DOI：10. 3969/j. issn. 2096-045X. 2026. 05. 013

·临床教学·

AI支持下医学影像精准学习教学框架构建与肝脏病例教学原型平台设计

李卫侠[1]　严福华[1,2*]

（1. 上海交通大学医学院附属瑞金医院放射科，上海 200025；2. 上海交通大学医学院医学技术学院，上海 200025）

【摘要】目的　构建人工智能（artificial intelligence，AI）支持下医学影像精准学习教学框架，并以肝脏占位性病变计算机断层扫描（computed tomography，CT）和磁共振成像（magnetic resonance imaging，MRI）诊断教学为例进行原型平台设计。**方法**　以胜任力导向医学教育、精准学习、学习分析、认知诊断和知识图谱为理论基础，构建由能力指标、资源与任务、分析与反馈、治理与改进4个模块组成的教学框架；按照最终诊断明确、影像资料完整、具有教学代表性或鉴别诊断价值及完成脱敏处理等标准，遴选30例肝脏占位性病变病例构建AI学习库。并邀请5名放射科带教教师，采用自制评价表，从框架合理性、病例库与任务设计可操作性、AI提示安全性、教师工作量可接受性、后续推广可行性和总体评价6个方面进行Likert 5级评分，并收集开放性意见。**结果**　形成AI支持下医学影像精准学习四模块框架、肝脏病例库标签方案和分层学习任务。5名放射科带教教师对框架合理性、病例库与任务设计可操作性、AI提示安全性、教师工作量可接受性、后续推广可行性和总体评价的评分分别为（4. 80±0. 45）分、（4. 80±0. 45）分、（4. 80±0. 45）分、（4. 00±0. 00）分、（4. 60±0. 55）分和（4. 40±0. 55）分，总分为（27. 40±1. 14）分。**结论**　该框架可依托教师审核的AI病例库，整合能力画像、薄弱环节识别、任务匹配与形成性反馈，为医学影像个体化训练和过程性支持提供参考，其教学效果仍需后续实证研究验证。

【关键词】医学影像；精准学习；人工智能；病例库；住院医师规范化培训

【中图分类号】R445；G642　　**【文献标识码】**A

Construction of an AI-supported precision learning framework for medical imaging education and prototype design using liver lesion cases

Li Weixia[1], Yan Fuhua[1,2*]

(*1. Department of Radiology, Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China; 2. College of Medical Technology, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China*)

【Abstract】Objective　To develop an artificial intelligence (AI)-supported precision learning framework for medical imaging education and to design a prototype platform using computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) diagnostic teaching of focal liver lesions as an example. **Methods**　Based on competency-based medical education, precision learning, learning analytics, cognitive diagnosis, and knowledge graph theory, a four-module framework was developed, comprising competency indicators, resources and tasks, analysis and feedback, and governance improvement. Thirty focal liver lesion cases were selected to establish a de-identified AI-assisted learning library according to predefined criteria, including a confirmed final diagnosis, complete imaging data, educational representativeness or differential

第一作者　李卫侠，博士，副主任医师，研究方向：医学影像诊断与医学影像教育。
Email：lwx11721@rjh.com.cn

*通信作者　严福华，博士，主任医师，教授，博士生导师，研究方向：医学影像诊断与医学高等教育。
Email：yfh11655@rjh.com.cn

diagnostic value, and appropriate de-identification. Five radiology instructors were then invited to evaluate the framework and prototype design using a self-developed evaluation form. The evaluation covered six aspects: framework rationale, operability of the case library and task design, safety of AI-generated prompts, acceptability of instructor workload, feasibility of further implementation, and overall evaluation. Each item was rated on a 5-point Likert scale, and open-ended comments were also collected. **Results** The study established a four-module AI-supported precision learning framework, a liver case-library annotation scheme, and layered learning tasks. The ratings provided by the five radiology instructors for framework rationale, operability of the case library and task design, safety of AI-generated prompts, workload acceptability, implementation feasibility, and overall evaluation were (4. 80±0. 45) points, (4. 80±0. 45) points, (4. 80±0. 45) points, (4. 00±0. 00) points, (4. 60±0. 55) points, and (4. 40±0. 55) points, respectively; the total score was (27. 40±1. 14) points out of 30. **Conclusion** Based on an instructor-reviewed AI case library, this framework may support competency profiling, identification of learning gaps, task matching, and formative feedback for individualized medical imaging training. Its educational effectiveness should be further evaluated in empirical studies.

