

· 论著 · 一次研究 ·

人工智能赋能医院药学实践：应用进展与现实挑战

方海燕¹, 何 庆²

1. 辽宁省金秋医院药学部 (沈阳 110004)
2. 东北大学信息科学与工程学院 (沈阳 110042)

【摘要】目的 构建技术-应用-挑战三维分析框架, 系统探讨人工智能 (AI) 在医院药学领域的支撑体系、应用进展与现实挑战, 为AI技术在该领域的深度融合与发展提供参考。方法 围绕AI在医院药学中的技术体系、应用场景与转化障碍展开分析, 梳理以自然语言处理、机器学习、深度学习及大数据分析为核心的技术支撑, 总结其在医院药学关键环节的应用现状, 并识别当前面临的突出问题。结果 技术层面, 自然语言处理、机器学习、深度学习与大数据分析共同构成赋能医院药学实践的技术体系; 应用层面, AI已驱动药品管理与供应链优化、药品调配、处方审核与合理用药管控、慢病管理与个性化用药指导、药品不良反应管理等核心场景实现提质增效; 挑战层面, AI技术的转化应用仍面临跨学科合作困难、数据共享平台不完善以及复合型人才缺失等制约。结论 未来在持续推进AI技术发展的同时, 医疗机构应加强高端技术研发与合作, 重视复合型人才培养与跨学科协作机制建设, 完善数据平台与伦理监管体系, 以推动AI深度融入医院药学实践, 实现药学服务智能化转型。

【关键词】人工智能; 医院药学; 机器学习; 自然语言处理; 深度学习; 大数据; 合理用药; 药品管理

【中图分类号】 R954

【文献标识码】 A

Artificial intelligence reshapes hospital pharmacy practice: advances in application and real-world challenges

FANG Haiyan¹, HE Qing²

1. Department of Pharmacy, Liaoning Jinqiu Hospital, Shenyang 110004, China

2. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110042, China

Corresponding author: FANG Haiyan, Email: 531223728@qq.com

【Abstract】 Objective To construct a three-dimensional analysis framework of technology-application-challenge, systematically explore the technical support system, application progress, and practical challenges of artificial intelligence (AI) in the field of hospital pharmacy, and provide reference for the deep integration and development of AI technology in this field. Methods The analysis focused on the technical systems, application scenarios, and transformation barriers of AI in hospital pharmacy. It outlined the core technical support provided by natural language processing, machine learning, deep learning, and big data analytics. The study also summarized the current application status of these technologies in key aspects of hospital pharmacy and identified the prominent challenges currently faced. Results At the technological level, natural language processing, machine learning, deep learning, and big data analytics together formed the technological system enabling hospital pharmacy practice. At

DOI: 10.12173/j.issn.2097-4922.202509015

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (62373083)

通信作者: 方海燕, 硕士, 副主任药师, Email: 531223728@qq.com

the application level, AI enhanced efficiency and quality across key domains such as medication management, supply chain optimization, drug dispensing, prescription review and rational use control, chronic disease management with personalized medication guidance, as well as adverse drug reaction management. At the challenge level, the translation of AI technologies still faced difficulties such as barriers to interdisciplinary collaboration, insufficient data-sharing platforms, and a shortage of interdisciplinary talent. Conclusion In the future, while continuously advancing the development of AI technology, healthcare institutions should enhance high-level technology research, development, and collaboration, emphasize the cultivation of composite talents and the construction of interdisciplinary collaboration mechanisms, Improve data platforms and ethical regulatory systems, in order to promote the deep integration of AI into hospital pharmacy practice and achieve the intelligent transformation of pharmaceutical services.

【Keywords】 Artificial intelligence; Hospital pharmacy; Machine learning; Natural language processing; Deep learning; Big data; Rational use of drug; Drug administration

人工智能 (artificial intelligence, AI) 指的是用机器模仿人类的“智能行为”，如思考、做决定、视物、说话等^[1]。随着 AI 技术的发展，其在医疗领域的应用正从辅助诊断、影像识别向药学服务深度渗透，通过机器学习、自然语言处理及深度学习等技术，已逐步实现从药品采购、处方审核到个体化用药的全链条赋能^[2-3]。国外医院药学领域的 AI 研究多聚焦于高端技术的开发，如基于机器学习的用药风险预测、自然语言处理驱动的处方审核、深度学习支持的药物相互作用数据库的构建等；这些应用虽展现了潜力，但其在实际医疗环境下的普适性及对基层药学实践的适配性仍需完善^[4-7]。国内 AI 研究虽然相对起步较晚，但发展迅速；主要侧重于服务落地和应用型研究，如处方审核、处方点评、互联网 + 智慧药学、慢病管理、中医药精准辨治等^[8-10]。这些本土化实践为探索 AI 如何切实解决我国医院药学部门面临的处方审核压力大、调配效率低等具体问题提供了宝贵经验。然而，高端技术开发滞后、区域发展失衡、技术转化困难、跨学科合作难度大、数据共享机制有待完善、复合型人才缺失等问题依然突出^[1-3]。为帮助广大药学工作者更系统地了解 AI 如何切实影响和变革医院药学实践，本文结合国内外研究进展与本土实践案例，对 AI 在医院药学方面的研究进行分析归纳，并概括了 AI 在医院药学领域的关键技术、核心应用场景及现实挑战，为充分发挥 AI 技术在医院药学领域的价值提供参考。

