

基于TAM-TOE-DOI整合框架的人工智能在药学领域应用的激励和约束因素及优化策略研究^Δ

杨 坚^{1*}, 李知初^{1,2}, 赵伟立^{1,3}, 于潇依¹, 许 铭^{1,2#} (1. 北京大学公共卫生学院全球卫生学系, 北京 100191; 2. 北京大学全球健康发展研究院, 北京 100871; 3. 中华医学会对外联络部, 北京 100710)

中图分类号 R95 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2026)11-1478-07

DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2026.11.17



摘要 **目的** 识别药学领域人工智能应用的激励和约束因素,促进人工智能在药学领域的应用。**方法** 基于技术接受模型(TAM)、技术-组织-环境(TOE)框架和创新扩散理论(DOI),采用“理论回顾→维度映射→机制整合→命题提出”的4阶段研究流程构建TAM-TOE-DOI整合框架。结合上述3种理论在药学领域人工智能应用分析的作用路径,以及TAM-TOE-DOI的整合机制与核心命题,采用文献综述和演绎推理的方法,从微观(TAM)、中观(TOE)、宏观(DOI)3个层面,系统识别药学领域人工智能应用的激励和约束因素,并提出优化策略。**结果与结论** 在微观层面,人工智能技术带来的效率变革与质量提升是感知有用性的主要激励因素;技术复杂性与算法不透明是感知易用性的主要约束因素。在中观层面,技术基础设施完善程度、高层支持力度与创新氛围,以及外部制度压力与竞争驱动是核心激励因素;组织资源匮乏与人才短缺是主要约束因素。在宏观层面,相对优势、可观察性是典型的激励因素,而技术复杂性是典型的约束因素。中国卫生行政和医保等相关部门需在宏观、中观和微观3个层面协同推进药学领域人工智能应用——在微观层面优化人机交互与分层培训,在中观层面强化组织支持体系与能力建设,在宏观层面打破数据壁垒和构建社会信任,并针对不同层级医疗机构制定差异化推进路径。

关键词 人工智能;药学;激励因素;约束因素;技术接受模型;技术-组织-环境框架;创新扩散理论

Incentive and constraint factors and optimization strategies for artificial intelligence application in pharmacy based on TAM-TOE-DOI integrated framework

YANG Jian¹, LI Zhichu^{1,2}, ZHAO Weili^{1,3}, YU Xiaoyi¹, XU Ming^{1,2} (1. Dept. of Global Health, School of Public Health, Peking University, Beijing 100191, China; 2. Institute of Global Health Development, Peking University, Beijing 100871, China; 3. Division of Foreign Relations, Chinese Medical Association, Beijing 100710, China)

ABSTRACT **OBJECTIVE** Identify the incentive and constraint factors of artificial intelligence (AI) application in the pharmaceutical field, and promote the application of AI in the field of pharmacy. **METHODS** Based on the technology acceptance model (TAM), technology-organization-environment (TOE) framework, and diffusion of innovation theory (DOI), a TAM-TOE-DOI integrated framework was constructed through a four-stage research process of “theoretical review → dimension mapping → mechanism integration → proposition development”. Combining the analytical pathways of the above three theories in AI application in pharmacy with the integration mechanisms and core propositions of the TAM-TOE-DOI, literature review and deductive reasoning were employed to systematically identify the incentive and constraint factors of AI application in pharmacy from three levels: micro (TAM), meso (TOE), and macro (DOI), and to propose optimization strategies. **RESULTS & CONCLUSIONS** At the micro level, the efficiency transformation and quality improvement brought by AI technology were the main incentive factors for perceived usefulness, while technological complexity and algorithmic opacity were the main constraint factors for perceived ease of use. At the meso level, the completeness of technological infrastructure, the strength of top management support and innovation climate, as well as external institutional pressure and competitive driving forces were the core incentive factors, whereas scarcity of organizational resources and talent shortage were the main constraint factors. At the macro level, relative advantage and observability were typical incentive factors, while technological complexity was a typical constraint

factor. China's health administration, medical insurance authorities, and other relevant departments should coordinate efforts at the macro, meso, and micro levels to advance AI application in pharmacy: optimizing human-computer interaction and implementing tiered training programs at the

^Δ 基金项目 国家社会科学基金项目(No.23BGL288)

* 第一作者 博士研究生。研究方向:全球卫生治理、卫生政策和技术评价。E-mail:2211110235@bjmu.edu.cn

通信作者 研究员,博士生导师。研究方向:全球卫生治理。E-mail:xum2022@pku.edu.cn

micro level; reinforcing organizational support systems and capacity building at the meso level; dismantling data barriers and building social trust at the macro level. Differentiated implementation pathways should be developed for medical institutions at different tiers.