【**Keywords**】medical imaging; precision learning; artificial intelligence; case library; standardized residency training

教育数字化正在推动医学教育从资源建设转向对学习过程和能力发展的持续支持。党的二十大报告[1]明确提出“推进教育数字化,建设全民终身学习的学习型社会、学习型大国”。《教育强国建设规划纲要(2024—2035年)》[2]强调以教育数字化开辟发展新赛道、塑造发展新优势;《关于加快医学教育创新发展的指导意见》[3]提出推进信息技术与医学教育教学融合,提高医学人才培养质量。在上述背景下,医学教育改革的关键不只是扩充数字资源,更在于利用数字技术改进学习过程支持和能力培养方式。

岗位胜任力导向医学教育(competency-based medical education,CBME)逐渐成为医学教育改革的重要方向[4-5]。该理念强调以临床岗位胜任能力和实际工作为导向,关注学习者在真实或近真实情境中综合运用知识、技能、临床推理和职业素养解决问题的能力。医学影像学是现代临床诊疗决策的重要支撑学科,其诊断能力形成涉及解剖定位、病灶检出、征象提取、信息整合、机制解释、鉴别诊断和报告表达等连续环节。随着精准医学与多学科协作诊疗模式的发展,医学影像教育的核心问题已不再是单纯“如何识别图像”,而是如何帮助学习者形成面向临床问题的结构化诊断思维和可迁移的岗位胜任能力[6]。

然而,当前医学影像教学仍多以教学阅片、小讲课与病例讨论为主,虽然近年来国内外建立了多种影像教学病例数据库与数字化教学平台,但整体仍以病例展示、知识检索与结果评价为核心,对学习过程、认知路径及能力薄弱环节的持续识别与反馈仍相对不足[7-12]。尤其在院校教育、住院医师规范化培训与继续医学教育等不同阶段,学习者在影像基础、临床经验与诊断思维成熟度方面差异显著,传统统一化教学模式已难以充分满足多层级学习者的个性化培养需求。

近年来,人工智能(artificial intelligence,AI)在医学教育领域的应用不断拓展,为个体化学习支持、智能评价与反馈提供了新的技术路径[13-14]。在放射学教育领域,已有研究探索将标准化影像病例集、智能交互学习、自测及在线考试等功能整合至AI辅助教学平台;相关研究[15-16]显示,AI已用于个性化课程、诊断训练与自动评价,但现有研究数量较少,长期教学效果仍缺乏高质量证据。精准学习和精准医学教育强调基于学习者特征、能力状态和发展需求,提供连续、个体化和循证化的学习支持[17-18];学习分析、认知诊断和知识图谱等技术的进展,使学习者能力画像、认知路径识别和动态反馈具备了更可操作的实现路径[19-21]。同时,医学影像教育研究显示,影像判读能力的形成涉及视觉搜索、征象识别、信息整合和诊断推理等多层次认知过程,不同阶段学习者在知识基础、阅片经验和推理策略方面存在明显差异[22-23]。因此,构建AI支持下的医学影像精准学习框架,既是医学影像教学改革的现实需要,也是医学教育数智化转型的重要切入点。

基于上述背景，本文结合医学影像教学特点、精准学习与CBME理念，提出AI支持下的医学影像精准学习教学框架，并以肝脏占位性病变病例库为例进行原型平台设计。该平台不以训练独立影像诊断模型为目的，也不替代教师的教学判断，而是在教师标注和审核的病例库基础上，将能力画像、薄弱环节识别、任务匹配、知识图谱支持与形成性反馈融入教学流程，以探索医学影像个体化训练和过程性学习支持的新路径。本文重点关注教师主导下病例资源、分层任务与形成性反馈的教学组织方式，为不同学习阶段的影像诊断能力培养提供可操作的设计参考。

1　医学影像精准学习教学框架的理论基础与设计原则

在上述理论和现实需求基础上，本研究将医学影像诊断能力理解为一个连续形成的认知过程。学习者需先完成影像解剖定位和病变检出，再通过直接征象与间接征象整合判断病灶性质，并进一步结合病理生理机制形成诊断依据、鉴别诊断排序和规范化报告表达。因此，医学影像精准学习不应仅停留于病例浏览或诊断结论判断，而应按照“结构认知–征象整合–机制理解–诊断决策–报告表达”的连续过程设计病例训练任务[22-23]。