1 现代AI技术发展历程

AI 的概念始于 20 世纪 50 年代，其发展可划分为四个关键阶段（表 1），从早期的符号逻辑驱

动到如今的生成式智能，每一阶段都推动了社会的进步^[2-3]。阶段一：规则驱动阶段，依赖符号逻辑和专家规则库来构建静态知识库，例如第一代处方审核系统通过嵌入《中国药典》配伍禁忌规则，可识别如“华法林与非甾体抗炎药合用可能增加出血风险”等简单配伍禁忌，但存在规则库更新滞后、无法处理复杂用药场景、缺乏主动决策支持能力等局限性^[11]。阶段二：数据驱动阶段，在该阶段机器学习技术开始应用于数据分析，突破了从“规则匹配”转向“模式预测”，例如基于群体药代动力学模型开发的万古霉素剂量预测工具，通过整合患者肾功、体重等参数，能实现个体化给药方案的量化支持，显著提升药师工作效率，但受限于数据量不足和计算效率低下等问题，尤其是对于复杂药物治疗方案的适配性不足^[12-13]。阶段三：深度学习崛起阶段，在此阶段深度学习技术的发展突破了复杂模式识别的瓶颈，可处理高维、多源异构数据，在处理基因组学、蛋白组学等组学数据方面表现出显著优势，为肿瘤精准用药和智能个体化给药奠定了技术基础^[12-13]。阶段四：大模型阶段，以生成式预训练 (generative pretrained transformer, GPT)、深度求索 (DeepSeek) 为代表的大语言模型发展成熟，凭借千亿级参数规模和多步推理能力，实现了知识检索升级、交互能力革新、决策支持深化等功能的跃迁，使药学服务从“被动审核”转向“主动决策支持”，为精准药学时代的到来提供了技术基础^[14]。

2 医院药学领域的AI技术体系及应用场景

2.1 医院药学领域的关键AI技术体系

现代医院药学已形成以机器学习、深度学习、

自然语言处理和大型语言模型为核心的技术矩阵，这些技术相互融合，共同推动药学服务向精准化、智能化、个性化方向发展^[15-17]。每一类技术都在特定药学场景中发挥独特价值，构成覆盖药品全生命周期的技术管理体系（图1）。其中以机器学习与深度学习作为算法基础，能挖掘隐藏在海量医疗数据中的非线性关系，在药物选择、剂量优化及不良反应预测等复杂数据分析的场景中发挥核心作用^[15]。自然语言处理作为解锁非结构化文本的关键技术，主要应用于药学文本信息抽取、药物知识图谱构建及药物警戒信号挖掘等场景^[16]。大型语言模型通过强大的自然语言理解与生成能力，在智能用药咨询、多语言用药教育、文档辅助生成等场景中发挥价值，常用于构建药学服务的智能交互界面^[17]。多模态学习和知识图谱作为复杂药

学决策的技术支撑，通过融合异构数据源和构建专业领域知识网络，有助于解决药物治疗中的多维优化问题，尤其适用于特殊人群用药、多病共存患者、慢病等复杂场景的药物治疗管理^[16-17]。近年来，尽管AI技术发展迅速，但与国际相比仍存在一定差距；国内研究主要倾向于AI工具的应用，而在算法和模型的开发方面起步较晚，仍处于探索阶段^[8]。AI技术本身具有不确定性，其通过对海量数据进行分析、处理，再通过算法或模型模拟人脑思维方式，对数据进行分析、总结，从而挖掘潜藏的信息或得出结论^[1-3]。作为新兴技术，用于医疗健康领域，存在诸多风险环节，如错误信息导致的生命健康风险、监管缺失导致的伦理道德风险、技术固有的安全隐私风险。应用中需注意AI可作为辅助工具，但不能完全被依赖和信任^[1, 15-17]。

表1 AI技术在医院药学领域的发展阶段及特征

Table 1. Development stages and characteristics of AI technology in the field of hospital pharmacy

