·教育与争鸣·

人工智能与大模型在药理学专业研究生教育中的应用探索——教学改革与实践创新

张乐乐，牛　蓓，盛菲亚

成都大学基础医学院（成都 610106）

【摘要】在新医科建设与人工智能（AI）技术迅速发展的背景下，药理学研究生教育面临知识迭代加速、科研思维培养滞后、AI融合路径模糊等问题。本文基于教学实践，从文献解析、实验设计与学术表达三条主线出发，探讨AI融合的药理学研究生教学模式，通过引入GLP-1机制智能推演、AI辅助PK预测、动物伦理模拟答辩等真实科研场景，构建“教学—科研”一体化培养路径。针对实际推广应用中可能遇到的问题，提出了相应对策，以期对药理学研究生专业教学改革提供参考。

【关键词】人工智能；药理学；研究生教育；教学改革；实践创新

【中图分类号】G642；R96　　【文献标志码】A

Exploration on the application of artificial intelligence and large models in postgraduate education of pharmacology: teaching reform and practical innovation

ZHANG Lele, NIU Bei, SHENG Feiya

School of Preclinical Medicine, Chengdu University, Chengdu 610106, China
Corresponding author: SHENG Feiya, Email: shengfeiya@cdu.edu.cn

【Abstract】Against the backdrop of the construction of New Medical Sciences and the rapid advancement of artificial intelligence (AI) technologies, postgraduate education in pharmacology faces problems such as accelerated iteration of disciplinary knowledge, insufficient cultivation of scientific research thinking, and ambiguous pathways for integrating AI into core curricula. Based on teaching practice, this paper explores an artificial intelligence (AI)-integrated teaching model for postgraduate students majoring in pharmacology along three main threads: literature analysis, experimental design, and academic expression. By introducing authentic research scenarios including intelligent deduction of GLP-1 mechanisms, AI-assisted PK prediction, and simulated defense on animal ethics, an integrated training pathway linking teaching and scientific research is established. This paper puts forward corresponding countermeasures for potential challenges in practical promotion and application, and hopes to offer references for postgraduate education in pharmacology as well as the teaching reform of pharmacy-related majors.

【Keywords】Artificial intelligence; Pharmacology; Postgraduate education; Teaching reform; Practical innovation

DOI: 10.12173/j.issn.1005-0698.202605035
基金项目：成都大学人才培养质量和教学改革项目（cdjgb2024024；cdjgb2022129）
通信作者：盛菲亚，副教授，硕士研究生导师，Email：shengfeiya@cdu.edu.cn

近年来，在国家教育数字化战略与人工智能（artificial intelligence，AI）赋能教育政策的强力引导下，以《教育强国建设规划纲要》《“人工智能+教育”行动计划》为代表的一系列顶层设计，明确提出“AI+X”学科深度融合与科教融汇发展要求，推动我国高等教育全面进入数字赋能、科教协同的新阶段[1-2]。国内多所高校相继布局医学与AI交叉项目，着力培养复合型拔尖创新人才。与此同时，AI技术已深度渗透药物研发全链条，在靶点识别、分子生成、吸收-分布-代谢-排泄-毒性（absorption-distribution-metabolism-excretion-toxicity，ADMET）性质预测、临床试验优化等关键环节实现规模化应用，显著缩短研发周期、降低研发成本。然而，上述前沿技术尚未系统融入药理学研究生培养体系，导致人才供给与行业需求之间存在明显断层。因此，面向药理学研究生开展系统化、专业化的AI工具与方法培训，补齐科研创新所需的数字技能与交叉知识，已成为当前教学改革的迫切任务。

1 药理学专业研究生教育面临的新形势

药理学作为连接药学、基础医学与临床医学的核心桥梁学科，具有知识体系庞大、更新迭代迅速、实践属性突出、多学科高度交叉的典型特征，传统教学模式已难以适配研究生教育的现实需求。一方面，药理学知识体量呈爆炸式增长，靶点机制、信号通路、新药研发、临床评价、精准用药等内容持续迭代更新，以教材与课件为中心的传统教学体系存在显著滞后性，难以及时纳入靶向蛋白降解嵌合体技术、双靶点药物、AI辅助药物设计等前沿成果，导致研究生难以快速构建系统化、前沿化的知识框架。另一方面，药理学具有实验性与临床实践性，但受限于实验成本高昂与设备资源分布不均等现实条件，传统教学难以保障每名研究生完整开展从靶点验证、药物筛选到药效评价的全流程科研训练，造成理论知识与科研实践、临床应用之间明显脱节。同时，药理学呈现显著的跨学科融合特征，传统教学多以单一知识模块讲授为主，缺乏跨模块整合与数据驱动的研究训练，研究生难以形成“靶点—结构—机制—疗效—安全—临床”的一体化研究思维。此外，文献研读、实验设计、论文写作等科研能力训练多依赖导师一对一指导，效率偏低，难以满足新时代药理学创新型人才的培养需求。

