

人工智能赋能眼科住院医师规范化培训

核心胜任力的应用与挑战

陈沁芸¹，何姝¹，廖萱^{1, 2}

1. 川北医学院附属医院眼科，四川南充 637000；2. 川北医学院眼视光医学院，四川南充 637000

【摘要】住院医师规范化培训是医学生向眼科专科医师转型的核心环节，当前我国眼科住培面临区域资源分布不均、知识扩容难以内化、临床实践机会不足、传统教学模式滞后等多重困境。人工智能（artificial intelligence, AI）的快速发展为眼科住培的数智化转型提供了重要机遇。本文立足胜任力导向医学教育理念，系统梳理 AI 在六大核心胜任力维度的赋能应用路径，明确各个维度的人机协同边界与防控机制；并从技术可靠性、数据伦理、认知发展、实施条件与制度规范五个层面，剖析融合挑战及相应对策，旨在为培养兼具临床能力与数智素养的新时代眼科医师提供理论参考与实践思路。

【关键词】人工智能；眼科；住院医师培训；核心胜任力；医学教育

【中图分类号】R192；R77 【文献标识码】A

住院医师规范化培训（简称住培）是毕业后医学教育的核心，眼科住培是医学生向专科医师转型的关键环节，更是高质量眼健康服务体系的重要人才支撑。当前我国眼科疾病患病率攀升、病种日趋复杂，优质医疗资源总量不足且分布不均，亟需创新人才培养模式。全球医学教育已进入胜任力导向改革阶段，我国已明确将“职业素养、知识技能、患者管理、沟通合作、教学能力、终生学习”列为住培六大核心胜任力，推动培养提质升级^[1]。眼科学高度依赖影像诊断与显微精细操作，亚专科划分细、技术迭代快、手术精度要求高，对住培学员岗位胜任力提出了更高要求。

然而，当前我国眼科住培仍面临多重现实困境：区域资源差异显著，培训同质化难以保障；诊疗技术与指南更新迅速，学员临床轮转中难以完成系统知识内化；复杂病例接触与实操机会不足，技能提升受限；传统教学缺乏个性化设计，带教时间被临床工作大幅挤压；学员多重任务负荷下易产生职业倦怠，不利于人文素养培育。

眼科学是国内最早落地人工智能临床应用的专科之一，AI 在眼科影像诊断、治疗决策、预后评估等领域发展迅速，国家政策也明确支持医学教育数智化转型^[2]。“AI + 教育”融合为传统眼科住培模式变革带来了新机遇。但现有研究多聚焦单一技术工具或局部教学环节，尚未形成基于六大核心胜任力的系统整合框架。本文立足胜任力导向医学教育理念，系统梳理 AI 在各胜任力维度的赋能路径，剖析融合挑战与应对策略，为眼科住培数智化建设提供理论参考与实践思路。

基金项目：2024-2026 年四川省高等教育人才培养质量和教学改革项目（JG2024-0950）

通信作者：廖萱，电子信箱：aleexand@163.com

1. AI 赋能眼科住培核心胜任力的应用路径

1.1 AI 赋能职业素养

职业素养是核心胜任力的基石，涵盖职业道德、人文素养与系统改进能力。传统教学以理论讲座、反思报告为主，缺乏标准化评估与场景化训练。AI 可模拟眼科伦理困境与职业场景，开展规模化交互式案例教学，提供实时反馈，兼顾教学标准化与个性化，提升学员伦理决策能力^[3]。数字患者系统可模拟真实医患对话，培育共情表达能力，夯实人文素养。AI 平台还可支持学员参与工具验证流程优化等实践，锻炼系统改进能力。需明确 AI 模拟仅为“预演沙盘”，复杂场景与重大伦理决策必须由带教医师现场督导，严禁直接将 AI 结果应用于临床。学员完成 AI 模拟训练后，需在带教指导下开展对应场景的真实临床实践并撰写反思日志，推动认知向职业行为转化。

