



数智驱动的口腔医学实验教学新生态建设探索与实践*

张莹莹¹, 郑庆华¹, 王亚¹, 张敏¹, 沈颀飞¹, 郝爱民², 韩向龙^{1△}, 叶玲¹

1. 华西口腔医学基础国家级实验教学示范中心 国家口腔医学中心 四川大学华西口腔医院(成都 610041);

2. 虚拟现实技术与系统全国重点实验室 北京航空航天大学(北京 100191)

【摘要】 数字技术与教育教学的融合创新发展赋予了口腔医学教育的新格局与新生态。本文以四川大学华西口腔医学院实验教学新生态建设为典型案例,系统探讨数智赋能下口腔医学实验教学在知识获取、临床能力培养、实验教学评估等多个维度的创新路径与实践范式。研究构建了“智能导学—智予思辨—智赋实践—智慧评价”四轮驱动的口腔医学实验教学体系,通过人工智能、虚拟仿真与混合现实等技术的有机整合,推动教学范式从“以学分为主线”向“以能力为主线”的转型,实现知识内化、临床思维、技能实训与综合评价的全流程贯通与实验教学闭环。实践表明,该体系有效提升了学生的自主学习能力、临床操作精度与多学科诊疗思维,为推进数字技术在口腔医学人才培养中的应用提供借鉴与参考。

【关键词】 数字技术 口腔医学 实验教学 人工智能 虚拟仿真

Exploration and Practice of Constructing a New Ecology of Experimental Stomatology Practice Teaching Driven by Digital Intelligence

ZHANG Yingying¹, ZHENG Qinghua¹, WANG Ya¹, ZHANG Min¹, SHEN Jiefei¹, HAO Aimin², HAN Xianglong^{1△}, YE Ling¹. 1. National Demonstration Center for Experimental West China Stomatology Education, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. State Key Laboratory of Virtual Reality Technology and Systems, Beihang University, Beijing 100191, China

△ Corresponding author, E-mail: xhan@scu.edu.cn

【Abstract】 The innovative development of integrating digital technology with education has created a new framework and ecosystem for stomatology education. Taking the innovative ecological construction of experimental teaching at West China School of Stomatology, Sichuan University as a representative case, we systematically explored the innovative pathways and practical paradigms for experimental teaching in stomatology empowered by digital intelligence across multiple dimensions, including knowledge acquisition, clinical competency development, and evaluation of experimental teaching. A 4-wheel-driven stomatology experimental teaching system comprising intelligent-guided learning, intelligence-enhanced critical thinking, intelligence-enabled practice, and intelligent evaluation was established by West China School of Stomatology. By organically integrating technologies such as artificial intelligence, virtual simulation, and mixed reality, this system promotes a shift in the teaching paradigm from a “credit-oriented” approach to a “competency-oriented” paradigm. This transformation helps achieve seamless integration and a closed-loop process encompassing knowledge internalization, clinical reasoning, skills training, and comprehensive evaluation in experimental teaching. Practice demonstrates that this system effectively enhances students' self-directed learning skills, precision in clinical operations, and interdisciplinary diagnostic reasoning, providing valuable insights and references for advancing the application of digital technologies in the training of stomatology professionals.

【Key words】 Digital technology Stomatology Experimental teaching Artificial intelligence
Virtual simulation

新一轮科技和产业革命带动人工智能、大数据、虚

拟现实等数字技术的迅猛发展,为推动教育领域的创新变革注入强大动力。当下,教育数字化转型已成为全球共识。2022年联合国教育变革峰会把教育数字化变革列为五大重点行动领域之一^[1],多国相继出台教育数字化发展战略。党的二十大首次将“推进教育数字化”写入报告,作为我国建设教育强国、实现教育现代化的重要内

* 教育部高教司实验教学和教学实验室建设研究项目(No. SYJX2024-176)和教育部分办公厅首批虚拟教研室建设试点项目(No. 教育研究改革专题类391)资助

△ 通信作者, E-mail: xhan@scu.edu.cn

出版日期: 2025-11-20

容^[2]。2025年1月,《教育强国建设规划纲要(2024—2035年)》明确将“教育数字化”作为开辟发展新赛道、塑造新优势的关键路径^[3]。在2025世界数字教育大会上我国首次以“智慧教育”为题发布《中国智慧教育白皮书》并启动“国家教育数字化战略行动2.0”^[4]。

