AI赋能型医学人才“云轨智协”培养模式的理论构建与研究实践

范锐涛　卢佳煜　张旭旭　李家贺　张继朋　李玮　卢强
空军军医大学唐都医院胸腔外科，西安 710038
通信作者：卢强，Email：luqiang@fmmu.edu.cn

【摘要】 目的　适应“新医科”建设对医学人才数字化、智能化培养的新要求，构建并验证“云轨智协”培养模式的可行性与有效性。**方法**　融合教育云平台、PBL+TBL双轨教学与人工智能辅助三大要素，构建“云轨智协”一体化培养模式。选取2025年1月至12月在空军军医大学唐都医院胸外科轮转的120名临床医学专业学位硕士研究生为研究对象，这些学生分为12个批次，随机分配至试验组（“云轨智协”模式，n=60）和对照组（单纯双轨教学，n=60）。轮转结束后，比较两组学生的学习效果和评价。采用SPSS 26.0进行统计分析。**结果**　试验组理论[(44.18 ± 3.12)分 vs. (40.13 ± 3.48)分]、操作技能[(43.82 ± 3.01)分 vs. (39.52 ± 3.42)分]及专科能力[(42.87 ± 3.24)分 vs. (38.73 ± 3.58)分]考核成绩均高于对照组（均P<0.001）；专业实践能力各维度[如临床思维逻辑(22.93 ± 1.11)分 vs. (20.85 ± 1.16)分]、论文答辩各维度及教学评价各条目评分亦均高于对照组（均P<0.001）。**结论**　“云轨智协”培养模式能有效提升医学专业学位硕士研究生的综合能力与学习满意度，为AI赋能型医学人才培养提供了可行的系统化路径。

【关键词】 医学教育；　云轨智协；　教育云平台；　人工智能；　双轨教学

【中图分类号】 R-05；R-4

基金项目：2024年陕西省关键核心技术攻关项目（2024SF-GJHX-27）；空军军医大学唐都医院2024年度学科助推计划项目（2024JSYX005）；空军军医大学2024年校级教学成果立项培育项目（XCG2024PY13）；陕西省2023年度陕西本科和高等继续教育教学改革研究项目（23JZ008）

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20260506-02397

Theoretical framework and practical research of the "Cloud-Track-AI-Collaborative" training model for AI-empowered medical professionals

Fan Ruitao, Lu Jiayu, Zhang Xuxu, Li Jiahe, Zhang Jipeng, Li Wei, Lu Qiang
Department of Thoracic Surgery, Tangdu Hospital, Air Force Medical University, Xi'an 710038, China
Corresponding author: Lu Qiang, Email: luqiang@fmmu.edu.cn

【Abstract】 Objective　To meet the new requirements of digital and intelligent medical talent development under the "New Medical Science" initiative, this study aimed to establish the "Cloud-Track-AI-Collaborative" training model and validate its feasibility and effectiveness. **Methods** Integrating three core elements, namely an educational cloud platform, dual-track teaching (problem-based learning plus team-based learning), and artificial intelligence assistance, we developed an integrated "Cloud-Track-AI-Collaborative" training model. A total of 120 professional master's degree students in clinical medicine rotating through the Department of Thoracic Surgery at Tangdu Hospital, Air Force Medical University, from January to December 2025 were selected as participants. These students were divided into 12 batches and randomly assigned to either the experimental group ("Cloud-Track-AI-Collaborative" model, n=60) or the control group (dual-track teaching only, n=60). After the rotation period, learning outcomes and evaluations were compared between the two groups. SPSS 26.0 was used for statistical analysis. **Results** The experimental group scored higher than the control group in theoretical knowledge [(44.18 ± 3.12) vs. (40.13 ± 3.48) points], procedural skills [(43.82 ± 3.01) vs. (39.52 ± 3.42) points], specialty competency

[(42.87 ± 3.24) vs. (38.73 ± 3.58) points], all dimensions of professional practice competency [e.g., clinical reasoning (22.93 ± 1.11) vs. (20.85 ± 1.16) points], all dimensions of thesis defense, and all items of teaching evaluation (all P<0.001). **Conclusions** The "Cloud-Track-AI-Collaborative" training model effectively enhances the comprehensive competencies and learning satisfaction of professional master's degree students in medicine, providing a feasible and systematic pathway for the training of AI-empowered medical professionals.

