

医学可视化教育数字化转型：发展现状、挑战与展望

欧阳真真

解放军总医院研究生院教育技术中心，北京

收稿日期：2026年7月17日；录用日期：2026年8月19日；发布日期：2026年8月27日

摘要

在医学教育数字化转型进程中，人工智能(Artificial Intelligence, AI)生成内容、沉浸式显示设备与实体化数字制造技术的交叉融合，正推动可视化教学从静态辅助工具向核心认知中介转变。本研究系统梳理生成式AI机制绘图、虚拟现实/混合现实(Virtual Reality, VR/Mixed Reality, MR)解剖教学、三维(Three Dimensional, 3D)打印实体建模及虚拟仿真模拟四大技术路径的教学应用逻辑，分析其在降低空间认知负荷、弥补实物资源短缺及提升操作技能方面的实证效果，并针对当前存在的认知超载、AI内容可靠性及评价体系滞后等问题，提出技术优化与教学整合的改进方向。

关键词

医学可视化，人工智能，视觉传达设计

Medical Visualization Education in Digital Transformation: Progress, Challenges, and Prospects

Zhenzhen Ouyang

Educational Technology Center, The Chinese PLA General Hospital, Beijing

Received: July 17, 2026; accepted: August 19, 2026; published: August 27, 2026

Abstract

Within the ongoing digital transformation of medical education, the convergence of artificial intelligence (AI)-generated content, immersive display technologies, and tangible digital manufacturing

is reshaping visualization-based instruction from a static auxiliary tool into a core cognitive mediator. This study systematically reviews the pedagogical application logics of four major technological pathways: generative AI-assisted mechanism diagramming, virtual reality/mixed reality (VR/MR)-based anatomical teaching, three-dimensional (3D) printing-based physical modeling, and virtual simulation-based clinical training. It analyzes their empirical effects in reducing spatial cognitive load, compensating for the scarcity of physical specimens, and enhancing procedural skills. In response to the persistent challenges of cognitive overload, AI-generated medical hallucinations, and the lag in evaluation frameworks, this paper proposes actionable directions for technological refinement and pedagogical integration.

Keywords

Medical Visualization, Artificial Intelligence, Visual Communication Design

Copyright © 2026 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

医学可视化是融合信息技术、人工智能、三维重建、虚拟现实等多学科技术，将人体解剖结构、组织病理、生理过程、分子机制、手术操作、临床影像等抽象、微观、动态医学内容，转化为直观、精确且易于理解的视觉图像或动态影像的技术体系。医学可视化教育是以可视化技术为载体、以医学知识传递与能力培养为目标、贯穿基础医学、临床医学、护理学、医技等全学科的新型教学模式[1]，在医学教育数字化转型中，可视化技术可分为呈现型与生成型两大核心类型：前者通过三维重建、实时导航及虚拟现实等技术实现对既有解剖结构与手术过程的展示与交互，后者则依托大模型与医学知识图谱[2]，根据文本指令自动生成机制图、信号通路图等教学图示。

当前医学教育面临三重结构性矛盾：一是知识体量膨胀与教学课时压缩之间的矛盾；二是临床操作技能要求提升与实体实训资源(标本、动物、活体)伦理与成本约束之间的矛盾；三是区域间教学资源配置不均与人才培养质量同质化要求之间的矛盾。在此背景下，以可视化技术为中介的数字化教学方案，因其具备高保真再现、可重复操作与低成本复制传播的特性，被视为破解上述矛盾的关键路径之一。医学可视化教育的价值体现为从资源供给到人才培养的系统性变革：通过以数字资源替代受伦理约束且供给有限的尸体标本与尸体模型，破解了传统医学教育的资源瓶颈，推动优质教学资源跨区域开放共享，实现教育普惠均衡；在此基础上，针对医学知识结构复杂、空间关系强的特征，运用三维模型与动态流程降低空间想象门槛，显著减轻抽象知识的认知负荷；进而通过与虚拟仿真相结合构建高度仿真的零风险操作环境，使学生能够在无医疗风险的前提下反复练习与试错，人工智能与扩展现实技术融合(Artificial Intelligence-Extended Reality, AI-XR)大空间系统更实现了操作实时捕捉与即时评估反馈，有效强化临床技能培养[3]。医学可视化是人工智能、信息技术与医学教育交叉创新的典型产物，其发展不仅提升教学质量，更能培养医学生的数字素养、可视化思维、人工智能(Artificial Intelligence, AI)工具应用能力，塑造适应未来智慧医疗、精准医疗的复合型医学人才。同时，还能助力医学生掌握用直观模型向患者解释病情的能力，契合新医学以人为本、精细化医患沟通的发展理念，全方位支撑现代医学人才的培养需求。