口腔医学实践性强,专业特色鲜明,其毫米级的操作空间和临床治疗的有创性和不可逆性,要求学生具备高精度的三维空间感知与临床操作技能^[5-6]。口腔医学传统实验教学以教师授课和模拟教学为主,学生主要在仿真人头模设备、猪动物体等进行实体操作训练^[7],教学模式长期存在实验开展受场地、物资、师资限制,训练时长不足等弊端^[8-9],制约了学生临床胜任力的培养。在人工智能赋能高等教育的时代背景下,四川大学华西口腔医学院积极响应国家战略部署,以产教融合、数智赋能为抓手,遵循“能实不虚、虚实结合”的基本原则,探索构建了“智能导学—智予思辨—智赋实践—智慧评价”四轮驱动的口腔医学实验教学新生态。本文借此案例探讨数字技术在口腔医学教育创新发展中的改革应用,助力新时代口腔医学拔尖创新人才培养。

1 国内外口腔医学数智化实验教学的探索实践

随着全球教育数字化转型的深入推进,口腔医学教育在国际范围内正经历以数字技术为核心的结构性变革,口腔临床前技能训练手段和方法不断更新升级。例如,荷兰阿姆斯特丹牙科学术中心和Moog公司联合开发的Simodont数字化虚拟仿真牙医培训系统课程软件,包含各种可在虚拟环境中实践练习的牙科治疗程序,通过高保真力反馈技术提供真实的触觉体验,并在训练过程中产生视觉和听觉效果^[10]。同时,该系统利用先进的传感器和算法来分析学生各项训练参数,提供个性化反馈,目前已广泛应用于世界各地牙科院校,成为临床前教学的有力辅助^[11]。美国多家口腔医学院校与以色列Image Navigation公司联合研发的DentSim实时交互式虚拟口腔教学系统^[12],使用三维图形和VRS(virtual reference station, VRS)提供实时图像处理,可实时记录学生操作路径、力度与时间,提供即时的量化反馈与纠正建议,广泛应用于牙体预备、根管治疗等高风险操作的前期训练,为制定个性化的学习计划提供数据支持。

为加快推进“新医科”拔尖创新人才培养,国内多所高校也在积极探索特色教学路径,开展数智赋能口腔医学实验教学的改革实践。以北京大学口腔医学院为例,2023年建成口腔虚拟仿真智慧实验室,其中校企联合研

发的口腔医学牙周操作实验教学虚拟仿真在线项目,以自主研究带动教学方式的创新,开创了口腔操作教学量化和规范化的新途径^[13];空军军医大学口腔医学院开发了基于军事口腔医学特色的虚拟现实(VR)颌面战创伤急救培训系统,通过提供沉浸式的战场救治环境和互动操作体验,突出实战化、高强度的模拟训练,以期提高口腔医学生战场救治能力^[14];上海交通大学口腔医学院构建结合3D、增强现实(AR)、VR等新技术的口腔虚拟仿真实训系列课程,将口腔经典操作课程如根管治疗、刷牙、拔牙、上橡皮障等建设为智能口腔医学临床教学系统,并打造智能化评估系统以形成客观评价,促进学生技能精进^[15]。这些实践为我国口腔医学数智化实验教学提供了多样化的本土经验。

综上所述,国内外院校在口腔医学数智化教学领域的探索,充分验证了数字技术在突破传统教学局限、提升训练效能方面的巨大潜力。然而,现有实践多侧重于某项特定技术或单一教学环节的应用与优化,尚未形成贯通“教、学、评、练”全流程的系统化生态。四川大学华西口腔医学院创新性探索建设了数智驱动的口腔医学实验教学新生态,见图1。其核心突破在于并非将数字技术进行简易叠加,而是以“数智融合”为内核,进行顶层设计与整体重构,致力于实现从知识内化、临床思辨、技能实践到综合评价的全链条、一体化改革,为构建未来口腔医学实验教学新范式提供了前瞻性的实践范例。

2 四川大学华西口腔医学实验教学新生态

2.1 智能导学——基于线上教学平台与课程知识图谱的知识获取新形态

数字技术的迅猛发展重塑教育资源的获取新方式,我国通过建设国家智慧教育公共服务平台、国家虚拟仿真实验教学项目共享服务平台等线上资源平台,为学生提供智慧教学、资源共享、远程学习等数字化服务,延展实验教学时空^[16-17]。