【**Key words**】 Medical education; Cloud-Track-AI-Collaborative model; Educational cloud platform; Artificial intelligence; Dual-track teaching

Fund program: Shaanxi Province Key Core Technology Research Project (2024SF-GJHX-27); Discipline Boost Plan of Tangdu Hospital, Air Force Medical University (2024JSYX005); Air Force Medical University Teaching Achievement Cultivation Project (XCG2024PY13); Shaanxi Province Undergraduate and Higher Continuing Education Teaching Reform Research Project (23JZ008)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20260506-02397

医学教育是医疗人才培养的重要环节，传统医学教育以课堂讲授模式为主导，虽便于开展，但存在学生主动性不足、知识碎片化、培养质量参差不齐等局限[1-2]。随着“新医科”建设的推进，医学人才培养面临数字化、智能化的新要求，培养具备AI赋能特征的复合型医学人才已成为医学教育改革的紧迫任务[3]。

为应对传统教育的不足，多种新型教学模式应运而生。以问题为中心的教学强调以学生为主体、问题为导向，有助于培养批判性思维与自主学习能力[4]；以团队为基础的教学侧重小组协作，可有效提升沟通表达与团队协作能力[5]。已有研究表明，PBL与TBL联合的双轨教学在胸外科、急诊医学等领域的教学中可充分发挥学生优势，显著提高其临床综合能力[6-8]。与此同时，教育云平台通过整合跨区域教学资源，突破了传统教学的时空限制[9]；人工智能（Artificial Intelligence，AI）辅助工具则为学生提供了个性化学习支持与智能评价反馈，进一步激发了学习兴趣与效率[10]。

AI赋能型医学人才不仅需要掌握扎实的医学专业知识和临床技能，更应具备运用人工智能工具辅助临床决策、开展医学研究、优化诊疗流程的能力，以及在人机协同环境中进行创新性思维与跨学科协作的素养[11-12]。团队前期研究显示，“教育云+双轨”教学不仅有助于提升学生的学习效果，且更易被学生接受[13]；在此基础上引入AI辅助，有望进一步提升学习效率与培养质量[14]。本研究构建“云轨智协”培养模式，以“云”（教育云平台）为资源与数据中心，以“轨”（PBL+TBL双轨教学）为实践载体，以“智”（人工智能辅助）为认知增强引擎，以“协”为贯穿全程的运行机制，实现三要素的深度融合与学习全过程的动态闭环。研究假设：与单纯双轨教学相比，“云轨智协”模式能更有效地提升医学硕士研究生的理论知识、临床技能、专业实践能力及科研素养，并获得更高的学生满意度。本研究通过对照实验验证该模式的可行性与有效性，以期为AI赋能型医学人才培养提供系统化的实践路径。

1 “云轨智协”教学模式的理论构建

1.1 构建基础

该模式中“云”指网络教育云，这一概念来自云计算，是云计算在教育领域中的迁移，所谓云计算，是一种通过Internet以服务的方式提供动态可伸缩的虚拟化的资源的计算模式[9]。网络教育云是未来教育信息化的基础构架，包括了教育信息化所必需的一切硬件计算资源，这些资源经虚拟化之后构成的平台，即“网络教育云平台”。“轨”是指双轨教学，即PBL+ TBL双轨并行，两者既相互促进，又互相弥补，让教学的效率和质量更上一个台阶[5]。“智”即借助人工智能辅助工具以及平台内置的AI分析功能，如：DeepSeek、豆包等常用的智能软件辅助，提升学生的学习效率，促进学生自主学习动力及效率[14]。“协”是指这几种学习方式协同应用：“双轨教学”获取实践知识，“网络云”获取并更新理论知识，“人工智能”提高自主学习的效率和动力。需要说明的是，本研究所称“云轨智协”模式，并非仅指在双轨教学中叠加某一款AI工具，而是强调以AI作为贯穿学习全过程的认知增强引擎，与云平台、双轨教学形成深度耦合的系统化教学模式。因此，本研究的干预措施本质上是一个教学模式整合包，而非单一变量。试验组与对照组之间的差异是“有无AI赋能”的系统性差异，而非仅限于某一具体工具的

使用。

1.2　要素融合机制

“云轨智协”模式并非“云”“轨”“智”三要素的简单叠加，而是通过数据驱动、流程重塑、角色重构三大机制的协同作用，实现三要素的深度耦合与动态互馈。这三大机制分别根植于不同的教育理论，并构成相互关联的逻辑链条。

数据驱动是“云轨智协”模式的运行基础与智慧引擎。该机制根植于学习分析技术（Learning Analytics）。该理论通过对学习者行为数据的系统测量与分析，实现教学过程的精准优化。该机制具体体现为：平台可记录登录频次、AI提问质量、测试错题分布等行为数据，经多维融合后可构建个体与群体的学习画像，进而为教学决策提供依据——学情数据越完整，资源推送越精准，学习效果提升越显著[15]。由此形成的“数据采集→画像构建→精准干预→效果验证”闭环，正是该机制可检验的逻辑链条。

流程重塑机制借鉴了教育生态学（Educational Ecology）的核心思想。该理论强调教育系统是一个有机整体，教学环节之间应形成动态平衡的循环关系，而非孤立的线性序列[16]。据此，本研究将传统“理论→实践”的单向路径重构为“真实病例引入→云端探究→双轨课堂深化→临床回归→智能评价”的闭环流程，旨在打破传统教学中预习、授课、实践、评价等环节的线性割裂状态。具体体现为：学生在云端探究阶段生成的病例分析报告，直接作为TBL课堂的讨论素材，无需重复整理；课堂中暴露的知识薄弱点，自动触发智能评价阶段的针对性测试；云平台不仅向学生推送学习资源，同时反向采集学生的学习行为数据，用于优化后续资源推荐策略。以“协”为机制，将“云”“轨”“智”有机嵌入学习全过程，重构为一个线上线下融合、理论与实践贯通、学习与反馈同步的闭环流程。