2. 传统医学可视化教育的局限与不足

传统医学可视化教育形式主要停留在基础绘图、静态图谱、实体标本及理论灌输等单一、静态的教

学形式，医学院校多依赖纸质图谱、手绘解剖图及静态幻灯片让学生识别人体结构，缺乏临床医学逻辑融入；同时依赖实体解剖标本、静态固定模型开展教学，少有动态演示、虚拟模拟环节，实训内容局限于基础绘图临摹，少有临床场景模拟与智能可视化操作实践。

显而易见，我们可以看到传统医学可视化教育的不足之处：一是学科壁垒森严，医学与视觉设计各自为战，缺乏跨学科课程体系与复合型师资，导致学生难以整合设计思维与医学逻辑，人才培养与行业需求断层；二是教学形式静态固化，以二维平面展示和被动识别为主，既无动态的病灶演变演示，也缺乏沉浸式交互体验，容易脱离临床真实场景，无法高效培养适配临床的实践能力；三是教育资源两极分化严重，优质院校与地方院校差距悬殊，且行业内缺乏虚拟现实(Virtual Reality, VR)、AI 等新技术的标准化教材，整体教学水平滞后于智能化诊疗发展；四是师资 AI 技术素养普遍不足，多数教师仅能进行理论介绍，缺乏实操教学经验，无法解答医学与 AI 交叉的核心问题，教育产出与行业技术发展形成明显鸿沟；五是教学目标与新医学发展需求严重错位，仅聚焦基础视觉呈现技能，忽视临床思维与技术应用能力培养，最终导致学生既不理解临床真实需求，也无法运用现代技术完成专业医学可视化创作，难以适配新医学数字化、精准化、智能化的发展要求。

3. 技术驱动下现代医学可视化教学主要进展

随着人工智能、虚拟现实、三维重建、云计算等技术突破，现代医学可视化教育已形成多技术、多模态、多场景融合格局，当前主流发展方向可归纳为四大核心板块，各有技术特征、教学载体、应用场景与实施路径，共同构成现代化可视化教学体系。四大技术方向框架如图 1 所示。

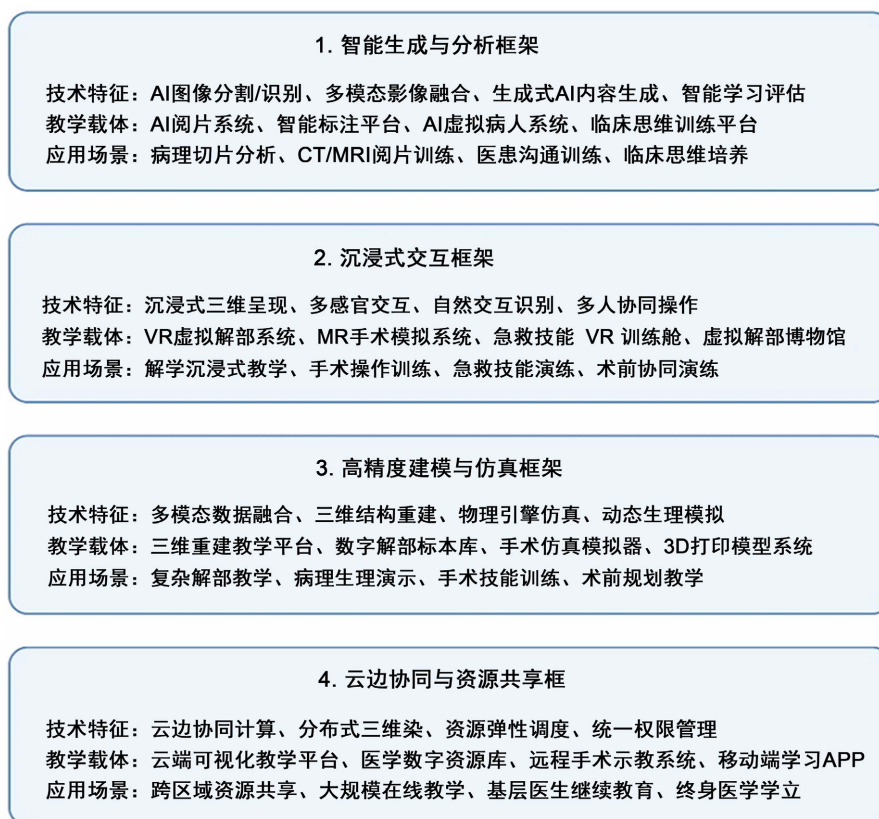


Figure 1. Four major technological directions in visualised teaching in modern medicine
图 1. 现代医学可视化教学四大技术方向