1.2 AI 赋能知识技能

知识技能是岗位胜任力的核心支撑，涵盖理论知识、临床技能与临床思维三大维度。AI 依托知识整合、虚拟仿真、智能评估与交互引导技术，可实现全链条赋能。

理论学习层面，知识图谱技术可系统梳理眼科疾病诊疗脉络，帮助学员快速搭建知识体系，深化对糖尿病性视网膜病变分级、病理性近视等眼底疾病的认知。一项纳入 90 名眼科住培学员的随机对照研究显示，AI 辅助眼底病变识别能力较传统讲座组提升显著^[4]。定制化主动学习工具可基于临床指南生成个性化习题，动态调整难度，实现精准自主学习。国内前瞻性研究证实，眼科住培医师使用大语言模型辅助学习后，考核平均准确率由 60.75% 提升至 79.00%，增幅达 18.25%，指南学习效率显著提高^[5]。临床技能层面，大语言模型可辅助病史采集生成规范专科病历，减少文书耗时。虚拟/增强现实（virtual reality/augmented reality, VR/AR）技术依托高精度三维建模构建低风险、可重复的沉浸式训练环境，VR 眼底镜训练平台可规范操作手法、提升病变识别准确率^[6]。AI 联合 VR/AR 手术模拟器（如 EyeSi、HelpMeSee 虚拟手术模拟器）可精准模拟白内障超声乳化、微创玻璃体切除等显微手术场景，结合动作捕捉技术提取关键操作参数并即时量化反馈，缩短手术技能学习周期。应用智能化高仿真模拟教学组学员理论知识与临床实践得分均显著高于传统教学对照组^[7]。临床思维是住培培养的核心难点，AI 可突破时空局限搭建交互式训练平台：临床对照研究显示住培医师联合 AI 辅助诊断青光眼的灵敏度由 50.0% 提升至 80.4%^[8]。专科 AI 模型可辅助角膜病、糖尿病性黄斑水肿、眼睑肿瘤等疾病诊断，对比学员结果即时暴露认知盲区^[9, 10]。生成对抗网络可合成感染性角膜炎等高质量眼病图像，解决病例匮乏难题^[11]。推理决策引导上，交互式推理代理可模拟专家决策逻辑分步引导学员完成鉴别诊断与治疗方

案推导，培养反思性临床思维^[12]。训练全程遵循“先独立研判、后 AI 对照”的操作规范：学员须先独立形成诊断思路与手术方案，再对照 AI 结果查漏补缺，避免思维路径依赖。手术模拟训练设置明确合格阈值，经带教教师综合

评估后方可准许学员参与真实手术操作，保障临床安全。

1.3 AI 赋能病人照护

病人照护是眼科临床工作的中心，包括临床决策、患者管理与健康教育。眼科亚专科繁多、疾病谱复杂、住院周转快，传统培训存在病例接触不均、个体化决策培养不足、宣教时间有限等短板。AI 依托多模态数据融合与智能交互技术，可助力学员实现患者精细化、系统化管理。临床决策方面，多模态 AI 可整合影像、病史、检验等多源数据，辅助视网膜血管疾病、角膜溃疡、视网膜脱离等疾病分期研判，还可动态监测青光眼病程进展、预测视力预后，支持个体化诊疗方案制定^[13, 14]。患者管理方面，智能病例分配算法根据学员能力短板精准推送亚专科病例，保障各亚专科学习均衡性^[15]。智能可穿戴设备可实时监测患者术后不良用眼行为，AI 虚拟助手自动推送用药提醒与复诊通知，提升随访连续性。患者教育方面，大语言模型可将干眼症、白内障、黄斑变性等常见眼病知识转化为通俗宣教内容。AI 聊天机器人可实时答疑、提升用药依从性，学员可借鉴其互动逻辑优化自身宣教能力。病人照护的核心始终是“人”而非“数据”，AI 无法捕捉患者心理、社会背景等非医学信息。可推行“双轨并行”协同模式：学员先独立制定诊疗照护方案，参考 AI 建议后明确标注 AI 辅助内容；带教老师要从技术与人文双重维度审查，坚守医师临床决策第一责任人的底线。

1.4 AI 赋能沟通合作

沟通合作是医疗高效运转的重要支撑，涵盖医患沟通、团队合作、领导与管理能力。传统标准化患者模式成本高、耗时长，团队协作与领导力培养多依赖临床被动积累，AI 依托虚拟仿真与多智能体技术提供创新路径。AI 虚拟患者可模拟不同年龄、背景的患者及家属，还原眼科术前风险告知、儿童眼病家属安抚等高难度场景，结合 VR 增强沉浸感，实时评估沟通表现，还可模拟医疗纠纷场景训练学员矛盾化解能力。多智能体技术构建包含医师、护士、麻醉师等多角色眼科手术虚拟场景，学员练习术中指令传递、器械交接与应急处置，提升团队配合意识^[16]。AI 可生成跨专业病例，构建多学科协作场景，模拟专科观点分歧，训练学员统筹决策能力。

