

医疗机构制剂供应链精细化智能管理平台的构建与应用^Δ

柴煜莹*, 吴 懿, 陶 香, 张春歌[#](苏州大学附属第一医院药学部, 江苏 苏州 215006)

中图分类号 R954 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2026)17-2315-05
DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2026.17.17



摘要 **目的** 构建医疗机构制剂供应链精细化智能管理平台,并评价其实施效果。**方法** 通过机器学习和经典时序模型对医疗机构制剂需求进行预测;基于预测结果,围绕医疗机构制剂供应链各环节构建包含智能辅助决策、日常效期监控、智能推送和持续改进3个功能模块的智能管理平台。通过对比苏州大学附属第一医院应用该平台前后的各制剂平均库存周转天数的均值、月均过期报废金额、临床平均满意度等指标,分别从成本控制、运营效率及药事服务质量3个维度评价应用效果。**结果** 所建智能管理平台能自动生成库存动态分级预警、生产计划建议、物料采购建议及效期预警,并智能推送至相关责任人。与应用前比较,成本控制方面,各制剂平均库存周转天数的均值从64.1 d缩短至48.4 d,月均过期报废金额从1 973元减少至1 369元;运营效率方面,生产计划制定平均耗时从120 min缩短至60 min,效期预警信息平均滞后天数从15 d缩短至0.5 d;药事服务质量方面,临床平均满意度从85.4%提升至94.6%。**结论** 成功构建了医疗机构制剂供应链精细化智能管理平台,可辅助管理人员进行生产计划制定、采购、近效期制剂和物料处置等决策,达到降本增效的目的。

关键词 医疗机构制剂;需求预测;库存预警;效期预警;智能管理;机器学习;经典时序模型

Construction and application of a refined intelligent management platform for the supply chain of hospital preparations

CHAI Yuying, WU Qi, TAO Xiang, ZHANG Chungu (Dept. of Pharmacy, The First Affiliated Hospital of Soochow University, Jiangsu Suzhou 215006, China)

ABSTRACT **OBJECTIVE** To construct a refined intelligent management platform for the supply chain of hospital preparations and to evaluate its implementation effectiveness. **METHODS** Machine learning and classical time series model were used to predict the demand for hospital preparations. Based on the prediction results, an intelligent management platform was constructed around each link of the supply chain of hospital preparations, which included three functional modules: intelligent auxiliary decision-making, daily expiry date monitoring, and intelligent push and continuous improvement. By comparing indicators such as the mean of average inventory turnover days of each preparation, average monthly expired and scrapped amount, and average clinical satisfaction before and after the application of the platform in the First Affiliated Hospital of Soochow University, the application effectiveness was evaluated from three dimensions: cost control, operational efficiency, and pharmaceutical care service quality. **RESULTS** The constructed intelligent management platform could automatically generate dynamic inventory grading alerts, production plan suggestions, material procurement suggestions, and expiry date alerts, and intelligently push them to relevant responsible persons. Compared with before the application, in terms of cost control, the mean of average inventory turnover days of each preparation was shortened from 64.1 days to 48.4 days, and the average monthly expired and scrapped amount was reduced from 1 973 yuan to 1 369 yuan; in terms of operational efficiency, the average time for production plan formulation was shortened from 120 min to 60 min, and the average lag days of expiry date alert information was shortened from 15 days to 0.5 days; in terms of pharmaceutical care service quality, the average clinical satisfaction increased from 85.4% to 94.6%. **CONCLUSIONS** The refined intelligent management platform for the supply chain of hospital preparations has been successfully constructed, which can assist managers in decision-making regarding production plan formulation, procurement, and disposal of near-expiry preparations and materials, thereby achieving the purpose of cost reduction and efficiency improvement.

KEYWORDS hospital preparations; demand forecasting; inventory alert; expiry date alert; intelligent management; machine learning; classical time series model

^Δ基金项目 苏州市药学会-江苏恒瑞医药临床药学科研基金项目(No. Syhky202401);苏州市中医药科技发展计划项目(No. ZYZXZJ202607)

*第一作者 主管药师,硕士。研究方向:药事管理、药物分析、医院药学。E-mail:chaiyuying@pharm-go.com

[#]通信作者 副主任药师,硕士。研究方向:药事管理、医院药学。E-mail:zhangchunge@pharm-go.com

医疗机构制剂,是指医疗机构根据本单位临床需要经批准而配制、自用的固定处方制剂。医疗机构制剂往往疗效确切、安全性好,能够满足临床实际应用需要,是临床用药的重要组成部分^[1]。长期以来,医疗机构制剂的定价遵循“保本微利”原则,已严重滞后于生产成本日益提高的现实形势^[1-2]。有研究统计发现,7%左右的医