知识图谱(knowledge graph, KG)作为人工智能(AI)的重要分支技术,通过语义关联和推理,实现智能搜索、智能问答、推荐系统等功能,是未来智能教育的重要承载形式,为变革知识获取路径提供新思路^[18]。四川大学华西口腔医学院(以下简称“学院”)通过综合利用大数据、AI等技术,以个性化学习路径规划为核心教学逻辑,以能力培养为目标,解决问题为导向,围绕“基础理论、操作流程、技术要点”等核心内容创新建设《口腔正畸学》等基于知识图谱的AI课程17门,通过将抽象的知识点教学目标具象化、可视化,使学生能够清晰地了解并把握自己的

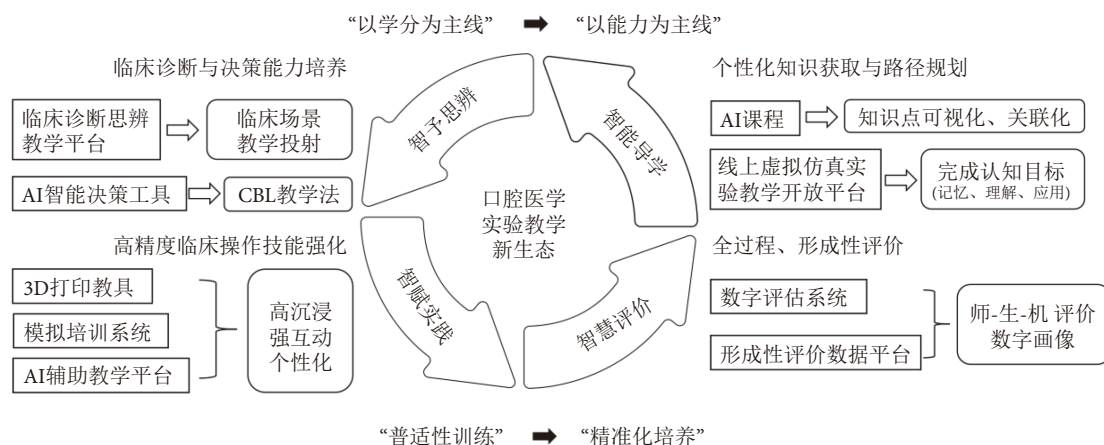


图1 四川大学华西口腔医学实验教学新生态模式图

课程学习目标。AI课程实时记录学生学习过程与知识技能掌握情况,为学生智能规划个性化学习方案以及知识资源推选,辅助学生建立个人学习曲线,帮助学生有序地建立专业知识结构,支持学生随时随地进行线上自主学习。AI课程同步关联学院建设的线上虚拟仿真实验教学开放共享平台,该平台针对口腔医学实验操作有创性、临床情境难以模拟等教学痛点,开发覆盖口腔医学专业主干课程的虚拟仿真实验教学项目17项。实验内容包含临床问诊、术前检查、术前诊断、术前计划、术前准备和手术治疗等诊疗环节,打造线上沉浸式诊疗流程和教学情境,学生可以根据自身需求选择实验项目、安排学习进度,并实时获得学习反馈。详见网络附件资源1。

学院基于AI课程和线上虚拟仿真实验教学开放平台,打造线上自主学习和线下教师授课相结合的混合式学习模式,促进学生将布鲁姆分类法(Bloom's taxonomy)中的低阶认知目标移至课外完成,以帮助学生在实验课堂中专注于更高层次的认知发展^[19],实现教学范式从以教师为中心转变为以学习者为中心。针对2017级八年制本科生进行实际教学应用和问卷调查结果显示,近90%的学生对线上实验教学平台表示满意,93.1%的学生表示愿意在临床实习前运用该平台进行岗前培训^[20];2019级96名全日制在读本科生在利用线上平台学习后,多数学生认为其可自主控制时间(67.7%)和高效利用碎片化时间(64.6%),帮助他们快速掌握诊疗流程(71.9%)和加深概念理解(69.8%),有利于自主学习,提高实验教学效果^[21]。

