

人工智能驱动医学教育范式重塑的进展与应对

易磊^{1,2,3}, 黄敦娴⁴, 张琪琪^{1,2,3}, 李晓阳^{1,2,3}, 王大亮⁵, 王俊普^{1,2,3*}

(1. 中南大学湘雅医院, 长沙 410008; 2. 中南大学湘雅基础医学院, 长沙 410008; 3. 中南大学湘雅医学院, 长沙 410008;
4. 中南大学计算机学院, 长沙 410008; 5. 清华大学基础医学院, 北京 100084)

摘要: 人工智能 (AI) 正逐步嵌入医学教育的知识获取、技能训练与能力评价环节, 推动培养模式与治理机制调整。为分析 AI 驱动医学教育范式重塑的进展及其落地瓶颈, 本文结合文献分析与工程逻辑归纳, 从学生学习体验出发, 梳理 AI 应用现状、核心挑战与国内外实践, 并提出本土化应对路径。分析认为, AI 在医学教育中的作用已由辅助工具渗透进教学与评价流程, 推动教师向学习引导者和人机协同教学设计者转变、学生向主动学习者转变。其落地面临技术系统-学习能力、算法逻辑-教育目标、效率导向-人文价值三类失配, 分别表现为认知过载、目标替代与自动化偏倚、数据主权侵蚀与人文培养不足。在技术、组织、治理协同分析的基础上, 提出“能力-系统-治理”三维协同的应对路径, 包括分层嵌入数字素养与人机协作训练, 提升 AI 教学平台的可控性、可解释性与可复核性, 完善数据保护、伦理规范与责任划分。AI 与医学教育的深度融合应以医学人才培养目标为导向, 促进技术、教学组织与治理制度协同, 为培养兼具数字素养与人文情怀的医学人才提供支撑。

关键词: 人工智能; 医学教育; 智能辅导系统; 人机协同; 医学知识图谱; 自适应学习

中图分类号: R-052; TP18; G642 **文献标识码:** A

AI-Driven Paradigm Reshaping in Medical Education: Progress and Responses

Yi Lei^{1,2,3}, Huang Dunxian⁴, Zhang Qiqi^{1,2,3}, Li Xiaoyang^{1,2,3}, Wang Daliang⁵, Wang Junpu^{1,2,3*}

(1. Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410008, China; 2. Xiangya School of Basic Medical Sciences, Central South University, Changsha 410008, China; 3. Xiangya School of Medicine, Central South University, Changsha 410008, China;
4. School of Computer Science and Engineering, Central South University, Changsha 410008, China; 5. School of Basic Medical Sciences, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Artificial intelligence (AI) is increasingly being integrated into knowledge acquisition, skills training, and competency assessment in medical education, prompting changes in training models and governance mechanisms. To examine the progress and implementation challenges of AI-driven paradigm reshaping in medical education, this study combines literature analysis with engineering-oriented reasoning to review applications, challenges, and practices in China and abroad from the perspective of students' learning experiences and to propose response pathways for China. The analysis suggests that AI has expanded from assisting individual tasks to supporting teaching and assessment processes, with teachers becoming learning facilitators and designers of human-AI collaborative teaching, and students becoming active learners. The implementation of AI in medical education faces three mismatches: technological systems versus learning capabilities, algorithmic objectives versus educational goals, and efficiency versus

收稿日期: 2026-04-07; 修回日期: 2026-06-30

通讯作者: *王俊普, 中南大学湘雅医院 / 湘雅基础医学院副教授, 研究方向为病理学与数智病理; E-mail: wang-jp2013@csu.edu.cn

资助项目: 湖南省科技厅实验室 (芙蓉实验室) 项目(2024PT5111); 湖南省普通本科高校教学改革研究项目(2025jy052)

本刊网址: sscae.engineering.org.cn

humanistic values. These mismatches are manifested as cognitive overload, goal substitution and automation bias, as well as erosion of student data sovereignty and insufficient humanistic education, respectively. Based on an analysis of coordination across technological, organizational, and governance levels, a three-dimensional pathway encompassing capability building, system optimization, and governance improvement is proposed. It includes integrating digital literacy and human-AI collaboration training at successive stages, improving the controllability, explainability, and reviewability of AI teaching platforms, and strengthening data protection, ethical standards, and responsibility allocation. The integration of AI into medical education should be guided by medical talent training goals and supported by the coordination among technology, educational organization, and governance, thus to cultivate medical professionals with digital literacy and humanistic qualities.

Keywords: artificial intelligence; medical education; intelligent tutoring system; human-machine collaboration; medical knowledge graphs; adaptive learning

一、前言

人工智能（AI）的快速迭代正在重塑医疗健康领域格局，推动医学教育转型升级。AI的角色已超出碎片化工具辅助的范畴，渗入课程设计、技能实训、教学与效果评价等环节，从知识生产、教学实践到能力评估的全链条改变医学高等教育的运行方式^[1]。当前，新医科建设要求培养复合型医学人才、国务院“互联网+医疗健康”等政策部署智能技术与健康事业的融合，二者为AI嵌入医学教育提供了制度空间与方向牵引。把握这场变化，需先界定“医学教育范式”的含义。医学教育范式是由培养目标、知识体系、教学组织形态、师生关系与评价制度等要素构成的相对稳定的整体框架。AI驱动的医学教育转型并非教学手段的更新，而是上述要素的系统性改写：教师由知识权威转向学习引导者与人机协同的教学设计者，学生由被动接受者转向主动建构者与数据主体，管理机制与制度由标准化、批量化的培养逻辑转向数据驱动的个性化、过程性和能力本位治理。医学教育改革在经历了由知识本位走向胜任力本位的历史演变后^[2]，随着新科技革命与AI驱动，正在孕育“第四代”医学教育^[3]。

从近年来的实践看，AI在医学教育中的应用已由单点工具走向系统闭环。在课程设计环节，智能系统依据知识图谱与学情数据生成结构化教学方案，降低内容组织对个体经验的依赖。在技能实训环节，虚拟仿真与智能反馈使操作训练摆脱时空和耗材约束，学习者在可重复情境中贴近真实临床场景。在教学环节，辅助诊断与病例推演工具将诊疗思维的隐性过程外显为可观察、可纠偏的步骤。在效果评价环节，过程性数据采集与自动化分析支撑贯穿培养全程的能力画像。各环节的智能化是经由

数据在系统内的流动相互衔接，形成“教师-AI-学习者”三方协同的教育生态。AI对医学教育的赋能由此贯穿人才培养全流程，具备推动范式系统性重塑的潜力。

既有研究尚未充分回应医学教育范式转型的深层逻辑，多集中于AI应用场景的梳理与教学效果的实证检验，或就某一侧面的技术风险、伦理风险展开讨论^[4]，较少从系统层面研究AI以何种结构嵌入医学教育体系以及如何改写传统教育模式的底层逻辑与运行边界。沿用传统教育学“教学方法改良”框架解读AI的介入，难以匹配医学教育工程化、系统化的转型需求，无法从根源上调和技术应用与教育本质之间的张力。此外，AI在医学教育应用落地的过程中频现技术失效、模式冲突与学习体验问题，如技术层的算法“黑箱”与内生偏差在组织层被不加核验地采信，技术迭代速度超出课程体系与评价机制的重构节奏，治理层规范缺位与监管滞后将数据泄露、偏见扩散等风险逐级放大^[5-6]。这也表明，AI在医学教育中落地的关键在于技术系统、组织系统、治理系统的协同。