疗机构制剂室存在成本倒挂的情况^[3],主要与制剂成本核算不全面,物料价格上涨,制剂研发、检验、注册成本不断上升有关^[4]。在各地大力推进新药研发转化、强化“开源”增效的背景下,对医疗机构制剂供应链全流程(物料采购及存储、制剂生产、成品存储及出库等)实施精细化管理,有助于实现“节流”,对控制运营成本、减少资源浪费、缓解成本倒挂压力至关重要。

近年来,数智化手段逐步渗透到医疗卫生各领域^[5-8],国家也在持续推进医药工业数智化转型,提出打造数据驱动的经营管理决策、智能计划排程、智能供应链管理与优化等应用场景^[9]。基于此,苏州大学附属第一医院(以下简称“我院”)药学部制剂室拟通过机器学习和经典时序模型构建医疗机构制剂供应链精细化智能管理平台(以下简称“智能平台”),以期提高库存周转效率、减少物料和制剂积压浪费,从而提升制剂室运行效率,达到降本增效的目的。

1 智能平台的构建

1.1 我院制剂室现存问题调研分析

我院制剂室通过调研近年发表的国内外文献、参加学术会议交流,并与制剂室负责人、库管人员、生产调度人员进行现场沟通与意见征集,梳理出以下4个主要问题:(1)管理人员在安排生产计划时,主要以既往经验为依据,主观性强,难以应对季节性波动与突发需求,且人员变动也会影响对制剂需求量的预测准确性。生产计划安排不当会导致制剂缺货或积压浪费。(2)制剂与物料分属两个独立系统,可能存在制剂系统已录入生产数据但物料系统未及时扣减,导致物料未及时采购而中断生产,或因未关注到某制剂库存充足而过量囤积相关材料。管理人员安排采购时需人工核对两个系统的数据,既耗时又存在核对错误的风险。同时,物料采购计划依赖于对未来生产计划的预估,以经验为依据同样可能导致物料短缺或积压。(3)物料与制剂的效期管理依赖月度人工盘点,无实时监测,预警信息滞后,不能及时发现近效期与过期情况。(4)无智能化预警推送,库存缺口、效期提示等信息依赖人工传递,响应迟缓,延误处置时机。

1.2 智能平台框架的构建

针对上述问题,围绕医疗机构制剂供应链全流程的各个环节,我院制剂室构建了智能平台框架,拟建立智能辅助决策、日常效期监控、智能推送和持续改进3个功能模块,详见图1。

1.3 我院医疗机构制剂的数据收集及清洗

本研究收集了我院制剂室2022年5月至2025年4月医疗机构制剂生产(含生产日期、批号、数量)和出库(含出库日期、批号、数量、出库单位)、物料采购和库存、制剂与物料过期报废、生产计划制定耗时、临床满意度的相关数据;此外,根据生产工艺处方分别针对每个制

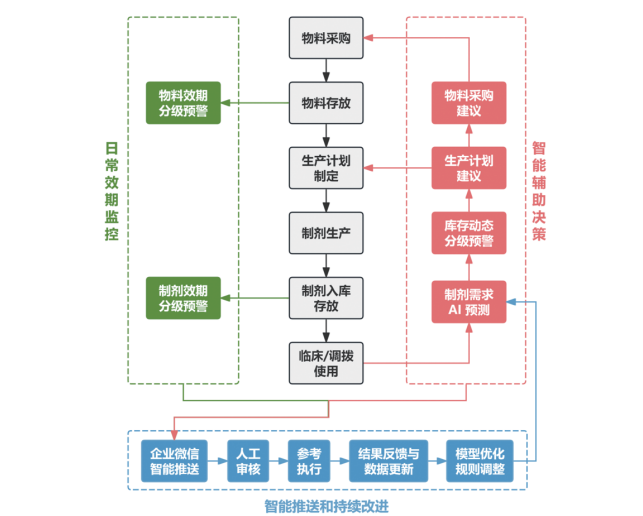


图1 医疗机构制剂供应链与3个功能模块框架

剂单位生产量所消耗的物料进行核算,用以关联制剂和物料数据。

原始数据来自我院制剂室Excel台账,存在格式不规范以及数据缺失、重复及异常等问题。本研究利用Excel软件统一格式并删除重复记录;同时,构建8类校验规则(表1),利用Python脚本进行自动检测。对于数据缺失和异常值,经人工追溯复核后予以补充、修正、保留或删除。数据清洗完成后,核心字段完整率达100%,所有批号均通过校验;随机抽样5%与原始纸质记录核对,一致率为99.2%,验证了数据的可靠性。