2.2 智予思辨+智赋实践——基于患者数据和数字装备的临床能力培养新形式

传统口腔医学实验教学主要依托仿真人头模等设备开展临床技能模拟训练,缺乏临床思辨训练,存在重实践、轻思辨,学生能力培养受限等问题^[22]。随着数字技术

的普及和发展,基于人工智能与虚拟仿真技术的实验教学成为一种新兴的交互式教学策略^[23]。学院采用基于附属医院真实患者病例的案例教学法,将VR、混合现实(mixed reality, MR)、3D打印、AI等数字技术有机融入实验教学中,打造全真临床诊疗情境模拟场景,助力口腔医学生多学科诊疗思维和高阶临床技能训练培养。

在临床思辨培养方面,教学团队构建连接附属医院的临床医学图像管理系统,建设可实时更新、扩展、交互的智能临床思辨平台,支撑开发口腔医学临床思辨案例课程22门,课件包括数字化人体解剖、数字化病理切片、数字化影像数据及三维后处理重建等多模态教学资源,学生可通过该平台进行智能阅片与AI辅助诊断训练,实现临床场景教学投射。在口腔正畸学实验中,老师通过整合OrthoGPT人工智能模型,构建拥有3万余经典病例的案例学习库,学习者可通过输入问诊信息和检查数据,形成患者病情画像,进一步匹配画像维度,生成诊疗结果,最终获得智能方案推荐,从而帮助学生在AI辅导下自主完成正畸方案设计。在口腔颌面外科手术诊疗教学中,引入教师自主研发的手术智能设计教学软件,该软件整合华西口腔颌面外科万余份优质真实病例,学生利用牙颌骨病变图像分割技术对患者颌骨进行精准诊断、运用颌面部标志点自动标定技术完成病变数据的高效测量分析以及基于颌面部软硬组织虚拟重建技术完成多场景手术模拟,实现学生手术设计方案由难变易。

在临床技能培养方面,四川大学华西口腔医学院颌面外科教学团队构建了实(真实病例来源)→虚(3D打印模拟操作)→实(手术室实习)的实验教学闭环。如在颌骨囊性病变的鉴别诊断教学中,学生首先从来自真实患者的临床病例资料中进行理论学习和病情认识,再在基于同一患者三维重建CT数据的3D打印出的颌骨及腭骨模型上完成方案设计和手术模拟操作,最后步入真正的手

术室或观看手术直播系统实时提取的画面完成方案验证和操作实践,实现从低阶到高阶学习阶段的全过程训练。在口腔修复学实验教学中,围绕口腔修复学活动义齿设计难、理论深的核心问题,教师团队建立了可摘局部义齿(RPD)-AI教学系统,人工智能辅助学生进行义齿修复方案设计,师生满意度达100%。口腔正畸教学团队自主研发MR导航正畸托槽黏接系统,该系统设计有“隐藏牙列”“隐藏托槽”“隐藏颌垫”等交互界面,操作者通过MR头显能看到虚拟托槽在真实牙面上的准确位置,并在虚拟托槽导航下进行实体托槽黏接,实现学生自主操作和可重复训练。学生经过正畸托槽定位训练后,轴倾方向的托槽定位误差显著降低,且学生满意度达100%,有效提升了学生的临床操作表现与教学效果^[24]。详见网络附件资源2。

基于真实病例、数智赋能的情景式和体验式实验教学^[25-26],变革传统仿头模实验课堂为“智予思辨”+“智赋实践”的口腔医学模拟教学新形式,学生的高沉浸、强互动和个性化的学习环境中建立知识并逐步提升自身手部灵巧性、专业操作技能、临床思辨与决策等临床综合能力。

2.3 智慧评价——服务学情分析和个性化教学的学生临床能力评价新路径

传统的实验课堂评价形式以基于教师反馈的终结性评价为主,存在评价方式单一、主观性强等特点^[27]。教育数字化转型革新了教学评价体系,推动了从单一终结性评价向多元化形成性评价的转变,形成性评价更加关注学生学习过程,重视教学反思^[28]。