基于系统论研究视角，本文将AI驱动下的医学教育变革界定为由技术系统、组织系统与治理系统协同形成的复杂系统性工程。技术系统以算法、平台、数据管线为核心，决定AI赋能的能力边界；组织系统经由课程体系、实训模式与评价机制，将技术能力落实为可操作的教学实践；治理系统以隐私合规、伦理规范、责任划分为骨架，划定系统运行的风险底线。在研究方法层面，本文结合文献分析与工程逻辑归纳，沿“现象-成因-机制-对策”链条，从技术、组织、治理3个层面分析AI在医学教育中的应用及其协同问题。本文以医学生的真实学习体验作为核心研究切入点，将其在AI教学环

境中面临的认知过载、目标偏移与价值缺失问题转化为可开展规范分析的系统变量^[7-8]，梳理AI驱动医学教育变革的应用发展现状，从学生视角剖析医学教育范式重塑面临的核心挑战，进而结合国内外典型实践提炼可供借鉴的经验启示；最后，立足新医科建设的本土发展实际，提出“能力—系统—治理”三维协同的应对路径。

二、AI 技术在医学教育中的应用现状

AI 在医学教育中的应用沿“理论学习—技能训练—临床实践”的培养主线逐步展开^[9-10]。为梳理上述应用，本文构建医学教育AI应用的全链条闭环框架（见图1），涵盖智能教学系统、技能实训体系与临床教学衔接三类应用：智能教学系统支持理论学习，技能实训体系提供可重复训练，临床教学衔接促进知识与技能向临床胜任力转化。三类应用通过教学反馈相互衔接，并以教学与临床的边界治理为约束，共同支撑医学人才全链条培养。

（一）AI 驱动的智能教学系统：重塑理论教学的资源分配逻辑

智能教学系统对应培养链条前端，即理论知识的习得。其核心价值在于改变传统医学课程静态而线性的交付方式，依托学习者行为数据与医学知识图谱两类基础资源，借助智能算法实现学习路径的个性化适配与教学资源的动态调配。医学知识图谱可将分散的医学概念及其内在关联组织为结构化网络，使割裂的知识点相互串联，为个性化推送提供底层支撑。

在技术实现层面，自适应学习平台多以智能辅导系统为中枢。智能辅导系统是依据学习者实时状态自动调整教学内容与节奏的计算机系统，通过对学习者状态的建模与知识掌握度的估算，识别学生的知识盲区，相应调整学习内容的难度与推进速度。比较各类辅导方式效果的研究表明，设计良好的智能辅导系统在学习收益上可接近人类一对一辅导的水准^[10]，为其在医学理论教学中的推广提供了证据支撑。基于自然语言处理的虚拟助教可提供全天候的答疑、引导与知识点拆解^[11]，降低自主学习门槛；知识图谱将基础医学

与临床医学等跨领域知识点关联整合^[12]，缓解传统教学中知识碎片化、学科衔接不畅的问题。生成式AI的普及增强了系统的交互性与即时反馈能力，随机对照研究证实，由其辅助的问题导向学习可显著提升医学生的知识掌握程度与临床思维水平，为AI深度嵌入理论教学流程提供了实证依据^[13]。

在教育功能层面，AI驱动的智能教学系统重构了资源分配机制。在课程设计端，AI综合医学人才培养目标、学生既有基础与临床岗位需求，动态生成个性化学习序列，优化课程编排逻辑；在知识呈现端，借助多模态交互将解剖、病理等抽象概念转化为可视、可操作的交互模块，提升理解效率；在教学评价端，机器学习与自然语言处理技术对学习全过程进行多维追踪，将结果性评价升级为过程性的能力画像，为因材施教提供更可靠的依据。理论教学的组织逻辑可据此由统一供给转向按需分配。

（二）AI 赋能的技能实训体系：实现临床能力的可量化、可重复培养

技能实训体系对应培养链条中段，即临床技能的反复打磨，旨在化解传统实训中高风险、低重复、难量化的问题，构建可复制、可测量的技能培养体系，以手术仿真、病理教学与解剖教育3类常见场景为例。

一项虚拟现实（VR）神经外科训练随机试验显示，基于AI错误数据的个性化专家反馈较单独

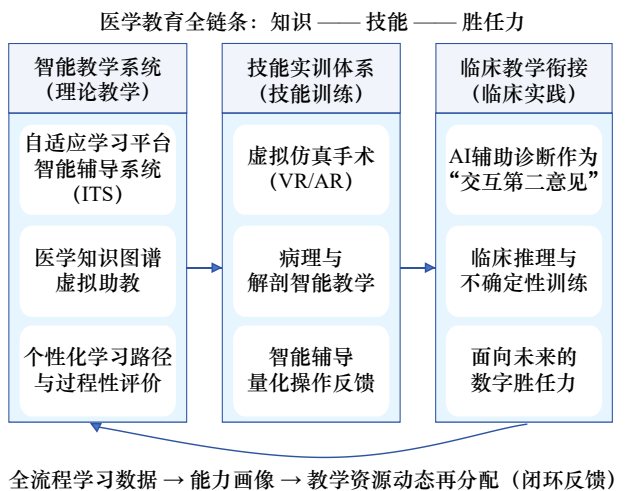


图1 医学教育AI应用的全链条闭环框架

智能辅导更能改善医学生的模拟操作表现，并促进技能向更复杂模拟任务迁移^[14]。在病理教学中，一项针对护理学生的整群随机试验显示，AI 智能辅导系统结合知识图谱的教学模式较常规教学提高了课程考试和病例分析成绩^[15]；生成式 AI 可快速生成个性化的测验题与问题导向学习（PBL）案例，缩短教学准备周期；VR 及增强现实（AR）突破传统解剖教学受时空与标本数量制约的局限，借助三维可视化模型帮助学生建立对人体结构的空间认知^[16-17]。

同时，该领域当前仍存在不容忽视的发展瓶颈。标准化的算法模型容易弱化学习者对人体解剖个体差异与临床诊疗不确定性的感知体悟；若过度依赖 AI 输出的标准化反馈，学习者的临床思维能力易趋于同质化和扁平化。技能层面的可量化评估若缺乏人的判断作为兜底，反而会削弱临床能力中最需保留的弹性空间。

（三）AI 辅助的临床教学衔接：搭建理论知识与临床实践的转化桥梁

临床教学衔接对应人才培养链条末端环节，核心指向临床胜任力的真实养成。AI 辅助诊断系统进入医学教育场景，其核心价值是打通从理论知识掌握向临床推理能力形成提升的转化通道，成为衔接课堂教学与床旁实践的关键载体。

在临床病例教学中，AI 辅助诊断系统可作为学生临床推理训练的交互式第二意见：学生通过比对 AI 的诊断逻辑、证据链条与自身思路，完成诊断链条的复核、诊断假设的验证与错误模式的复盘，将以往教学中以答对结果为目标取向提升为理清推理逻辑、应对临床不确定性的能力培养^[18]。在基因组医学、精准医疗等前沿领域，以 DeepVariant、SpliceAI 为代表的 AI 模型为学生提供了接触前沿技术的实践载体，帮助学生理解 AI 在临床诊疗中的应用逻辑，培养适配未来医疗发展需求的数字胜任力^[7]。