2 AI与大模型的教育应用潜力

当前，AI已深度融入科研与医疗实践，其核心分支机器学习与深度学习为解析药理学领域复杂的药物分子结构、药物相互作用、多组学数据等提供了关键技术支撑（图1）。大模型既可通过通用大语言模型（如DeepSeek-R1、ChatGPT-4o）辅助学生快速开展知识检索、案例推演与文献解析，也可依托领域专用垂直模型（如AlphaFold-Multimer用于蛋白结构预测、ADMETlab用于成药性评估）支撑科研训练中的方案设计与学术产出。在实际教学中，不同任务对应差异化选型：文献梳理与机制解析选用DeepSeek-R1（中文语境表现优异且成本可控）；药代动力学（pharmacokinetics，PK）预测与分子对接教学整合ADMETlab 2.0与AutoDock Vina等专用工具；伦理模拟质询环节选用具有多轮对话能力的DeepSeek-R1或ChatGPT-4o。

科研院所、医疗机构与制药企业对具备AI与大模型应用能力的专业人才需求持续增长，但传统药理学人才培养与智能化科研实践之间仍存在显著技能鸿沟[3]。药理学横跨基础医学、药学与计算科学，要求研究生同时具备分子机制推演能力与多源信息整合能力，传统“讲授—记忆—验证”的单向知识传递模式已无法支撑复合型能力培养目标。AI可承担信息检索、文献梳理等低思维附加值任务，将学生的认知资源释放到机制推演、实验设计、批判性思考等高阶思维活动中，

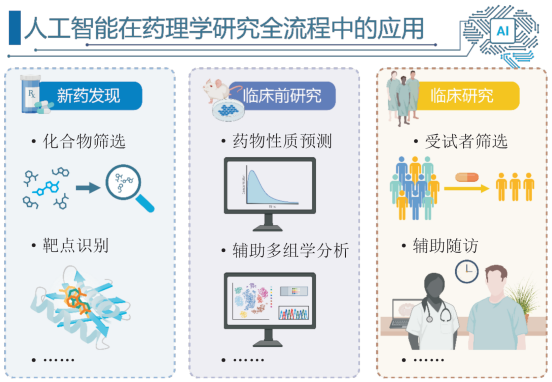


图1 人工智能模型在临床药理学全流程中的应用

Figure 1. Application of AI models in the whole process of clinical pharmacology

注：本图使用Biorender制作。

有效提升科研技能训练效率与质量。与此同时，AI与大模型正成为支撑药理学教学改革的重要能力底座。依托自然语言理解、多模态处理与知识推理能力，智能化教学平台可高效整合多元教学资源，支持研究生自主调取学习资料[4]，教师亦可实时更新教学内容，解决教材内容滞后的问题。基于AI的学习行为分析可精准定位知识薄弱环节，构建“学生为主体、AI为辅助、教师为引导”的现代化教学关系。

文献研读与科研思维训练是贯穿药理学研究生培养全过程的核心任务。大语言模型辅助阅读可显著降低复杂分子机制的理解门槛，帮助学生高效梳理信号通路、解析调控网络，并在文献检索、内容提炼、引文格式等方面提供支持，提升科研入门效率。同时，AI辅助的药物流行病学方法可融入研究生培养环节，帮助学生在真实世界数据治理、不良反应信号挖掘等方面建立从“靶点发现—临床前评价—临床试验—上市后监测”的全链条研究视野[5-7]。当前AI已在药物研发领域取得突破性进展，BenevolentAI借助知识图谱筛选巴瑞替尼用于COVID-19老药新用，已进入Ⅰ/Ⅱ期临床试验（NCT06631287）[8]；Insilico Medicine基于生成式AI平台设计靶向TRAF2与NCK互作激酶的小分子抑制剂，在Ⅱa期临床试验（NCT05938920）中患者用力肺活量呈剂量依赖性改善，安全性良好[9]。

