

A national DREEM: exploring medical and dental students' perceptions on their learning environment across Hungary [J]. BMC Med Educ, 2024, 24(1):1211.

[18] ALGOTAR G N, CHAUHAN V N, MEHTA S J. Evaluating the perception of undergraduate medical students about the educational environment by using the Dundee ready educational

environment measure (DREEM) questionnaire [J]. Cureus, 2024, 16(3):e57245.

[19] 熊娟, 段炜. AI 赋能个性化考核评价对临床医学本科生学习效能的影响[J]. 重庆医学, 2025, 54(11):2692-2695.

(收稿日期:2025-04-18 修回日期:2025-11-08)

(编辑:张芄捷)

• 医学教育 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2026.02.042

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20251114.1828.003\(2025-11-14\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20251114.1828.003(2025-11-14))

## AI-OBE 融合教学模式在肺栓塞 CTPA 诊断教学中的应用与实证研究\*

冉君<sup>1</sup> 文凤<sup>2</sup> 牟成维<sup>2</sup> 戴斌<sup>3</sup> 刘思敏<sup>1</sup> 张杨<sup>2△</sup>

(1. 华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科, 武汉 430000; 2. 陆军军医大学第一附属医院放射科, 重庆 400038; 3. 武汉市第一医院肝胆外科, 武汉 430030)

**[摘要]** **目的** 探讨人工智能(AI)-基于成果导向教育(OBE)教学模式在肺栓塞(PE)多层螺旋 CT 肺动脉造影(CTPA)诊断教学中的应用效果。**方法** 采用随机数字表法,选取 2021 年 8 月至 2022 年 8 月在华中科技大学同济医学院附属同济医院临床实习的 104 名 5 年制本科实习生作为研究对象,分为试验组与对照组,每组 52 名。对照组接受传统教学模式,试验组接受 AI-OBE 教学模式。比较两组理论考核成绩、实践考核、综合素养评分。**结果** 试验组的理论考核总分及各维度得分均高于对照组( $P < 0.05$ ),实践考核总分及 AI 运用、阅片能力维度得分均高于对照组( $P < 0.05$ );两组学生图像后处理维度得分比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。试验组在学习态度、临床思维、团队协作和职业素养方面的评分均高于对照组( $P < 0.05$ )。试验组对 AI 辅助系统的接受度达 90.4%(47/52),高于对照组的 65.3%(34/52),差异有统计学意义( $\chi^2 = 9.434, P = 0.002$ )**结论** AI-OBE 教学模式有效提升了学生在 PE CTPA 诊断方面的理论知识水平、实践技能和临床思维能力。

**[关键词]** OBE 理念;人工智能技术;医学影像诊断学;肺栓塞 CT 影像表现

**[中图法分类号]** R445

**[文献标识码]** B

**[文章编号]** 1671-8348(2026)02-0477-04

肺栓塞(pulmonary embolism, PE)是临床急危重症<sup>[1]</sup>,准确及时的影像诊断至关重要<sup>[2-3]</sup>。多层螺旋 CT 肺动脉造影(computed tomographic pulmonary angiography, CTPA)以 90%以上的灵敏度和特异度成为 PE 诊断的“金标准”<sup>[4]</sup>,但 CTPA 结果的解读对于医学生而言存在难点,主要体现在复杂肺动脉解剖结构(尤其是亚段分支)的辨识及大量图像分析(单例 300~600 层)<sup>[5]</sup>。传统影像教学模式以讲授和常规阅片为主,在提升学生对这类复杂病变的系统性诊断能力方面存在局限。成果导向教育(outcome-based education, OBE)强调以明确学习目标(如掌握 PE 的 CTPA 诊断要点)为导向<sup>[6]</sup>,逆向设计教学过程并持续评估改进,为医学技能培养提供了有效的理论框架<sup>[7-8]</sup>。同时,人工智能(artificial intelligence, AI)技术作为影像诊断辅助工具,在临床 PE 检测中展现出

了应用潜力<sup>[9-11]</sup>,可为学习者提供参考。基于此,本研究探讨 AI-OBE 教学模式在提升本科实习生 PE CTPA 诊断理论知识掌握程度、结构化阅片技能及相关核心素养中的应用效果,现报道如下。