学院构建基于数字技术的形成性评价模式,通过教师、线上课程、数字评估系统及实验教学装备等数据来源,为学习者提供实时化评价和个性化反馈。例如,学院与北京航空航天大学虚拟现实技术与系统国家重点实验室联合研发了数字化虚拟仿真培训系统,其中智能评估模块可精确记录操作过程中输出力、每个体素的去除时间以及工具的使用情况等各类信息,实现对操作过程和操作结果的双重评估。操作过程的评分涵盖医患体位、器械选择、侧壁探查等项目,操作结果的评分则包括颌面开髓位置、颌面开髓形态、邻牙损伤情况等条目。学院正畸团队联合多端数字化互联的精准测量系统,在模型分析训练中采用数字化三维测量工具辅以人工智能评分体系,对上传的数字化模型进行分析并生成结果报告,包含模型的牙位宽度、上下颌模型的全牙、前牙的宽度等数据,学生在智能实时反馈中大幅提升学习效率。此外,教师自主开发了基于标准牙的牙体制备数字评估系统并

应用在牙体牙髓实验教学中,利用三维成像比对技术,对学生制备的牙齿咬合面洞深、侧壁光滑度、釉牙骨质界与龈壁间距离、邻面洞宽度和形态等进行多维度标准化评估,并以图片形式直观呈现结果。通过颜色图,学生预备的窝洞模型上的偏差区域得以可视化,并提供详细数值,清晰展示过度切削和切削不足的情况。将该数字测评方式试点应用于2024学年口腔医学本科生实验课程,问卷调查显示95%的学生认可数字测评结果帮助自己明确牙体制备中的问题,92%的学生认为这有助于自身能力提升,教学效果获得学生普遍肯定^[29]。详见网络附件资源3。

学院借助多模态数据采集与学习行为分析,结合教师反馈、学生自评和互评,建成本科生临床前技能形成性评价数据平台,实现学生实践能力成长过程可视化,对学生“知识、技能、实践”等方面的专业胜任力与素养进行综合评价,为教师提供精准的教学反馈和学生“数字画像”,从而优化传统教学的设计与实施,有效促进教师的教学水平提升和教学模式改进,使口腔医学实验教学从“普适性训练”转向“精准化培养”。

3 讨论

当前,以AI、VR和MR为代表的数字技术正深刻重塑口腔医学高等教育,打破传统教学模式桎梏,构建以数智驱动为特征的创新型实验教学生态,已成为口腔医学教育改革的迫切任务。尽管我国口腔医学数智化教学已取得显著进展,但仍面临诸多挑战。首先,资源共享与平台互联互通不足,各院校独立建设的虚拟仿真与人工智能教学系统形成“数据孤岛”,制约了优质教学资源的广泛利用;其次,师资数字素养能力不均衡,部分教师对智能工具应用不熟练,影响教学效果;第三,现有评价体系智能化程度不足,缺乏对师生动态数据的感知、采集、分析和监测,难以支撑学生个性化路径的精准规划;第四,AI技术在口腔实验教学中的深度融合仍显薄弱,尤其在临床真实场景模拟等关键环节的技术落地不足,制约了教学过程的智能化升级。

四川大学华西口腔医学院立足国家教育数字化战略,聚焦口腔医学实验教学中的关键问题,系统构建了“智能导学—智予思辨—智赋实践—智慧评价”四轮驱动的实验教学新生态,有机融合知识内化、临床思维、技能实训与综合评价四大板块,通过早期、长期、反复训练,贯穿口腔医学人才成长培养全周期,完成口腔临床技能的“学习-观摩-练习-证明-实践-维持”的多维教学闭环^[30]。实现教学理念从“以学分为主线”向“以能力为主

线”的根本转变,为口腔医学实验教学改革提供了系统化、可推广的实践范例。基于通用开源大模型,融合华西口腔海量多模态医学数据,学院目前已推出国内首个口腔医学领域多模态垂类大模型——华西口腔智联大模型。通过整合多模态临床数据构建多智能体协同,为师生提供覆盖教学、临床、科研全流程的智能辅助。当前,学院正在致力于“人工智能+口腔医学”高等教育新生态建设,加速布局AI赋能、数据追踪、云端学习、模拟实践的“一生一策”口腔医学智慧实验教学体系。