3 AI与大模型的国内外教育教学应用现状

目前，国内外多所高校已开设AI与机器学习方向的研究生课程项目或硕士层次培养项目，面向药理学、药学、生物医学等生命科学领域开展交叉应用能力训练[10-11]，代表性实践如表1所示。国内大多数院校以单门课程的AI化改造或局部环节的AI嵌入为主要路径，如蚌埠医科大学构建“AI助教+AI助学”模式，广州中医药大学建设《药理学》AI智慧课程，通过知识图谱实现学习路径的智能化推荐。上述实践验证了AI在课堂教学中的技术可行性，但对科研能力训练的覆盖仍较有限。国外高校则较早形成体系化的学位项目，如马里兰大学药学院开设“AI药物开发理学硕士”，覆盖AI方法论、药物开发策略与临床试验优化等模块，为AI与药学的制度化融合提供了可参照范式。与此同时，少数国内外高校已从课程嵌入升级为培养体系的系统性重构：斯坦福医学院将AI课程列为医学生必修课，复旦大学设立“X+AI”双学位项目，西安交通大学牵头编写《AI+药理学实验》教材并联合21所院校推动标准化融合。尽管上述探索具有示范意义，但面向药理学研究生的系统性教学改革实践仍鲜有报道，亟需更多高校将AI深度融入药理学人才培养全过程。

表1 代表性高校AI+医药学教育实践

Table 1. Representative practices of AI+ medical and pharmaceutical education in universities

学校	实践类型	项目名称
上海交通大学	课程嵌入	数智赋能影像教学，创新驱动医学实践
北京大学	–	厚道医学教育大模型
四川大学	–	AI+心血管介入模拟案例
厦门大学	–	“高等药理学”研究生课程体系重塑与产学研融合实践
中国医科大学	–	基于大语言模型的病史采集和医患沟通平台“切问”
蚌埠医科大学	–	“AI助教+AI助学”双向赋能药理学教学新范式
广州中医药大学	–	《药理学》AI智慧课程
斯坦福大学	–	生物医学数据科学研究生
林茨大学	–	生命科学中的人工智能
西安交通大学	–	《AI+药理学实验》教材
复旦大学	学位项目	设立“X+AI”双学位项目
马里兰大学药学院	–	药物开发人工智能理学硕士
佛罗里达大学	–	生物医学和健康科学领域人工智能硕士
得克萨斯大学圣安东尼奥健康科学中心	–	医学博士和人工智能理学硕士
匹兹堡大学	–	计算生物医学和生物技术硕士

上述实践与技术进展共同表明，现有 AI+医药学教育改革呈现三个主要特征：①路径上以课程嵌入为主，多数院校通过在单门课程中引入 AI 工具实现教学环节的局部优化，系统性重构培养方案的案例仍相对较少；②内容上侧重知识传授环节，AI 多用于课堂互动、个性化资源推送等教学辅助场景，对研究生科研思维训练与实验设计能力培养的覆盖有限；③评价上缺乏实证支撑，研究报道教改实施后的量化效果数据仍然较少。

4 AI 与大模型应用场景构建

“AI+药理学”研究生教学新模式主要在于智能技术与专业教学的深度耦合，进而突破传统单向灌输式教学的固有局限，强调知识传授、科研训练与实践能力培养三方面的有机贯通与协同共进（图 2），推动 AI 技术与药理学研究生教育及科研素养之间构建深度融合的新型育人格局。

4.1 课程教学改革：智能化知识传授与个性化辅导

研究生跨专业生源比例持续增大，学生专业基础差异显著，传统课堂教学难以对碎片化知识进行系统性梳理，学生无法在短时间内搭建完整的药理学知识框架。依托 AI 与大模型开展课程教学改革，可从多维度提升教学质量，实现智能化授课与高效互动。首先，AI 可对药理学知识体系进行结构化拆解与重难点可视化呈现，自动关联跨模块知识点并生成系统知识图谱，降低学生知识梳理成本。其次，在教学过程中，AI 能联动学科前沿与新药研发动态并联系临床真实案例，从而拓展知识广度与深度，并引导研究生从“记忆知识”向“问题导向”转变。同时借助 AI 多模态工具将抽象的分子机制和受体结合过程可视化，结合问答式互动，提升复杂知识点的理解效率。此外，智能系统可追踪学习轨迹，精准推送适配资源与梯度习题，构建形成性评价体系实现个性化导学与全过程动态考核，提升学习主动性与教学效率。



图 2 “AI+药理学”研究生教学改革整体设计框架

Figure 2. Overall design framework for the AI + pharmacology postgraduate teaching reform