1.5 AI 赋能教学能力

教学能力是医学事业传承的重要保障。AI 依托大语言模型与计算机视觉技术，从三方面提供支撑：临床带教方面，大语言模型能够根据眼科教学大纲快速生成讲义、病例与分层考核试题。可自动标注斜视等手术视频中的关键步骤与易错点，生成结构化带教脚本；构建眼底阅片专家题库，辅助开展低年资带教。医学科普方面，AI 可将专科知识转化为适配不同受众的科普文本，结合数字人技术快速制作眼科特色科普内容，丰富传播形式^[17]。跨专业教学方面，可整合交叉学科知识生成教学材料，模拟护士、药师等专业视角提问，训练学员通俗化讲解眼病知识的能力，打破学科壁垒。AI 可有效减轻教学准备的事务性负担，但生成的教学材料须标注“AI 辅助生成”并经带教老师复核后方可使用。可通过“AI 教案改造赛”等形式引导学员修正 AI 教案中的逻辑缺陷与知识点偏倚，建立批判性评估习惯。

1.6 AI 赋能终生学习

终生学习是眼科医师职业长效发展的核心要求。AI 可从自我提升、循证实践、审辩性思维、学术研究四个维度搭建成长路径。AI 可链接医嘱系统、电子病历系统与住培管理系统，分析诊疗行为生成能力画像，精准识别短板并引导自主查漏补缺。实时追踪眼科前沿研究与指南更新，整合专科文献生成循证决策摘要，帮助快速获取高质量证据。借助“思维链”呈现多元诊疗思路，辅助评估文献质量与证据可靠性，识别研究缺陷，培养独立审慎的思辨能力^[18]。学术研究层面，AI 可结合眼科临床实际问题挖掘研究空白，协助梳理文献脉络、搭建论文框架、润色文本，还可提供数据分析、统计建模编程支持，提升科研效率^[19]。

AI 提供了高效的工具支撑，但不能替代医师的独立思考与学术判断，需引导学员科学规范使用 AI：文献检索与信息整合阶段发挥 AI 效率优势，证据评估与结论形成阶段坚持独立思考；学术研究中明确标注 AI 使用范围，恪守学术诚信。

为验证上述赋能路径的实际教学效果，本研究以川北医学院附属医院眼科住培基地 26 名在培学员为对象开展同期对照研究：试验组 13 人采用 AI 辅助融合教学模式，覆盖 VR 眼底镜训练、AI 阅片纠错、虚拟患者沟通、智能病例推送等核心模块；对照组 13 人采用常规传统带教模式。培训 3 个月后考核显示，试验组眼底阅片准确率较对照组提升 17.8%，临床技能考核平均分提升 12.3%，职业素养情景模拟与医患沟通得分提升 9.1%，初步验证了 AI 多维度赋能住培核心胜任力的实践价值。

2. AI 赋能眼科住培的挑战与对策

尽管 AI 在眼科教育与临床领域应用潜力显著，但其深度融入住培体系仍面临五大系统性挑战（见图 1），既涉及技术性能本身，更关乎医学教育核心价值传承与医疗安全底线。只有系统识别并妥善应对，方能保障 AI 真正成为眼科住培质量提升的助力而非隐患。

10.12201/bmr.202609.00001V1

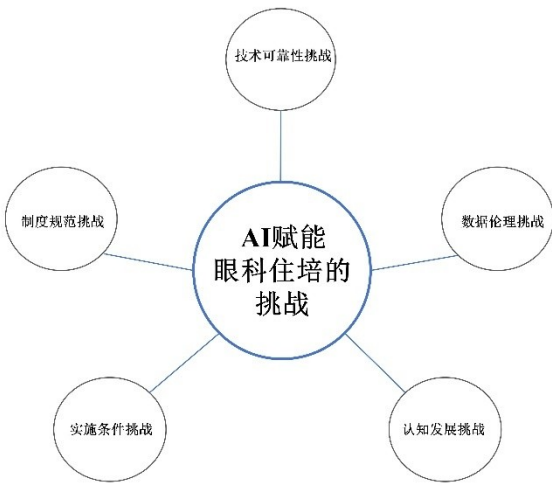


图 1.AI 赋能眼科住院医师规范化培训的五大挑战

2.1 技术可靠性挑战

技术可靠性是基础前提，核心存在三重风险：生成式 AI 幻觉易输出错误专科内容、虚构文献，误导学员临床思维；算法“黑箱”导致决策机制不透明，责任归属模糊；眼科 AI 工具缺乏统一技术标准，不同系统诊断结果差异显著，制约住培质量的标准化。对此需构建全方位质控与标准体系：建立指南知识库校验、资深医师人工复核、置信度标注的三级审核机制，降低幻觉风险；发展可解释人工智能技术，可视化呈现模型决策依据；制定眼科 AI 教学工具准入制度，经严格测评后方可纳入住培体系。