KEYWORDS artificial intelligence; pharmacy; incentive factors; constraint factors; technology acceptance model; technology-organization-environment framework; diffusion of innovation theory

近年来,人工智能正在重塑药学实践。从药物分子的虚拟筛选、上市药品的安全性评价,到临床处方前置审核、精准用药决策、不良反应主动监测,人工智能技术已渗透到药学服务的几乎每一个关键节点^[1-3]。Hu等^[4]、Kumar等^[5]分别从药物重定位与药学研究转化2个视角,论证了人工智能与药学服务的融合并非一蹴而就的线性过程。技术壁垒、政策法规的制定完善滞后于实践和伦理争议多等多重因素相互交织,导致我国各级医疗机构在人工智能采纳的广度与深度上分化明显^[6]。

从既有研究看,人工智能技术采纳的研究大多集中在2个方面:医生侧的诊断辅助系统和患者侧的健康管理应用^[7-8]。药学领域因专业壁垒高、监管严苛、责任链条长,反而少有系统性的实证讨论,已有的研究框架也偏单一。并且,既往研究多局限于单一理论视角,或是侧重于用户个人感知的技术接受模型(technology acceptance model, TAM),或是关注组织层面的技术-组织-环境(technology-organization-environment, TOE)框架,抑或是基于时间维度的创新扩散理论(diffusion of innovation theory, DOI)^[9-12]。然而,药学领域人工智能应用不是孤立现象,其牵涉个体认知、组织变革、外部生态3层,由外向内传导的特征极为鲜明。仅依赖任何单一层面的理论视角,都难以说清“政策环境怎样调度组织资源、组织资源又怎样反过来重塑药师个体感知”这条完整链路。基于此,本研究将TAM、TOE、DOI 3个理论框架进行互补整合,自微观(药师感知)、中观(机构决策)、宏观(行业扩散)3层切入,识别药学领域人工智能应用的激励和约束因素,并据此推导分层递进的优化路径,提出优化策略,旨在促进人工智能在药学领域的应用。

1 TAM-TOE-DOI整合框架的构建

1.1 理论选择依据

选择TAM、TOE和DOI这3种理论来构建整合框架的原因在于其互补性。TAM是一种聚焦个体认知层面的技术接受,TOE关注组织采纳决策的多维影响因素,DOI解释创新在社会系统中的扩散规律。三者分别对应微观、中观、宏观3个分析层次,整合后可形成完整的分析视角。

1.2 框架构建过程

采用“理论回顾→维度映射→机制整合→命题提出”的4阶段研究流程,构建整合分析框架。首先系统回顾3种理论的核心变量和假设,然后识别变量间的逻辑映射关系,进而构建跨层次的整合机制,最后提出可验

证的研究命题。

1.3 分析方法

依托上一节搭建的TAM-TOE-DOI整合框架,运用文献综述和演绎推理的方法,对药学领域人工智能应用的激励和约束因素进行识别。分析各因素之间的跨层联动关系:微观感知怎样被中观决策牵动?中观决策又如何被宏观扩散影响?理顺3层(微观层、中观层、宏观层)因素之间的因果链条,从而为后续优化策略的设计提供依据。

2 3种理论在药学领域人工智能应用分析中的作用路径

2.1 TAM的作用路径

个体使用者对新技术使用的意愿和行动受到使用者对新技术认知的影响^[1-2]。TAM的感知有用性(perceived usefulness, PU)和感知易用性(perceived ease of use, PEOU)2个变量可以用来分析该影响路径。易用是有用的前提。在药学人工智能场景,药师对易用性的判断,主要是看交互体验顺不顺手,培训跟不跟得上,系统能不能与医院信息系统、计算机化医嘱录入系统无缝衔接;药师对有用性的判断,则取决于工具在处方审核、药物相互作用预警等核心环节中到底能节省多少时间、减少多少差错。个体的正向态度能否突破组织壁垒,能否被纳入采购清单、嵌入 workflow,是采纳能否真正落地的最后一关。本研究在微观层面识别激励与约束因素,依据的正是这条路径。