注：本图使用 Biorender 制作。

4.2 科研能力培养：全流程科研辅助

药理学研究生科研能力培养贯穿科研全链条，AI 的辅助可弥补传统培养模式指导不均和试错成本高等短板。在文献与学术写作方面，AI 可快速完成文献精读、核心观点提取、研究脉络梳理，辅助生成综述框架、规范表达、润色降重，帮助研究生建立学术写作规范，提升产出效率。在计算药理方面，AI 可辅助开展分子对接、PK/PD 模拟等核心内容，引导研究生利用模型进行化合物成药性预测与优化，减少动物实验用量[12, 13]。在兼顾科研效率与伦理培养的同时，简要学习模型优化等基础方法，提升计算药理思维。另外，AI 还可协助优化实验方案、设置分组与观测指标，提供统计方法指导与结果逻辑梳理，帮助研究生规范数据解读及结论推导，形成完整科研思维闭环。

4.3 实践技能提升：虚拟实验与临床药理模拟

药理学研究生实践教学面临实验成本高与设备资源不均等现实矛盾。AI 与虚拟仿真技术通过搭建安全可控、可反复演练的数字化训练环境，将基础操作训练前移至虚拟环节，为高阶能力训练预留空间[10]。依托国家虚拟仿真实验教学课程共享平台（ilab-x）及高校特色平台，优质医药类虚拟课程可覆盖细胞分子操作、动物药理实验、临床药理模拟等内容，帮助学生提前掌握标准化操作流程，减少实体实验失误与动物浪费，同时打通基础机制与临床用药的知识衔接，有效提升实践操作与临床思维能力。

5 面向药理学专业研究生的教学改革案例

5.1 文献阅读与机制解析能力培养

文献研读与分子机制解析在药理学研究生培养全过程中具有重要作用。新生普遍存在文献筛选效率低、脉络梳理混乱、机制理解碎片化等问题，难以快速适应科研节奏。AI辅助教学可通过文献梳理、逻辑归纳与可视化输出，搭建规范化学习路径，帮助学生建立结构化思维。具体实践中，依托AI构建“课前预习—课堂研讨—课后总结”闭环模式：课前以大模型辅助完成定向文献检索、关键词筛选与核心观点提炼，针对复杂调控通路借助DeepSeek-R1生成思维导图与简化机制图；将文献PDF上传至对话窗口，输入标准化提示词，AI生成初步框架后对照原文核实关键节点（如cAMP/PKA通路、β-arrestin募集等），修正遗漏或偏差，最终形成个人化知识图谱。

以本校《药理学》研究生课程教学实践为例（图3），课程选取胰高血糖素样肽-1（glucagon-like peptide-1，GLP-1）相关研究作为典型教学案例，设计分层递进式学习任务。课前由教师发布学习目标与探究任务，要求学生围绕GLP-1受体结构、内源性功能、靶向药物研发及临床应用开展文献调研，借助AI完成文献整合与机制梳理。课堂教学环节中，采用随机抽问、小组研讨、问题导向式提问等方式，全面考查学生对靶点生理功能、药物作用特征、临床应用优势与局限性的理解程度。同时结合分子对接可视化工具，直观呈现小分子药物与GLP-1受体的结合模式、关键作用位点与相互作用形式，从结构层面深化学生对药物作用机制的认知，实现文献理论与可视化技术的深度融合。课后阶段，要求学生结合课前文献积累与课堂研讨内容在AI辅助下完成课程专题PPT汇报。任务设计着重强调批判性思维训练，明确要求学生不能单纯依赖AI生成内容，需自主梳理研究进展并归纳研究争议与学科前沿方向，结合专业知识甄别AI输出内容的偏差、漏洞与逻辑缺陷，客观指出信息错漏与认知局限。该设计旨在明确AI的工具属性，避免学生形成过度依赖、被动接收的学习惯性，在借助AI提升学习效率的同时，持续强化独立思考、理性辨析与科学质疑的核心素养。