2025年4月,教育部等九部门联合发布《关于加快推进教育数字化的意见》,明确提出“全面推进智能化,促进人工智能助力教育变革”^[31]。在国家政策指引下,未来口腔医学实验教学应围绕“数智融合”主线,推动人工智能与教育教学深度融合,重点在以下几个方面实现突破:首先,需加强顶层设计与标准体系建设,校企联合制定口腔医学数智化实验教学课程标准与评价机制,促进教学资源的共建共享与互联互通,同时重视数据安全与隐私保护制度建设,强化伦理审查与监管,保障数智化教学的规范化和可持续推进;其次,应着力提升教师的数字素养,通过系统化培训构建“教师—技术人员—教育专家”协同的教学团队,鼓励教师参与技术研发与教学创新,推动教师从“AI工具使用者”向“AI教学设计者”转变,加强AI技术与课程教学的深度融合;再次,进一步深化个性化学习路径,借助多模态学习行为数据分析构建学生能力数字画像,实现精准化学习支持与AI个性化辅导,并完善多形式、多场景、多维度的形成性评价与实时智能反馈机制,促进学生自适应学习的发展;此外,积极推进产教融合与AI技术协同创新,加强高校与高新技术企业及科研院所的合作,重点研发人工智能辅助与训练系统,实现口腔医学实验教学全面数字化映射。

口腔医学实验教学的数字化转型不仅是技术升级,更是教育理念与模式的革新。口腔医学院校应以“新医科”为引领,立足国家战略需求开展医学系统规划和整体布局,全面升级数字教学资源,推动以人工智能为代表的数字技术与高等教育的融合创新,完善与数字教育相适应的制度设置和发展生态,为加快建设教育强国、健康中国提供人才支撑。

* * *

作者贡献声明 张莹莹负责论文构思、可视化、初稿写作和审读与编辑写作,郑庆华负责论文构思、研究项目管理、初稿写作和审读与编辑写作,王亚负责论文构思、研究项目管理和监督指导,张敏负责监督指导和审读与编辑写作,沈颖飞负责研究项目管理和监督指导,郝爱民负责提供资源和软件,韩向龙负责经费获取、研究项目管理、提供资源和审

读与编辑写作,叶玲负责提供资源和监督指导。所有作者已经同意将文章提交给本刊,且对将要发表版本进行最终定稿,并同意对工作的所有方面负责。

Author Contribution ZHANG Yingying is responsible for conceptualization, visualization, writing--original draft, and writing--review and editing. ZHENG Qinghua is responsible for conceptualization, project administration, writing--original draft, and writing--review and editing. WANG Ya is responsible for conceptualization, project administration, and supervision. ZHANG Min is responsible for supervision and writing--review and editing. SHEN Jiefei is responsible for project administration and supervision. HAO Aimin is responsible for resources and software. HAN Xianglong is responsible for funding acquisition, project administration, resources, and writing--review and editing. YE Ling is responsible for resources and supervision. All authors consented to the submission of the article to the Journal. All authors approved the final version to be published and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

利益冲突 本文作者沈颖飞、韩向龙和叶玲是本刊编委会编委。该文在编辑评审过程中所有流程严格按照期刊政策进行,且未经其本人经手处理。除此之外,所有作者声明不存在利益冲突。

Declaration of Conflicting Interests SHEN Jiefei, HAN Xianglong, and YE Ling are members of the Editorial Board of the journal. All processes involved in the editing and reviewing of this article were carried out in strict compliance with the journal's policies and there was no inappropriate personal involvement by the authors. Other than this, all authors declare no competing interests.