3.1. 生成式 AI 与医学机制图/模式图可视化教学

生成式 AI 可视化是近年来医学基础教学中效率提升最显著的技术方向,为医学基础课程中抽象知识的具象化表达提供了全新路径,医学机制图、模式图、信号通路图的智能化生成与教学应用,已成为提升医学教学效率与学习效果的重要方向。生物化学、分子生物学、病理生理学、药理学等课程因知识体系复杂、概念抽象、微观机制难以直观呈现,长期面临教学效能与学习成效不足的双重困境,传统以文字讲授为主的模式难以帮助学生建立系统的逻辑框架与直观认知。在此背景下,依托生成式 AI 与专业化绘图工具开展医学可视化教学,将复杂医学机制转化为规范、清晰、可理解的图示内容,成为破解上述难题的关键手段。

当前医学可视化教学已形成以专业化绘图软件与 AI 辅助工具为支撑的实践模式。在医学绘图课程实践中,以 Adobe Illustrator、3D Max 为代表的工具被用于医学示意图、机制图、论文插图的系统化教学,课程通过案例教学、对比教学、启发式教学与“教-学-练”相结合的方式,引导学生将解剖学、组织学、病理学、分子生物学等抽象知识转化为标准化图示[4]。而以 BioRender 为代表的生物医学专用可视化平台,凭借预制医学图标库与模块化绘图功能,进一步降低了机制图创作门槛,使学生无需具备专业绘画基础即可完成神经通路、受体调控、代谢过程、信号传导等模式图的绘制,将抽象机制转化为直观视觉表达[5]。这类工具与生成式 AI 相结合,可实现从文字描述到图示生成的快速转换,推动医学机制图教学从教师手绘、课件展示向 AI 辅助、自主创作转型。

生成式 AI 在医学机制图与模式图可视化教学中具备多重应用价值,可贯穿教学素材制备、课堂讲解、自主学习、课程考核全流程。在教学端,AI 能够辅助教师快速构建多模态教学资源,将代谢通路、病理变化、分子机制等内容转化为规范图示,大幅缩短课件制备时间,提升教学素材的标准化程度[6]。在学习端,AI 与可视化工具支持学生将抽象知识点转化为结构清晰的机制图,通过绘图过程强理解、梳理逻辑,尤其适用于信号通路、级联反应、病理生理过程等难以记忆的内容。同时,生成式 AI 可根据学生学习情况提供个性化图示答疑,将复杂问题以模式图形式呈现,实现“文字-图像”的即时转换,提升知识传递效率[7]。在实践层面,国内多所医学院校将可视化绘图融入病理生理学炎症通路、生物化学物质代谢等教学环节,学生通过自主绘制机制图加深对核心机制的理解,课堂连贯性与知识吸收效率显著提升。

教学实践结果证实,基于生成式 AI 与工具辅助的医学机制图可视化教学具有显著成效。在课程满意度方面,95.9%的学生认可医学绘图课程是融合知识学习与美育培养的特色课程,94.6%的学生认为可视化教学实现了视听同步、直观易懂的课堂效果。在学习效果方面,完成机制图绘图任务的学生,对信号通路、分子机制、代谢过程的理解程度与答题正确率显著提升,且绘图练习对学习效果的提升作用优于学生先天视觉空间能力的影响。问卷调查显示,89%以上的学生认为机制图可视化能够将抽象知识变得直观具体,94%的学生认可绘图工具对理解复杂科学概念的帮助,超过 70%的学生愿意主动使用可视化工具开展自主学习,形成“以学促用、以用促学”的良性循环。部分院校将 AI 辅助机制图绘制纳入作业与考核体系,进一步提升了学生对医学机制的理解深度、逻辑表达能力与科研绘图素养。