此类场景下的发展瓶颈同样凸显。算法“黑箱”会导致决策透明度不足，责任归属呈现模糊化特征^[19]；AI 系统跨病种、跨场景的适配能力存在局限，难以覆盖真实临床环境的复杂多变特征；学生对 AI 输出结果的过度依赖易诱发自动化偏倚^[20-21]，削弱其独立的临床思维与批判性判断能

力。这些问题构成 AI 嵌入临床教学需直面应对的核心议题。

在“AI+医学教育”应用图景逐步成型的背景下，领域内的深层隐忧也逐步显现：智能教学系统在提升资源可及性的同时，加重了学生的信息处理负担；技能与临床环节对 AI 标准化输出的过度依赖，可能导致教育目标让位于算法的效率导向指标；教学过程中持续性的数据采集与效率优先取向，对医学人文素养培育与学生数据权益构成潜在挤压。在应用层面的每一步进展，都可能在能力、目标、价值三方面埋下失配的隐患。这些被效率导向所遮蔽的问题，正是从学生视角审视医学教育范式重塑过程中必须正视的核心内容，由此引出对三大核心失配问题开展系统性诊断的研究逻辑。

三、学生视角下 AI 驱动医学教育范式重塑的核心挑战与协同失配诊断

AI 对医学教育重塑，体现为平台、算法与评价机制全面嵌入学习全流程^[22]，这不仅改变了学习方式与任务逻辑，同时重新划定了能力培养的实现路径^[22]。本文将学生体验置于分析的核心位置，是因为学生处在“教育-技术”复合系统的最前端，也是技术嵌入后失配问题最先显现的领域。学生在工具使用过程中遇到的信息过载、认知焦虑、信任缺失与伦理困惑，表面上是个体适应问题，本质上是整个复合系统运转失灵的早期信号。因此，学生体验构成系统的前端传感器，将潜伏于技术层、组织层、治理层的结构性矛盾以可观察的形式提前呈现。因此，本文从学生的真实感受出发，反向追溯系统各层级之间的张力，将范式重塑中的核心挑战归并为三大系统性失配^[23]，并逐一辨明其发生层级与核心矛盾。失配诊断旨在为后续提出针对性应对策略确立研究落点，每一类失配指向的核心问题，即为后续破解路径的切入点^[23]。

（一）技术系统-学习能力失配：能力结构与交互结构的错配

AI 深度嵌入教学流程后，医学生的核心学习任务发生结构性位移，由传统的“识记-理解-应用”

转向“检索-生成-比对-核验-修正”的新型 workflow。该任务位移对学生的信息筛选、证据核验与认知负荷的自我管理能力提出了新的要求，但现有技术与教学配套体系尚未完成适配调整，因此形成了技术系统与学习能力的失配。这一类系统性失配在学生体验层面最直接的表现是认知过载。从学生视角看，该失配的核心矛盾并非知识难以掌握，而是学生的信息处理能力难以应对持续推送的信息体量，且不足以完成信息真伪辨识和学习节奏的自主调控。

在技术层面，该失配的根源在于优化目标的错位。当前，AI 系统在设计阶段多以信息覆盖率、响应速度与用户黏性为核心优化指标，默认将信息供给量等同于学生知识吸收量。该设计逻辑导致高频信息推送和海量内容输出，提高了学生的信息筛选成本与核验负担，从而带来学生的认知过载问题。生成式 AI 所输出的文本流畅且具类似权威的外观，易诱导学生不经核验直接采信，导致错误信息被接纳的风险升高，但现有 AI 系统内部大多未针对该风险设置相应约束与提示机制^[24]，对于容错空间极小的医学学科，此类表面合理的错误内容尤其需要警惕。

在组织层面，该失配的问题在于教学结构尚未跟随新型学习 workflow 完成调整。当前，多数医学院校的课程安排与作业设计仍沿用“知识传递+结果评价”的传统逻辑，并未将 AI 工具使用规范、证据核验方法、信息管理能力等与新型 workflow 配套的训练内容真正内嵌于日常教学体系。学生只能依靠个人摸索应对学习模式变迁^[25]，其结果常表现为表层效率提升，但深度学习质量出现波动，甚至出现借助 AI 完成作业、核心知识却未真正内化的浅层学习问题。

在治理层面，该失配的缺位同样会对学生体验产生负面影响。多数医学院校尚未明确界定 AI 工具在教学中的使用边界与过程规范，对于哪些任务可借助 AI、AI 参与如何披露、学术诚信红线如何界定等问题，缺乏统一明确的制度规范。制度层面的模糊导致学生的合规焦虑^[26]，放大了学生体验层面的不适，甚至导致部分学生对 AI 工具产生使用抵触^[27]。可见，同一认知过载在技术、组织、治理 3 个层级各有成因且相互叠加，仅从单一层级进行修补难以从根本上解决问题。

（二）算法逻辑-教育目标失配：目标替代与自动化偏倚风险

算法的运行逻辑依托可量化的目标函数与可计算的特征指标实现持续优化；而医学教育的核心目标并不限于答题正确率与知识点覆盖率，其最终指向临床推理能力、证据整合能力、不确定性处理能力以及职业责任意识的系统化养成。二者在运行逻辑上的落差，构成了算法逻辑与教育目标失配。从学生体验角度看，此类失配的信号表现为：学习路径推进顺利，但当被追问判断依据时学生往往无法作答，即学习过程可追溯，而核心推理依据存在缺失。

在技术层面，厘清问题症结，首先需区分算法“黑箱”和自动化偏倚两个常被混淆的概念。算法“黑箱”指 AI 尤其是深度神经网络模型内部决策过程难以被理解和追溯的不透明属性，属于技术本身的固有属性问题；自动化偏倚指使用者过度信任并被动采信自动化系统输出结果、放松独立核验与批判性判断的认知倾向，属于发生在使用者层面的人因认知风险。二者分属机器系统与使用者两个维度，常互为因果。在教学场景中，AI 学习分析与智能评价模型多以点击轨迹、任务完成速度、短期测试正确率等易量化的代理指标为优化对象，难以直接刻画临床推理质量和思维严谨性等真正的医学核心胜任力^[28]；当算法推荐与智能评分缺乏可解释性时，便会形成“算法给出路径-学生被动遵循”的低可控回路，教师难以开展过程干预，学生也无法对自身思维偏差进行复盘校正^[29]。在此过程中，教育目标发生隐性替换：系统持续优化可视化的效率指标与不可直接观测的核心胜任力培养目标逐步偏离。

在组织层面，相关风险体现为算法偏差被纳入制度化框架。一旦课程考核与成绩评定过度依赖 AI 的量化评分结果，算法的内生偏差就会被纳入教学制度，反向诱导学生围绕系统指标开展策略性学习，而非以核心能力提升为学习目标^[30]。一项面向初学医学生的随机试验发现，在医学知识测试中，与不提供解释相比，误导性 AI 解释降低了学生的答题准确性；误导解释组学生的判断信心也未能可靠地区分正确与错误回答^[31]。这一结果提示，教学中需重视学生对 AI 输出的独立核验，使技术应用服务于医学教育的核心培养目标^[32]。自动化偏倚也