表1 Python脚本批量校验规则

检查类别	检查内容	异常情况判定标准	记录结果/报错类型
字段完整性	出/入库日期、批号、生产日期、有效期、出/入库数量、出库单位、出/入库批号结存、结存总量	字段下内容不完整	数据缺失
日期	生产日期与有效期对比	生产日期等于或晚于有效期	日期报错
	出/入库日期与生产日期对比	出/入库日期早于生产日期	日期报错
	出/入库日期与有效期对比	出/入库日期等于或晚于有效期	日期报错
	出库日期与有效期的时间差	出库日期在有效期前90 d内	临期出库(仅提示)
出库批号	出库批号的入库记录	有出库数据的批号无对应入库信息	批号记录错误/遗漏该批次入库信息
批号结存	每个批号的理论结存与实际结存对比(理论结存=入库总量-出库总量)	实际结存数量≠理论结存数量	该批号结存错误
结存总量	该制剂所有批号的理论结存总量与实际结存总量对比	实际结存总量≠各批号理论结存数量之和	结存总量错误

1.4 智能辅助决策模块的构建

1.4.1 制剂需求预测

根据药物性质和临床使用情况,本研究首先将突发需求制剂排除,不对其作需求预测。如磺胺嘧啶银霜,主要用于烧伤创面感染,其需求情况与意外事故相关,难以预测,因此仅通过设置库存安全阈值(即最低库存警戒阈值)进行应急备货管理。对于其余制剂,基于预测当月前36个月的制剂出库数据,采用中位数阈值法,根据季节性波动占比(季节分量标准差/原始序列标准差,反映需求量的年度周期性强弱,值越大表明季节性

规律越明显)和月度变异系数(12个月均量的标准差/12个月均量的均值,反映各月份间需求量的差异程度,值越大表明月份间差异越明显)进行分类,详见表2。

表2 制剂分类(部分示例)

制剂名称	季节性波动占比	月度变异系数	季节性判断
尿素乳膏	0.93	0.93	强季节性
水杨酸酐	0.69	1.15	强季节性
咪喹西林溶液	0.74	0.30	弱季节性
倍他米松乳膏	0.63	0.22	弱季节性
皮炎乳膏(I)	0.50	0.34	平稳
磺胺米隆	—	突发需求制剂	—

智能平台内设置了 XGBoost、ElasticNet、Prophet、ARIMA、Holt-Winters、Moving Average 和 Linear Regression 7 个候选预测模型。智能平台分别用各个模型对每个制剂进行训练和滚动验证,完成后每个制剂分别得到 7 个模型的均方根误差(root mean square error, RMSE)、平均绝对百分比误差(mean absolute percentage error, MAPE)、偏差(Bias)和方向准确率(directional accuracy, DA)4 项指标。根据 Min-Max 归一化后的多指标加权综合得分,智能平台会自动为每个制剂选择最优预测模型,详见表 3。

表3 时序预测模型的动态选择结果(以尿素乳膏为例)

模型名称	RMSE	MAPE/%	Bias	DA	综合得分/分
Holt-Winters	3 882.69	49.74	-1 236.00	0.80	90.35
ARIMA	4 997.11	81.14	-429.32	0.60	78.18
Prophet	4 647.11	50.16	-2 101.99	0.60	64.91
XGBoost	5 985.61	126.58	477.64	0.60	63.05
Linear Regression	7 086.40	187.72	-1 663.48	0.40	24.04
ElasticNet	7 071.12	185.36	-1 714.88	0.40	23.82
Moving Average	7 934.48	286.34	843.94	0.40	15.04

随着数据的不断增加,智能平台采用滑动窗口(36 个月)每月重训练模型,并重新选择最优模型进行新一轮需求预测。此外,还可根据前述季节性分类结果评估模型选择的合理性。例如,尿素乳膏主要用于秋冬季高发的皮肤干燥及湿疹,需求高峰通常出现在每年10月至次年3月,智能平台选择了具有季节捕捉能力的 Holt-Winters 模型,与季节性分类结果相符,说明数据驱动的预测方法可自动内化临床规律。