综上所述,生成式 AI 与专业化绘图工具的结合,重塑了医学机制图与模式图的教学与创作模式,在降低图示制作门槛、提升抽象知识理解、强化逻辑思维训练等方面具有不可替代的优势。将可视化机制图教学常态化、标准化融入生物化学、病理生理学、分子生物学等课程,既能提升教师教学效率,也能显著增强学生对复杂医学机制的掌握程度,符合新时代医学教育数字化、智能化、可视化的发展方向,具备广泛推广与持续深化的价值。

3.2. 沉浸式可视化解剖教学

VR、增强现实(Augmented Reality, AR)、混合现实(Mixed Reality, MR)是解剖教学最成熟、应用最广

泛的可视化方向,以沉浸式、交互式、三维空间感知为核心特征,被公认为解剖教学数字化转型的核心技术。VR 提供完全沉浸式虚拟环境,学生可进入人体内部,自由旋转、缩放、拆解器官结构,追踪神经、血管走行;AR 将三维模型叠加于现实世界,可在标本、模型、人体体表上叠加虚拟结构,实现虚实结合学习;MR 稳定性更强,虚拟模型锚定现实空间,眩晕感更低,交互更自然。

其教学应用覆盖系统解剖、局部解剖、断层解剖、影像解剖全场景。学生可自由拆分器官、放大结构、追踪神经血管走行,完成虚拟解剖操作;三维模型与计算机断层扫描(Computed Tomography, CT)/磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)层联动,帮助学生建立“断层-三维”对应关系;支持虚拟解剖标准化考核与多人协同实验。广东医科大学构建 VR/AR 融合的数字化解剖实验室,实现无实体标本化解剖教学[8];多家高校开展对照教学实践,将 VR 用于胰腺、颅底、盆腔等复杂区域教学[9]-[11],学生可自由漫游、逐层剥离、实时标注,有效弥补传统标本视野局限、结构模糊的缺陷,成为解剖教学改革的标配方案。

以 VR/AR 为核心的解剖可视化改革成效突出。国际上,凯斯西储大学率先开展的 HoloAnatomy 混合现实解剖课程研究表明,使用 HoloLens 的学生在知识保留度上与传统尸体解剖组相当,但学习时间显著缩短[12]。斯坦福大学构建的沉浸式虚拟解剖实验室,实现了神经血管的动态交互追踪[13]。广东医科大学、安徽医科大学等院校实践显示,将三维虚拟仿真、AI 形态识别等可视化技术应用于人体解剖学教学,可显著提升教学质量与学生学习成效。可视化教学使学生解剖考试成绩平均提高 15%~35%,空间结构判断正确率提高 25%~38% [14];对颅底、盆腔、脊柱等复杂区域理解准确率提高 40%~60%,知识遗忘率降低 30%以上,自主学习时长增加 40%以上[15]。

沉浸式可视化解剖教学(VR/AR/MR)已成为医学可视化教育数字化转型的核心驱动力与标配方案。其以三维空间感知、沉浸式交互和虚实融合为特征,彻底突破了传统解剖教学中实体标本稀缺、结构视野受限、复杂区域难以呈现的瓶颈。通过构建完全可控的虚拟人体环境,学生能够自主完成器官拆解、神经血管追踪、断层与三维联动观察等操作,实现了从“被动观看”到“主动探索”的学习范式转变。国内外院校的规模化实践表明,VR/AR/MR 不仅是传统解剖教学的有效补充,更在无标本化教学、复杂结构可视化、个性化学习路径等方面展现出不可替代的价值,正推动医学解剖教育向更高效、更普惠、更深度交互的方向演进。

3.3. 3D 数字化模型与 3D 打印可视化教学

三维(Three Dimensional, 3D)可视化包含数字化 3D 模型与 3D 打印实体模型两类,实现“视觉可视化+触觉可视化”双重教学效果,是连接虚拟与现实的重要桥梁。数字化 3D 模型基于 CT、MRI、解剖数据重建,可在电脑、平板、网页端展示,支持旋转、剖切、透明化、测量;3D 打印将数字模型转化为实体模型,学生可触摸、握持、拆解,弥补数字模型缺乏触觉反馈的不足。