基于此，本研究遵循4项设计原则。①坚持教师主导与人机协同。病例筛选、标签审核、评分标准和最终反馈由教师完成，AI主要承担学习者作答记录、报告修订记录和反馈信息的整合，并辅助识别薄弱环节和匹配学习资源[13-14,17-20]。②坚持证据支持。学习者能力画像应来自入科测验、能力自评、病例作答、报告修订、提示调用记录及教师评价等可追踪资料。③坚持任务匹配。病例任务匹配不以疾病名称为唯一依据，而是综合学习者能力薄弱环节和病例任务属性进行匹配。④坚持边界清晰。AI提示仅用于教学训练，不作为临床诊疗决策依据；涉及真实病例资料时应完成脱敏处理，评价病例不纳入AI学习库。

2　AI支持下医学影像精准教学框架与原型平台设计

本研究构建的AI支持下医学影像精准学习教学框架由能力指标、资源与任务、分析与反馈、治理与改进4个相互衔接的模块组成。能力指标模块用于明确训练目标与评价维度；资源与任务模块用于提供病例知识库、知识图谱和分层任务；分析与反馈模块基于学习者的作答过程和报告修订情况识别能力薄弱环节，并提供针对性反馈；治理与改进模块则汇总群体学习数据，用于优化病例库建设、任务难度设置和教学安排[4-6,17-21]。4个模块共同构成“能力评估–任务匹配–学习作答–形成性反馈–教师审核–教学改进”的运行闭环：能力指标为任务设计提供目标依据，资源与任务模块组织分层训练，分析与反馈模块提供过程性支持，治理与改进模块则将教学实施中的共性问题反馈至病例库和教学方案优化（图1）。

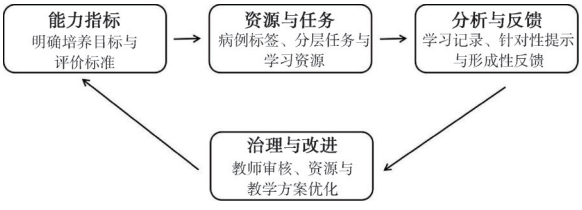


图1　医学影像精准学习教学运行闭环图

2.1　能力指标模块

在能力指标模块中，本研究将医学影像诊断能力整合为4个递进层级：病灶检出与解剖定位、征象提取与病变性质初步判断、机制解释与鉴别诊断排序、结构化报告与临床沟通。上述层级分别对应基础层、进阶层、高阶层和表达层任务，体现了影像诊断由病变识别、征象分析、机制解释到报告表达的连续过程。平台运行时，教师可依据培养阶段和教学目标确定重点能力层级及评价标准；AI则根据学习者在各层级任务中的作答表现和报告修订情况，辅助形成能力画像，并为后续任务匹配和反馈提供依据。

2.2 资源与任务模块

在资源与任务模块中，病例知识库标注是平台的运行基础。每例病例需标注脱敏病例编号、最终诊断、最终诊断依据、检查方式或序列及增强扫描期相、病灶部位、大小、形态、强化方式、关键征象、病理机制、难度等级、训练目标、常见误判点和引导问题链。其中，最终诊断指病例的诊断结果；最终诊断依据可包括病理结果、典型影像表现、临床随访结果或多名高年资放射科医师一致意见。上述标注并非简单记录病例名称，而是建立“影像解剖-病理机制-影像征象-疾病谱系-鉴别诊断-临床决策”的结构化关联[7-12,21]，使病例从静态展示材料转化为能力训练单元。平台可进一步依据病例标签和任务属性，将病例转化为基础层、进阶层、高阶层和表达层任务，分别对应病灶检出与解剖定位、征象提取与病变性质初步判断、机制解释与鉴别诊断排序、结构化报告与临床沟通等能力目标。