智能平台为每个制剂选用各自的最优模型预测未来3个月的月度需求,预测结果以 Excel 格式输出,并衔接后续库存预警与采购建议环节。同时,智能平台为每个制剂生成可视化趋势图,展示历史销量、预测值与真实值对比、未来3个月预测值及其置信区间(图2),供管理者和制剂室人员分析、参考。该模块功能可用于多制剂批量预测,且可灵活新增或删减候选模型,适配我院制剂室制剂品种多、波动差异大的特点。

1.4.2 库存动态分级预警及生产计划建议

将制剂需求预测结果中第1个月的需求预测值与制剂实时库存值进行比较,分别针对季节性需求制剂/平稳

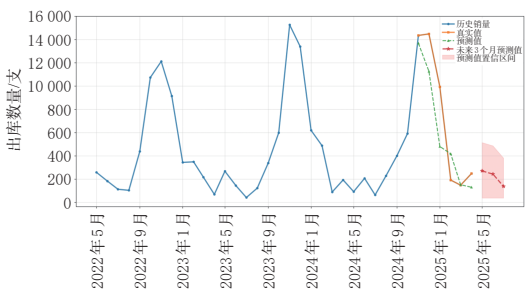


图2 单制剂可视化趋势图(以尿素乳膏为例)

需求制剂和突发需求制剂,设置库存动态分级预警机制(表4),结合我院制剂室生产规模及库房容量等,以制剂需求的预测值或安全阈值×120%与当前库存值的差值为建议补货量。当触发预警时,智能平台自动生成制剂建议补货量(图3),辅助管理人员结合单批次生产数量上下限等实际情况确定生产计划。

表4 制剂库存动态分级预警机制

制剂类型	实时库存详情	预警详情
季节性需求制剂/平稳需求制剂	库存值<80% 预测值	红色预警
	80% 预测值≤库存值<100% 预测值	橙色预警
	100% 预测值≤库存值<120% 预测值	黄色预警
	120% 预测值≤库存值	无预警
突发需求制剂	库存值<安全阈值	红色预警

制剂名称	库存预警等级	预测值/安全阈值	当前库存值	建议补货量
止痒酐	红色预警	621	260	485
尿素乳膏	红色预警	2 708	332	2 917
咪喹西林炉甘石洗剂	黄色预警	497	554	43
复方苯甲酸酐	红色预警	42	21	29
咪喹西林溶液	橙色预警	5 432	4 540	892
磺胺嘧啶银霜	红色预警	10	2	8

图3 制剂库存预警示例(邮件截图)

1.4.3 物料采购建议

智能平台根据每个制剂单位生产量所消耗的物料建立制剂库存与物料库存的数据关联。智能辅助决策模块依据建议补货量计算所需物料用量,并与实时物料库存进行比较,若物料库存不足,则同步生成物料补货提示(图4)。采购管理人员可结合物料采购建议量与实际情况(如不同包装规格等)进行采购。

制剂名称	物料类型	物料名称	库存预警等级	生产需求值	当前库存值	物料采购建议量	基本单位
止痒酐	原辅料	乙醇	红色预警	19 034	40	18 994	g
咪喹西林炉甘石洗剂	原辅料	聚山梨酯	黄色预警	22	0	22	g
复方苯甲酸酐	原辅料	乙醇	红色预警	2 312	40	2 272	g

图4 物料补货提示示例(邮件截图)

1.5 日常效期监控模块的构建

该模块结合制剂与物料的物资属性及采购周期等特征,建立 A、B、C 三级效期预警机制及处置流程(表5),智能平台每日监测效期并触发预警(图5)。此外,对触发效期预警的制剂,同步显示其未来3个月的需求预测结果,作为辅助制定近效期制剂或物料处置方案的参考。

表5 效期分级预警机制与处置流程

类别	有效天数范围	预警详情	处置流程
制剂	<0 d	已过期	库管员负责隔离、启动销毁审批程序,并通知临床科室停用
	0 d~<30 d	A级预警	质量管理员负责近效期评估,24 h内结合需求预测结果决定调拨或报废;库管员负责隔离
	30 d~<60 d	B级预警	制剂室负责人制订处置方案(临床告知、优先使用、调拨),3个工作日内完成;库管员跟踪执行
	60 d~<90 d	C级预警	库管员标注近效期批次,执行“近效期先出”;制剂室负责人每月复核
	≥90 d	无预警	常规管理
物料	<0 d	已过期	库管员负责隔离、启动销毁审批程序
	0 d~<30 d	A级预警	制剂室负责人评估对生产计划的影响,确认紧急补货或调整生产计划
	30 d~<90 d	B级预警	库管员标注近效期批次,优先发放;制剂室负责人评估是否调整生产计划
	90 d~<180 d	C级预警	库管员标注近效期批次,按“先进先出”常规管理
	≥180 d	无预警	常规管理