教学场景集中于复杂解剖区域教学、影像-解剖三维对照教学、外科术前规划与手术入路展示。安徽医科大学研发 M3DViewer 网页端三维可视化系统,基于 WebGL 与 Three.js 实现肺部、血管、肿瘤三维重建,支持体积、表面积、长度精准测量,广泛用于解剖与外科教学[16];多所院校将 3D 打印模型应用于解剖变异、先天性畸形、肿瘤侵犯关系教学[17][18]学生可直接触摸感知复杂空间结构,尤其适合空间认知能力薄弱的学生。

3D 可视化将不可见的空间关系变为可观察、可测量、可触摸的教学载体,大幅降低教师讲解难度与学生理解门槛。梅奥诊所(Mayo Clinic)等国际顶尖医疗机构已将点云(Point Cloud)医学影像 3D 打印常态化用于术前教学与医患沟通[19]。国内院校广泛基于 CT/MRI 数据重建数字模型,应用于颅底、椎管、肺门、肝门等教学后,学生理解准确率提升 40%~60%,教师备课与讲解时间缩短 50%以上[20][21]。基于

CT/MRI 重建的三维模型用于影像解剖教学, 显著提升医学生阅片能力与断层 - 空间对应能力; 并利用 3D 打印技术生成先天性心脏病、复杂肿瘤侵犯关系等个性化病理模型。这种“一例一模”的教学方式, 有效填补了数字模型缺乏力学反馈的短板, 在影像解剖对照教学及外科规培中展现了极高的临床应用价值。

3.4. 虚拟仿真与模拟教学可视化

虚拟仿真模拟教学以三维可视化 + 交互操作 + 实时反馈 + 流程模拟为核心, 是临床技能、手术操作、急救处置、护理操作的核心可视化训练形式[22], 也是国家级虚拟仿真实验教学中心的核心建设内容, 具备零风险、可重复、可量化、可纠错的核心优势。

按应用场景分为四大类: 一是手术模拟可视化, 包括腹腔镜、内镜、机器人手术模拟, 实时显示解剖标志与操作效果; 二是临床技能操作模拟, 覆盖穿刺、插管、缝合、急救等可视化训练; 三是临床思维与病例模拟, 以三维图像呈现体征、检查结果、病情演变; 四是团队协作与急救模拟, 支持多角色配合与流程化处置。上海交通大学医学院建成器官系统整合虚拟仿真课程, 覆盖呼吸、循环、消化等十大系统, 构建案例导向、非线性交互的虚拟实验项目; 全国已建成数百个医学虚拟仿真实验教学中心, 将可视化操作与自动评价结合, 实现技能训练标准化、规模化、高效化, 成为落实“早临床、多临床”要求的关键载体。

虚拟仿真可视化教学已成为临床技能与住院医师规培核心手段。国内借力“国家级虚拟仿真实验教学一流课程”建设, 上海交通大学医学院等高校构建了覆盖全周期的器官系统整合虚拟仿真系统[23]。系统内置的自动追踪与即时反馈机制(Feedback loops), 实现了临床技能训练的标准化、无风险化与可量化评价。实证数据显示, 可视化引导组手术操作时间缩短 28%, 器械操作错误率降低 45%, 关键解剖识别率提高 32%; 急救、护理技能操作规范率达 90%以上, 技能达标时间缩短 30%~50%。上海交通大学医学院等院校器官系统虚拟仿真课程年服务学生数千人, 单门国家级虚拟仿真课程年访问量达数万至数十万次。国外临床对照研究证实, AI 实时可视化示教可显著提升医学生术中胰腺识别准确率, Dice 系数明显改善, 直接提升临床解剖识别能力与手术安全性[24]。

近年来, 在政策推动与技术支撑下, 国内医学院校围绕五大可视化方向开展大量教学改革与实证研究, 形成一批可复制、可推广、可量化的标志性成果, 充分验证医学可视化的教学价值。可视化技术推动形成“线上可视化资源预习 + 线下虚拟操作练习 + 课后自主复习”的混合教学模式, 有效解决课时不足、实践不够的问题。器官系统整合课程借助可视化手段, 将解剖、病理、影像、临床操作融为一体, 打破学科壁垒, 提升学生整体临床思维能力。国家级虚拟仿真实验教学平台实现优质资源跨校、跨区域共享, 大幅缩小基层院校与重点院校差距, 推动医学教育均衡化发展。

4. 医学可视化教学现存不足与未来发展方向

4.1. 现阶段医学可视化教学的主要不足

尽管进展显著, 当前医学可视化教学并非无懈可击, 其痛点主要集中在以下三个深层维度:

认知超载(Cognitive Overload)现象凸显。认知负荷理论指出, 学习者的工作记忆容量有限, 冗余的外部认知负荷会显著降低知识获取效率。这一问题在医学可视化教学中表现出鲜明的行业特殊性: 医学知识本身具有空间结构复杂、信息维度多元、逻辑关联紧密的特征, 而 VR/AR、3D 建模等可视化技术追求“沉浸式效果”, 常在界面中叠加过量视觉元素(如复杂的器官纹理、冗余的交互按钮、非核心的色彩标注), 形成“冗余效应”。Moro 等(2021)的研究指出, 部分学生在复杂 VR 环境中容易产生迷航和认知负荷超载, 导致注意力从解剖结构学习转移到设备操作上, 降低了学习效能[25] [26]。

生成式 AI 的“医学幻觉”(Hallucinations)与规范缺失。当前通用大模型在生成解剖图或分子结构时,

常出现违背医学常识的结构错误(如错误的血管分支走向或不存在的肌肉结构)。另一方面, AI 生成内容的“黑盒性”导致错误成因难以追溯, 部分医学专用大模型虽是基于医学知识图谱训练的, 但对跨系统、跨学科的复杂医学逻辑的理解仍存在偏差, 例如在生成免疫细胞相互作用机制图时, 易出现细胞关系的逻辑错误, 且该错误无法通过简单的关键词修正解决。此外, 不同 AI 工具生成的医学图像标注缺乏统一的标准。

教学评价体系不合理。当前医学可视化教学的评价体系存在“重短期、轻长期, 重知识、轻能力”的问题, 且未建立贴合医学教育本质的临床技能迁移评价标准。具体来说, 评价多聚焦短期知识记忆(如解剖识别、知识测试得分), 不关注长期留存和迁移; 只考核可视化技术操作, 不关注医学思维与临床技能的结合; 没有量化标准验证所学能否用到真实临床场景, 缺乏大量长期临床验证数据。这种评价偏差, 容易导致教学目标与临床人才需求脱节。

4.2. 新政策推动下医学可视化教学的未来发展方向

在新医科、新质生产力、国家级虚拟仿真课程、数字化教材等政策推动下, 未来医学可视化教育将向标准化、智能化、普惠化、融合化、体系化方向发展。

一是构建国家级医学可视化资源标准与共享平台, 筑牢行业发展根基。依托国家级教育资源共享平台, 统一医学可视化资源的模型精度、图示规范、操作流程及考核标准, 打破不同院校、不同区域间的资源壁垒, 整合优质可视化教学素材, 涵盖解剖学、病理学、临床医学等各学科领域, 实现优质资源免费开放共享, 让基层院校、偏远地区医疗机构也能便捷获取高质量教学资源, 推动医学教育均衡发展。

二是推进 AI 生成可视化医学精准化与规范化, 提升内容质量与安全性。聚焦医学可视化内容的专业性与准确性需求, 研发医学专用大模型, 针对性优化人体结构、病理变化、手术操作等场景的生成效果, 同时建立完善的内容审核机制、版权保护体系及风格规范, 明确 AI 生成内容的责任主体, 杜绝虚假、不规范内容流入教学环节, 确保可视化素材与临床实际高度契合, 为教学、科研提供可靠支撑。

三是深化可视化与课程体系深度融合, 完善人才培养模式。将可视化教学设计全面嵌入医学人才培养方案, 贯穿基础医学、临床医学、预防医学等各专业全学段, 打破理论教学与实践教学的隔阂, 通过 3D 建模、虚拟仿真等可视化手段, 将抽象的医学知识转化为直观可感的具象内容, 助力学生快速理解复杂生理结构、病理机制及手术流程, 提升学习效率与知识掌握程度。

四是加强师资培训, 培养复合型可视化教学人才。搭建分层分类的师资培训体系, 重点覆盖 AI 绘图、VR/AR 操作、3D 建模、虚拟仿真设备运用及美育教学等核心内容, 采用线上线下相结合的培训模式, 邀请行业专家、技术骨干开展实操教学与案例分享, 提升教师的可视化教学设计能力与技术应用能力, 打造一支既懂医学专业、又通晓可视化技术与美育的复合型教师队伍。