阶段	核心技术	代表应用	药学服务突破	主要局限	参考文献
规则驱动（1950-1990年）	符号逻辑、专家系统	配伍禁忌审查	基础用药错误拦截	静态规则更新滞后	[2-3, 11]
数据驱动（1990-2010年）	统计学习、早期机器学习	万古霉素剂量预测	个体化给药初探	特征工程依赖性强	[12-13]
深度学习（2010-2020年）	CNN/RNN、NLP	抗癌药敏感性预测、ADR文本挖掘	基因组导向精准用药	数据标注成本高	[12-13]
大模型时代（2020年~至今）	LLMs、多模态学习	智能用药咨询、个性化用药教育	生成式药学决策支持	“幻觉”风险需控制	[2-3, 14]

注：CNN：卷积神经网络（convolutional neural network）；RNN：循环神经网络（recurrent neural network）；NLP：自然语言处理（natural language processing）；LLMs：大语言模型（large language models）；ADR：药物不良反应（adverse drug reaction）。



图1 医院药学领域的关键AI技术体系

Figure 1. Key AI technology framework in hospital pharmacy

2.2 AI在医院药学领域的核心应用场景

当前，AI正深度融入医院药学实践，通过数据驱动决策、流程自动化及预测性分析，在药品采购、库存管理、处方审核、药品调剂、临床药学服务等核心环节展现出显著价值。基于近十年国内外研究及实践案例，AI在医院药学中的核心应用场景可分为五大类，具体见表2。

2.2.1 医院药品管理与供应链优化

AI在医院药品管理与供应链优化中展现出显著优势，智能采购、SPD [supply（供应）、processing（分拆加工）与 distribution（配送）] 物流模式及物流机器人等智能系统已逐渐投入使用，在提升运营效率的同时显著降低了人力成本。李雅琴等^[18]基于Power BI与医院信息系

统 (hospital information system, HIS) 对接开发的集采药品智能监控系统实现了可替代药品监控、缺药管理及重点科室用药监测自动化；柴煜莹等^[19]将新型供应链 SPD 物流管理模式应用于中心药房药品管理，实现了药品请领、验收、盘点、退药及配送的全流程智能化管理；甘粒等^[20]在静脉注射药物配置中心和住院药局引入了物流机器人系统，实现了医院药品的跨楼层无人配送，解决了传统配送成本高、差错多等

问题。尽管 AI 潜力巨大，但仍存在以下局限：一是系统覆盖范围有限，仅在部分科室试运行；二是功能尚不完善，如特殊药品温控、装卸自动化未实现；三是新增流程需配套培训与管理制度升级，监管机制与专业人才短缺^[18-20]。未来，需要延伸应用系统、完善机器人技术架构、建立人机协作规范；同时还需要引进复合型人才，充分发挥 AI 在药品供应链现代化升级中的驱动作用。

表2 AI在医院药学领域的核心应用场景

Table 2. Core application scenarios of AI in hospital pharmacy

应用方向	核心技术	实践效果	现存问题	文献
药品管理与供应链优化	大数据分析	院内药品全流程智能化管理	系统覆盖局限	[18-20]
	SPD物流管理	提高运营效率	人员培训需求高	
	物流机器人	降低人力成本	智能机器功能缺陷	
药品自动化调配	配药机器人	优化库存周转率	自动化程度不足	[21-24]
	Apriori算法	提升配药效率	机器人硬件故障	
	智能配药-核对系统	降低差错率	系统兼容性有限	
智能处方审核与合理用药管控	深度学习	降低远期成本	人机协作效率低	[25-26]
	自然语言处理		跨专业人才短缺	
	机器学习		跨机构数据兼容性差	
	XGBoost 算法		模型泛化能力不足	
	大数据分析		跨专业团队协作成本高	
慢病管理与个体化用药	互联网 + 机器学习	完善流程管理	AI “幻觉输出” 风险	[10, 27-28]
	GenAI大语言	提高工作效率	患者隐私泄露隐患	
	多模态数据分析	提高患者满意度	个体化适配不足	
ADR管理	知识图谱	降低差错比例	多学科协作障碍	[29-30]
	机器学习	提高治疗效率	数据孤岛现象严重	
	数据挖掘	降低ADR发生率	知识库更新滞后	
	自然语言处理	降低人工差错率	模型训练数据不足	
			跨学科技术门槛高	