2.3 分析与反馈模块

在分析与反馈模块中，薄弱环节识别与任务匹配是平台运行的核心。学习者提交病例分析或报告草稿后，系统可结合阅片顺序、征象选择、诊断依据、鉴别诊断排序和报告修订过程，判断其在不同任务层级中的能力薄弱环节[19-20]，如基础层的解剖定位不准确、进阶层的征象描述不完整或强化方式判断错误、高阶层的机制解释不足或鉴别诊断排序不合理，以及表达层的报告结构不清或临床相关性不足。反馈内容应尽量具体指向可修正环节，如提示“未关注病灶强化方式”“报告中缺少病灶边界或血管侵犯描述”“鉴别诊断未结合病史或生化检查”等，而不是仅提示“诊断错误”。对低于预设要求的能力层级，AI可匹配相应病例任务、知识图谱节点和引导问题链；教师根据教学目标和学习者实际表现调整任务匹配顺序与训练负荷。

2.4 治理与改进模块

在治理与改进模块中，平台可汇总不同学习者在病例作答、报告修订、提示调用和教师评价中的共性问题，帮助教学团队识别群体性薄弱环节。如若多数学员在进阶层反复出现强化方式判断错误，或在高阶层反复出现机制解释不足、鉴别诊断排序不合理等问题，教师可据此调整病例库构成、任务难度梯度和教学重点。该模块的目的不是对学习者进行简单排名，而是为病例库维护、教学内容优化和后续评价设计提供依据（表1）。

3 肝脏占位性病变病例库与分层任务设计示例

以肝脏占位性病变计算机断层扫描（computed tomography，CT）和磁共振成像（magnetic resonance imaging，MRI）诊断教学为例进行案例设计。该类病变涉及病变检出、肝段定位、强化方式判断、肝硬化背景识别、胆管扩张、血管侵犯和临床资料整合等环节，既能训练基础图像观察能力，也能体现征象整合、机制解释、鉴别诊断排序和报告表达等较高层次能力，适合用于展示由“结构认知-征象整合与病变初步定性-机制理解与鉴别诊断排序-结构化报告与临床沟通”的分层递进训练路径[22-23]。病例库建设并不局限于单一病种，而是面向常见良恶性肿瘤及易混淆病变类型。平台初期可纳入肝细胞癌（hepatocellular carcinoma，HCC）、肝内胆管细胞癌（intrahepatic cholangiocarcinoma，ICC）、肝转移瘤、肝血管瘤及局灶性结节性增生等病例，后续扩展至感染性、炎性及少见肿瘤性病变。

考虑首批病例质量控制和标注一致性，本文以HCC、ICC、肝转移瘤和肝血管瘤作为重点标注病种，用于展示病例标签、知识图谱节点、引导问题链和任务匹配规则的设计方法。AI学习库拟选取经脱敏处理的非评价病例30例，其中HCC 10例、ICC 8例、肝转移瘤6例、肝血管瘤6例。病例标注重点包括疾病类型、检查方式、关键征象、病理机制、最终诊断依据、难度等级、训练目标和常见误判点。上述病例主要用于构建知识图谱节点、典型征象示例、机制解释、相似病例比较和任务匹配规则，不用于训练独立影像诊

表1　AI支持下医学影像精准学习教学框架构成

模块	核心内容	AI支持方式	教师职责
能力指标模块	将医学影像能力分解为影像解剖识别、病灶定位、征象提取、机制解释、鉴别诊断、报告表达和临床沟通等指标；并根据培养阶段设置不同要求	记录学习者在不同能力维度中的作答表现和报告修订情况，辅助形成能力画像	确定培养目标、能力指标、分层要求和评价标准
资源与任务模块	建设知识图谱和病例任务库，围绕“影像解剖-病理机制-影像征象-疾病谱系-鉴别诊断-临床决策”建立结构化关联；将病例设计为结构识别、病灶定位、征象标注、诊断依据陈述、鉴别诊断排序和报告书写等任务	根据病例标签和任务属性，匹配分层任务、知识图谱节点和引导问题链，使病例由展示材料转化为能力训练单元	完成病例筛选、脱敏处理、最终诊断依据审核、标签标注、知识图谱节点维护和任务设计
分析与反馈模块	分析学习者阅片顺序、征象选择、诊断依据、鉴别诊断排序、报告修订过程，识别可能的能力薄弱环节	提示遗漏征象、证据链缺口、机制解释不足和报告缺项，并匹配相应强化训练内容	审核AI识别结果，结合病例难度和学习者阶段进行针对性讲解、形成性反馈和最终评价
治理与改进模块	基于群体学习数据发现课程和病例库薄弱点，如某类强化模式、鉴别诊断或报告表达反复出错	汇总高频错误、任务完成率、病例使用情况和提示采纳情况，为教学改进提供数据线索	优化病例库建设、病例梯度、教学设计、轮转安排和阶段考核