五是构建多模态融合可视化教学新生态, 健全评价体系。推动 AI 技术与美育深度融合, 将审美素养培育融入可视化教学全过程, 打造兼具专业性与观赏性的教学素材, 形成可复现、可推广的可视化教学体系; 同时采用多元评价方式, 结合学生学习效果、教师教学能力、资源应用效率等多维度指标, 建立科学完善的可视化教学评价体系, 实现教学质量的动态监测与持续提升。

六是推动医工交叉协同创新, 助力基层医学教育提质。加强医学院校、科研机构与企业的协同合作, 聚焦基层医学教育的实际需求, 联合研发低成本、轻量化、本土化的可视化教学工具, 简化操作流程、降低使用成本, 让基层医疗机构、社区卫生服务中心及偏远地区院校能够便捷地应用可视化教学手段, 破解基层医学教育资源不足、教学手段单一的难题, 推动医学教育优质资源下沉, 助力基层医学人才培养。

5. 结论

医学可视化教育是新医科与新质生产力背景下医学教育数字化转型的核心方向,以直观、高效、安全、普惠的独特优势,破解传统医学教育资源稀缺、抽象难学、实践风险高、空间认知弱、美育缺失等痛点,已成为现代医学教育不可或缺的组成部分。当前以生成式 AI 机制图教学、VR/AR 解剖教学、3D 模型与 3D 打印教学、虚拟仿真模拟教学、医学美育融合教学为核心的五大技术方向,分别在抽象知识可视化、空间认知提升、精准结构呈现、临床技能训练、素养全面发展上发挥不可替代作用,国内大量教学实践已充分证实其在提升成绩、增强能力、提高效率、促进公平、素养提升等方面的显著价值。现阶段可视化教学仍存在技术与教学融合不足、AI 准确性风险、资源碎片化、师资能力薄弱、评价体系不健全、发展不均衡、美育融合深度不够等问题。未来,在国家政策持续推动下,医学可视化教育将走向标准统一、资源共享、AI 精准赋能、多模态深度融合、师资能力强化、评价科学完善、美育全面渗透的高质量发展道路,全面支撑新时代医学人才培养,为健康中国战略与医学教育现代化提供坚实保障。

参考文献

- [1] 迟明秋, 陆江涛, 马凯. 大数据时代的医学教育课程设置以及教学效果数据可视化分析的探索[J]. 互动软件, 2022(5): 1683-1684.
- [2] 马骥, 陈淮. 共现网络分析国内外医疗可视化设计研究的演化路径[J]. 包装工程, 2024, 45(12): 288-301.
- [3] 吴云潇潇, 张立波, 龚丁旭, 等. 人工智能在先天性心脏病影像诊断中应用研究进展[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2024, 38(8): 856-859.
- [4] 郝永伟, 姬盛路, 陈红丽, 等. 开展医学特色美育课程的探索与实践——以“科技论文绘图课程”为例[J]. 中国医学教育技术, 2023, 37(4): 444-450.
- [5] Ha, J., Afana, D., Nassimi Moghaddam, K. and Nicholas, A. (2024) Using Biorender for Active Learning: Exploring Learning-Style Preference and Visual-Spatial Ability in Undergraduate Students. *Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, **22**, A289-A295. <https://doi.org/10.59390/qwmz9919>
- [6] 郝永伟, 姬盛路. 绘图实践提升药剂学课程教学效果的探索[J]. 河南教育(高教版)(中), 2024(8): 81-82.
- [7] Chen, P., Xi, Y., Jin, X., Sun, D., Chen, Q. and Guo, J. (2026) Exploration and Practice of a Generative AI-Assisted Four-Dimensional Integration Platform of “Teaching, Learning, Evaluation, and Research” for the Biochemistry and Molecular Biology Courses. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, **53**, 789-800. <https://doi.org/10.3724/j.pibb.2025.0482>
- [8] 蒋梅, 张剑凯, 付媛, 崔晓军. 新质生产力视域下解剖学教育数字化转型的探索与应用[J]. 中国医药导报, 2024, 21(33): 73-76.
- [9] Adnan, S., Benson, A.C. and Xiao, J. (2025) How Virtual Reality Is Being Adopted in Anatomy Education in Health Sciences and Allied Health: A Systematic Review. *Anatomical Sciences Education*, **18**, 496-525. <https://doi.org/10.1002/ase.70027>
- [10] 刘平, 方璇, 丁慧如, 栾丽菊, 张艳, 王君, 刘怀存, 张卫光. 可移动虚拟现实设备在人体解剖学理论课堂中的应用[J]. 解剖学报, 2025, 56(5): 607-611.
- [11] Niu, S., Zhang, J., Lin, J., Wang, B. and Yan, J. (2025) Enhancing Anatomy Education with Virtual Reality: Integrating Three-Dimensional Models for Improved Learning Efficiency and Student Satisfaction. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article ID: 1555053. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1555053>
- [12] Stojanovska, M., Tingle, G., Tan, L., Ulrey, L., Simonson-Shick, S., Mlakar, J., et al. (2020) Mixed Reality Anatomy Using Microsoft Hololens and Cadaveric Dissection: A Comparative Effectiveness Study. *Medical Science Educator*, **30**, 173-178. <https://doi.org/10.1007/s40670-019-00834-x>
- [13] Anthony, D., Louis, R.G., Shekhtman, Y., Steineke, T., Frempong-Boadu, A. and Steinberg, G.K. (2021) Patient-Specific Virtual Reality Technology for Complex Neurosurgical Cases: Illustrative Cases. *Journal of Neurosurgery: Case Lessons*, **1**, CASE21114. <https://doi.org/10.3171/case21114>
- [14] 吴天秀, 苏开鑫. 我国医学院校解剖学课程思政研究热点及趋势——基于 CiteSpace 可视化分析[J]. 解剖学研究, 2022, 44(6): 597-602.
- [15] 郝梦娟, 王莉, 张国荣. 数字化平台与翻转课堂在解剖学教学中的应用[J]. 中国现代医生, 2025, 63(30): 62-