角色重构机制融合了社会建构主义学习理论（Social Constructivism）的最新发展。维果茨基的“最近发展区”理论指出，学习者在“更有知识的他人”指导下能够完成超出独立能力范围的任务[17]。在智能教育场景中，生成式AI可以被视为这一角色，承担知识查询、初步答疑、学情分析等结构化任务，使教师得以聚焦于高阶思维引导与人文素养培育。学生角色则成为积极的自主探索者，在云平台的资源支持与AI的个性化辅助下，更高效地完成知识建构与能力转化。这种人机协同、师生互动的角色网络，是“协”的精髓所在，确保了教育过程的温度与效能并存。

三大机制协同运行，形成“数据驱动为基底，流程重塑为骨架，角色重构为动力”的关系：数据为流程提供决策依据，流程为角色重构创造实践场域，角色重构的成效又通过数据驱动验证，三者闭环联动。

1.3　实施路径

“云轨智协”模式的实施遵循“以病例为中心、以学生为主体、以智能为支撑、以协同为路径”的原则，其具体实施路径包含以下五个相互衔接的阶段：

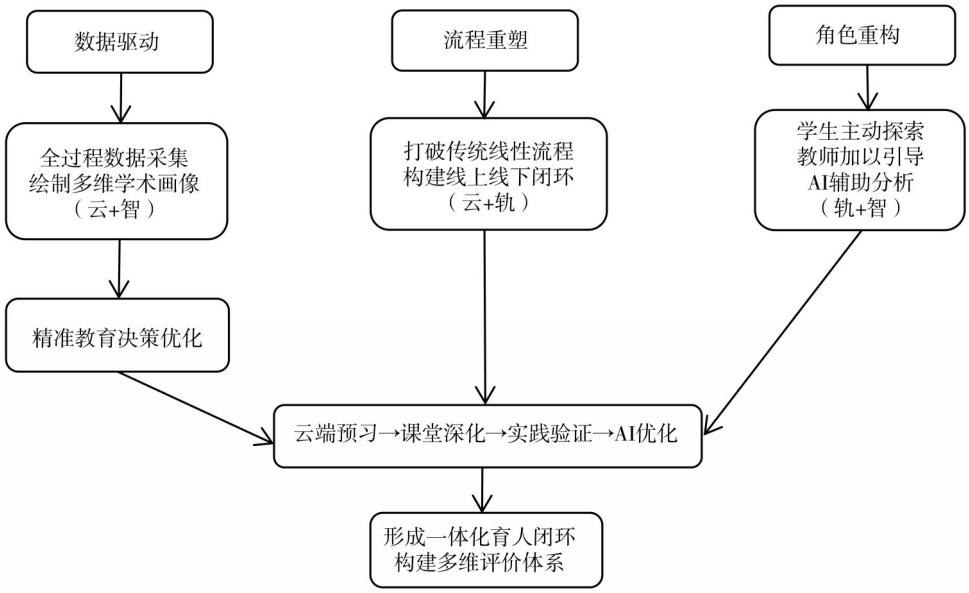


图1　“云轨智协”模式三大核心机制

第一阶段：真实病例引入与问题导向启动。教师从临床中选取典型或疑难病例，组织学生以小组为单位进行实地诊察，完成病史采集等初步临床操作。随后，教师引导学生基于该病例，运用PBL思维，将诊疗过程中产生的疑问转化为一系列具体的临床问题，并通过云交互平台发布，作为学生自主探究的起点。

第二阶段：云端智能支持下的自主探究与协作准备。学生利用DeepSeek、豆包等AI工具，结合平台数字资源进行文献检索、知识梳理。各小组成员在云端平台进行异步讨论与资料共享，协作完成病例分析报告及汇报PPT，并上传至平台。

第三阶段：双轨深度融合的课堂互动与能力深化。开展结构化TBL教学活动。首先进行个人与小组在线测试，案例成果展示与互评、开放性临床决策模拟训练。教师借助AI辅助分析工具进行实时反馈与知识点强化，重点训练学生的批判性思维与临床决策能力。

第四阶段：实践巩固与成果转化。学生回归临床参与病例后续诊疗，或通过模拟设备进行关键技能操作训练，同时，将学习过程整理为教学病例报告发布于平台共享，平台持续推送相关扩展学习资源。

第五阶段：智能评价与个性化反馈。全过程依托云交互平台与AI分析引擎，收集学生在各环节的学习行为数据（平台登录时间、学习时长、资源浏览顺序等）、交互行为数据（AI提问次数与问题类型、讨论区发帖与回复质量等）、测评数据（个人与小组测试成绩、错题分布等）、临床行为数据（病历书写质量评分、病例分析报告评分等）及协作行为数据（TBL课堂发言频次、小组互评分数）。基于上述数据，AI引擎每周自动生成两类画像报告。个人画像以四维能力雷达图的形式呈现给学生，四个维度分别是知识掌握、临床思维、循证能力以及协作贡献。当某一维度评分低于预设阈值时，系统自动标红预警。群体画像则发送给教师，展示班级整体能力分布、高频错题前五位以及需要重点干预的学生名单。