2.1.1 PU

PU是指潜在用户对某一特定技术系统能够提升其工作绩效的程度的主观判断。在本研究中,PU衡量的是药学从业人员对人工智能在处方审核、用药决策支持及药物警戒等核心业务中提升工作效率与决策质量的预期程度。如果人工智能能够提高药学人员(如药师、药学研究员等)自身的工作效率,提高决策的准确率或改善患者服务体验,药学工作者对人工智能的接受程度一般会有所上升^[1]。比如,在药物研究领域,人工智能因可以加速分子筛选、优化药物设计、缩短药物发现时间、降低研发费用,而被认为是相当“有用”^[4-5]。

药学人员可以在合理用药和多重用药管理中应用人工智能来预测药物的相互作用、不良反应,计算药物使用剂量,支持药房库存周转优化以及个体化用药咨询,从而提高患者用药安全性^[7]。这一正反馈将提高药学人员对PU的判断。尽管人工智能在药学领域的应用

已经显示出了较大潜力,但是部分药学专业人员仍对其在教学中的可操作性、效益等认知有限。因此,利益相关者有必要将人工智能的优势更直观地呈现给药学专业人员,进而提高全体药学从业人员对人工智能有用性的认可度^[8]。

2.1.2 PEOU

PEOU指潜在用户对使用某一特定技术系统所需付出努力的程度的主观感受。在本研究中,PEOU反映的是药学人员对人工智能技术界面交互、操作流程及学习成本的难易感知情况。药学人员觉得人工智能在药学实践中易学易用、使用负担小时(如操作界面简洁),其采纳意愿强;觉得人工智能相关工具难学难用、学习成本高时,就会感到失望,则采纳意愿弱^[1-2]。因此,为药学从业人员提供人工智能工具的培训和技术支持,对促进人工智能在药学领域的应用非常重要。

2.2 TOE框架的作用路径

TOE框架从技术、组织、环境3个维度系统识别影响人工智能技术采纳决策的关键因素,揭示技术特性如何通过组织条件与外部环境共同作用形成实际的采纳行为^[1,11]。技术、组织、环境三者缺一不可。在药学领域,人工智能在医疗机构能不能用起来,本质上是3个因素的耦合——人工智能模型与医院信息系统及电子病历系统能否实现技术架构集成,管理层是否愿意拨付预算并打通组织内部跨科室协作,外部监管与行业规范是否能给出明确的合规路径。其中任一项发展滞后,人工智能在医疗机构应用的整体进程就会受阻。

2.2.1 技术维度

技术维度的因素是指影响组织技术采纳决策的内、外部技术条件的总和,涵盖现有技术的成熟度与可用性、新技术与既有系统的兼容性以及技术创新的复杂程度。在本研究中,技术维度主要关注人工智能系统的算法透明性、与医院信息系统及电子病历记录的互操作性、数据治理的标准化水平等。技术的先进性、复杂性、兼容性与可扩展性等,均是影响药学领域人工智能应用的重要因素^[1,11]。药学相关机构应用人工智能解决药学应用相关方案时,应评估其技术成熟度及与机构所用药学信息系统的兼容性,从而促进相关方案更好地被药学从业人员接受。

2.2.2 组织维度

组织维度的因素是指影响技术采纳进程的组织内部结构性特征,包括组织规模与资源禀赋、管理层的战略支持力度、组织内部的沟通机制与创新文化,以及人力资源的技能储备。在本研究中,组织维度考察的是医疗机构的资金与人才配置、高层管理者对人工智能项目的承诺程度、跨学科协作团队的建设状况以及药学人员的数字化技能水平。研究显示,组织结构、组织规模、管理风格、资源配置、创新能力等组织层面的影响因素对

人工智能的应用有重大影响^[1,11]。相关行为主体在引入人工智能技术时,要综合考虑是否拥有足够的资金、技术人员和数据基础设施来支持人工智能技术的应用^[11]。人工智能的组织嵌入本质上是一个知识转化过程:组织需要将分散在药师、医师和信息工程师个体中的专业知识汇聚为共享的组织能力,而这一知识汇聚过程依赖于管理层的信赖支持与制度保障。