### 1 资料与方法

#### 1.1 一般资料

以学号为抽样框,采用随机数字表法,选取 2021 年 8 月至 2022 年 8 月在华中科技大学同济医学院附属同济医院临床实习的 104 名 5 年制本科实习生作为研究对象。采用分层区组随机化设计,分层变量包括性别、年龄及前期影像学课程成绩(高/中/低分段);研究对象年龄范围为 20~22 岁。每层内通过计算机生成随机序列,设置区块大小为 4(主区块)和 2(补充区块),按 1:1 比例将研究对象分配至试验组与对照组,每组 52 名。试验组中男 20 名,女 32 名;

\* 基金项目:华中科技大学研究生教学改革研究项目(2025YB007);华中科技大学同济医学院附属第二临床学院课程思政教学研究基金立项项目(TJSZ2024067);陆军军医大学教育改革研究项目(2021A07)。△ 通信作者, E-mail: zhangyang9981@tmmu.edu.cn。

对照组中男 22 名,女性 30 名。两组性别构成比及年龄分布比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。本研究聚焦 PE 影像诊断教学,严格控制混杂因素,两组师资配置、教学时间(10 个学时)及教材(人民卫生出版社第 9 版《医学影像学》)等关键教学变量完全一致。

## 1.2 方法

### 1.2.1 均衡性检验

为确保两组试验对象初始水平均衡,本研究除性别、年龄外,还纳入前期《解剖学》《病理学》《医学影像学》课程的平均成绩、基于改良临床推理评分量表(满分 20 分)的临床思维初评得分进行组间均衡性检验<sup>[12-13]</sup>。两组基线数据比较差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

### 1.2.2 对照组教学方法

组建由 2 位具有 15 年以上临床及教学经验(均在校级教学竞赛中获奖)医师构成的教学团队。对照组教学实施严格遵循循证医学原则。(1)课程开发阶段:依据《医学影像学》编制教学大纲,将教学内容模块化为病理生理基础(2 个学时)、影像征象解析(2 个学时)和鉴别诊断策略(2 个学时)。(2)教学资源配置:构建包含 180 例经 CT 血管造影(CT angiography, CTA)确诊的 PE 病例库(其中中央型栓塞占 35%、亚段栓塞占 45%、慢性栓塞占 20%),开发结构化教学课件,整合医学数字成像和通信(digital imaging and communications in medicine, DICOM)影像序列(层厚 1 mm)、三维血管重建动画及尸检病理对照图谱。(3)教学实施流程:采用“翻转课堂+实践教学”混合模式<sup>[8-9]</sup>,理论授课前通过微信小程序推送预习资料(文献 12 篇/人、典型影像案例 15 例/人);课堂采用“5E”[参与(engage)、探究(explore)、解释(explain)、拓展(elaborate)、评价(evaluate)]教学法<sup>[14]</sup>,每个学时设置 3~5 个关键问题互动节点,重点解析肺动脉充盈缺损征等特征性表现;教学全程配备双导师实时答疑系统。完成 6 个学时集中培训后,安排 2 周临床实践,要求独立完成 30 例 CTPA 影像判读,并通过结构化报告系统进行诊断一致性评估(Kappa 值 $\geq 0.75$ 为合格)<sup>[15]</sup>。

### 1.2.3 试验组教学方法

试验组以医学影像岗位核心能力(如影像诊断准确性、临床思维、病理机制关联能力)为目标导向设计教学活动。(1)理论知识维度:通过 3D-Slicer 平台的智能解剖图谱实现肺动脉分支可视化教学,要求学生准确识别亚段以上血管解剖结构(目标达成度 $\geq 90\%$ )。(2)实践技能维度:借助联影 uAI-Sphere 辅助诊断系统完成 180 例动态 CTPA 病例分析,亚段栓塞检出率需达到 85%的临床标准。(3)素养维度:通过人机协同诊断模拟训练培养 AI 技术批判性应用能力,要求学生能准确评估算法置信度。教学实施采用“三阶递进”模式:(1)课前预习(2 个学时,自主完成),

通过虚拟解剖平台重点突破肺动脉三维空间认知障碍,利用 3D-Slicer 医学影像处理系统加载标准化肺动脉树三维重建模型,采用容积重建技术标记肺动脉主干及重要段分支,并与 uAI-Sphere 系统勾画的肺动脉血管进行对比分析;(2)线下重点突破(4 个学时),应用迁移学习框架,基于 180 例 PE 临床实际案例分析人工与 AI 标注差异;(3)进阶阶段(4 个学时),开展多案例综合分析,完成症状-影像-治疗决策树训练。