2　教学实践

2.1　研究对象与分组

本研究选取2025年1月至2025年12月期间在我院胸外科进行轮转的临床医学专业学位硕士研究生共120人作为研究对象。所有学生均已完成基础医学及临床“桥梁课程”学习，进入临床轮转阶段，胸外科轮转时长为4周，全年共安排12个轮转批次，每批次10人。采用整群随机分组方法：以轮转批次为随机单位，将12个批次编号为1~12。由不参与教学与分组的研究助理采用随机数表法，读取12个随机数。设定奇数数字对应的批次为试验组，偶数数字对应的批次为对照组，若出现两组批次数量不一致，则重新查表进行调整，以保证最终试验组与对照组各包含6个轮转批次。两组学生在入科时的年龄、性别、既往成绩、已轮转科室数量等方面

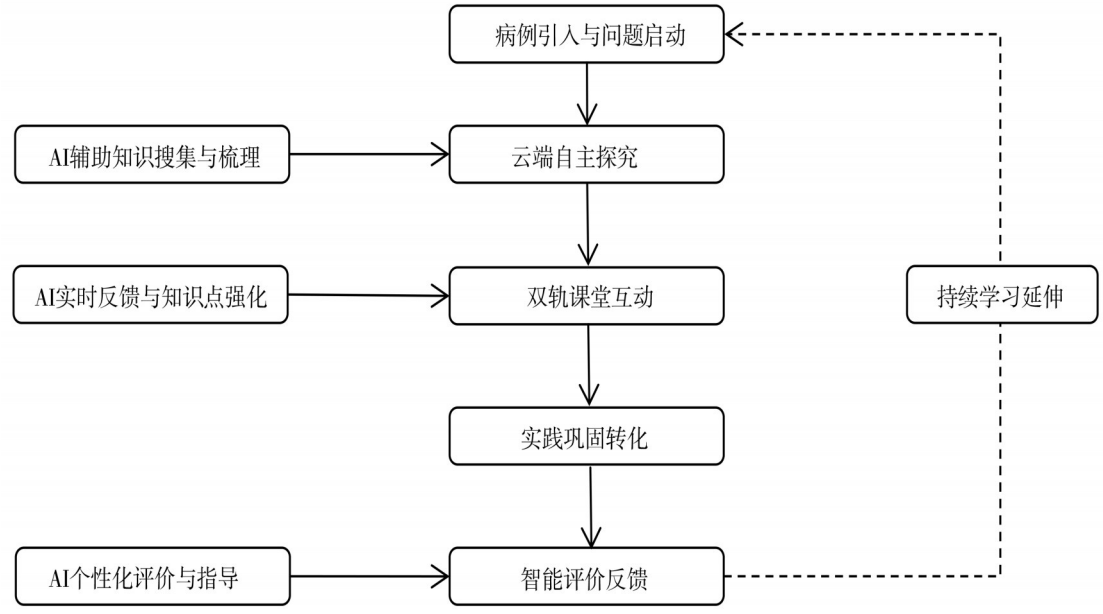


图2　实施路径主要步骤

差异均无统计学意义。最终得到A、B两个大组，A组为试验组（“云轨智协”教学组），采取人工智能辅助+云交互平台与双轨教学相结合的培养方式；B组为对照组（双轨教学组），单纯采用云交互平台结合双轨教学的培养模式。两组学员此前均未接触过胸腔外科相关教育。

分组结果生成后，由研究助理密封于信封中保管，仅在每批次轮转开始前3天通知教学秘书该批次的分组安排。带教教师在每批次入科前方可知晓本批次的教学方法，同一教师若承担多批次教学，则在切换教学方法前接受相应培训。学生在入科前仅知晓本批次的学习安排，不了解其他批次的教学方法差异。考核评价采用盲法：理论试卷、技能考核及论文答辩材料均隐去学生姓名与批次信息，由不参与教学的第三方教师统一评阅。

本研究中试验组与对照组的轮转时间完全错开（间隔一个月），这一设计避免了同批次内组间直接交流的横向污染，但存在纵向污染的可能，即先完成轮转的学生可能向后轮转的学生透露教学方法或学习内容。为尽可能减少纵向污染，每批次入科教育时明确告知学生，本批次的教学安排为独立研究设计，请勿与前批次学生讨论具体教学方法细节，但不告知前批次的分组情况；理论及技能考核内容聚焦于该轮转周期内具体的疾病知识与临床技能，而非对教学方法的评价，减少学生对既往学生经验的依赖。通过以上措施尽可能减少组间污染和偏倚。