参 考 文 献

- [1] United Nations. Transforming education summit. (2022-10-24) [2025-03-14]. <https://www.un.org/en/transforming-education-summit/programme>.
- [2] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告. (2022-10-26) [2025-03-14]. <http://cpc.people.com.cn/20th/n1/2022/1026/c448334-32551867.html>.
- [3] 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)》. (2025-01-19) [2025-09-27]. https://www.gov.cn/zhengce/202501/content_6999913.htm.
- [4] 中国教育报.《中国智慧教育白皮书》发布 共同开启教育数字化发展新征程.
- [5] LIU L, CHEN Y, CAO Y, *et al.* From anatomy to surgery: effectiveness of virtual simulation adjuvant to traditional methods in the preclinical training of apicoectomy. *Anat Sci Educ*, 2025, 18(1): 97-116. doi: 10.1002/ase.2538.
- [6] 郑庆华, 王诗达, 王亚, 等. 人工智能背景下四川大学口腔医学教育新生态建设路径探索——以实验教学为例. *数字与缩微像*, 2024(3): 15-17.
- [7] LEVINE A L, DEMARIA J S, SCHWARTZ A D, *et al.* The comprehensive textbook of healthcare simulation. Berlin: Springer Science & Business Media, 2013: 51-57.
- [8] MANSOORY M S, AZIZI S M, MIRHOSSEINI F, *et al.* A study to investigate the effectiveness of the application of virtual reality technology in dental education. *BMC Med Educ*, 2022, 22(1): 457. doi: 10.1186/s12909-022-03543-z.
- [9] LU J, YANG X, ZHAO W, *et al.* Effect analysis of a virtual simulation experimental platform in teaching pulpotomy. *BMC Med Educ*, 2022, 22(1): 760. doi: 10.1186/s12909-022-03836-3.
- [10] De BOER I R, BAKKER D R, WESSELINK P R, *et al.* De Simodont in het onderwijs [The Simodont in dental education]. *Ned Tijdschr Tandheelkd*, 2012, 119(6): 294-300. doi: 10.5177/nvt.2012.06.12105.