### 1.2.4 多维度评估体系

(1)理论考核设置基础理论(35 题,35 分)、病例分析(7 个案例,35 分)、鉴别诊断(6 个案例,30 分)等部分,共计 100 分。(2)实践考核通过 DICOM 平台实施,设置 AI 技术应用(30 分)、图像后处理技术(30 分)<sup>[10]</sup>、阅片能力(40 分)等部分,共计 100 分。(3)采用改良 Delphi 法构建综合素养评价体系,包括学习态度(25 分)、临床思维(25 分)、团队协作(25 分)、职业素养(25 分)等部分,共计 100 分。评价工具的 Cronbach's  $\alpha$  系数为 0.82~0.91,信效度良好。此外,调查两组学生对 AI 辅助系统的接受度。

## 1.3 统计学处理

采用 SPSS26.0 及 R4.1.3 软件进行双盲数据分析。计量资料经 Shapiro-Wilk 检验,以  $\bar{x}\pm s$  表示,组间比较采用独立样本  $t$  检验(方差不齐时启用 Welch 校正);计数资料以例数或百分比表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 确切概率法。以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组理论与实践考核得分比较

试验组的理论考核总分及各维度得分均高于对照组( $P<0.05$ ),实践考核总分及 AI 运用、阅片能力维度得分均高于对照组( $P<0.05$ );两组学生图像后处理维度得分比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 1。

表 1 两组理论与实践考核得分比较( $\bar{x}\pm s$ ,分)

项目	试验组( $n=52$ )	对照组( $n=52$ )	$t$	$P$
理论考核	80.71 $\pm$ 10.04	75.00 $\pm$ 9.18	3.028	0.003
基础理论	31.13 $\pm$ 3.22	29.50 $\pm$ 3.56	2.460	0.016
病例分析	29.56 $\pm$ 3.21	27.98 $\pm$ 3.87	2.263	0.026
鉴别诊断	20.02 $\pm$ 5.76	17.52 $\pm$ 5.00	2.366	0.020
实践考核	74.79 $\pm$ 8.59	65.88 $\pm$ 11.08	4.581	<0.001
AI 运用	23.31 $\pm$ 3.47	19.85 $\pm$ 5.17	4.012	<0.001
图像后处理	24.12 $\pm$ 2.78	23.13 $\pm$ 3.84	1.490	0.139
阅片能力	27.37 $\pm$ 8.20	22.90 $\pm$ 9.27	2.600	0.011

### 2.2 两组综合素养评分比较

试验组在学习态度、临床思维、团队协作和职业素养方面的评分均高于对照组( $P<0.05$ ),见表 2。

试验组对 AI 辅助系统的接受度达 90.4%(47/52), 高于对照组的 65.4%(34/52), 差异有统计学意义( $\chi^2 = 9.434, P = 0.002$ )。

表 2 两组综合素养评分比较( $\bar{x} \pm s$ , 分)

项目	试验组( $n=52$ )	对照组( $n=52$ )	$t$	$P$
学习态度	17.37±4.32	15.27±2.81	2.940	0.004
临床思维	17.27±3.73	13.71±3.67	4.910	<0.001
团队协作	17.17±3.61	14.90±3.54	3.230	0.002
职业素养	18.00±3.77	15.75±3.35	3.220	0.002

### 3 讨论

本研究聚焦于解决医学影像教学中应用 AI 技术时可能出现的“重工具、轻思维”问题, 避免过度关注 AI 工具本身的技术性能或诊断准确率, 忽视了其在培养学生临床思维、批判性应用能力及与教学目标的系统性整合方面的作用<sup>[16-17]</sup>。为此, 教研组构建了 AI-OBE 教学模式, 并通过随机对照试验来验证其有效性。结果表明, 相较于传统教学模式, 接受 AI-OBE 教学的试验组在理论和实践考核成绩、综合素养评分方面均取得提升。其中, 试验组理论考核成绩表明学生对肺动脉解剖、PE 病理生理及 CTPA 征象等核心知识的掌握更加扎实; 病例分析维度得分反映学生实际应用知识进行 PE 诊断(尤其亚段栓塞识别)的能力更强; 综合素养评分中的临床思维维度评分提示学生在整合影像信息、关联病理机制及鉴别诊断方面的能力得到有效培养。