2.2　教学实施步骤

2.2.1　带领学生诊查患者

随机将同一批次的学生分成2个小组，每小组5人。带领学生以小组为单位诊查相关疾病的患者（肺癌、前纵隔肿瘤等），每个小组随机诊察一名患者。教师观察并记录学生的问诊逻辑、沟通技巧与操作规范性，但不当场纠正。学生完成后，教师提供标准版病历供学生对照反思。

2.2.2　PBL模式引导学生设定问题

诊查完患者后，引导学生把受此病例启发而联想到的词组列举出来，并依据采集病史及体检—辅助检查—诊断及鉴别诊断—治疗等临床思路，把词组变成围绕该患者临床需要解决的具体问题，学生在云平台提交拟定的PBL问题后，AI系统进行即时质量检测，主要检测该问题是否为可检索的临床问题（非过于宽泛或过于狭窄）；该问题的质量是否达标（满分100分，≥70分方可进入下一环节）。教师审核时，可参考AI评分进行快速筛选，重点关注AI评分偏低的问题。指导教师对各组提出的问题进行审核和优化，确保问题具有适当的挑战性和教学价值，最终确定的问题通过云交互平台发布，供学生开展自主学习。

2.2.3　学生自学并制作PPT

试验组被要求使用指定的人工智能辅助工具（如DeepSeek、豆包等）进行文献检索、资料梳理与知识整合。学生需在AI工具的辅助下，高效地探索问题的解决方案，并将其学习过程与初步结论融入PPT制作。实验组学生在使用DeepSeek等AI工具时，平台后台记录以下行为：每次提问的问题内容、AI回答摘要；学生是否对AI回答进行追问或质疑；学生从AI回答中采纳了哪些信息用于PPT或病例报告。并添加AI主动干预机制：若学生连续10分钟无操作，AI推送提示：“需要我帮你梳理一下目前的进展吗？”若学生提问内容明显偏离病例核心问题，AI进行提示纠正。对照组则不使用人工智能工具，而是通过自主使用常规网络搜索引擎（如百度、Google）和图书馆文献数据库（如CNKI、PubMed）等方式查找相关资料，完成自主学习并制作PPT。各小组经过充分准备、讨论后整理成PPT，并将结果放在云交互平台上，供老师和其他同学进行交流和评价。

2.2.4　TBL模式课堂教学（一周后进行）

在一周的自主探究与协作准备后，开展集中式TBL课堂活动，旨在深化知识理解、促进团队协作并检验学习效果。课堂活动通过云交互平台组织实施，主要环节如下：①个人与小组测试：首先，学生在平台上独立完成个人自学效果测试（涵盖疾病核心知识点）。随后，以小组为单位协作完成小组测试（题目侧重知识应用，难度较高），测试结果实时反馈至云平台，实验组通过AI分析生成错题分析，对照组通过教师生成错题分析。②成果展示与互评：各小组依次展示基于病例分析的PPT成果，并接受其他小组的提问与评价。教师借助AI辅助工具，对各组展示的逻辑性、完整性与创新性进行即时点评，并引导跨组讨论。③应用训练与临床决策模拟：教师围绕病例提出一系列渐进式、开放性的临床问题（如鉴别诊断、治疗方案选择、并发症处理等），要求小组在限定时间内协作作答。问题设计贴近真实临床情境，旨在训练学生的临床思维与决策能力。④教师总结与AI反馈：教师对课堂讨论进行系统梳理与总结，突出重点与难点。并由AI分析

并详细列出本次教学要求掌握的基本概念和理论，然后对讨论的实际病例的临床诊治思维过程进行梳理，突出重点与难点。

2.3　教学效果评价

2.3.1　理论及临床技能考核

使用“云轨智协”组与单纯双轨教学组学生在完成外科临床工作后均接受理论及临床技能考试，满分各50分。同时增设专科临床诊治能力试卷，重点考查学生对典型病例的综合分析与决策能力，满分50分。通过比较两组学生在各项考核中的成绩差异，评估“云轨智协”模式在知识内化与技能转化方面的实际效果。

2.3.2　专业实践能力考核

使用“云轨智协”组与单纯双轨教学组学生在完成所有科目实习后均接受专业实践能力测试。考核重点关注学生的临床思维逻辑（25分）、操作规范性（25分）、沟通协作能力（25分）及应对突发情况的应变能力（25分）。此外，引入AI辅助评价系统，对学生的病历质量、诊断合理性、治疗建议等进行结构化分析与评分，实现人工与智能评价的互补。

2.3.3　课题研究答辩

学生在为期四周的轮转期间，需以小组为单位完成一项小型临床研究课题，旨在系统考察其科研素养与学术表达能力。课题类型共有三种可供选择：其一是教学病例报告，要求包含病例介绍、诊疗经过、讨论与教学要点，并附不少于五篇参考文献，适用于罕见病、典型并发症或特殊诊疗案例；其二是系统综述，要求围绕一个临床争议问题检索至少两个数据库，纳入不少于五篇文献，适用于有明确临床争议且文献较多的主题；其三是小样本病例系列，要求学生回顾科室电子病历系统，收集三至五例同类病例，进行包括人口学特征、临床表现、治疗方案及预后在内的描述性统计分析，适用于常见病中某特征不典型或科室新开展技术的主题。