注：病例标签包括病种类型、检查方式、关键征象、最终诊断依据及易错点等；任务属性包括能力目标、难度层级、任务形式及反馈重点等；能力画像指基于测验、自评、病例作答、报告修订和教师评价形成的学习者能力状态描述。

断模型，也不纳入后续评价病例。

同一病例可根据能力目标转化为4类学习任务。基础层侧重病灶检出与解剖定位；进阶层侧重征象提取与病变性质初步判断；高阶层侧重机制解释与鉴别诊断排序；表达层侧重结构化报告与临床沟通。通过上述设计，平台可将同一病例从单一阅片材料转化为不同层级的能力训练任务，并根据学习者薄弱环节匹配相应任务和反馈内容。具体而言，病例标签中的关键征象、病理机制、常见误判点和难度等级，分别与相应能力目标、任务形式和反馈重点对应；同一病例可因训练目标不同而承担从基础观察到报告表达的不同教学功能（表2）。

表2　肝脏占位性病变影像诊断精准学习任务设计示例

层级	能力目标	病例任务	AI支持内容	教师反馈重点
基础层	病灶检出与解剖定位	判断病灶所在肝段、肝内分布、数量及与血管等结构的关系，识别病灶及相关背景改变	提供肝段解剖、肝内血管走行和常见背景改变提示	纠正肝段定位错误、病灶遗漏、数量判断错误及背景改变识别不足
进阶层	征象提取与病灶性质初步判断	描述病灶形态、大小、边界、密度或信号、强化方式等直接征象，并结合肝硬化、胆管扩张、血管侵犯等间接征象形成初步诊断	提供典型强化模式、直接征象、间接征象和相似病变对照提示，提示遗漏征象和易混淆征象	引导学习者补充遗漏征象，纠正强化方式判断错误，强化直接征象与间接征象的综合分析
高阶层	机制解释与鉴别诊断排序	结合病理生理机制解释影像表现，说明支持主诊断的证据链，并对HCC、ICC、肝转移瘤、肝血管瘤等进行鉴别诊断排序	提供病理机制、关键鉴别点和相似病例比较提示	强化“征象-机制-诊断”逻辑链，纠正证据链不完整、机制解释不足和鉴别诊断排序不合理
表达层	结构化报告与临床沟通	完成影像诊断报告，表达主诊断、诊断依据、鉴别诊断排序及进一步建议	提供结构化报告模板、缺项提示和临床问题回应提示	修改报告结构、诊断逻辑、临床相关性和表达规范性

4 原型平台教学流程与AI支持方式

为使原型平台与实际教学流程衔接，本研究将其运行过程设计为课前准备、课中训练和课后反馈3个环节。

4.1 课前阶段

课前阶段，教师根据培养目标和病例特点确定训练主题、任务层级及评价重点，并审核AI病例库中的诊断依据、知识图谱节点、典型征象、机制解释和引导问题链。学习者完成自评和入科测验后，平台结合其既往作答表现和报告修订记录，辅助生成初步能力画像，并匹配相应学习资源；教师对能力画像和资源匹配结果进行审核校正。如对病灶定位薄弱者匹配肝段解剖与病灶检出任务，对强化方式理解不足者推送相关征象节点和相似病例比较内容。

4.2 课中阶段

课中阶段，学习者先独立完成病例观察、征象提取和初步报告，平台记录作答过程，但不直接给出最终诊断。学习者提交初步结果后，平台依据任务层级和作答表现识别薄弱环节，并推送相应强化训练内容：基础层侧重病灶检出与解剖定位，进阶层侧重直接征象和间接征象整合，高阶层侧重机制解释和鉴别诊断排序，表达层侧重结构化报告和临床问题回应。强化训练内容包括相似病例比较、知识图谱节点、引导问题链和报告缺项提示等。教师主要负责审核平台反馈是否准确、任务匹配是否合理，并根据学习者共性问题补充或修订知识图谱节点、病例标签和反馈模板，从而持续优化平台支持质量。系统所提供的提示以教师审核后的病例标签、任务规则和反馈模板为依据，主要用于提示遗漏信息和支持学习者修正思路；教师仍对提示内容、教学解释和任务调整负责。