2.2 数据伦理挑战

数据伦理是重要保障，当前面临困境有：眼科影像采集与标注标准不统一，罕见病数据匮乏，合成影像易混杂虚假病理特征；主流模型训练数据人口多样性不足，算法公平性存在缺陷；临床影像去标识化仍存在身份溯源可能，跨机构教学共享存在隐私泄露风险。对此可构建三重治理机制并配套专科化伦理课程：将数据伦理纳入住培入科必修课，设置 4 学时理论+ 2 学时案例研讨，考核合格方可参与 AI 教学；统一影像采集与标注标准，依托联邦学习实现多中心数据安全共享；要求教学用 AI 提交公平性验证报告，采用差分隐私技术实现数据深度脱敏，建立分级访问权限与知情同意制度。

2.3 认知发展挑战

AI 重塑医学教育认知生态的同时伴随多重风险：过度使用易引发“认知卸载”，损害学员认知自主性与批判性思维。带教老师角色转型滞后，难以引导人机协同学习。对此构建“分层适配一场景明界一量化管控”三位一体培养体系。一是三学年递进式分层适配：一年级侧重基础规范，AI 仅开放理论题库、操作模拟与病历辅助功能；二年级侧重思维训练，开放 AI 辅助阅片、鉴别诊断提示功能，确立“独立思考优先”的核心范式；三年级侧重综合提升，适度开放复杂病例推演、教学素材生成功能。二是明确教学场景人机权责边界：眼底阅片训练场景中，学员独立出具诊断与鉴别依据，AI 仅承担病灶标注、参考诊断职能，带教教师针对差异点精讲并考核独立诊断能力；眼科急诊病情告知场景中，设置眼球穿通伤、孔源性视网膜脱离等紧急场景，学员独立完成病情告知与家属安抚，AI 模拟焦虑状态的患者及家属并输出沟通规范性量化评分，带教教师评定沟通的合规性与人文适配性。三是设置防依赖量化管控标准：学员每周 AI 辅助阅片量不超总训练量 40%，AI 辅助病历占比不超当月总量 30%；每月开展 1 次无 AI 闭卷思维考核，成绩占总成绩 60% 以上；连续 2 次考核不合格者下调 AI 使用权限，辅导复测合格后恢复。同步将 AI 数字素养纳入核心课程，加强带教师资数智胜任力建设，推动其向学习设计师与思维引导者转型^[120]。

2.4 实施条件挑战

我国医疗机构软硬件与师资水平区域差异显著，制约 AI 教学资源均衡落地：发达地区三甲眼科基地可配置高端 VR 手术模拟器开展沉浸式实训，基层及欠发达地区硬件配置不足、网络薄弱等问

题，难以支持大型 AI 教学模型运行；基层带教人员缺乏系统 AI 教学培训，数智素养整体偏弱。对此可分层推进适配化建设：面向基层基地研发轻量化微信端、网页端 AI 教学工具，内置阅片题库、指南速查等模块，无需高端硬件即可开展碎片化学习；建立省级对口帮扶机制，省级基地每季度开展 1 次线上带教师资培训，定向补齐基层师资短板，逐步缩小区域资源差距。

2.5 制度规范挑战

当前 AI 医学教育缺乏明确制度规范与监管体系，眼科住培呈现“技术先行、制度滞后”特征：AI 教学全流程责任主体界定不清，多数基地仅将 AI 作为非正式辅助工具；缺乏专科化质量标准与评估机制，通用标准难以适配眼科多模态教学需求。对此可构建多主体协同的制度规范体系：建立“基地申报—省级专科质控中心审核—备案入库”的三级准入制度，工具上线前须提交技术参数、临床验证数据与 3 名以上副高专家审核意见；建立年度动态评估机制，定期抽检教学效能与安全性，不合格者清退资源库；同步建立精准问责机制，明确全流程权责边界，依托行业协会制定专科质量标准。

3.总结与展望

人工智能可从六大核心胜任力维度系统性赋能眼科住培，有效弥补传统培训短板，但其深度落地仍面临五大系统性挑战，需配套完整治理体系方能实现安全可持续应用。展望未来，可按三阶段稳步推进数智化建设：短期完成单基地智能教学平台搭建，将阅片训练、操作模拟、思维推演等过程性数据纳入住培日常形成性评价，实现培训方案动态适配；中期构建区域级 AI 教学资源平台，将人机协同测评模块融入结业考核，实现技能考核标准化量化评分；长期依托专科垂直大模型与多模态智能体建成“评估—训练—反馈”全链路智能闭环，形成全国统一的眼科住培数智化认证标准，实现培训全流程动态质量管控。