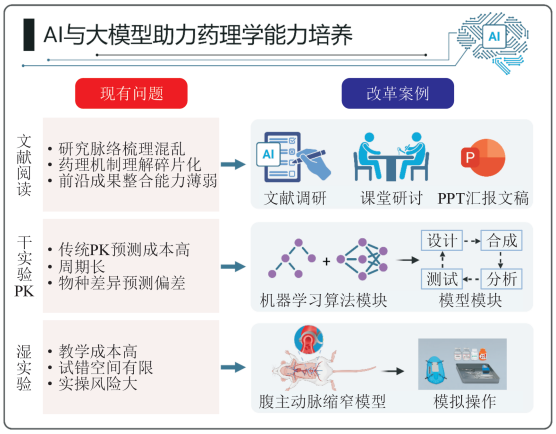


图3 人工智能赋能药理学研究生核心能力培养的三案例协同模式

Figure 3. Three-case collaborative model of AI-empowered core competency cultivation for pharmacology postgraduate students

注：本图使用Biorender制作。

试点学期收集50余份研究生专题PPT汇报作业，与往届未使用AI辅助的同期作业对比，AI辅助组在研究脉络梳理完整度、前沿争议归纳能力和AI输出内容批判性点评等方面有明显提升。部分学生在初次作业中出现AI生成内容占比过高的问题，经过课堂AI挑错环节的针对性训练后比例显著下降，提示教师需要注意批判性训练从而规避思维惰化。在定性反馈方面，学生普遍认可AI降低认知负荷的积极作用，同时也表达了审慎态度，典型意见包括：“AI帮助很大，但要学会辨别它的错误”“一开始很依赖AI，后来发现它给的答案不一定对，反而倒逼我去查原始文献”，表明合理的任务设计可将学生对AI的依赖转化为批判性思考的契机。需说明的是，前期对比测试DeepSeek-R1与另外两款模型在药理学专业文献处理中的表现，以3篇GLP-1相关综述为样本，评价指标涵盖术语翻译准确率、信号通路节点提取完整度、生成内容的逻辑连贯性及成本可控性，结果显示DeepSeek-R1在中文药理学术语翻译准确率方面表现最佳（术语错误率<5%），且其64k上下文窗口可支持整篇PDF直接输入，避免了分段输入的信息割裂，降低教学实施门槛，故在文献解析与机制梳理环节优先采用该工具。

5.2 干实验能力培养

现代药理学研究体系中湿实验与干实验相辅相成，其中干实验依托计算机算法模型与AI技术，开展结构模拟与运算分析，涵盖蛋白质结构

解析、分子对接、分子动力学模拟、成药性评估与 PK 模拟等内容。通过系统化干实验训练，研究生可在湿实验开展前完成候选药物初步筛选、作用机制预判与成药性风险评估，有效缩减实验试错成本，提升体内外实验设计的合理性与成功率，是药理学研究生必备的核心科研能力。

以 PK 模拟与 ADMET 预测为典型教学案例（图 3），可系统开展 AI 辅助干实验能力训练。小分子药物研发进程中，ADME 相关缺陷是导致化合物中期淘汰的主要诱因，传统依靠动物实验数据外推人体药代特征，不仅成本高、周期长，还存在物种差异带来的预测偏差。生理药代动力学模型与 AI 预测算法相结合，能够依托化合物化学结构与理化属性，快速定量模拟体内药物时程变化与 ADME 规律，为早期分子优化与候选药物筛选提供关键支撑，也成为研究生干实验教学的重要实践载体[13]。Obrezanova 等依托多任务图卷积神经网络与传统机器学习算法，以三千余种化合物数据集为基础，整合分子化学结构与体外 ADME 检测数据，针对大鼠静脉与口服给药途径下的 9 项体内 PK 参数及浓度–时间特征曲线开展建模分析[14]。教学中，教师结合该研究作为案例引导学生针对输入特征对模型性能的影响，对比缺失数据处理策略及模型适用边界开展研讨，教师在讨论基础上总结 AI 驱动 PK 预测的优势与当前技术瓶颈，帮助学生形成对计算药理方法的理性认识。

除 PK 预测训练外，将 AI 辅助药物不良反应评价纳入干实验教学体系。以 GLP-1 受体激动剂上市后安全性评价为教学案例，引导学生使用大语言模型（如 DeepSeek-R1）检索 FDA 不良事件报告系统、WHO 全球个例安全报告数据库等来源的相关文献与公开数据，快速提取并归纳整理 GLP-1 类药物相关胰腺炎、甲状腺髓样癌、胆囊疾病等不良事件的报告特征与发生率信息。教师引导学生对照原始文献，评价 AI 输出信息的准确性、完整性与偏倚风险，并初步完成某一不良事件的安全性信号梳理报告。该训练旨在培养研究生运用 AI 工具开展药物警戒文献速评的实操能力，对 AI 提取的药品安全性信息进行溯源与质量评价的批判性思维，为后续开展系统评价/Meta 分析及真实世界药物安全性研究奠定方法论基础。