2.2.3 环境维度

环境维度的因素是指影响组织技术采纳决策的外部宏观条件的集合,涵盖行业竞争态势、政策法规环境、技术标准与规范体系,以及外部利益相关者的压力与支持。在本研究中,环境维度重点考察的是政府监管政策的完备性、行业标准的统一程度、竞争性模仿压力(如同级别医疗机构的示范效应),以及公众对人工智能在药学领域应用的信任与接受程度。研究显示,环境维度因素包括组织在外部环境中运营所产生的因素,如政府政策和法律规范等,会对人工智能的应用产生积极或者消极的作用^[1,10]。例如,政府制定的医疗领域人工智能应用规范政策,可促进人工智能在药学领域的应用与采纳^[9]。虽然大多数人对人工智能在线药房服务的认可度较高,但是很多药学从业人员和机构对人工智能在线药房的数据隐私和安全性等存在顾虑,进而影响了人工智能在线药房服务的推广^[12]。

2.3 DOI的作用路径

DOI主要解释创新,即人工智能技术如何随时间在社会系统中扩散,并指出该过程受创新本身特征和用户特征的影响^[2,13]。基于该理论,人工智能技术在药学领域的创新扩散,取决于其相对优势、兼容性、复杂性、可试验性以及可观察性5个因素。

2.3.1 相对优势

相对优势是指潜在采纳者感知到的某项创新优于其所替代的现有方案的程度。在本研究中,相对优势衡量的是药学从业人员和医疗机构对人工智能系统相较于传统人工审方、经验性用药决策等既有工作模式,在效率、准确性和成本控制方面所具备的优越性的认知程度。人工智能技术相较于传统药学技术在提升效率、降低成本或提供人性化服务等方面的相对优势,将有助于加快其在药学领域的扩散速度^[4,9]。人工智能在药学领域应用中的相对优势越大,药学人员就越倾向于在工作中应用人工智能。

2.3.2 兼容性

兼容性是指潜在采纳者感知到某项创新与其现有价值观念、既往经验及实际需求之间相互契合的程度。在本研究中,兼容性考察的是人工智能技术与药学人员的职业价值观(如“以患者为中心”的用药安全理念)、既有工作流程(如处方审核与药学监护的标准化操作)以及医疗机构现行信息系统架构之间的适配程度。若药

师在日常工作中能顺畅地使用人工智能工具,且工具使用契合药学临床实践和伦理要求,那么采纳人工智能技术的医疗机构数量将会增加。相反,若人工智能工具与当前药学从业人员使用的系统之间存在较大冲突,药学从业人员就需要花更多的精力来学习和接受该项技术,导致人工智能技术在药学领域的扩散速度减慢。

2.3.3 复杂性

复杂性是指潜在采纳者感知到理解和使用某项创新所需付出的认知与操作努力的程度。在本研究中,复杂性反映的是药学人员从算法原理理解、界面操作掌握、系统部署维护以及输出结果解读等方面,对人工智能技术所感知到的学习难度和认知负担。采纳者对人工智能技术的PEOU和扩散速度受到人工智能技术复杂性的负向影响^[12]。如果药学人员在应用人工智能时,需要耗费大量的精力来学习如何使用该工具,那么这些工具应用的扩散速度会受到限制。

2.3.4 可试验性

可试验性是指潜在采纳者在正式采纳之前,能够在有限范围内对某项创新进行试用和体验的程度。在本研究中,可试验性衡量的是医疗机构和药学人员能否在低风险条件下,对人工智能技术进行小规模试用(如在单一科室或特定病种中试运行处方审核模块),并据此积累直接使用经验以评估系统的实际效用。较高的可试验性意味着用户在承担较小风险的情况下,可以先小规模地使用该系统^[13]。有条件的地区和医疗机构可在小规模范围内(如某科室、某一品种等)开展人工智能技术的功能应用试点,事先评价该人工智能技术的成效及问题,从而减少药学相关人员对药学领域人工智能大规模应用的担忧和怀疑。