注：GenAI：生成式AI（generative AI）。

2.2.2 药品自动化调配

药品自动化调配是 AI 赋能医院药学实践的重要场景，配药机器人、智能配药-核对系统及计算机算法的深度融合，正推动药品调配向精准化和全流程可追溯转型^[21-23]。例如，王冠元等^[21]引入全自动静脉配药机器人，模仿人工配药过程，通过设定程序和算法能精准完成药物计量-配制-封装全流程工作，提高效率并减少误差；王丰等^[23]应用 Aprior 算法优化门诊药房发药系统，通过流程重构提升发药效率与准确性，并降低远期设备成本；喻晔等^[24]利用外摆药智能添加系统和串联自动分包核对系统实现了口服药单剂量调剂-核对全自动化，减少了摆药差错，提升药师效率 20% 以上。AI 赋能药品自动化调配的同时，

也存在多重挑战：一是智能设备可靠性不足，频发故障且需持续升级软硬件；二是系统兼容性与政策适应性薄弱，特殊剂型或新规格的药品处理灵活性不足，尤其是当下集采政策调整带来的药品品种频繁更换的适应性挑战；三是人机协作机制不成熟，跨学科技术人才短缺，需药师与工程师协同升级、维护系统^[21-23]。这些挑战将助推药师角色转型，由医院药品搬运工转变为连接技术协调者、优化执行者及质量安全把关人。

2.2.3 智能处方审核与合理用药管控

传统处方审核和点评属于事后监管，主要依赖人工完成，不仅效率低下，而且无法从根本上改善合理用药水平。如今，依托自然语言处理实现医嘱的深度解析，结合知识图谱建立多维度用

药规则库,利用机器学习生成处方风险实时预警与干预建议,这些AI技术的应用不仅显著提升了处方审核效率,而且实现了事前审方,有效地保障了患者的用药安全^[25-26]。朱萍等^[25]应用XG Boost、LGBM Regressor等算法构建分类和回归预测模型,并将模型集成到临床决策支持系统中,不仅能辅助判断患者是否需要开具抗菌药物、预测其大致用药剂量,而且能提供抗菌药物质控的相关报表,有效辅助临床决策、减少抗菌药物滥用,实现了抗菌药物管理的智能化转变。陆昕玥等^[26]基于自然语言处理与深度学习技术,构建了儿童抗菌药物用药规则库、处方智能审核与反馈系统、用药数据管理系统,可精准识别超适应证用药问题,不仅能为临床提供较准确的处方智能审核提示,而且能自动进行用药评估,有效助力临床决策和抗菌药物管理。

2.2.4 AI辅助慢病管理与个性化用药

慢病管理和用药指导是现代医院药学延伸服务的重要工作,传统的工作方式存在问题,如慢病管理数据录入完全依赖人工、效率低下,药师的口头用药指导患者理解困难、且容易遗忘。在智能时代, AI可通过“互联网+”、机器学习、大语言模型等技术,从电子病历等自由文本中能自动提取关键药物治疗信息,智能生成药历和用药管理文档,还能结合肝肾功能、血压、血糖、血药浓度等数据为患者量身定制个性化用药指导。这些技术的应用降低了公众获取专业药学服务的门槛,提高了公众接受药学服务的依从性,助推药学服务从机构化向场景化、普适化方向转变。吴青等^[10]构建的“互联网+AI”儿童癫痫管理平台能实现随诊提醒、血药浓度预警等闭环服务;王天琳等^[27]应用GenAI生成个性化用药教育材料,提升药师工作效率并增强内容的可读性;赵浩宇等^[28]开发的B/S架构精准用药管理系统可快速生成个体化报告,降低差错率与药品ADR的比例。

2.2.5 ADR智能监测

近年来,ADR管理是AI临床转化的重要方向,其通过数据挖掘、自然语言处理及机器学习算法等技术,整合电子病历、ADR报告等多源异构数据,从药物研发到患者使用的药品全周期进行精准预测、监测,可有效预防、减少ADR风险,尤其是化疗患者,能提升患者的治疗体验、

改善预后结局^[29-30]。例如,孙宝等^[29]开发的AI肿瘤免疫相关不良反应治疗和管理软件,患者可通过手机端(扫描“E药智库”二维码)注册和上传数据,可自动获取由系统推送的疾病评估报告、建议治疗方案、用药指导、不良反应指导等科普内容,实现住院-门诊-居家全病程的数据智能化管理,在降低ADR发生率的同时还提升了患者的治疗体验。贾晋生等^[30]利用文献及网络资源,对7000多条不良反应利用ERNIE(enhanced representation through knowledge integration)模型进行知识抽取,构建ADR知识图谱和ERNIE-DPCNN(deep pyramid convolutional neural networks)自动关联性评价模型,探索了对ADR报告进行快速自动关联评价的智能方法,模型测试的精确度为82.18%,可靠性较好。