4.3 课后阶段

课后阶段，学习者根据平台反馈完成报告修订，平台对报告初稿与修订稿进行比对，记录关键征象、诊断依据、鉴别诊断排序和报告结构的变化，并据此更新能力画像。教师主要审核修订结果、平台反馈和能力画像是否合理，对不准确或不充分的提示进行校正，并进一步完善知识图谱节点、病例标签和反馈模板。AI提示应限定在教师审核后的病例知识库和反馈规则范围内；最终诊断、评分结果和教学评价仍由教师确认[13-14]。平台对学习过程的整理和提示仅作为教学辅助信息，不替代教师的形成性评价与教学判断。

5 放射科带教教师评价方法与结果

5.1 评价对象与方法

为初步评价AI支持下医学影像精准学习教学框架及肝脏病例库原型平台设计的可行性，邀请5名放射科带教教师参与评价，其中主任医师1名、副主任医师2名、主治医师2名，带教年限为3～16年，平均（9.20±5.54）年。纳入标准：①具有中级及以上专业技术职称；②参与放射科住院医师规范化培训带教或教学管理工作；③熟悉腹部影像诊断教学。

评价前向带教教师提供教学框架说明、30例肝脏病例库标签方案、四层学习任务、AI提示示例及后续教学评价方案。采用研究团队自行设计的评价表，由带教教师从框架合理性、病例库与任务设计可操作性、AI提示安全性、教师工作量可接受性、后续推广可行性和总体评价6个方面进行评价。各条目采用5级Likert评分法，1分=非常不同意，5分=非常同意，总分30分。采用Excel进行描述性统计，评分结果以均值±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示；开放性意见采用归纳方式整理。

5.2 评价结果

5名带教教师对教学框架及肝脏病例库原型平台进行了评价（表3）。框架合理性、病例库与任务设计可操作性、AI提示安全性、教师工作量可接受性、后续推广可行性和总体评价的评分分别为（4.80±0.45）分、（4.80±0.45）分、（4.80±0.45）分、（4.00±0.00）分、（4.60±0.55）分和（4.40±

0.55)分，总分为(27.40±1.14)分。

开放性意见主要包括：①AI提示应服务于教学训练，重点用于提醒遗漏征象、引导机制解释、完善诊断证据链和提示报告缺项，避免直接给出最终诊断；②30例病例可用于原型平台设计和流程验证，但后续仍需根据教学应用情况逐步扩充病例数量和病种类型；③病例标注字段、知识图谱节点和反馈模板应进一步精简，以降低教师标注和审核负担；④建议先在小范围住培教学中开展预实践，再根据应用反馈完善平台功能和评价方案。根据上述意见，研究团队进一步明确了AI提示边界，调整了病例库标签字段，强调评价病例不纳入AI学习库，并将后续研究重点确定为小样本教学验证。

表3　放射科带教教师评价结果

评价项目	得分（$\bar{x}\pm s$，分）	主要意见	修订处理
框架合理性	4.80±0.45	理论依据较清晰，4个模块衔接较顺畅	进一步突出四模块运行逻辑及教师与AI分工
病例库与任务设计可操作性	4.80±0.45	肝脏占位性病变作为示例病种较合适，30例可用于原型建设，但后续需扩充病例数量和病种类型	明确30例为原型学习库，后续根据教学应用逐步扩充，并强调评价病例不纳入AI学习库
AI提示安全性	4.80±0.45	AI提示边界较清楚，但应避免直接给出最终诊断	明确AI提示边界，将其限定为征象遗漏提醒、机制解释引导、诊断证据链完善和报告缺项提示；最终诊断结论和评分结果由带教教师审核确认
教师工作量可接受性	4.00±0.00	病例标注、知识图谱节点维护和报告反馈可能增加教师工作量	精简病例标注字段，优化知识图谱节点和反馈模板，减轻教师前期标注及审核负担
后续推广可行性	4.60±0.55	整体适合先在小范围住培教学中试用	将后续应用定位为小样本预实践，逐步完善病例库和任务匹配规则
总体评价	4.40±0.55	总体认可该框架和原型平台设计，但仍需真实教学场景验证	在局限性中说明带教教师评价不能替代学员层面的教学效果评价
总分	27.40±1.14	带教教师整体评价较好，教师工作量为相对薄弱环节	在讨论中重点分析工作量控制和后续验证需求

