2023,21(12):1995–1999.

[8]BYRNE R, QU Z, FRONK C, et al. AR Simulations in VR: The Case for Environmental Awareness [C] 2024 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR),IEEE,2024:985-986.

[9]ALHUMAIDI W, ALQURASHI N, ALNUMANI R, et al. Perceptions of Doctors in Saudi Arabia Toward Virtual Reality and Augmented Reality Applications in Healthcare [J]. Cureus Journal of Medical Science, 2023,15(7).

[10]ZHANG X, LYU X, WENG X, et al. From Conventional OSCE to Virtual Reality-Enhanced OSCE: A Narrative Review of Promise and Pitfalls in Medical Education [J]. Advances in Medical Education and Practice, 2026, 17.

[11]ZOU Z, YANG J, XU Y, et al. Virtual and augmented reality techniques for medical education: a review of AI and visual computing innovations [J]. Visual Computer, 2025, 42(1).

[12]RICCI S, PENZA V, NERI F. Editorial: VR, AR, MR in healthcare: the role of immersive technologies in medical training [J]. Frontiers in Digital Health, 2025, 7.

[13]ZHANG M, BAI W, YAN Z, et al. Virtual simulation system in cataract education for medical undergraduates: a prospective quasi-experimental study [J]. Bmc Medical Education, 2025, 26(1).

[14]ZHANG H, CUI YL, SHAN HM, et al. Hotspots and Trends of Virtual Reality, Augmented Reality and Mixed Reality in Education Field[C]. 2020 6th International Conference of the Immersive Learning Research Network (ILRN 2020). IEEE,2020:215-219.

[15]ZHANG R, XIANG W, XIA L, et al. Application of Mixed Reality Technology in Medical Student Education: A Scoping Review [J]. Journal of Multidisciplinary Healthcare, 2025, 18: 7443–7457.

[16]WITTEK A, STRIZEK B, RECKER F. Innovations in ultrasound training in obstetrics [J]. Archives of Gynecology and Obstetrics, 2025, 311(3): 871–880.

[17]MAROZAU A, KARPOWICZ B, KOWALEWSKI T, et al. Towards Effective Immersive Technologies in Medicine: Potential and Future Applications Based on VR, AR, XR and AI Solutions[C]. 12th Machine Intelligence and Digital Interaction Conference-MIDI. Springer,2026:281-288.

[18]ERDAG M, CITIRIK M, DAL A. Augmented and virtual reality in retinal care: A systematic review of their role in training, surgery, and treatment [J]. Survey of Ophthalmology, 2025, 70(6): 1197–1204.

[19]BU L, QU J, DING J, et al. An adaptive design approach for AIGC-based VR rehabilitation training systems [J]. Journal of Engineering Design, 2025.

[20]MISRA S, SURESH S. Artificial Intelligence and Objective Structured Clinical Examinations: Using ChatGPT to Revolutionize Clinical Skills Assessment in Medical Education [J]. Journal of Medical Education and Curricular Development, 2024, 11.

[21]KLESEL M, WITTMANN H. Retrieval-Augmented Generation (RAG) [J]. Business & Information Systems Engineering, 2025, 67(4): 551–561.

[22]XU X, LI H, GUAN Z, et al. Urgent needs, opportunities and challenges of virtual reality in healthcare and medicine in the era of large language models [J]. Virtual Reality & Intelligent Hardware, 2025, 7(5): 453–467.

[23]CHANG C, SU W. The Effect of a Generative AI-Based Teaching Strategy on Building Students' Competency [J]. Journal of Nursing Education, 2025, 64(6).

[24]HESKIN L, GALVIN R, TRAYNOR O, et al. Simulation in Upper and Lower limb Trauma Skill Acquisition A Review [J]. Simulation in Healthcare-Journal of the Society for Simulation in Healthcare, 2022, 17(1): 54–65.

[25]LOGOTHETIS I, DIAKOGIANNIS K, VIDAKIS N. Interactive Learning Through Conversational Avatars and Immersive VR: Enhancing Diabetes Education and Self-Management[C] 2025 7th International Conference on HCI in Games-HCI-Games. 2025:415-429.

[26]WANG L, XU W, LIU Y, et al. Artificial intelligence for virtual reality: a review [J]. Science China-Information Sciences, 2025, 69(1).

[27]HARDER N, ALI F, TURNER S, et al. Comparing artificial intelligence-enhanced virtual reality and simulated patient simulations in undergraduate nursing education [J]. Clinical Simulation in Nursing, 2025, 105.