3 AI在临床转化应用面临的挑战

3.1 AI临床转化面临的技术挑战与应对策略

AI虽然在提升药学服务质量、促进用药安全、提高工作效率等方面展现出巨大潜力,但其临床转化路径仍面临多重挑战。首先,数据层面的挑战尤为突出。医疗数据具有高度复杂性、个体化差异大、来源异构性强等特点,导致数据整合与标准化进程缓慢。电子病历、检验报告、处方单等数据在不同医疗机构格式不一,形成严重的“信息孤岛”现象,阻碍了数据的跨机构流动与协同使用^[1-3]。此外,数据质量参差不齐,缺乏统一的质量评估与控制机制,进一步限制了AI模型的训练效果与泛化能力^[3]。在算法层面,模型开发与实际临床需求之间存在明显脱节^[2]。AI算法的构建不仅需要计算机科学、数学建模、数据科学等多学科知识,还必须紧密结合临床实践。然而,目前国内既懂算法又熟悉药学场景的复合型人才严重匮乏,导致许多算法在设计上脱离实际,无法有效应对复杂多变的临床情境^[1, 9-10]。例如,部分智能审方系统过度依赖规则库,而忽略了患者的个体差异与合并用药情况,造成误判风险上升^[9-10]。为应对上述技术挑战,建议从数据治理与算法优化两方面入手。一方面,应建立分级分类的医疗数据管理体系,推动数据标准化与互操作性建设,构建高质量、可共享的药学数据库^[2]。另一方面,应加强跨学科人才培养,推动药学、医学与信息科学的深度融合,同时加大对基础算

法研究的投入,提升模型的准确性、稳定性与可解释性,从而实现 AI 技术在药学临床实践中的有效应用^[3,7]。

3.2 AI 临床转化中的伦理法规挑战与治理路径

随着 AI 技术在药学领域的深入应用,其所引发的伦理与法律问题日益凸显,成为制约其临床转化的重要因素。数据安全与隐私保护是首要难题,医疗数据往往涉及患者隐私信息,在数据采集、存储、处理及共享过程中若管理不当,极易导致信息泄露。当前,我国在医疗 AI 数据治理方面的法规尚不完善,缺乏统一的数据脱敏、权限控制与审核机制,难以有效防范数据滥用的风险^[2-3]。其次, AI 决策的“黑箱”特性引发信任危机。多数 AI 模型可解释性缺乏,大众难以理解其推理逻辑,尤其在处方优化、用药预警等高风险场景中,模型的不可靠性可能导致临床接受度低甚至引发医疗纠纷^[4,13]。此外, AI 系统在训练数据中若存在偏见,可能产生误判,进而引发伦理争议。同时,目前尚未形成清晰的 AI 辅助决策责任追溯机制,当 AI 系统出现错误判断时,责任应由开发方、医疗机构还是使用者承担这一问题的模糊性不仅影响技术推广,也可能阻碍司法裁决的公正性^[4,6]。为应对上述挑战,建议在伦理层面,构建多层次、系统化的伦理法规治理体系;在技术层面,增强模型透明度,建立严格的算法验证与多中心临床评估机制;在制度层面,加快制定医疗 AI 数据安全与伦理审查标准,明确数据使用边界与权限管理要求;在法律层面,完善相关法规,明确 AI 辅助决策中各方的法律责任与追溯路径,保障患者权益,促进 AI 在药学领域的规范、安全、有效应用^[1,6]。

3.3 AI 时代医院药学面临的人才挑战与对策

AI 的快速发展对医院药学人才培养也提出了全新要求。当前,我国药学从业人员多以临床医学、药学、生物学、流行病学为背景,在数据分析、算法理解与 AI 工具应用方面普遍存在能力短板^[15,23]。药学人才知识结构的单一性已成为制约 AI 在药学实践中深入应用的瓶颈。传统药学教育侧重于药物知识、临床用药与药事管理,而在大数据处理、机器学习、自然语言处理等领域的课程设置几乎空白,导致药师在面对智能审方、用药风险预测、个体化给药等 AI 技术时,往往

难以理解其底层逻辑,更无法深入参与系统的优化与迭代^[15]。此外,部分 AI 产品在设计阶段就缺乏药学人员的参与,造成技术与场景脱节,实用性不足^[9-10]。为适应 AI 时代的发展需求,医院药学人才培养应向“医-药-信”融合方向转型。一方面,应在药学本科与继续教育中强化数据科学与 AI 基础课程,提升药师的数据素养与技术理解力。另一方面,应推动“信息药师”等新型岗位的设置与认证,通过专项培训、跨学科合作项目等方式,培养一批既懂药学又掌握 AI 技术的复合型人才^[23]。同时,医疗机构应积极引进计算机、信息、AI 等专业背景人才,与药师组成多学科团队,共同推进 AI 系统的开发、验证与临床应用,最终实现 AI 技术与药学服务的深度融合与可持续发展。