6　讨　论

本文构建的AI支持下医学影像精准学习教学框架，重点不在于单纯扩充病例数量或引入通用AI问答工具，而是将医学影像诊断能力培养转化为可标注、可训练、可反馈的教学流程。通过能力指标、资源与任务、分析与反馈、治理与改进4个模块，将医学影像诊断能力形成过程转化为可操作的教学流程。

与传统病例库相比，该框架更强调任务化设计和反馈驱动。平台可根据学习者在病例作答、征象选择、诊断依据表达和报告修订中的表现，识别薄弱环节，并推送相应知识图谱节点、相似病例、引导问题链和报告缺项提示。由此，学习者能够在反馈中发现问题，并通过针对性训练修正诊断思路，避免学习停留于典型征象记忆或诊断答案获取。教师的作用也由逐一讲解转向病例标注审核、反馈质量把关、知识图谱维护和教学方案优化，有助于形成更加可持续的人机协同教学模式。

近年来，放射学教育研究已提出由影像病例集、智能交互学习、自测和在线考试构成的AI训练平台框架，并显示AI在个体化学习、诊断训练和自动评价方面具有应用潜力；但现有研究样本量普遍较小，标准化评价和长期教学效果证据仍不足[15-16]。因此，本研究将AI定位为教师审核下的教学辅助工具，其有效性仍需通过真实教学场景中的对照研究和长期随访进一步验证。

以肝脏占位性病变病例库作为示例，有助于将前述框架具体化为可操作的病例标注、知识图谱构建和任务匹配流程。与第3部分所述病例类型和分层任务相对应，本文设计的30例病例库主要承担原型平台建设功能，即用于形成教师审核后的教学资源池、典型征象与机制解释节点、相似病例比较材料和任务推荐规则。其价值不在于病例数量本身，也不在于训练AI形成独立诊断能力，而在于展示如何将病例资源转化为支持薄弱环节识别和针对性训练的教学单元。后续应用中，病例库仍需根据不同培养阶段、病种覆盖范围和评价需求继续扩充，并与评价病例保持相互独立。

5名放射科带教教师为该框架的可行性提供了初步支持，对框架合理性、病例库与任务设计可操作性和AI提示安全性的评分均较高，提示四模块结构、肝脏病例库示例场景及AI提示边界具有一定认可度。教师工作量可接受性评分相对较低，则提示精准学习平台建设的难点不只在技术实现，还在于教师端能否长期参与和持续维护。结合专家开放性意见，后续优化应重点关注3方面：①提高知识图谱节点质量，强化典型征象、形成机制、诊断证据和鉴别诊断之间的关联；②明确AI提示边界，使其主要用于提示遗漏征象、引导机制解释、完善证据链和提示报告缺项，而不直接给出最终诊断；③通过标准化病例标签、可复用反馈模板和分层任务库降低教师标注与审核负担。由此，AI可承担薄弱环节初筛、能力画像生成和资源匹配等工作，教师则主要负责病例筛选、标签审核、反馈质量控制和评价结果解释。为降低前期建设与持续维护负担，教学团队可采用标准化病例标签、可复用的反馈模板和分层任务库，并根据教学应用中的高频问题逐步迭代资源内容。

本研究具有一定局限性：①咨询人数较少，结果仅能反映带教教师对框架设计和原型平台可行性的初步判断，不能替代真实教学效果评价；②30例肝脏病例库属于原型平台初始设计，病例数量、病种构成和任务匹配规则仍需在教学应用中不断完善。后续研究可在小范围住院医师规范化培训教学中开展预实践，重点评价该平台是否有助于改善学习者的征象提取、机制解释、诊断证据表达和结构化报告质量，并确保评价病例不纳入AI学习库，以减少答案暴露对结果的影响。

7 结 语

本研究构建了AI支持下医学影像精准学习教学框架，并以肝脏占位性病变病例库为例完成原型平台设计。放射科带教教师的初步评价显示，该框架在结构合理性、病例库与任务设计可操作性及AI提示安全性方面具有一定可行性。该框架可为医学影像教学中的能力画像、薄弱环节识别、任务匹配和形成性反馈提供设计参考，但其教学效果仍需在真实教学场景中进一步验证。框架的应用重点在于以教师审核的病例资源为基础，组织能力导向的分层训练和过程性反馈，促进病例资源、学习过程信息与教学改进之间的有效衔接。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献声明 李卫侠：论文选题构思，资料整理，理论框架设计，原型平台与教学案例设计，带教教师评价设计与结果整理，论文撰写与修改；严福华：研究思路指导，理论框架把关，原型平台设计及带教教师评价结果审核，论文审阅与修改。

参考文献

[1] 新华社. 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[EB/OL]. (2022-10-25)[2026-07-19]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.html.