对于实验组学生，AI工具的使用需遵守明确的学术诚信规范。AI可用于文献检索时的关键词推荐与摘要翻译、数据整理时的图表制作与格式校对、参考文献管理时的引用生成与格式检查，以及论文撰写时的语法检查与句式优化。但禁止使用AI代写检索策略、自动生成数据、编造参考文献，或生成核心观点与讨论内容。学生在方法部分或致谢中需注明所使用的AI工具及使用范围，若发现使用AI生成核心内容而未声明，该项成绩记为零分并按学术不端处理。

评审教师从选题创新性（20分）、方法科学性（20分）、逻辑严谨性（20分）、结果可信度（20分）及答辩表现（20分）等方面进行评分，总分100分。同时，利用AI工具对学生的文献进行后台分析，进一步客观评估其信息素养与研究潜力。

2.3.4　两组学生对各自教学模式的评价

采用5分量表，1分表示完全不正确，5分表示完全正确，以了解此教学模式对于学生临床思维、实践能力、主动学习能力、交流表达能力、获取信息能力、实习热情和积极性的影响程度。

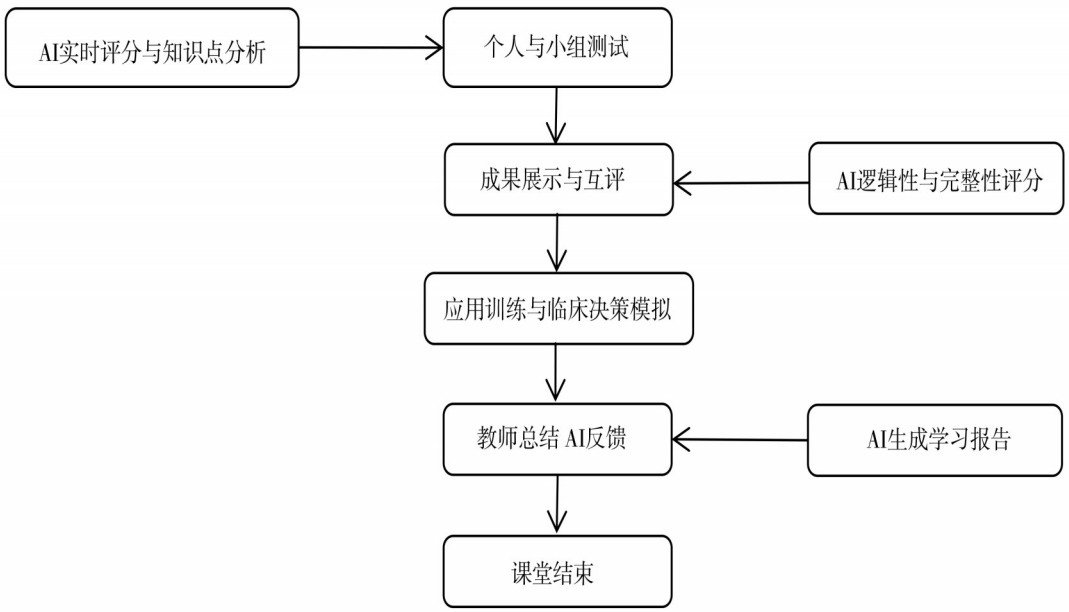


图3　TBL课堂教学主要内容和流程

2.4　统计学方法

采用SPSS 26.0统计软件进行数据分析。计量资料以（均数 ± 标准差）表示，组间比较采用独立样本 t 检验；计数资料以例（%）表示，组间比较采用 χ^2检验。本研究以轮转批次为单位进行整群随机分组，统计分析以学生个体为分析单元。检验水准 α=0.05。

3　结果

3.1　两组学员理论和临床技能考核

试验组学员在最终考核中，理论成绩与操作技能成绩总分均高于对照组，增设的专科临床能力考核也优于对照组，差异均有统计学意义（表1）。

表 1　两组学员考试成绩比较（n=60，分，$\bar{x} \pm s$）

项目	试验组	对照组	t值	P值
理论考核	44.18 ± 3.12	40.13 ± 3.48	6.78	<0.001
操作技能考核	43.82 ± 3.01	39.5 ± 3.42	7.15	<0.001
专科能力考核	42.87 ± 3.24	38.7 ± 3.58	6.83	<0.001

3.2　临床专业实践能力考核

专业实践能力测试中，试验组学员在各项内容包括临床思维逻辑、操作规范性、沟通协作能力及应对突发情况的应变能力方面评分均高于对照组学员，差异均有统计学意义（表2）。

表2　两组学员临床专业实践能力考核比较（n=60，分，$\bar{x} \pm s$）

项目	试验组	对照组	t值	P值
临床思维逻辑	22.93 ± 1.11	20.85 ± 1.16	9.89	<0.001
操作规范性	22.18 ± 1.16	20.18 ± 1.18	9.30	<0.001
沟通协作能力	22.57 ± 1.26	20.38 ± 1.32	9.32	<0.001
突发应变能力	21.85 ± 1.18	19.78 ± 1.22	9.28	<0.001