5.3 湿实验方案设计

湿实验是药理学研究生开展机制研究与药效评价的核心环节，但传统教学中学生往往直接套用固定流程，缺乏自主方案设计、风险预判与伦理考量的综合训练。与此同时，动物实验受制于伦理审批严格、经费成本高昂等现实约束，难以保证每位研究生均有独立完成完整动物实验的机会。基于此，本案例将教学目标聚焦于湿实验方案设计与伦理决策，利用 AI 与虚拟仿真技术，在有限的实体资源下最大限度提升研究生的实验设计素养。

教学中，学生首先借助 ilab-x 平台中“高血压动物模型”虚拟仿真实验（图 3），系统学习自发性高血压大鼠、腹主动脉缩窄大鼠等多种造模体系的原理与操作流程。虚拟训练不受动物数量与伦理限制，学生可反复模拟给药、采样、指标检测等关键环节，在无风险环境中熟悉实验全貌，为后续方案设计建立操作认知基础。学生结合自身研究方向，借助 AI 辅助完成个性化湿实验方案的初步撰写并标注方案中待优化或存在不确定性的条目，培养主动反思与科研预判思维。在此基础上，课堂研讨引入“AI 伦理委员会”角色扮演环节，由大模型模拟动物伦理审查委员会成员，围绕分组合理性、样本量依据、麻醉镇痛措施、人道终点设置等核心议题，对学生提交的实验方案逐项质询。学生需逐条书面回应并提交修改说明，系统完善实验内容，规范撰写动物实验伦理审查表。

虚拟实验结束后，研究生以小组为单位在教师示范与指导下学习真实动物实验操作，虚拟前训的铺垫使实体环节更聚焦于手术操作规范性本身，有效提升了有限实验资源的利用效率。试点教学反馈显示，经此训练的学生在后续研究生课题的动物实验申请中，伦理审查表的一次通过率及方案严谨性评分均显著提升。

5.4 三案例协同总结与可推广性

通过文献阅读与机制解析、干实验、湿实验三个教学案例，该培养模式系统构建了 AI 赋能药理学研究生实践能力培养的完整体系，实现从理论学习到科研实操的全流程覆盖，有效衔接药理学研究生培养各教学环节，基本破解传统培养模式中的突出痛点（表 2）。首先，AI 以可视化工具夯实研究生文献素养与机制解析能力，强化批判性思维与独立思考意识，同时依托经典 PK 模拟案例拆解算法原理，从而降低计算药理学习门

表2 案例类型、核心能力与AI角色的协同对比

Table 2. Collaborative comparison of case types, core competencies and roles of AI

案例	核心能力	AI辅助定位	学生能力训练	所属科研阶段
GLP-1	文献批判性阅读	梳理文献逻辑	科研文献研读	选题与文献调研
文献研读	药理通路整合	生成思维导图	研究争议辨析	
	前沿知识归纳	可视化机制	AI内容甄别与批判性思考	
		搭建汇报框架		
PK性质预测	计算药理分析	拆解算法原理	虚拟化合物筛选	先导化合物优化与干实验预测
	药代参数解读	解析PK参数	实验数据因果推理	
	构效关系分析	梳理数据逻辑	计算模型合理应用	
	模型结果研判	模型优劣对比		
高血压模型	动物模型构建	撰写实验方案	动物造模原理	体内药效验证与湿实验实施
模拟实验	实验方案设计	模拟伦理委员会质询	实验方案论证	
	动物伦理把控	指出方案漏洞	伦理审查与实验标准化设计	
	实验风险预判	提供优化参考		

槛，培育研究生计算思维与跨学科科研能力。另外，结合ilab-x虚拟仿真平台与AI伦理模拟规范实操流程，提升实验设计与伦理考量能力，实现虚实融合的高效培养。既发挥了AI技术高效化、可视化、个性化的赋能优势，又通过任务约束与思辨训练规避技术依赖，平衡了工具应用与能力提升的关系，进而适配药理学研究生复合型科研能力的培养目标。