4 结语

AI 技术正深刻重塑医院药学实践图景,为提升药学服务效率与质量开辟了新路径。本文系统梳理了医院药学领域的 AI 技术支撑体系,总结了 AI 在医院药品供应链管理、药品自动化调配、智能处方审核与合理用药管控、慢病管理与个体化用药服务及 ADR 智能监测等五大核心场景中的应用进展,系统地构建了“技术-场景-挑战”三维分析框架,揭示 AI 有助于优化流程,提高工作效率,降低人力成本;强调药师不仅是技术使用者,还是 AI 工具的设计参与者、数据治理主导者、规则制定者、输出审核者与伦理守门人。尽管潜力巨大,但 AI 的临床转化仍面临数据安全、伦理规范、算法可靠性验证不足、复合型人才的缺失、与实际工作流程整合困难等挑战。此外, AI 与医疗信息系统的兼容性、药师队伍的跨学科能力培养等问题也有待解决。未来,随着大模型、多模态学习等技术的发展,药师的专业智慧与 AI 的高效协同,将进一步赋能药师主导的智能药学服务,成为高质量药学服务体系的推手。

参考文献

- 1 柴人杰,滕皋军. 人工智能在医药领域的应用与挑战 [J]. 药学进展, 2023, 47(10): 721-723. [Chai RJ, Teng GJ. Applications and challenges of artificial intelligence in the medical field[J]. Progress in Pharmaceutical Sciences, 2023, 47(10): 721-723.] DOI: 10.20053/j.issn1001-5094.2023.10.001.
- 2 Ballester GV, Vicente TC. The role of artificial intelligence in

scientific publishing: perspectives from hospital pharmacy[J]. *Farm Hosp*, 2024, 48(5): 246–251. DOI: [10.1016/j.farma.2024.07.009](https://doi.org/10.1016/j.farma.2024.07.009).

3 Falconer N, Scott I, Barras M. Powered by AI: advancing towards artificial intelligence algorithms in Australian hospital pharmacy[J]. *J Pharm Pract Res*, 2024, 54(2): 107–109. DOI: [10.1002/JPPR.1922](https://doi.org/10.1002/JPPR.1922).

4 Benedikt L. Machine learning as a tool to identify inpatients who are not at risk of adverse drug events in a large dataset of a tertiary care hospital in the US[J]. *Br J Clin Pharmacol*, 2023, 89(12): 3523–3538. DOI: [10.1111/bcp.15846](https://doi.org/10.1111/bcp.15846).

5 Taxiarchis B, Kory K. Improving drug safety with adverse event detection using natural language processing[J]. *Expert Opin Drug Saf*, 2023, 22(8): 659–668. DOI: [10.1080/14740338.2023.2228197](https://doi.org/10.1080/14740338.2023.2228197).

6 Prashant SK, Piyush SK, Poonam S, et al. Efficient prediction of drug–drug interaction using deep learning models[J]. *IET Syst Biol*, 2020, 14(4): 211–216. DOI: [10.1049/iet-syb.2019.0116](https://doi.org/10.1049/iet-syb.2019.0116).

7 Pérez GY, Delgado MA, Sesmero MMJ. Approaching artificial intelligence to Hospital Pharmacy[J]. *Farm Hosp*, 2024, 48(Suppl 1): S35–S44. DOI: [10.1016/j.farma.2024.02.007](https://doi.org/10.1016/j.farma.2024.02.007).

8 付素琴, 郝辰业, 彭骏. 人工智能应用于医院药学服务领域的文献计量学分析 [J]. 中国药房, 2024, 35(4): 494–499. [Ren SQ, Hao CY, Peng J. Artificial intelligence application in hospital pharmaceutical service: a bibliometric analysis[J]. *China Pharmacy*, 2024, 35(4): 494–499.] DOI: [10.6039/j.issn.1001-0408.2024.04.21](https://doi.org/10.6039/j.issn.1001-0408.2024.04.21).

9 宋再伟, 同盈盈, 杨丽, 等. 中国医院药学服务智慧化建设现状:一项横断面研究 [J]. 中国医院药学杂志, 2023, 43(12): 1392–1396, 1415. [Song ZW, Yan YY, Yang L, et al. Current status of intelligent pharmaceutical care services in China: a cross-sectional study[J]. *Chinese Journal of Hospital Pharmacy*, 2023, 43(12): 1392–1396, 1415.] DOI: [10.13286/j.1001-5213.2023.12.15](https://doi.org/10.13286/j.1001-5213.2023.12.15).