一、制剂效期预警

制剂名称	批号	预警等级	详情	数量	2025-05	2025-06	2025-07
复方苯甲酸酯	20240618	B级预警	有效期至2025年06月17日, 剩余48天	21.0	42	169	313

二、物料效期预警

物料分类	商品名称	预警等级	效期	批号	规格	基本单位	数量	厂家名称
原辅料	肌苷素	B级预警	2025年07月04日	00920070018	1kg/听	g	164.8	东北制药集团股份有限公司
原辅料	尿囊素	B级预警	2025年06月30日	2207003	1 000g/袋	g	4 280.0	普盛大公药业(启东)有限公司
原辅料	香精	已过期	2025年02月04日	20230205	500g/瓶	mL	150.0	嘉兴大家好食品科技有限公司
原辅料	依地酸二钠	C级预警	2025年09月30日	20240402	500g/瓶	g	432.0	成都华邑药用辅料制造有限责任公司

图5 效期预警示例(邮件截图)

1.6 智能推送和持续改进模块的构建

该模块在每月月底推送制剂库存预警报告,包含未来3个月制剂需求预测结果、库存预警、补产提醒及物料采购提醒;每日推送制剂与物料效期预警报告,实现实时防控。

智能平台自动将上述预警报告同步生成邮件内容与Excel附件,同时推送至制剂室责任人、库管员、质量管理员及其他相关人员的企业邮箱(如图6A、B),也可通过企业微信群机器人配置Webhook发送群消息(如图6C)。预警信息推送后,相关责任人在微信群内确认接收;需处置的预警由对应负责人在微信群内说明处置措施,并对处置结果定期汇总记录。

管理人员对推送报告进行人工审核后参照执行,并反馈执行结果、更新智能平台数据。管理人员每月依据前期对该制剂的季节性分类结果,评估智能平台所选最优模型是否合理;如模型不适宜,则进行人工复核,排查数据质量或模型参数问题。对于预测偏差较大的制剂,需要对其进行优化:(1)修改该制剂的候选模型参数;(2)新增或替换候选模型,使智能平台选择更合适的预测模型。

2 智能平台实施效果评价

本研究对智能平台在我院制剂室应用后(2025年5月至12月)与应用前(2022年5月至2025年4月)的成本控制、运营效率、药事服务质量3个维度的5个指标进行对比,以验证该平台对制剂室运营管理的实际优化效果,结果详见表6。

在成本控制方面,本研究分别计算了智能平台应用前后28个制剂的平均库存周转天数,其平均值从64.1 d缩短至48.4 d,配对 t 检验显示差异有统计学意义($P=0.003$)。收集智能平台应用前后制剂因过期导致报废的金额数据并计算月度平均值,可得月均过期报废金额减少了604元;因月度报废金额记录含大量零值且呈严重偏态,未开展统计学检验,仅作描述性对比。

在运营效率方面,与智能平台应用前比较,该平台应用后的生产计划制定平均耗时缩短了60 min, Mann-Whitney U 检验显示差异有统计学意义($P<0.001$)。效期盘点频率从平台应用前的每30 d一次调整为平台应用后的每日自动盘点,使效期预警信息平均滞后天数从15 d缩短至0.5 d。此外,企业邮箱和企业微信群的智能推送功能也提升了预警信息传递效率。