3.3　研究论文答辩

试验组学员在选题创新性、方法科学性、逻辑严谨性、结果可信度及答辩表现等方面的评分均高于对照组，差异均有统计学意义（表3）。

表3　两组学员论文答辩成绩比较（n=60，分，$\bar{x} \pm s$）

项目	试验组	对照组	t值	P值
选题创新性	17.2 ± 1.18	15.57 ± 2.07	5.23	<0.001
方法科学性	16.9 ± 1.17	15.3 ± 1.98	5.28	<0.001
逻辑严谨性	17.47 ± 1.17	16.07 ± 1.93	4.78	<0.001
结果可信度	16.8 ± 1.18	15.47 ± 2.17	4.12	<0.001
答辩表现	17.1 ± 1.17	15.8 ± 2.00	4.18	<0.001

3.4　学生对教学的评价

试验组学员对于新的教学模式的评价整体较好，各方面评分优于对照组学员，差异均有统计学意义（表4）。

表 4　两组学员对教学模式的评价比较（n=60，分，$\bar{x} \pm s$）

项目	试验组	对照组	t值	P值
临床思维	4.53 ± 0.50	3.30 ± 0.46	14.23	<0.001
实践能力	4.47 ± 0.50	3.27 ± 0.45	14.36	<0.001
主动学习	4.53 ± 0.50	3.33 ± 0.48	13.87	<0.001
交流表达	4.47 ± 0.50	3.27 ± 0.45	14.36	<0.001
信息获取	4.53 ± 0.50	3.30 ± 0.46	14.23	<0.001
实习热情	4.53 ± 0.50	3.30 ± 0.46	14.23	<0.001

4　讨论

4.1　“云轨智协”模式实现了三要素的深度融合

本研究首次系统整合教育云平台、PBL+TBL双轨教学与人工智能辅助技术，构建并实践了“云轨智协”一体化医学人才培养模式，有效弥补了传统医学教育中技术割裂、临床转化弱与评价体系不完善等关键短板[18]。结果显示，试验组理论考核、操作技能与专科能力成绩分别较对照组高4.05、4.30、4.14分，专业实践能力各维度评分高2.00~2.19分，论文答辩各维度评分高1.30~1.66分，对教学模式的各条目评价亦高1.20~1.23分。提示三要素的深度融合可产生稳定的教学增益，且该增益覆盖知识、技能、实践与科研等多个层面。

4.2　要素融合机制：数据驱动、流程重塑与角色重构

从作用机制看，传统医学教育中信息化手段、教学方法与评价体系往往相互割裂，形成“信息孤岛”[2]。本模式以教育云平台为枢纽，实现教学资源、学习行为与评价数据的全流程采集与整合；人工智能作为认知增强引擎，提供个性化学习支持与学情分析；双轨教学则依托数据反馈动态调整教学重点。三者通过“协”机制有机联动，形成“智能诊断—资源匹配—教学优化—能力提升”的闭环系统，有效缓解了虚拟训练与真实场景脱节的问题，加速了知识向临床能力的转化[18]。同时，本模式构建了涵盖知识、技能、思维、协作与创新等多维度的智能评价体系，推动评价由“终结性考核”向“发展性评估”转变[19]，并促进教师、学生与AI角色的深度重构，为人机协同教育提供了实践雏形[17]。

4.3　认知赋能与智能评价是能力提升的重要路径

值得说明的是，试验组临床技能与实践能力的

提升并非源于AI对操作技能的直接训练，而是通过认知层面的间接赋能实现的：AI辅助使学生在进入实践环节前已形成更系统的知识框架，课堂中的AI反馈与决策模拟则提供了高密度的认知预演机会，从而缩短了从理论知识到实践能力的转化路径[12]。这与生成式AI作为“更有知识的他人”参与知识建构的理论假设相吻合[17]。提示在医学教育中，认知赋能与技能训练具有协同效应，AI工具的价值更多体现在思维训练与决策模拟环节，而非替代临床操作训练本身。

4.4 研究局限性与展望

本研究尚存在以下局限。其一，人工智能工具的准确性与可靠性高度依赖训练数据的质量、时效性与医学专业性[20]，若缺乏严格的内容审核与持续更新机制，可能误导学生。其二，对照组设计存在一定局限：当前常规搜索引擎已广泛嵌入AI生成结果，对照组学生在检索过程中可能被动接触AI内容，使两组在“是否使用AI”这一干预变量上的边界模糊，试验组的“净效应”可能被低估。其三，样本来源于同一院校的单一专业（胸外科），且样本量有限、观察周期仅4周，该模式在不同专业、不同层次医学教育中的适用性、长效性与成本效益尚需通过多中心、大样本、长周期的实证研究进一步验证。此外，还需关注AI的“认知外包”效应可能削弱学生独立思考能力、个性化推荐可能造成知识结构“茧房化”，以及高效率的AI辅助对医学人文关怀与职业认同感培育的潜在影响。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 范锐涛：设计实施实验、文章撰写；卢佳煜：设计实施实验、收集分析数据；张旭旭：收集分析数据、绘图、制表；李家贺：整理数据、绘图、制表；张继朋：参与研究实施、问卷调研；李玮：参与研究实施、问卷调研；卢强：提供研究指导、修改意见、审阅论文等

参考文献

[1] 许燕萍，黄烨清. PBL教学模式在医学生教育中的有效性研究：基于随机对照试验的meta分析[J]. 中国高等医学教育，2024(4)：23-25. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1701.2024.04.009.