10 吴青, 冯越, 孔粼. 基于“互联网+人工智能”的智慧临床药学服务模式探索 [J]. 卫生软科学, 2025, 39(2): 58–62. [Wu Q, Feng Y, Kong L. Exploration of the intelligent pharmaceutical care model based on "Internet+artificial intelligence" —taking epilepsy in children as an example[J]. *Soft Science of Health*, 2025, 39(2): 58–62.] DOI: [10.3969/j.issn.1003-2800.2025.02.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-2800.2025.02.011).

11 Dsouza SV, Leyens L, Kurian RJ, et al. Artificial intelligence (AI) in pharmacovigilance: a systematic review on predicting adverse drug reactions (ADR) in hospitalized patients[J]. *Res Social Adm Pharm*, 2025, 21(6): 453–462. DOI: [10.1016/j.sapharm.2025.02.008](https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2025.02.008).

12 Pratik J, Masilamani V, Anirban M. A knowledge graph embedding based approach to predict the adverse drug reactions using a deep neural network[J]. *J Biomed Inform*, 2022, 13(2): 104122–104131. DOI: [10.1016/j.jbi.2022.104122](https://doi.org/10.1016/j.jbi.2022.104122).

13 Imai S. Data-driven clinical pharmacy research: utilizing machine learning and medical big data[J]. *Biol Pharm Bull*, 2024, 47(10): 1594–1599. DOI: [10.1248/bpb.b24-00492](https://doi.org/10.1248/bpb.b24-00492).

14 闻海荣, 江瑞, 张学工, 等. DeepSeek 与医学大语言模型: 技术创新与医疗服务模式重构 [J]. 医学信息学杂志, 2025, 46(2): 1–7, 13. [Lu HR, Jiang R, Zhang XG, et al. DeepSeek and medical large language model: technological innovation and reconstruction of medical service mode[J]. *Journal of Medical Intelligence*, 2025, 46(2): 1–7, 13.] DOI: [10.3969/j.issn.1673-6036.2025.02.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-6036.2025.02.001).

15 Zhang X, Tsang SCC, Ford DD, et al. Student pharmacists' perceptions of artificial intelligence and machine learning in pharmacy practice and pharmacy education[J]. *Am J Pharm Educ*, 2024, 88(12): 101309. DOI: [10.1016/J.AJPE.2024.101309](https://doi.org/10.1016/J.AJPE.2024.101309).

16 Sabanayagam C, Banu R, Lim C, et al. Artificial intelligence in chronic kidney disease management: a scoping review[J]. *Theranostics*, 2025, 15(10): 4566–4578. DOI: [10.7150/thno.108552](https://doi.org/10.7150/thno.108552).

17 Alum UE, Ugwu CPO. Artificial intelligence in personalized medicine: transforming diagnosis and treatment[J]. *Disc Appl Sci*, 2025, 7(3): 193–193. DOI: [10.1007/S42452-025-06625-X](https://doi.org/10.1007/S42452-025-06625-X).

18 李雅琴, 刘华, 王芳, 等. 医院集中带量采购品种可替代药品监测和精细化管理探索 [J]. 中国药业, 2024, 33(20): 1–6. [Li YQ, Liu H, Wang F, et al. Exploration of monitoring and refined management of alternative medicines for centralized-procurement varieties in the hospital[J]. *China Pharmaceuticals*, 2024, 33(20): 1–6.] DOI: [10.3969/j.issn.1006-4931.2024.20.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-4931.2024.20.001).

19 柴煜莹, 孙怡, 唐婕. 医院新型供应链 SPD 管理模式在中心药房药品管理中的应用 [J]. 中南药学, 2023, 21(8): 2215–2218. [Chai YY, Sun Y, Tang J. New supply-processing-distribution management model of hospital supply chain in the management of central pharmacy[J]. *Central South Pharmacy*, 2023, 21(8): 2215–2218.] DOI: [10.7539/j.issn.1672-2981.2023.08.043](https://doi.org/10.7539/j.issn.1672-2981.2023.08.043).

20 甘粒, 杨晓东, 张志毅, 等. 服务型机器人在医院药品配送场景中的应用管理与成效分析 [J]. 中国卫生资源, 2020, 23(6): 583–588. [Gan L, Yang XD, Zhang ZY, et al. Application management and effectiveness analysis of service robots in hospital medication delivery scenarios[J]. *Health Development and Policy Research*, 2020, 23(6): 583–588.] DOI: [10.13688/j.cnki.chr.2020.20061](https://doi.org/10.13688/j.cnki.chr.2020.20061).

21 王冠元, 李文莉, 刘婧琳, 等. 全自动智能静脉用药调配机器人 ML300 在静脉用药调配中心的开发与应用 [J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(34): 7362–7368. [Wang GY, Li WL, Liu JL, et al. Development and application of fully automated intelligent intravenous medication dispensing robot ML300 in pharmacy intravenous admixture services[J]. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*, 2025, 29(34): 7362–7368.] DOI: [10.12307/2025.896](https://doi.org/10.12307/2025.896).