未来需始终坚守医学教育人本内核与医疗安全底线，构建人机协同、优势互补的培养体系，为眼健康服务体系提质升级输送兼具临床能力与数智素养的专科人才。

参考文献

- [1] 中国住院医师培训精英教学医院联盟. 中国住院医师培训精英教学医院联盟住院医师核心胜任力框架共识[J]. 协和医学杂志, 2022, 13(1): 17-23.
- [2] Soetikno B T, Nielsen C S, Pollreisz A, et al. Toward autonomous discovery: agentic AI and the future of ophthalmic research[J]. Curr Opin Ophthalmol, 2026, 37(1): 60-65.
- [3] Bies J J, Reddy S, Botros M, et al. Impact of a three-week chatgpt

- 3.5-generated case-based professionalism curriculum for internal medicine residents at a united states medical residency: a pilot study[J]. *Cureus*, 2025, 17(6): e85401.
- [4] Fang Z, Xu Z, He X, et al. Artificial intelligence-based pathologic myopia identification system in the ophthalmology residency training program[J]. *Front Cell Dev Biol*, 2022, 10: 1053079.
- [5] Zhang Z, Huang C, Yu X, et al. Large language models for ophthalmology training in china: a prospective evaluation[J]. *Ophthalmol Sci*, 2026, 6(8): 101270.
- [6] Rai A S, Rai A S, Mavrikakis E, et al. Teaching binocular indirect ophthalmoscopy to novice residents using an augmented reality simulator[J]. *Can J Ophthalmol*, 2017, 52(5): 430-434.
- [7] 李宁, 李娟, 卜京丽, 等. 基于智能化高仿真模拟和 DOPS 的形成性评价在眼科住院医师规范化培训中的应用[J]. *中华全科医学*, 2025, 23(3): 502-505.
- [8] Camacho-García-Formentí D, Baylón-Vázquez G, Arriozola-Rodríguez K, et al. Synergistic AI-resident approach achieves superior diagnostic accuracy in tertiary ophthalmic care for glaucoma and retinal disease[J]. *Front Ophthalmol*, 2025, 5: 1581212.
- [9] Maehara H, Ueno Y, Yamaguchi T, et al. Artificial intelligence support improves diagnosis accuracy in anterior segment eye diseases[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 5117.
- [10] Hui S, Xie J, Dong L, et al. Deep learning-based mobile application for efficient eyelid tumor recognition in clinical images[J]. *npj Digit Med*, 2025, 8(1): 185.
- [11] Xie W, Yuan Z, Si Y, et al. Enhancing medical students' diagnostic accuracy of infectious keratitis with AI-generated images[J]. *BMC Med Educ*, 2025, 25(1): 1027.
- [12] Zhuang Y, Fang D, Li P, et al. Multimodal reasoning agent for enhanced ophthalmic decision-making: a preliminary real-world clinical validation[J]. *Front Cell Dev Biol*, 2025, 13: 1642539.
- [13] Prajna N V, Assaf J, Acharya N R, et al. Multimodal deep learning for differentiating bacterial and fungal keratitis using prospective representative data[J]. *Ophthalmol Sci*, 2025, 5(2): 100665.
- [14] Beuse A, Lopes I V, Spitzer M S, et al. Deep learning detection of retinal detachment: optical coherence tomography staging and estimation of duration of macular detachment[J]. *PLoS One*, 2025, 20(9): e0329951.
- [15] Muntean G A, Groza A, Marginean A, et al. Artificial intelligence for personalised ophthalmology residency training[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(5): 1825.
- [16] Mazur L, Butler L, Mitchell C, et al. Effect of immersive virtual reality teamwork training on safety behaviors during surgical cases: nonrandomized intervention versus controlled pilot study[J]. *JMIR Med Educ*, 2025, 11: e66186.
- [17] 翟铖铖, 贾泽军. GenAI 在医学期刊健康科普多模态矩阵中的应用及思考[J]. *中国科技期刊研究*, 2025, 36(6): 801-808.
- [18] 申正付, 杨秀木, 陈卫东, 等. 人工智能工具使用对医学生自主学习能力的影 响: 一般自我效能感和批判性思维能力的链式中介作用[J]. *蚌埠医科大学学报*, 2025, 50(1): 52-56, 62.
- [19] 惠延年. 人工智能聊天机器人助力眼科和科学论文写作[J]. *国际眼科杂志*, 2024, 24(1): 1-4.
- [20] 中国精英教学医院联盟. 中国精英教学医院联盟医学教师数智胜任力框架共识[J]. *中华医学教育探索杂志*, 2026, 25(7): 641-650.