应被纳入教学评价与制度设计的风险考量。

在治理层面，短板在于尚未建立针对算法的有效约束机制。面向医学教育场景的AI算法普遍缺乏完善的审计机制、外部验证体系和清晰的责任链条。当算法结论进入教学评价等高风险环节，缺失可复核、可申诉、可追责的制度托底时，既会动摇教学评价的公平性基础，又会削弱学生的批判性思维能力，进一步加剧算法逻辑与教育目标的偏离^[33]。综上，目标替代与自动化偏倚是技术、组织制度及治理体系共同作用的结果，并非孤立存在的技术瑕疵。

（三）效率导向-人文价值的失配：数据主权侵蚀与人文能力培养缺位

AI的工程化逻辑以效率最大化为目标，而医学教育的本质不仅在于知识与技能的传授，更要求培养学生以患者为中心的共情、沟通、伦理判断与团队协作等人文核心素养。当效率被默认设定为AI应用的最高目标时，就产生了效率导向与人文价值的失配，且该失配直接触及医学教育的价值根基。在该失配下，学生面临双重困境：一是自身的学习行为被系统持续记录并构建用户画像，但学生既难以知晓个人数据流向，也缺乏取回个人数据的有效渠道；二是承载人文价值传递的师生面对面交流时长被持续压缩。

在治理层面，该失配的隐患首先体现于数据主权层面。学生在AI平台上的学习行为、思维过程乃至能力短板被持续采集并用于构建用户画像，但多数平台和院校尚未明确划定数据的采集边界、使用目的、存储期限和访问权限，也未建立和健全授权、申诉及用户退出机制。作为数据的产生主体，学生反而丧失了对自身数据的掌控权。这一困境凸显了数字素养的重要性。数据主权一旦被侵蚀，学生对AI系统的信任也会随之动摇，技术应用的实际效果也会相应受损。

在组织层面，该失配的偏差体现为AI应用定位失当。部分院校将AI视作替代人际教学的工具，而非释放教师时间投入、强化人文素养培养的载体，致使理论授课、技能反馈、作业批改等教学环节过度依赖AI，而床旁教学、师生沟通、团队协作、伦理推演等依赖人际互动的人文训练空间反被挤占^[34]。现有研究表明，医学生的共情能力随学制

推进呈现显著下降趋势，若AI进一步压缩人际互动的教学空间，对医学生人文素养的损害是显而易见的。该层级的失配最终作用于学生培养本身：学生掌握了技术能力，却缺失了医者最为必需的共情能力。

在技术层面，该失配的疏漏在于将隐私保护与算法公平作为事后补救措施。隐私与公平本应作为前置性设计约束，在实践中却常被作为系统上线后的补充要求。训练数据中存在的人群偏差会导致AI推荐与评价产生公平性问题；而数据全流程合规管控的缺位，又进一步提升了学生敏感数据泄露的风险。此类问题既违背医学教育的伦理底线，又向学生传递“重效率、轻伦理”的错误价值导向，与医学人才培养的核心初衷相背离。综合而言，效率导向与人文价值的失配本质上是价值排序的错位，修正这一错位正是治理体系完善路径所应承担的任务。

综合三类失配的分析结果，可将其总结为“教育-技术”复合系统失配诊断矩阵（见图2）。该矩阵以“技术系统-学习能力”“算法逻辑-教育目标”“效率导向-人文价值”三大失配为横向维度，以技术层、组织层、治理层3个失配发生层级为纵向维度，交叉定位各类失配在不同层级的具体表现和成因，并据此勾勒出协同治理的逻辑指向。该矩阵表明，学生体验中存在的各类痛点，均可在某一失配类型与某一作用层级的交汇处获得对应定位。为化解这些痛点，单点修补难以奏效，需遵循矩阵所示方向，在能力、系统、治理3个维度上协同发力。

四、典型实践案例与启示

（一）国外标杆实践：跨学科协同与全链条能力培养

美国杜克大学健康创新研究所（DIHI）通过临床研究与创新奖学金项目，为医学生提供为期一年的全日制实践机会。学生加入跨学科团队，在配套阅读与课程学习支持下，参与健康产品和服务从构想到试点的开发过程，学习内容涉及设计、风险预测与AI^[35]。该案例将临床问题、技术实践与课程学习相衔接，为医工协同培养提供了参考。

医学影像AI研究已涉及模型开发、验证与临床转化等议题^[36-37]，算法预测准确性与可解释性的

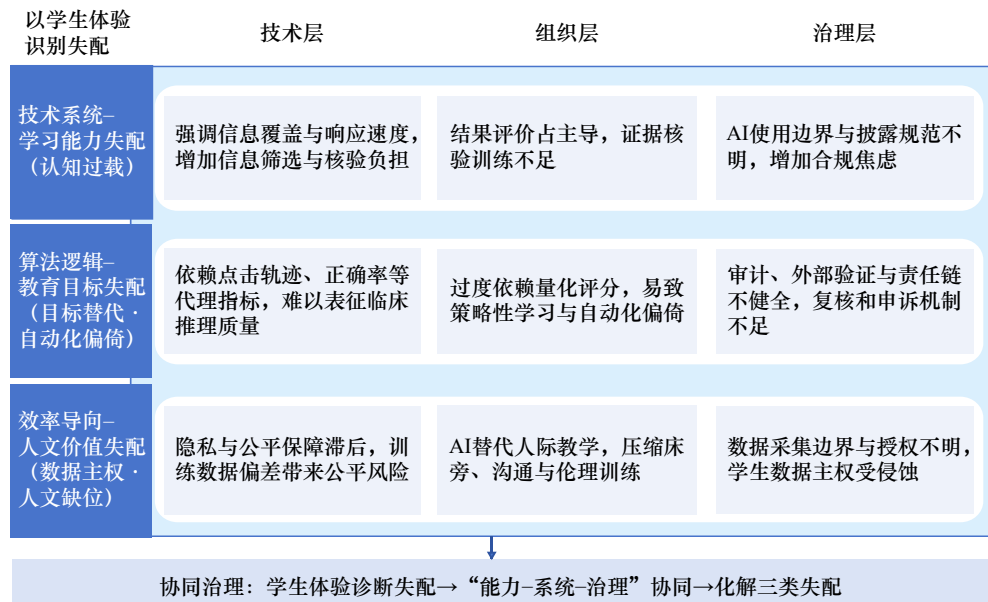


图2 “教育-技术”复合系统失配诊断矩阵

关系也受到关注^[38]。在跨学科培养方面，斯坦福大学官网介绍的医疗AI训练营招募具有AI、医疗健康或Web开发背景的学生参与研究，由计算机科学博士生及医学院教师提供指导^[39]。局部可解释方法通过可解释模型近似个体预测^[40]，可为课堂讨论算法输出提供技术材料。就课程与治理建设而言，相关研究提出算法验证、偏差识别与AI教育资源建设等建议^[41]；医学教育研究者则主张将AI知识及透明性、责任等问题融入课程^[42]。上述实践和建议可为跨学科培养与伦理责任教育提供参考。