在药事服务质量方面,本研究分别针对供货及时满意度和制剂效期满意度向制剂常用临床科室进行满意度调查,结果显示药事服务质量满意度整体提升了9.2%。



A. 企业邮箱(手机端)



B. 企业邮箱(电脑端)



C. 企业微信群(机器人消息推送)

图6 预警信息推送示例

表6 智能平台应用前后的成本控制、运营效率、药事服务质量比较结果

评价维度	评价指标	检验方法	时段(样本量)	均值/中位数	差值	统计量	P
成本控制	各制剂平均库存周转天数的均值/d	配对t检验	应用前(n=28)	均值:64.1±31.1	缩短15.7 d	t=3.248, df=27	0.003
			应用后(n=28)	均值:48.4±22.7			
运营效率	月均过期报废金额/元	描述性对比	应用前(n=36)	均值:1 973	减少604元	—	—
			应用后(n=8)	均值:1 369			
	生产计划制定平均耗时/min	Mann-Whitney U检验	应用前(n=16)	中位数:120	缩短60 min	U=528	<0.001
			应用后(n=33)	中位数:60			
药事服务质量	临床平均满意度/%	配对t检验	应用前	均值:15	缩短14.5 d	—	—
			应用后	均值:0.5			
			应用前(n=20)	均值:85.4±3.5	提升9.2%	t=-10.134	<0.001
			应用后(n=20)	均值:94.6±3.5			

3 讨论

本研究围绕医疗机构制剂供应链全流程构建了智能平台。该平台利用机器学习和经典时序模型对制剂需求量进行预测,智能辅助决策模块基于预测结果实现对制剂和物料的库存动态分级预警、生产计划建议及物料采购建议,为管理决策提供了智能辅助。日常效期监控模块分别针对制剂与物料进行日常效期监控,并提供需求预测数据作为近效期制剂、物料的处置参考;智能推送和持续改进模块利用企业微信和企业邮箱进行智能推送,并通过数据反馈持续优化自身。

智能平台应用后,成本控制、运营效率、药事服务质量方面均呈现不同程度的改善。智能辅助决策模块有效缩短了各制剂平均库存周转天数的均值,减少了库存积压;同时,该模块还显著提升了我院制剂室多品种、小批量生产模式下的生产计划制定效率。日常效期监控模块提高了对近效期制剂和物料的响应处置效率,使过期损耗减少。智能推送和持续改进模块将预警信息由月度盘点后人工传达转变为系统每日自动推送,使预警信息平均滞后天数大幅缩短,同时通过反馈执行结果与数据形成闭环,为模型优化提供了数据支撑。此外,智能平台还有效减少了临床科室领用制剂时的缺货情况,改善了临床领用制剂的效期品质,一定程度上提高了药事服务质量。

智能平台推动了制剂室管理从“经验驱动”向“数据驱动”转型,在医疗机构制剂供应链各个环节中发挥了降本增效的核心作用,为同行提供了可借鉴的实践经验。尽管该平台取得了一定成效,但仍存在不足之处,其中需求预测功能考虑了季节性波动特征,但未能结合政策调整、突发公共卫生事件等不可控外部因素,预测准确度仍有提升空间。另外,本研究聚焦于构建可迁移

的通用平台,未针对我院特定疾病的高发特点及诊疗规律进行深度建模,其他医疗机构可结合自身疾病谱进一步优化,以增强智能平台的适配性。

利益冲突 本文所有作者声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 蔡明远,张翠莲,周亮,等. 全国医疗机构制剂现状调研及问题分析[J]. 中国药房,2022,33(5):513-518.

[2] 藕顺龙,林洪,陈小艺,等. 医院制剂成本构成与成本管理文献分析[J]. 中国药业,2026,35(1):38-42.

[3] 刘丛颖,刘笑男,薛晴,等. 近10年国内医疗机构制剂现状及发展浅析[J]. 中华中医药杂志,2024,39(2):999-1003.

[4] 杨波,周启微,甘昌敏,等. 对云南省医疗机构制剂发展的建议[J]. 世界中医药,2021,16(7):1142-1145.

[5] 马妍菁,杭骏,王雅楠,等. 基于物联网和区块链的门诊药房药品全流程追溯闭环管理体系构建[J]. 中国药房,2025,36(20):2502-2506.

[6] 高博聪,新冠民,袁涛. 基于MRI及AI预测GBM pTERT突变的研究进展[J]. 放射学实践,2025,40(8):1070-1074.

[7] 蒋清青,毛巍然,尹园园,等. 抗肿瘤药物临床试验智能化数据平台构建与应用[J]. 中国医院药学杂志,2025,45(22):2624-2632.

[8] Zhang A, Chen J Y. AI-driven network biology identifies SRC as a therapeutic target in metastatic pancreatic adenocarcinoma[J]. Intell Oncol,2025,1(3):233-243.

[9] 工业和信息化部,商务部,国家卫生健康委,等. 医药工业数智化转型实施方案:2025—2030年[EB/OL]. (2025-04-03)[2025-04-26]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202504/content_7020857.htm.

(收稿日期:2026-04-02 修回日期:2026-08-19)

(本文责编:胡晓霖)