6 面临的问题与挑战

AI与大模型技术为药理学研究生教学改革注入全新动力，推动教学模式迭代升级的同时，也在应用实践中暴露出诸多现实问题与潜在挑战。

第一，AI模型缺乏真正的深度理解与逻辑思辨能力，模型推荐内容、知识解析结果的准确性高度受制于训练数据集的体量、更新时效与内容质量，容易出现机制解释片面、专业内容偏差等问题，若缺乏人工甄别，极易对研究生的知识理解造成误导[15]。第二，智能工具的便捷化应用易使学生产生技术依赖，长期借助AI完成文献梳理、机制总结、方案设计等学习任务，会弱化自主查阅资料、深度钻研理论和独立分析问题的能力，逐步丧失批判性思维与科研思辨意识[16]。第三，AI教学工具操作逻辑复杂，对师生数字素养提出更高要求。医药专业师资普遍缺乏AI技术能力，制约AI与课程的深度融合。此外，教师不仅需掌握工具操作，还需将AI合理嵌入教学设计、课堂互动与实践训练全过程，增加了教学实施的难度。第四，AI技术应用还伴随学术诚信、原始数据安全、内容版权与知识产权等潜在风险，如何规范AI使用边界、完善监管机制、保障科研与教学合规性，也是智能化教学改革进程中亟待解决的现实难题。第五，AI辅助学术写作的伦理边界尚不明确。目前多数高校与期刊已明确规定不得使用AI直接生成论文核心内容，使用AI辅助须在方法或声明部分说明具体情况。但在教学实践中，“合理辅助”的边界缺乏统一标准，例如AI辅助数据可视化与代码调试可以接受，但直接生成或修饰实验数据则属严重违规。上述问题对教学管理与学术监督提出了新挑战。

7 优化策略与发展建议

面向药理学研究生智能化教学的发展需求，结合当前应用短板，需从教学理念、师资建设、平台运维与制度规范多维度协同优化，实现AI与专业教学的良性、深度融合。教学实践中应始终厘清AI的工具属性，坚持以学生自主学习、科研思维与专业能力培养为核心，合理限定智能工具使用场景，引导学生在借助AI提升学习效率的同时，保持独立思考、内容甄别与科学质疑的能力，避免技术依赖导致核心素养弱化。院校可通过系统化师资培训、跨学科教研交流、校企技术协作等方式补齐专业教师智能化教学能力短板，组建复合型教学团队，提升AI融合课程的设计水平与实施质量。针对ilab-x虚拟仿真平台运行卡顿、加载延迟等实操问题，需强化平台运维与技术升级，优化资源访问效率，保障实践教学环节稳定开展。长远来看，随着大模型技术与虚拟仿真体系的持续完善，未来可进一步结合学科前沿，开发更贴合药理学特色的定制化智能教学模

块，推动文献解析、计算模拟、动物实验实训全链条的数字化升级。在学科融合层面，药理学研究生培养方案可适当引入药物流行病学与AI交叉的基础模块，包括但不限于：药品不良反应监测的基本方法、真实世界数据源的特征与局限、系统评价/Meta分析的基本流程、AI辅助文献筛选与数据提取的规范操作等。可通过跨院系选修、专题工作坊或联合授课等方式实施，使药理学研究生在掌握前沿药物研发AI工具的同时，同步建立药物上市后评价与临床合理用药的学科视野。

综上所述，本校立足药理学研究生培养中知识迭代加速、科研训练资源不均、跨学科整合不足等现实问题，通过引入GLP-1机制智能推演、AI辅助PK预测、动物伦理模拟答辩等真实科研场景，将AI嵌入文献研读、干实验分析、湿实验方案设计等科研训练全链条，形成了“教学—科研”一体化的培养模式。实践表明，AI为药理学研究生教育提质增效提供了广阔空间，在合理规范和科学引导的前提下，智能技术将持续赋能教学改革，为培养兼具专业能力与创新思维的复合型药学人才奠定坚实基础。

利益冲突声明：作者声明本研究不存在任何经济或非经济利益冲突。

参考文献

1 王运武, 田阳, 任楷文. 教育数字化赋能教育强国建设的战略构想及实现路径——《教育强国建设规划纲要(2024—2035年)》解读[J]. 中国医学教育技术, 2025, 39(4): 425-431. [Wang YW, Tian Y, Ren KW. The strategic conception and implementation path of empowering the construction of a leading country in education with the educational digitalization——Interpretation of the Outline of the Plan for Building a Leading Country in Education (2024—2035)[J]. China Medical Education Technology, 2025, 39(4): 425-431.] DOI: 10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202504001.

2 谢宗志, 彭秋颖, 刘晓晴. 人工智能赋能高等教育高质量发展的研究与实践[J]. 高校教育研究, 2025, 1(3): 7-15. [Xie ZZ, Peng QY, Liu XQ. Research and practice on artificial intelligence empowering the high-quality development of higher education[J]. Higher Education Research, 2025, 1(3): 7-15.] DOI: 10.12479/questpress-gxjyyj.20250302.