AI-OBE 教学较好地规避了“重工具、轻思维”的潜在风险。(1)AI-OBE 教学模式的目标导向明确, 聚焦核心能力。本研究以放射科医师 PE 诊断所需核心能力(如血管解剖认知、征象识别、病理关联、AI 批判性应用)为终极目标, 开展逆向教学设计<sup>[18]</sup>。例如, 利用 3D-Slicer 智能解剖图谱突破空间认知障碍<sup>[19]</sup>, 为准确识别血管结构奠定基础; 设定明确的亚段栓塞检出率目标( $\geq 85\%$ ), 并通过 AI 辅助的病例分析训练实现。(2)AI 作为辅助诊断工具服务于能力培养, 既能提升工作效率, 又能明确工作重点。AI 辅助系统(uAI-Sphere)可快速标注疑似血栓区域<sup>[20]</sup>, 将学生从繁复的原始图像筛查中解放出来, 使其能将更多认知资源用于理解征象意义、分析病变特征(如充盈缺损形态演变与临床分期的关联)及构建鉴别诊断逻辑链<sup>[21]</sup>。这解释了试验组在病例分析、临床思维维度得分上的优势。教学中刻意设计了 AI 标注结果(含可能的假阳性/假阴性)的人工复核与差异分析环节。这种“人机协同诊断模拟训练”促使学生主动评估 AI 提示的置信度、理解其局限性, 而非盲目依赖, 进而培养 AI 技术批判性应用能力<sup>[16]</sup>。(3)本研究采用动态反馈与过程评估, 多元化评估体系不仅涵盖标准化理论考核、结构化阅片评估(量化诊断准确性与逻辑

性), 还通过综合素养评分关注学生学习态度、临床思维发展等过程性指标。试验组在临床思维维度的优势, 印证了该教学模式对学生高阶思维能力的促进作用。本研究结果与 OBE 理念在提升医学实践能力方面的有效性报道一致<sup>[7-8]</sup>。更重要的是, 其具体展示了如何将 AI 作为特定任务的辅助工具系统融入 OBE 框架, 进而提升教学效能。这为填补 AI 技术应用与医学教育目标的空缺提供了可操作实例<sup>[17]</sup>。

本研究存在一定局限性。(1)研究对象均来自单一医学院校。未来需联合多中心开展大样本量研究并纳入不同培训阶段学生(如规培生、进修生), 以验证模式的普适性与迁移性。(2)本研究中, 学生图像后处理维度得分比较, 差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), 可能是因为在 AI-OBE 教学中, AI 工具高效生成关键后处理结果(如血管重建), 学生主要进行观察分析, 减少了手动后处理实践机会; 对照组学生虽进行手动操作, 但有限课时内难以熟练掌握这一复杂技能<sup>[22-23]</sup>, 这提示教研组需要在 AI 辅助诊断效率与必要的手动操作技能训练之间进行平衡。(3)当前模式主要应用于 PE CTPA 诊断教学, 后续研究可探索该框架在医学影像其他常见病种教学中的适用性, 如肺结节、肺炎、乳腺结节等疾病<sup>[24-26]</sup>。

综上所述, AI-OBE 教学模式通过明确的能力目标设定、以 AI 为赋能工具聚焦诊断效率提升、批判性思维培养及多元化的评估反馈, 有效提升了学生在 PE CTPA 诊断方面的理论知识水平、实践技能和临床思维能力, 为解决医学 AI 教育中可能出现的“重工具、轻思维”问题提供了实证支持与可复制的实践路径。

**利益冲突:** 所有作者声明不存在利益冲突

### 参考文献

- [1] ORTEL T L, NEUMANN I, AGENO W, et al. American Society of Hematology 2020 guidelines for management of venous thromboembolism: treatment of deep vein thrombosis and pulmonary embolism [J]. Blood Adv, 2020, 4(19):4693-4738.
- [2] DEN EXTER P L, VAN DER HULLE T, KLOK F A, et al. Advances in the diagnosis and management of acute pulmonary embolism [J]. Thromb Res, 2014, 13(Suppl. 2):10-16.
- [3] AN J, NAM Y, CHO H, et al. Acute pulmonary embolism and chronic thromboembolic pulmonary hypertension: clinical and serial CT pulmonary angiographic features [J]. J Korean Med Sci, 2022, 37(10):e76.
- [4] 杨萧琪, 张文建, 黄露. 64 排螺旋 CT 肺动脉造