[28]TYRRELL E, SANDHU S, BERRY K, et al. Web-Based AI-Driven Virtual Patient Simulator Versus Actor-Based Simulation for Teaching Consultation Skills: Multicenter Randomized Crossover Study [J]. Jmir Formative Research, 2025, 9.

[29]RAJAWAT AS, GOYAL SB, IBRAHIM MNH. AI-Driven Compression and Redundancy Removal Techniques for Real-Time Communication in Healthcare Networks[C]. 2024 IEEE Globecom Workshops-GLOBECOM. IEEE,2024.

[30]CARTAS A, KOCOUR M, RAMAN A, et al. A Reality Check on Inference at Mobile Networks Edge[C]. 2019 2nd ACM International Workshop on Edge Systems, Analytics and Networking (EdgeSys '19). ACM,2019:54-59.

[31]SUN Y, CHEN J, WANG Z, et al. Enabling Mobile Virtual Reality with Open 5G, Fog Computing and Reinforcement Learning [J]. Ieee Network, 2022, 36(6): 142–149.

[32]LIANG C, DU H, SUN Y, et al. Generative AI-Driven Semantic Communication Networks: Architecture, Technologies, and Applications [J]. Ieee Transactions on Cognitive Communications and Networking, 2025, 11(1): 27–47.

[33]KARANIKOLAS N, MANGA E, SAMARIDI N, et al. Strengths and Weaknesses of LLM-Based and Rule-Based NLP Technologies and Their Potential Synergies [J]. Electronics, 2025, 14(15).

[34]ZENG J, QI W, SHEN S, et al. Embracing the Future of Medical Education With Large Language Model-Based Virtual Patients: Scoping Review [J]. Journal of Medical

Internet Research, 2025, 27.

[35]LEE LK, CHAN EH, TONG KKL, et al. Utilizing Virtual Reality and Generative AI Chatbot for Job Interview Simulations[C]. 2024 10th International Symposium on Educational Technology (ISET). IEEE,2024:209-212.

[36]MIRCHI N, BISSONNETTE V, YILMAZ R, et al. The Virtual Operative Assistant: An explainable artificial intelligence tool for simulation-based training in surgery and medicine [J]. Plos One, 2020, 15(2).

[37]MASTOUR H, DEHGHANI T, MORADI E, et al. Explainable artificial intelligence for predicting medical students' performance in comprehensive assessments [J]. Scientific Reports, 2025, 15(1).

[38]SU Z, TAN T, CHEN L, et al. Toward Smart VR Education in Media Production: Integrating AI into Human-Centered and Interactive Learning Systems [J]. Biomimetics, 2026, 11(1).

[39]CHAN M, CHEUNG D, HO K, et al. AI-Powered Virtual Reality Simulation for Clinical Handover Training [J]. Nurse Educator, 2026, 51(1): E24–E28.

[40]McGaghie, William C. ; Harris, Ilene B. Learning Theory Foundations of Simulation-Based Mastery Learning. [J]. The Journal of the Society for Simulation in Healthcare, 2018, 13(3S): S15-S20.

[41]ERICSSON K. The role of deliberate practice in the acquisition and maintenance of expert performance [J]. International Journal of Psychology, 1996, 31(3-4): 4661.

[42]CHANG M. Use of artificial intelligence in the field of pain medicine [J]. World Journal of Clinical Cases, 2024, 12(2).

[43]MICHOU I, FOURAS A, CHRYSANTHAKOPOULOU D, et al. AI-Powered Physiotherapy: Evaluating LLMs Against Students in Clinical Rehabilitation Scenarios [J]. Applied Sciences-Basel, 2026, 16(3).

[44]BORROMEO A, SOYOSA M, MENDOZA J, et al. Mapping artificial intelligence and metaverse integration in nursing education (2013-2025): A bibliometric analysis [J]. Clinical Simulation in Nursing, 2026, 112.

[45]朗柳玲,苏金婷,任文宁,等.生成式AI赋能高等医学教育：从课程到评价的变革之路[J].中国医学教育技术,2025,39(06):698–704.

[46]黄涛,吴一娜,黄文娟,等.人工智能赋能职业教育教师专业发展：现实阻碍与实现路径[J].中国职业技术教育,2026,(07):18–26.

Copyright © 2026 by author(s) and Global Science Publishing 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