64+105.

- [16] 汪子歆, 朱春燕, 巨子悦, 等. M3D Viewer: 面向医学解剖结构的立体可视化系统[J]. 计算机应用与软件, 2025, 42(9): 24-30+59.
- [17] Tserovski, S., Bogdanov, T.G., Yankov, D.A., Vodenicharov, V. and Ferdinandov, D. (2025) Development of an Anatomically Accurate Three-Dimensional-Printed Spine Model from Computed Tomography Data Using Dual-Material Printing for Teaching and Visualization. *Cureus*, **17**, e98956. <https://doi.org/10.7759/cureus.98956>
- [18] 李相旭, 胡超, 吴国平. 3D 打印技术在颅颌面外科修复重建的应用进展[J]. 中华医学美学美容杂志, 2024, 30(3): 244-246.
- [19] Masanet, S., Jutand, M., Margue, G., Hoarau, H. and Bernhard, J. (2025) Using 3D-Printing Technology for Patient Education: A Review of the Literature. *3D Printing in Medicine*, **11**, Article No. 49. <https://doi.org/10.1186/s41205-025-00296-5>
- [20] 林文君, 陈芳, 陈铃雄. 影像解剖学教学中 CT 图像及三维重建的应用探讨[J]. 世界最新医学信息文摘, 2021, 21(99): 293-294.
- [21] 张泽源, 王军松, 汤俊君, 等. 高分辨率 CT 三维重建影像联合 3D 交互式解剖学数据库在创伤骨科教学中的应用[J]. 解剖学杂志, 2025, 48(2): 178-181.
- [22] 袁英. 数智化驱动下生理学虚拟仿真教学的实践与探索[J]. 国际医学与数据杂志, 2025, 9(2): 45-47.
- [23] 祝瑾. 医学虚拟仿真实验教学课程的建设与思考[J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(1): 96-99.
- [24] Nakamura, T., Kobayashi, N., Kumazu, Y., Fukata, K., Murakami, M., Kohno, S., *et al.* (2024) Precise Highlighting of the Pancreas by Semantic Segmentation during Robot-Assisted Gastrectomy: Visual Assistance with Artificial Intelligence for Surgeons. *Gastric Cancer*, **27**, 869-875. <https://doi.org/10.1007/s10120-024-01495-5>
- [25] Rey, A., Bellucci, A., Díaz, P. and Aedo, I. (2025) The More the Better? Multisensory Redundant Mappings to Convey Information in Abstract Visualizations. *Virtual Reality*, **29**, Article No. 176. <https://doi.org/10.1007/s10055-025-01257-3>
- [26] Stirling, A.C. and Moro, C. (2020) The Use of Virtual, Augmented and Mixed Reality in Anatomy Education. In: Chan, L.K. and Pawlina, W., Eds., *Teaching Anatomy: A Practical Guide*, Springer International Publishing, 359-366. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43283-6_36