（二）国内本土化探索：新医科背景下的融合创新

在新医科建设的政策引导下，国内医学院校的探索已形成“政策引导-院校先行-课程落地”的总体格局^[43]。在国家层面，国务院办公厅印发的《关于促进“互联网+医疗健康”发展的意见》和教育部新医科建设的相关部署，从顶层设计上为AI与医学教育的融合明确了发展方向；在地方层面，部分医疗机构探索将AI技术纳入住院医师规范化培训体系，推动技术能力向临床带教环节下沉延伸。国内AI与医学教育融合的探索由治理层的政策供给起步，逐步向组织层面的课程体系和培养机制延伸，与国外由院校自发创新起步的发展路径形成互补态势。在该发展格局下，国内已涌现出一批具有代表性的院校实践样本。

首都医科大学于2024年获批设置智能医学工程本科专业，其专业建设构想围绕医工交叉人才培养，介绍了课程体系与实践创新培养举措^[44]。此类探索从课程组织层面为医学与工程知识衔接提供参考，其教学成效仍需进一步评价。由科大讯飞股份有限公司与清华大学联合研发的“智医助理”于2017年通过国家临床执业医师资格考试综合笔试，体现了AI在医学知识掌握与临床问答领域的能力。依托此类技术搭建的智能题库与学习评测系统，可对学生的知识掌握程度作出较为精准的评估，从技术层面提升教学评价的可量化水平。在医工课程组织方面，四川大学以医学装备智能制造工程综合实践课程为载体，采用医学与工学教师共同指导、项目制小组实践的方式，衔接理论学习与临床工程问题解决^[45]。上述课程建设和实践探索，为将技术能力培养嵌入培养体系提供了组织层面的参考。

（三）案例实践的核心启示

综合上述国内外实践，并结合前文的三类失配分析，本文进一步提炼AI驱动医学教育创新的实施框架（见图3）。该实施框架包括能力建设、系统优化、治理完善3条路径：能力建设聚焦分层内嵌的数字素养与人机协作能力培育，系统优化则指向构建可控、可解释、可复核的AI教学平台，治理完善侧重搭建涵盖伦理、隐私、责任的制度化闭

环，三者共同构成“能力-系统-治理”三维协同体系。

第一，能力培养是核心根基，对应能力建设路径。杜克大学的跨学科项目与国内课程建设实践提示，将AI数字素养、人机协作能力与证据核验能力内嵌于培养全流程，依托跨学科协同与项目式实践推动学生能力结构适配技术迭代速度，有助于缓解技术系统与学习能力的失配问题。

第二，目标对齐是关键前提，对应系统优化路径。上述项目与相关研究提示，需以医学人才培养的核心目标为锚点，将临床胜任力、批判性思维与不确定性处理能力转化为AI系统的设计约束与优化目标，避免算法效率导向替代教育核心目标，破解算法逻辑与教育目标的失配困境。

第三，制度规范是底层保障，对应治理完善路径。上述学界建议与国内的政策供给提示，需依托完善的顶层设计、清晰的使用规范和全流程的治理机制，明确AI应用的伦理边界与合规底线，守住学生数据主权与医学人文教育的核心阵地，化解效率导向与人文价值的失配矛盾。

五、AI 驱动医学教育范式重塑的本土化应对策略

(一) 能力建设路径：构建分层内嵌的数字素养与人机协作能力培养体系

对于技术系统与学习能力的失配问题，能力建

设路径旨在将AI时代医学生形成的“检索-生成-比对-核验-修正”新型工作流转化为可训练、可评价、可迁移的能力结构，从源头提升学生能力与技术迭代的适配性。该路径的实施以医学院校为核心主体，由教务部门、医学教育中心与临床教学基地协同推进。鉴于我国医学课程已高度饱和，能力培养需内嵌于现有课程框架，不以新增独立课程的方式加重学生学业负担。

一是构建分层递进的数字素养培养体系，破解能力结构滞后于技术迭代的失配问题。将AI基础操作、信息来源辨识、证据等级判断、结论可追溯表达、反例意识等核心能力拆解为由浅入深的能力模块，按照学制分阶段嵌入基础医学课程、临床医学课程、临床实习等环节：低年级医学生侧重工具认知与信息甄别能力培养，高年级医学生侧重证据核验与临床场景中的人机分工协作训练。该设置可规避一次性知识灌输造成的认知超载，实现能力培养的全周期覆盖。落地条件在于教务部门牵头完成能力模块与现有课程的映射匹配，为各学科教师提供统一教学指引，防止其沦为“各自为政”的零散培训。

二是建立人机协作的标准化流程规范，化解学生在新型工作流中无章可循、仅凭个人经验摸索的困境。在文献学习、病例讨论、作业撰写等典型教学场景中，明确AI工具的使用边界、参与环节的披露要求和人工决策依据，形成“AI辅助-人工核验-责任明确”的可复核协作链条。该规范不仅可以约束使用行为，还能将隐性的协作习惯显性化、可教化，使学生明确需自主完成的判断内容、需如实标注的AI使用环节以及偏差出现后的责任界定规则。实施层面由医学教育中心制定校级通用规则，各教研室结合学科特点细化操作模板，依托示范案例形成稳定的行为预期。该规范落地后，既可缓解合规焦虑，也能为诚信认定与质量追溯提供可依据的过程记录。

三是将认知负荷管理与信息筛选能力纳入培养内容^[46]，应对高频推送、海量输出引发的认知过载问题。单纯提醒学生规避信息淹没不具备实践效用，关键在于传授可操作的方法：即借助结构化信息处理框架，训练学生对海量材料分层筛选、来源核验与要点整合，主动识别并突破算法推荐构建的信息茧房。教学环节结合具体临床问题，设计“信

应对策略：“能力-系统-治理”三维协同		
能力建设路径 (应对技术系统- 学习能力失配)	系统优化路径 (应对算法逻辑- 教育目标失配)	治理完善路径 (应对效率导向- 人文价值失配)
分层递进 数字素养培养	认知负荷 工程化管控	学生数据全生命 周期合规治理
人机协作 标准流程	平台全流程 证据链核验	AI应用规范 与伦理准则
认知负荷管理与 信息筛选训练	算法可解释性 与教师干预权	责任划分与 风险处置机制
教学评价OSCE与 过程性评价	关键环节保留 人工复核权限	保障医学人文 训练占比
目标：促进AI与医学教育可持续融合，培养兼具数字胜任力与人文情怀的医学人才		

图3 AI 驱动医学教育创新的实施框架
OSCE表示客观结构化临床考试。

息检索—证据筛选—冲突信息研判”的递进式任务，推动学生在真实情境中掌握信息取舍与权衡的方法，其预期成效为将被动承受信息的学生转变为主动管理认知资源、对信息保持警觉的学习者。为推动落地，教师需先行掌握相关方法，并进行配套师资培训，否则能力培养要求难以传导至学生层面。

四是改革教学评价模式，推动能力培养与考核评价形成闭环，避免出现教考脱节问题。评价导向直接决定学生学习行为，若考核仍仅关注结果正确率，前述能力培养安排将难以实现。为此，需将AI工具使用规范、证据核验质量、推理链条完整性、不确定性处理能力纳入核心考核指标，并依托OSCE站点、病例讨论、实践项目等多元方式开展考查，如在OSCE中设置“面对AI给出的可疑建议如何复核与决策”的考站，直接检验学生的批判性人机协作能力。评价改革的难点在于评分标准的客观化与考官培训，需由医学教育中心统一研制评分量规并组织校准，保障不同考官、不同站点之间的评价一致性，使评价真正发挥能力培养的导向作用，而非沦为附加性的形式负担。