- [11] PATIL S, BHANDI S, AWAN K H, *et al.* Effectiveness of haptic feedback devices in preclinical training of dental students-a systematic review. *BMC oral health*, 2023, 23(1): 739. doi: 10.1186/s12903-023-03410-3.
- [12] 郑家伟, 曹霞, 林育华, 等. DentSim实时交互式虚拟口腔教学系统在口腔临床前实训中的应用. *上海口腔医学*, 2014, 23(6): 749-754. ZHENG J W, CAO X, LIN Y H, *et al.* An introduction of Dent Sim in pre-clinical dental training and practice. *Shanghai J Stomatol*, 2014, 23(6): 749-754.
- [13] 高阳, 赵沁平, 周学东, 等. 虚拟现实技术在新医科人才培养中的作用及应用现状. *四川大学学报(医学版)*, 2021, 52(2): 182-187. doi: 10.12182/20210260301. GAO Y, ZHAO Q P, ZHOU X D, *et al.* The role of virtual reality Technology in medical education in the context of emerging medical discipline. *J Sichuan Univ (Med Sci)*, 2021, 52(2): 182-187. doi: 10.12182/20210260301.
- [14] 蔡卜磊, 张于凡, 杨璐颖, 等. 现代战争背景下VR颌面战创伤急救培训系统的开发与运用. *空军军医大学学报*, 2023, 44(9): 834-838. doi: 10.13276/j.issn.2097-1656.2023.09.008. CAI B L, ZHANG Y F, YANG L Y, *et al.* Development and application of virtual reality technology in first aid training of maxillofacial war wounds. *J Air Force Med Univ*, 2023, 44(9): 834-838. doi: 10.13276/j.issn.2097-1656.2023.09.008.
- [15] 上海交通大学口腔医学院. 我院荣获国家级教学成果奖. (2023-08-03) [2025-09-28]. <https://www.shsmu.edu.cn/kqxy/info/1022/2501.htm>.
- [16] ZHU H, XU J, WANG P, *et al.* The status of virtual simulation experiments in medical education in China: based on the national virtual simulation experiment teaching Center (iLAB-X). *Med Educ Online*, 2023, 28(1): 2272387. doi: 10.1080/10872981.2023.2272387.
- [17] 杨宗凯. 以国家智慧教育公共服务平台为抓手推动数字教育高质量发展. *人民教育*, 2024(5): 49-52. YANG Z K. Leveraging the National Smart Education Platform to drive the high-quality development of digital education. *Renmin Jiaoyu*, 2024(5): 49-52.
- [18] 邓硕, 闫焱. 知识图谱在数智化时代中的教学创新及作用. *河北师范大学学报(教育科学版)*, 2024, 26(5): 100-1024. doi: 10.13763/j.cnki.jhebnu.ese.2024.05.012. DENG S, YAN Y. Knowledge graphs as catalysts for teaching innovation in the era of digital intelligence. *J Hebei Norm Univ (Educ Sci Ed)*, 2024, 26(5): 100-102. doi: 10.13763/j.cnki.jhebnu.ese.2024.05.012.
- [19] VANKA A, VANKA S, WALI O. Flipped classroom in dental education: a scoping review. *Eur J Dent Educ*, 2020, 24(2): 213-226. doi: 10.1111/eje.12487.
- [20] 王凯利, 任家银, 唐蓓, 等. 口腔医学影像检查虚拟实训系统在本科教学中的应用研究. *中国医学教育技术*, 2022, 36(5): 548-552. doi: 10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202205008. WANG K L, REN J Y, TANG B, *et al.* Research on application of virtual training system of oral medical imaging examination in undergraduate teaching. *China Med Educ Technol*, 2022, 36(5): 548-552. doi: 10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202205008.
- [21] 白明茹, 夏睿科, 程磊, 等. “虚实结合”的线上线下混合教学模式在牙体牙髓病实验教学中应用研究. *中国实用口腔杂志*, 2023, 16(6): 732-736. doi: 10.19538/j.kq.2023.06.015. BAI M R, XIA R K, CHENG L, *et al.* Research on the application of a blended learning mode of online and offline "virtual and real combination" in experimental teaching of dental and pulp disease course. *Chin J Pract Stomatol*, 2023, 16(6): 732-736. doi: 10.19538/j.kq.2023.06.015.
- [22] 郑燕, 曾常茜. 口腔医学实验教学体系的构建与实践. *科教导刊*, 2023(10): 38-40. doi: 10.16400/j.cnki.kjdk.2023.10.013. ZHENG Y, ZENG C Q. Construction and practice of experimental teaching system of stomatology. *Kejiao Daokan*, 2023(10): 38-40. doi: 10.16400/j.cnki.kjdk.2023.10.013.
- [23] LIN P Y, CHEN T C, LIN C J, *et al.* The use of augmented reality (AR) and virtual reality (VR) in dental surgery education and practice: a narrative review. *J Dent Sci*, 2024, 19(Suppl 2): S91-S101. doi: 10.1016/j.jds.2024.10.011.
- [24] 薛超然, 李彬, 王义鹏, 等. 正畸虚实结合托槽定位训练方法的教学效果. *中国医药导报*, 2023, 20(25): 73-76. doi: 10.20047/j.issn1673-7210.2023.25.15. XUE C R, LI B, WANG Y P, *et al.* Teaching effect of virtual reality combined with orthodontic bracket positioning training method. *China Med Herald*, 2023, 20(25): 73-76. doi: 10.20047/j.issn1673-7210.2023.25.15.
- [25] DEWEY J. Experience and Education. *Educ Forum*, 1986, 50(3): 241-252. doi: 10.1080/00131728609335764.
- [26] LAVE J. Situated learning: legitimate peripheral participation. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- [27] TANG L, CAO Y, LIU Z, *et al.* Improving the quality of preclinical simulation training for dental students using a new digital real-time evaluation system. *Eur J Dent Educ*, 2021, 25(1): 100-107. doi: 10.1111/eje.12580.
- [28] 毋娟. 高校外语教师数字化课堂评价素养的现实困境与提升路径研究. *文教资料*, 2024(18): 177-180. WU J. Research on the realistic dilemmas and improvement paths of digital classroom assessment literacy among college foreign language teachers. *Basic Educ Rev*, 2024(18): 177-180.
- [29] ZENG Y, WANG Y, DONG B, *et al.* Effectiveness of "colored teeth and digital evaluation" on preclinical tooth preparation training. *BMC Med Educ*, 2025, 25(1): 1369. doi: 10.1186/s12909-025-07963-5.
- [30] SAWYER T, WHITE M, ZAVERI P, *et al.* Learn, see, practice, prove, do, maintain: an evidence-based pedagogical framework for procedural skill training in medicine. *Acad Med*, 2015, 90(8): 1025-1033. doi: 10.1097/ACM.0000000000000734.
- [31] 中华人民共和国教育部. 教育部等九部门关于加快推进教育数字化的意见. (2025-04-15) [2025-09-27]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A01/s7048/202504/t20250416_1187476.html.

(2024-11-14收稿, 2025-10-14修回)

编辑 姜恬



开放获取 本文使用遵循知识共享署名—非商业性使用 4.0国际许可协议(CC BY-NC 4.0), 详细信息请访问

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>。

OPEN ACCESS This article is licensed for use under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (CC BY-NC 4.0). For more information, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

© 2025 《四川大学学报(医学版)》编辑部

Editorial Office of Journal of Sichuan University (Medical Sciences)