22 刘冰, 李聃. 静脉用药调配中心应用智能机器人配置化疗药物的临床效果研究 [J]. 西北药学杂志, 2023, 38(6): 227–230. [Liu B, Li D. Clinical effect of applying intelligent robot in pharmacy intravenous admixture services to dispense chemotherapy drugs[J]. *Northwest Pharmaceutical Journal*, 2023, 38(6): 227–230.] DOI: [10.3969/j.issn.1004-2407.2023.06.039](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-2407.2023.06.039).

23 王丰, 董海燕. 信息药师技术赋能门诊自动发药系统流程重构与优化 [J]. 医药导报, 2024, 43(7): 1151–1155. [Wang F, Dong HY. Reconstruction and optimization of outpatient automatic medication dispensing system process based on information

pharmacist technology[J]. Herald of Medicine, 2024, 43(7): 1151–1155.] DOI: 10.3870/j.issn.1004-0781.2024.07.024.

24 喻晔, 夏璇, 李力, 等. 口服外摆药智能添加系统在我院单剂量分包工作中的应用 [J]. 中国医院药学杂志, 2023, 43(4): 441–444. [Yu Y, Xia X, Li L, et al. Application of dismounted drug intelligent addition system for oral medicine in single-dose packaging work in our hospital[J]. Chinese Journal of Hospital Pharmacy, 2023, 43(4): 441–444.] DOI: 10.13286/j.1001-5213.2023.04.17.

25 朱萍, 周晓颖, 张小亮, 等. 人工智能技术在降低消化内科抗菌药物使用强度中的应用 [J]. 药学与临床研究, 2024, 32(6): 517–521. [Zhu P, Zhou XY, Zhang XL, et al. Application of artificial intelligence technology in the management of antibiotic usage intensity in the gastroenterology department[J]. Pharmaceutical and Clinical Research, 2024, 32(6): 517–521.] DOI: 10.13664/j.cnki.pcr.2024.06.018.

26 陆昕玥, 朱珠, 赵永根, 等. 基于人工智能的儿童抗菌药物超适应证评估系统设计与应用 [J]. 医学信息学杂志, 2024, 45(12): 69–74. [Lu XY, Zhu Z, Zhao YG, et al. Design and application of the children's antibacterial drugs off-label use assessment system based on artificial intelligence[J]. Journal of Medical Intelligence, 2024, 45(12): 69–74.] DOI: 10.3969/j.issn.1673-6036.2024.12.011.

27 王天琳, 蔡乐, 董钊, 等. 基于生成式人工智能大语言模型编写缺血性卒中患者出院用药教育材料的案例研究 [J]. 临床药物治疗杂志, 2025, 23(1): 71–76. [Wang TL, Cai L, Dong Z, et al. An case study of preparation of educational materials on discharge medication for ischaemic stroke patients based on a generative artificial intelligence large language model[J]. Clinical Medication Journal, 2025, 23(1): 71–76.] DOI: 10.3969/j.issn.1672-3384.2025.01.013.

28 赵浩宇, 刘芳, 吴昊, 等. 基于人工智能的个体化精准用药系统设计 [J]. 医疗卫生装备, 2023, 44(8): 45–49. [Zhao HY, Liu F, Wu H, et al. Design and application of individualized precise medication system based on artificial intelligence[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2023, 44(8): 45–49.] DOI: 10.19745/j.1003-8868.2023160.

29 孙宝, 罗芝英, 傅媛媛, 等. 基于人工智能的肿瘤患者免疫相关不良反应管理软件的应用及效果评价 [J]. 中南药学, 2023, 21(8): 2228–2231. [Sun B, Luo ZY, Fu YY, et al. Artificial intelligence-based software in the treatment and management of tumor patients with immune-related adverse reactions[J]. Central South Pharmacy, 2023, 21(8): 2228–2231.] DOI: 10.7539/j.issn.1672-2981.2023.08.046.

30 贾晋生, 刘红亮, 王青, 等. 基于知识图谱联合 ERNIE-DPCNN 模型的药品不良反应自动关联性评价方法研究 [J]. 中国药物警戒, 2024, 21(2): 163–166, 180. [Jia JS, Liu HL, Wang Q, et al. Evaluation of the relevance of adverse drug reaction based on ERNIE-DPCNN[J]. Chinese Journal of Pharmacovigilance, 2024, 21(2): 163–166, 180.] DOI: 10.19803/j.1672-8629.20230632.

收稿日期: 2025 年 09 月 05 日 修回日期: 2025 年 10 月 22 日

本文编辑: 李 阳 钟巧妮