（二）系统优化路径：打造以教育目标为核心的可控、可解释、可复核AI教学平台

该路径回应算法逻辑与教育目标的失配^[47]，核心是将医学人才培养的根本目标转化为AI平台的硬性工程约束，使技术迭代始终服务于教育本质，避免其滑向单纯追求效率提升的误区^[18]。能力建设聚焦解决应用主体能力适配问题，但只要平台仍以用户黏性、使用时长为优化目标，即便具备合格数字素养的学生也会受到算法隐性导向的牵引，因此，系统优化是必不可少的环节。系统优化的实质是将教育价值内嵌于技术系统：评判AI教学平台的优劣核心标准，并非功能覆盖范围，而是平台内在运行机制与教育目标的契合程度。本路径的实施以高校信息化部门、医学院校教学管理部门为牵引，由其联合平台开发团队与临床教学单位共同推进建设。

一是建立认知负荷的工程化管控机制^[48]，应对算法以提升用户黏性为目标、持续加重学生认知负担的技术层失配问题。将AI平台的信息推送强度、提示频率、推荐多样性、反馈时延等参数设置为可调节项，并向授课教师开放完整配置权限，使算法

约束始终围绕学生学习节奏稳定、保障充足深度思考时间确立。该机制将原本由厂商默认设定、服务于商业指标的参数调控权交还一线教师，由教师依据课程难度、学生发展阶段进行动态调节。其预期成效为遏制“信息越多越好”的技术惯性，为学生开展深度学习预留必要的时间和空间。落地条件是高校在平台采购和建设阶段即可将可调参数要求明确纳入技术规格与验收标准，避免平台上线后二次改造产生不必要的成本。

二是将证据链核验功能内置于平台全流程，对冲生成式输出流畅但溯源困难所引发的认知依赖和目标替代问题。要求AI的生成式输出同步提供引用定位、证据来源标签与不确定性提示，并在作业提交、病例讨论、考核评价等环节设置“结论—证据—反证—边界条件”的结构化提交字段。依托上述设计，平台沉淀的不再是孤立的点击行为数据，而是可审计、可复盘的完整学习证据，教师据此可追溯学生的推理路径，定位思维偏差的发生节点。该设计将抽象的循证使用AI要求落实到具体的交互界面，使证据意识成为平台使用过程中固有的使用习惯。落地条件为教学方与开发方在需求阶段达成共识，将结构化字段作为不可删减的基础功能纳入平台设计，避免事后补充改造。

三是实现算法可解释性与教师干预权的工程化落地，从运行机制层面抑制自动化偏倚、巩固教师在教学中的主导地位^[49]。平台需提供与教学任务相匹配的算法决策解释视图和运行日志，保障教师能清晰识别算法推荐依据、调节提示输出强度、必要时覆盖算法推荐路径，且在课程考核、能力评定等关键环节保留人工复核的最终权限，确保高风险判断不被算法独断。该设计在效率提升与风险可控之间确立“人在回路”的工程原则，即算法负责提供参考建议，教育性决定权始终归属于教师与学生。鉴于当前可解释性技术尚不成熟，可解释程度需与教学场景的风险等级相匹配：低风险的资源推荐环节可适度容忍“黑箱”，而进入评价、评定等高风险环节后，必须满足可解释、可复核要求。落地条件为平台建设方与临床教学单位共同界定各场景的风险等级，以及与之匹配的解释要求，使可解释性由笼统的概念转为分级可执行的技术指标。

（三）治理完善路径：构建伦理规范、隐私保护、责任划分清晰的制度化闭环

此路径回应效率导向与人文价值的失配，核心目标是将抽象的医学人文与伦理原则转化为可执行的制度流程和技术约束，确保 AI 在提升效率的同时不侵蚀医学教育的核心价值，实现治理的合规前置、权责清晰、全程可溯和风险可控^[50]。本路径实施可由教育主管部门、高校、附属医院与 AI 平台供应方多方协同推进。

一是建立学生数据全生命周期的合规治理体系，回应学生作为数据产生主体却丧失数据控制权的主权侵蚀问题。依据数据敏感等级实行分级授权管理，明确数据采集的最小范围、使用目的限定、存储期限和访问权限，将数据的授权、调用、导出、模型训练全流程纳入审计日志，并建立学生数据申诉与复核机制。该体系以“最小必要”与“全程留痕”两条原则，将学生数据由平台可支配的资源重新界定为受制度保护、归属学生的权益客体。其预期成效为修复学生对 AI 教学系统的信任，进而提升技术应用的实际效果。落地条件为高校与附属医院、平台供应方在合作协议中明确数据权属和责任划分条款，避免数据治理因主体权责不清而无法落地。

二是明确 AI 在医学教育中的应用规范与伦理准则，化解制度模糊引发的合规焦虑与学术诚信争议。发布校级及以上层面的指导性文件，厘清不同教学场景中 AI 工具的使用边界、披露要求与学术诚信规则，为师生提供清晰稳定的 AI 工具使用制度框架^[50]，将制度模糊地带转化为可预期的行为准则。鉴于 AI 技术与应用场景仍在快速演化阶段，此类制度宜采用“原则稳定、细则动态”的设计思路，预留定期修订接口。落地条件为教育主管部门给出框架性指引、高校结合自身实际制定可操作细则，并通过宣传推广与典型案例示范推动制度融入师生的日常实践，而非停留于文件。

三是构建清晰的责任划分与风险处置机制，并以制度刚性维护医学人文教育，回应人文价值失配问题。一方面，明确高校、教师、平台方、学生在 AI 应用中的权责边界，针对算法偏差、数据泄露、学术不端等问题建立标准化的事件响应、责任追溯与机制修复流程，保障风险发生后有章可循、责任到人。另一方面，以制度形式硬性规定医学人文训

练的课程占比与评价权重，确保 AI 带来的效率提升切实转化为教师开展床旁教学、师生沟通、伦理推演的时间与精力，避免 AI 替代人际互动类教学环节。若缺乏制度约束，AI 带来的效率红利将被进一步压缩人文教学空间的行为吞噬，持续加剧因 AI 介入带来的医学生共情能力下降问题。落地条件为将人文课程占比与师生互动时长纳入院校教学评估和专业认证的硬性指标，使其成为不可让渡的底线，而非可被效率逻辑随时挤占的弹性空间。

六、结语

本研究以学生体验为核心基点，对 AI 驱动医学教育范式重塑这一命题进行系统梳理与工程化解析。AI 驱动的医学教育转型是对由培养目标、知识体系、教学组织形态、师生关系与评价制度构成的整体框架的系统性重构，而非局限于教学方法或工具层面的局部改良。据此，引入系统论研究视角，构建技术系统、组织系统、治理系统三者协同的分析框架：技术系统划定 AI 赋能的能力边界，组织系统决定能力能否转化为有效教学实践，治理系统约束整体系统运行的风险阈值。结合学生在学习全流程中的实际体验，本研究将范式重塑的核心矛盾归纳为三重失配：技术系统-学习能力的失配引发认知过载，算法逻辑-教育目标的失配诱发目标替代和自动化偏倚，效率导向-人文价值的失配导致数据主权侵蚀和人文培养缺位。针对三重失配，提出能力建设、系统优化、治理完善 3 条优化路径，整合形成“能力-系统-治理”三维协同的本土化分析框架。研究认为，AI 对医学教育的影响已由工具层面的应用创新进入系统层面的范式变革，落地瓶颈并非某项单点技术的可用性问题，核心在于技术、组织、治理三大系统能否彼此适配、协同运转。为此，需要以医学人才培养目标为牵引，学生能力适配为基础，平台系统优化为支撑，治理制度完善为保障，推进 AI 与医学教育的深度融合，发挥技术赋能的实际效能。