3 Ryan DK, Maclean RH, Balston A, et al. Artificial intelligence and machine learning for clinical pharmacology[J]. Br J Clin Pharmacol, 2024, 90(3): 629-639. DOI: 10.1111/bcp.15930.

4 崔立有. 人工智能背景下临床药学教育改革策略[J]. 药学教育, 2025, 41(2): 48-52. [Cui LY. Reform strategies for clinical pharmacy education in the context of artificial intelligence[J]. Pharmaceutical Education, 2025, 41(2): 48-52.] DOI: 10.16243/j.cnki.32-1352/g4.2025.02.005.

5 Ambe K. Development of a data-driven prediction model of adverse drug reactions using large-scale medical information and machine learning[J]. Biol Pharm Bull, 2026, 49(2): 213-219. DOI: 10.1248/bpb.b25-00641.

6 Toni E, Ayatollahi H, Abbaszadeh R, et al. Machine learning techniques for predicting drug-related side effects: a scoping review[J]. Pharmaceuticals. 2024, 17(6): 795. DOI: 10.3390/ph17060795.

7 聂晓璐, 吴昀效, 赵厚宇, 等. 《药物流行病学研究方法学指南(第2版)》系列解读(17):预测模型在药物疗效与安全性评价中的应用[J]. 药物流行病学杂志, 2026, 35(5): 481-492. [Nie XL, Wu YX, Zhao HY, et al. Guide on Methodological Standards in Pharmacoepidemiology (2nd edition) and their series interpretation (17): application of predictive models in drug effectiveness and safety evaluation[J]. Chinese Journal of Pharmacoepidemiology, 2026, 35(5): 481-492.] DOI: 10.12173/j.issn.1005-0698.202605004.

8 Richardson P, Griffin I, Tucker C, et al. Baricitinib as potential treatment for 2019-nCoV acute respiratory disease[J]. Lancet, 2020, 395(10223): e30-e31. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30304-4.

9 Ren F, Aliper A, Chen J, et al. A small-molecule TNIK inhibitor targets fibrosis in preclinical and clinical models[J]. Nat Biotechnol, 2025, 43(1): 63-75. DOI: 10.1038/s41587-024-02143-0.

10 茹菲娜, 哈丽美热, 于思寒, 等. 人工智能技术融入药学人才培养的实践探索与思考[J]. 药学教育, 2026, 42(1): 9-15. [Ru FN, Ha LMR, Yu SH, et al. Practical exploration and development reflections on the integration of AI technology into pharmaceutical talent cultivation[J]. Pharmaceutical Education, 2026, 42(1): 9-15.] DOI: 10.3969/j.issn.1007-3531.2026.01.003.

11 Ahsan Z. Integrating artificial intelligence into medical education: a narrative systematic review of current applications, challenges, and future directions[J]. BMC Med Educ, 2025, 25(1): 1187. DOI: 10.1186/s12909-025-07744-0.

12 Peng H, Kothelnikov S, Egbert ME, et al. Ligand interaction landscape of transcription factors and essential enzymes in E. coli[J]. Cell, 2025, 188(5): 1441-1455.e15. DOI: 10.1016/j.cell.2025.01.003.

13 Obrezanova O. Artificial intelligence for compound pharmacokinetics prediction[J]. Curr Opin Struct Biol, 2023, 79: 102546. DOI: 10.1016/j.sbi.2023.102546.

14 Obrezanova O, Martinsson A, Whitehead T, et al. Prediction of in vivo pharmacokinetic parameters and time-exposure curves in rats using machine learning from the chemical structure[J]. Mol Pharm, 2022, 19(5): 1488-1504. DOI: 10.1021/acs.molpharmaceut.2c00027.

15 Preiksaitis C, Rose C. Opportunities, challenges, and future directions of generative artificial intelligence in medical education: scoping review[J]. JMIR Med Educ, 2023, 9: e48785. DOI: 10.2196/48785.

16 Wang LK, Paidisetty PS, Cano AM. The next paradigm shift? ChatGPT, artificial intelligence, and medical education[J]. Med Teach, 2023, 45(8): 925. DOI: 10.1080/0142159X.2023.2198663.

收稿日期：2026 年 05 月 11 日 修回日期：2026 年 07 月 10 日
本文编辑：李绪辉 桂裕亮