- 影对肺栓塞患者临床诊断敏感度及特异度的影响[J]. 影像研究与医学应用, 2021, 5(14): 196-197.
- [5] AJMERA P, KHARAT A, SETH J, et al. A deep learning approach for automated diagnosis of pulmonary embolism on computed tomographic pulmonary angiography[J]. BMC Med Imaging, 2022, 22(1): 195.
- [6] SHUJAAT A, SHAPIRO J M, EDEN E. Utilization of CT pulmonary angiography in suspected pulmonary embolism in a major urban emergency department [J]. Pulm Med, 2013, 2013: 915213.
- [7] 温晓娟, 梁彦清. 基于 OBE 理念的混合式教学模式研究: 以管理学课程为例[J]. 高等财经教育研究, 2018, 21(1): 45-49.
- [8] 侯天勇, 陈禹, 饶锐, 等. 基于 OBE 理念的专题研讨课在运动系统教学中的应用和效果评估[J]. 重庆医学, 2021, 50(19): 3409-3412.
- [9] KOU S, CABALLERO L, DULGHERU R, et al. Echocardiographic reference ranges for normal cardiac chamber size: results from the NORRE study[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2014, 15(6): 680-690.
- [10] 陈威, 陈媛, 徐勇, 等. 以问题为基础的教学模式与讲授式教学模式在骨科医学影像学教学中的效果对比[J]. 骨科, 2019, 10(4): 340-343.
- [11] 周娟. 融合人工智能的医学影像教学与实践的思考[J]. 中国当代医药, 2022, 29(30): 147-149.
- [12] ANDREATTA P B, GRUPPEN L D. Conceptualising and classifying validity evidence for simulation[J]. Med Educ, 2009, 43(11): 1028-1035.
- [13] CROSKERRY P. A universal model of diagnostic reasoning[J]. Acad Med, 2009, 84(8): 1022-1028.
- [14] 周苔花, 胡尧尧, 陈潇潇, 等. “5E”教学法联合迷你临床演练评估在护理本科生心内科临床实践教学中的应用效果分析[J]. 医药高职教育与现代护理, 2025, 8(2): 115-119.
- [15] MCHUGH M L. Interrater reliability: the kappa statistic[J]. Biochem Med (Zagreb), 2012, 22(3): 276-282.
- [16] 吴玉婷, 杨文秀, 刘艳洁, 等. 运用智慧教学工具构建病理学本科教学改革体系[J]. 中国继续医学教育, 2022, 14(6): 5-9.
- [17] 胡娟. 基于 OBE 教育理念的 AI 与区块链智能课程教学实践探索[J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(29): 121-123.
- [18] 苟代文, 王国俊, 廖娟. CTA 对肺栓塞的临床诊断价值[J]. 影像研究与医学应用, 2021, 5(4): 149-150.
- [19] EBRAHIMIAN S, DIGUMARTHY S R, HOMAYOUNIEH F, et al. Predictive values of AI-based triage model in suboptimal CT pulmonary angiography[J]. Clin Imaging, 2022, 86: 25-30.
- [20] ROTHENBERG S A, SAVAGE C H, ABUELKASSEM A, et al. Prospective evaluation of AI triage of pulmonary emboli on CT pulmonary angiograms[J]. Radiology, 2023, 309(1): e230702.
- [21] SISTA A K, KUO W T, SCHIEBLER M, et al. Stratification, imaging, and management of acute massive and submassive pulmonary embolism[J]. Radiology, 2017, 284(1): 5-24.
- [22] 龚军伟, 李琦, 陈虹. 肺血栓栓塞症 CT 肺动脉造影检查技术及优化策略[J]. 中国实用内科杂志, 2021, 41(6): 493-497.
- [23] TASLAKIAN B, LATSON L A, TRUONG M T, et al. CT pulmonary angiography of adult pulmonary vascular diseases: technical considerations and interpretive pitfalls[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(11): 2049-2063.
- [24] 刘雨柔, 南岩东, 王在强, 等. 人工智能在肺结节 CT 检测和诊断中的研究进展[J/CD]. 中华肺部疾病杂志(电子版), 2021, 14(6): 833-836.
- [25] 张娴, 刘玉林, 高智勇. 深度学习在医学影像中的应用研究进展[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(10): 2041-2044.
- [26] ZHANG J, WU J, ZHOU X S, et al. Recent advancements in artificial intelligence for breast cancer: image augmentation, segmentation, diagnosis, and prognosis approaches[J]. Semin Cancer Biol, 2023, 96: 11-25.

(收稿日期: 2025-06-25 修回日期: 2025-11-12)

(编辑: 张芃捷)