未来，后续工作可从三方面展开。一是将学生体验由主观描述提炼为可观测、可度量的系统变量，构建学生体验与平台设计之间的量化关联模型，完善 AI 赋能医学教育的效果评价体系与风险监测指标，明确何种平台机制能够真正服务于核心

胜任力培养、又在何种场景下发生目标偏离。二是检验“能力—系统—治理”协同路径的落地应用。后续研究可遵循“试点—评估—推广”的工程化思路，先在代表性医学院校开展试点试行，基于小范围验证结果迭代优化技术标准、制度规范与治理流程，再逐步向更大范围审慎推广，避免缺乏阶段评估的粗放式部署。三是针对“第四代”医学教育范式，深入探讨跨机构数据共享、人机协同的责任界定、医学人文与数字胜任力的融合培养等问题。后续研究应持续追踪医学教育的代际演进趋势，培养适配未来医疗行业发展需求、兼具数字胜任力与医学人文情怀的新时代医学人才^[51]。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: April 7, 2026; **Revised date:** June 30, 2026

Corresponding author: Wang Junpu is an associate professor from Xiangya Hospital/Xiangya School of Basic Medical Sciences, Central South University. His major research fields include pathology and digital intelligence pathology. E-mail: wang-jp2013@csu.edu.cn

Funding project: Laboratory (Furong Laboratory) Project of Department of Science and Technology of Hunan Province (2024PT5111); Hunan Province Higher Education Institutions Teaching Reform Research Project (2025jy052)

参考文献

- [1] Ahsan Z. Integrating artificial intelligence into medical education: A narrative systematic review of current applications, challenges, and future directions[J]. BMC Medical Education, 2025, 25(1): 1187.
- [2] Frenk J, Chen L, Bhutta Z A, et al. Health professionals for a new century: Transforming education to strengthen health systems in an interdependent world[J]. The Lancet, 2010, 376(9756): 1923-1958.
- [3] 王维民. 新科技革命背景下的医学教育范式转型[J]. 中华医学教育杂志, 2024, 44(6): 401-406.
Wang W M. The paradigm transformation of medical education in the context of the new technological revolution era[J]. Chinese Journal of Medical Education, 2024, 44(6): 401-406.
- [4] Chan K S, Zary N. Applications and challenges of implementing artificial intelligence in medical education: Integrative review[J]. JMIR Medical Education, 2019, 5(1): e13930.
- [5] Feigerlova E, Hani H, Hothersall-Davies E. A systematic review of the impact of artificial intelligence on educational outcomes in health professions education[J]. BMC Medical Education, 2025, 25(1): 129.
- [6] Rincón E H H, Jimenez D, Aguilar L A C, et al. Mapping the use of artificial intelligence in medical education: A scoping review[J]. BMC Medical Education, 2025, 25(1): 526.
- [7] 弓孟春, 潘慧, 刘辉, 等. 医学生人工智能素养能力清单与测评框架专家共识(2025年版)[J]. 中国医学科学院学报, 2026, 48(1): 13-23.
- [8] Gong M C, Pan H, Liu H, et al. Expert consensus on the artificial intelligence proficiency competency list and assessment framework for medical students (2025 edition)[J]. Acta Academiae Medicinae Sinicae, 2026, 48(1): 13-23.
- [9] Khera R, Simon M A, Ross J S. Automation bias and assistive AI: Risk of harm from AI-driven clinical decision support[J]. JAMA, 2023, 330(23): 2255-2257.
- [10] Wartman S A, Combs C D. Medical education must move from the information age to the age of artificial intelligence[J]. Academic Medicine, 2018, 93(8): 1107-1109.
- [11] VanLEHN K. The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems[J]. Educational Psychologist, 2011, 46(4): 197-221.
- [12] 魏崑, 罗高萌, 刘润铭, 等. 人工智能辅助教学在医学教育中应用效果的Meta分析[J]. 医学新知, 2025, 35(10): 1242-1248.
Wei W, Luo G M, Liu R M, et al. A meta-analysis of the application effect of artificial intelligence-assisted teaching in medical education[J]. New Medicine, 2025, 35(10): 1242-1248.
- [13] 何晓茜, 王若瑶, 张炯娜. 面向医学教育的多模态知识图谱构建方法及其在智能教学辅助平台中的应用[J]. 微型电脑应用, 2024, 40(10): 42-45.
He X X, Wang R Y, Zhang J N. Multi-modal knowledge graph construction method for medical education and its application in intelligent teaching assistance platform[J]. Microcomputer Applications, 2024, 40(10): 42-45.
- [14] Zeng H, Zhu Z W, Hu J, et al. Application of ChatGPT-assisted problem-based learning teaching method in clinical medical education[J]. BMC Medical Education, 2025, 25(1): 50.
- [15] Giglio B, Albeloushi A, Alhaj A K, et al. Artificial intelligence-augmented human instruction and surgical simulation performance: A randomized clinical trial[J]. JAMA Surgery, 2025, 160(9): 993-1003.
- [16] Yu Y Y, Yuan Y. Application and effectiveness analysis of AI intelligent tutoring system combined with knowledge graph in basic medical pathology teaching[J]. BMC Medical Education, 2026, 26(1): 1028.
- [17] Zhao J J, Xu X L, Jiang H L, et al. The effectiveness of virtual reality-based technology on anatomy teaching: A meta-analysis of randomized controlled studies[J]. BMC Medical Education, 2020, 20(1): 127.
- [18] 范丽亚, 马介渊, 张克发, 等. VR/AR技术在人体解剖教学及手术培训中的应用[J]. 科技导报, 2020, 38(22): 31-40.
Fan L Y, Ma J Y, Zhang K F, et al. Application and development of AR/VR technology in human anatomy teaching and operation training[J]. Science & Technology Review, 2020, 38(22): 31-40.
- [19] Topol E J. High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence[J]. Nature Medicine, 2019, 25(1): 44-56.
- [20] Rudin C. Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead[J]. Nature Machine Intelligence, 2019, 1(5): 206-215.
- [21] Lyell D, Coiera E. Automation bias and verification complexity:

- A systematic review[J]. Journal of the American Medical Informatics Association, 2017, 24(2): 423-431.
- [21] 姚鸿萍, 侯佳, 张师容, 等. 人工智能在医学人才专业技能与伦理素质培养中的应用与探索[J]. 中国医学伦理学, 2019, 32(11): 1477-1480.
- Yao H P, Hou J, Zhang S R, et al. The application and exploration of artificial intelligence in the cultivation of professional skills and ethics qualities of medical talents[J]. Chinese Medical Ethics, 2019, 32(11): 1477-1480.
- [22] Duan S, Liu C Y, Rong T H, et al. Integrating AI in medical education: A comprehensive study of medical students' attitudes, concerns, and behavioral intentions[J]. BMC Medical Education, 2025, 25(1): 599.
- [23] Thesen T, Park S H. A generative AI teaching assistant for personalized learning in medical education[J]. npj Digital Medicine, 2025, 8: 627.
- [24] 黄明芳, 侯青涵, 张伟. 生成式人工智能在医学教育领域的应用现状与未来趋势[J]. 医学与社会, 2025, 38(1): 29-34, 47.
- Huang M F, Hou Q H, Zhang W. The application status quo and future trends of generative artificial intelligence in medical education[J]. Medicine and Society, 2025, 38(1): 29-34, 47.
- [25] Masters K, MacNeil H, Benjamin J, et al. Artificial intelligence in health professions education assessment: AMEE guide No. 178[J]. Medical Teacher, 2025, 47(9): 1410-1424.
- [26] Eke D O. ChatGPT and the rise of generative AI: Threat to academic integrity?[J]. Journal of Responsible Technology, 2023, 13: 100060.
- [27] Ouyang F, Jiao P C. Artificial intelligence in education: The three paradigms[J]. Computers and Education: Artificial Intelligence, 2021, 2: 100020.
- [28] Rampton V, Mittelman M, Goldhahn J. Implications of artificial intelligence for medical education[J]. The Lancet Digital Health, 2020, 2(3): e111-e112.
- [29] 袁志怡, 裴志怡, 林佳艺, 等. 医学生对生成式人工智能融入医学教育的认知——一项 Meta 整合研究[J]. 医学与哲学, 2025, 46(14): 52-57.
- Yuan Z Y, Pei Z Y, Lin J Y, et al. Medical Students' perceptions of integrating generative artificial intelligence into medical education: A meta-synthesis study[J]. Medicine and Philosophy, 2025, 46(14): 52-57.
- [30] Komasaawa N, Yokohira M. Generative artificial intelligence (AI) in medical education: A narrative review of the challenges and possibilities for future professionalism[J]. Cureus, 2025, 17(6): e86316.
- [31] Teng D, Tan L, Cao Q, et al. Impact of AI misinformation on diagnostic accuracy and confidence calibration in novice medical students[J]. npj Digital Medicine, 2026, 9(1): 356.
- [32] van der Niet A G, Bleakley A. Where medical education meets artificial intelligence: 'Does technology care?'[J]. Medical Education, 2021, 55(1): 30-36.
- [33] 张如意, 周运翱, 彭迎春. 人工智能赋能医学教育的协同治理路径探析[J]. 中华医学教育杂志, 2025, 45(7): 496-501.
- Zhang R Y, Zhou Y A, Peng Y C. Exploring collaborative governance pathways for artificial intelligence empowered medical education[J]. Chinese Journal of Medical Education, 2025, 45(7): 496-501.
- [34] 陈湘, 邓然, 吴川清. 生成式人工智能大型语言模型在医学教育实践的探讨[J]. 临床急诊杂志, 2024, 25(6): 310-314.
- Chen X, Deng R, Wu C Q. Exploration of generative artificial intelligence large language models in medical education practice[J]. Journal of Clinical Emergency, 2024, 25(6): 310-314.
- [35] Sendak M P, Gao M, Ratliff W, et al. Preliminary results of a clinical research and innovation scholarship to prepare medical students to lead innovations in health care[J]. Healthcare, 2021, 9(3): 100555.
- [36] Litjens G, Kooi T, Bejnordi B E, et al. A survey on deep learning in medical image analysis[J]. Medical Image Analysis, 2017, 42: 60-88.
- [37] Langlotz C P, Allen B, Erickson B J, et al. A roadmap for foundational research on artificial intelligence in medical imaging: From the 2018 NIH/RSNA/ACR/the academy workshop[J]. Radiology, 2019, 291(3): 781-791.
- [38] London A J. Artificial intelligence and black-box medical decisions: Accuracy versus explainability[J]. The Hastings Center Report, 2019, 49(1): 15-21.
- [39] Stanford Open Source Lab. AI for healthcare bootcamp[EB/OL]. [2026-05-07]. <https://opensourcelab.stanford.edu/events/ai-healthcare-bootcamp>.
- [40] Ribeiro M T, Singh S, Guestrin C. "Why should I trust you?": Explaining the predictions of any classifier[C]//The 2016 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Demonstrations, 2016: 97-101.
- [41] Recht M P, Dewey M, Dreyer K, et al. Integrating artificial intelligence into the clinical practice of radiology: Challenges and recommendations[J]. European Radiology, 2020, 30(6): 3576-3584.
- [42] Paranjape K, Schinkel M, Nannan Panday R, et al. Introducing artificial intelligence training in medical education[J]. JMIR Medical Education, 2019, 5(2): e16048.
- [43] 季林丹, 金晓锋, 徐进, 等. "新医科"背景下数智化赋能《医学遗传学》课程建设的探索与实践[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2026, 42(4): 550-558.
- Ji L D, Jin X F, Xu J, et al. Digital intelligence-empowered curriculum development in medical genetics under the "new medical education" framework: Our exploration and practice[J]. Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 2026, 42(4): 550-558.
- [44] 陈卉, 韩小鹏, 张楠, 等. 智能医学工程专业建设与人才培养构想——以首都医科大学为例[J]. 医学教育管理, 2025, 11(2): 169-174.
- Chen H, Han X P, Zhang N, et al. Intelligent medical engineering specialization construction and talent cultivation—Taking Capital Medical University as an example[J]. Medical Education Management, 2025, 11(2): 169-174.
- [45] 陈依桐, 陈建, 朱鲁闯, 等. 项目制驱动的医工融合工程实践课程体系研究与实践[J]. 实验科学与技术, 2024, 22(4): 41-46.
- Chen Y T, Chen J, Zhu L C, et al. Research and practice of a project-based integrated medical engineering practice course system[J]. Experiment Science and Technology, 2024, 22(4): 41-46.
- [46] Mihalis G I, Cotoraci C, Boru C. Integrating artificial intelligence in

- the medical curriculum: Approaches and strategies[C]//MEDINFO 2025—Healthcare Smart×Medicine Deep, 2025: 1402-1406.
- [47] 卢宇, 章志, 王德亮, 等. 可解释人工智能在教育中的应用模式研究[J]. 中国电化教育, 2022(8): 9-15, 23.
- Lu Y, Zhang Z, Wang D L, et al. The study on the application mode of explainable artificial intelligent in education[J]. China Educational Technology, 2022(8): 9-15, 23.
- [48] Sweller J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning[J]. Cognitive Science, 1988, 12(2): 257-285.
- [49] Tjoa E, Guan C T. A survey on explainable artificial intelligence (XAI): Toward medical XAI[J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2021, 32(11): 4793-4813.
- [50] 郭庆, 吴砥. 国际视野下人工智能教育应用伦理风险与治理策略[J]. 比较教育研究, 2025, 47(1): 56-64.
- Guo Q, Wu D. Ethical governance of artificial intelligence in education from an international perspective: Risks, strategies, and insights[J]. International and Comparative Education, 2025, 47(1): 56-64.
- [51] Topol E J. As artificial intelligence goes multimodal, medical applications multiply[J]. Science, 2023, 381(6663): adk6139.