[2] 王启帆，刘雨. 数字化赋能医学教育:应用、困境与路径[J]. 医学与哲学，2024，45(10)：65-68. DOI: 10.12014/j.issn.1002-0772.2024.10.14.

[3] 黄智若，沈晓沛，陈湖星，等. “医学+人工智能”复合型创新人才培养模式探析[J]. 中国医学教育技术，2024，38(3)：271-275.

[4] 赵晋波，陈召，李小飞，等. PBL教学法与批判性思维在医学本科生胸外科临床教学中的应用研究[J]. 现代生物医学进展，2014，14(32)：6355-6359.

[5] Gera M, Rathod U, Karra-Aly A, et al. Team based learning vs problem based learning in medical education: a systematic review [J]. Eastern J Med Sci, 2023: 1-6. DOI: 10.32677/ejms.v8i1.3795.

[6] 邹鑫，李小飞，周勇安，等. PBL和TBL的双轨教学法在胸外科专业学位研究生教学中的应用[J]. 现代生物医学进展，2016，16(7)：1345-1349.

[7] 朱文娟，王明礼，徐测梁，等. PBL联合TBL应用于急诊医学临床教学观察[J]. 新疆中医药，2023，41(6)：60-62.

[8] 张卫强，赵京，韩聚强，等. CBL结合PBL及LBL教学方法在胸外科临床实习中的应用[J]. 现代生物医学进展，2013，13(24)：4777-4780. DOI: 10.13241/j.cnki.pmb.2013.24.008.

[9] 章泽昂，邹家炜. 基于云计算的教育信息化平台的研究[J]. 中国远程教育，2010，(6)：66-69+80. DOI: 10.13541/j.cnki.chinade.2010.06.015.

[10] 魏嵬，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.

[11] 韩溪轩，吕枫枫，王强，等. 人工智能技术赋能医学人才培养的应用与探究：以首都医科大学为例[J]. 中国医学教育技术，2024，38(3)：261-265，270.

[12] Liu P, Zhang J, Chen S, et al. Human-AI teaming in healthcare: 1 + 1 > 2? [J]. npj Artif Intell, 2025, 1: 47. DOI: 10.1038/s44387-025-00052-4.

[13] 卢强，王东光，陈慧芸，等. “教育云+双轨”教学在胸外科继续医学教育中的应用研究[J]. 中华医学教育探索杂志，2021，20(9)：982-986. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20200402-00611.

[14] 李泽睿，崔维顶，吴远帆. DeepSeek赋能医学智能化教学新模式的探索与挑战[J]. 江苏科技信息，2025，42(11)：95-99. DOI: 10.3969/j.issn.1004-7530.2025.11.020.

[15] Sohrabi Z , Kavarizadeh F , Karimi E ,et al. Benefits and challenges of using learning analytics in medical education: a scoping review [J]. Interdisciplinary Journal of Virtual Learning in Medical Sciences, 2025, 16(4): 343-361.DOI:10.30476/ijvlms.2025.107744.1345.

[16] Wang Y, Wang P, Zhu J, et al. Construction and application of clinical nursing intern teaching system from the perspective of educational ecology: a quasi-experiment study [J]. Medicine, 2026, 105(4): e45593. DOI: 10.1097/MD.0000000000045593.[PubMed]

[17] Tran M, Balasooriya C, Semmler C, et al. Generative artificial intelligence: the 'more knowledgeable other' in a social constructivist framework of medical education [J]. npj Digit Med, 2025, 8: 430. DOI: 10.1038/s41746-025-01823-8.[LinkOut]

[18] Lee J, Wu AS, Li D, et al. Artificial intelligence in undergraduate medical education: a scoping review [J]. Acad Med, 2021, 96(11S): S62-S70. DOI: 10.1097/ACM.0000000000004291.[PubMed]

[19] Norcini J, Anderson B, Bollela V, et al. Criteria for good assessment: Consensus statement and recommendations from the Ottawa 2010 Conference [J]. Med Teach, 2011, 33(3): 206-214. DOI: 10.3109/0142159X.2011.551559.[LinkOut]

[20] Sarwar T , Antonio José Jimeno Yepes, Cavedon L. Assessing the impact of the quality of textual data on feature representation and machine learning models: quantitative study using large language models[J]. Journal of Medical Internet Research, 2025, 27:e73325. DOI:10.2196/73325.

（收稿日期：2026-05-06）
（本文编辑：唐宗顺）