[2] 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)》[EB/OL]. (2025-01-19)[2026-07-19]. https://www.gov.cn/gongbao/2025/issue_11846/202502/content_7002799.html.

[3] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于加快医学教育创新发展的指导意见[EB/OL]. (2020-09-23)[2026-07-19]. https://www.gov.cn/gongbao/content/

2020/content_5549881. htm.
[4] Frank J R，Snell L S，Ten Cate O，et al. Competency-based medical education：theory to practice[J]. Med Teach，2010，32(8)：638-645.
[5] Alharbi N S. Evaluating competency-based medical education：a systematized review of current practices [J]. BMC Med Educ，2024，24(1)：612.
[6] Harden R M. Outcome-based education：the future is today[J]. Med Teach，2007，29(7)：625-629.
[7] 胡佳佳，张淼，苗莹，等. 影像医学教学案例库建设[J]. 诊断学理论与实践，2019，18(4)：484-486.
[8] Radiological Society of North America. RSNA case collection [EB/OL]. (2020-04-30) [2026-05-18]. https：//cases. rsna. org/.
[9] European Society of Radiology. Eurorad[EB/OL]. [2026-05-18]. https：//www. eurorad. org/.
[10] 周斌，冯琦，公绪华，等. 影像征象病例库在放射医师住培实践中的应用[J]. 中国继续医学教育，2021，13(31)：89-93.
[11] 乔文礼，汪太松，邢岩，等. 影像医学教学病例库的建设及在医学教学中的应用[J]. 科教文汇，2018(2)：87-88，106.
[12] 姜慧杰，王子昪，孙冉，等. PACS联合网络多媒体在医学影像住培教学中的应用[J]. 中国继续医学教育，2023，15(12)：184-188.
[13] Topol E J. High-performance medicine：the convergence of human and artificial intelligence [J]. Nat Med，2019，25(1)：44-56.
[14] Tozsin A，Ucmak H，Soyturk S，et al. The role of artificial intelligence in medical education：a systematic review [J]. Surg Innov，2024，31(4)：415-423.
[15] Li R，Liu G，Zhang M，et al. Integration of artificial intelligence in radiology education：a requirements survey and recommendations from faculty radiologists，residents，and medical students [J]. BMC Med Educ，2025，25：380.
[16] Hui M L，Sacoransky E，Chung A S，et al. Exploring the integration of artificial intelligence in radiology education：a scoping review [J]. Curr Probl Diagn Radiol，2025，54(3)：332-338.
[17] 曲波. 推动AI与教育深度融合构建精准学习新路径[J]. 中华医学教育探索杂志，2025，24(10)：1297-1300.
[18] Triola M M，Burk-Rafel J. Precision medical education[J]. Acad Med，2023，98(7)：775-781.
[19] Chan T，Sebok-Syer S，Thoma B，et al. Learning analytics in medical education assessment：the past，the present，and the future[J]. AEM Educ Train，2018，2(2)：178-187.
[20] Bangeranye C，Lim Y S. How to use cognitively diagnostic assessments of student performance as a method for monitoring and managing the instructional quality in undergraduate medical education [J]. Acad Med，2020，95(1)：145-150.
[21] Wang S，Lin M，Ghosal T，et al. Knowledge graph applications in medical imaging analysis：a scoping review[J]. Heal Data Sci，2022：9841548.
[22] Wade S W T，Velan G M，Tedla N，et al. What works in radiology education for medical students：a systematic review and meta-analysis [J]. BMC Med Educ，2024，24(1)：51.
[23] Yoon J S，Boutis K，Pecaric M R，et al. A think-aloud study to inform the design of radiograph interpretation practice [J]. Adv Heal Sci Educ，2020，25(4)：877-903.

（收稿日期：2026-05-20，修回日期：2026-08-26）
（本文编辑：高健）

开放获取　本文使用遵循知识共享 署名-非商业性-禁止演绎 4.0 协议（CC BY-NC-ND 4.0），详细信息请访问 https：//creativecommons. org/licenses/by-nc-nd/4.0/。

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