2.3.5 可观察性

可观察性是DOI的核心变量之一,指创新成果能被潜在采纳者直接看到的程度。在药学领域人工智能应用上,可观察性指的是工具能不能拿出可量化、可被同行传阅的成绩单,如处方差错率降低几个百分点、不良反应预警的灵敏度与特异度具体是多少、人均审方耗时缩短多少分钟。

3 TAM-TOE-DOI理论的整合机制与核心命题

TAM、TOE和DOI这3种理论并非相互独立,而是通过跨层次的互动关系,形成有机整合的分析框架,详见图1。该框架的核心机制包含3个层面:微观-中观联动、中观-宏观联动、微观-宏观映射。

TAM、TOE与DOI3种理论的整合并非简单叠加,真正发挥作用的是3条跨层传导路径。第一条路径是中观-微观这条线。在TOE框架下,技术成熟度、与医院信息系统的兼容性等技术维度变量,会直接影响药师对人工智能PU与PEOU的判断。与技术维度的“直接效应”不同,组织维度扮演的是“调节者”角色:管理层是否支

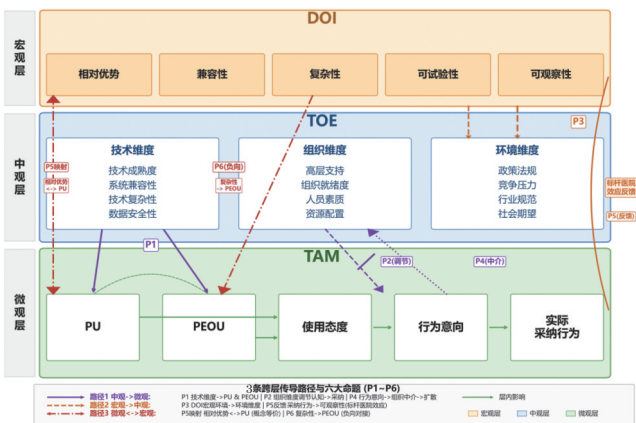


图1 基于TAM-TOE-DOI理论的整合分析框架

持、培训预算是否到位、资源能否倾斜,决定了药师的认知能不能转化为实实在在的采纳行为。此外,药师个体的采纳意愿并不能自发转化为组织层面的技术部署,而是必须经由组织决策的中介传导,才能进一步推动人工智能在药学领域的扩散。第二条路径是宏观-中观这条线。政策法规明确程度、同行竞争压力强度、行业规范完善程度等外部环境因素,会直接推动或制约医疗机构作出决策。政策越明确,同行采纳案例越丰富,医疗机构作出决策的速度就越快。与此同时,已经实施成功的早期案例会反过来影响其他医疗机构,这就是DOI中的“可观察性”机制,业内人士习惯将其称为“标杆医院效应”。最后一条路径是微观-宏观这条线。笔者发现,TAM中的PU与DOI里的“相对优势”讲的几乎是同一件事;而TAM中的PEOU与DOI中的“复杂性”则正好相反。正是依托这种概念映射,个体层面的认知评价和宏观层面的扩散特性才能在同一个框架下阐释,整合框架才能真正成立。

基于上述多维度的整合机制,本研究进一步演绎推导出6项核心命题:P1——技术特征(如技术成熟度、系统兼容性)对药学人员感知人工智能技术的易用性具有正向影响。P2——组织支持(如管理支持、培训投入)在药学人员感知人工智能技术有用性,以及对其采纳意愿的影响中起正向调节作用。P3——环境因素(如政策法规、竞争压力)能够正向驱动组织的人工智能采纳决策。P4——个体采纳意愿需经组织决策的中介作用,影响人工智能在药学领域的扩散速度。P5——人工智能在药学领域的扩散速度受其相对优势、可观察性及可试验性的正向驱动。P6——采纳者对人工智能的PEOU以及人工智能的整体扩散速度,均受到技术复杂性的负向制约。

4 药学领域人工智能应用的激励和约束因素分析

基于前文构建的TAM-TOE-DOI整合分析框架及推导出的6项核心命题,笔者结合文献综述和演绎推理情况,从微观(TAM)、中观(TOE)、宏观(DOI)3个视角,系统识别药学领域人工智能应用的激励和约束因素。

4.1 基于TAM视角的分析

TAM认为,用户对新技术的采纳意愿受PU和PEOU影响。在前文构建的整合框架中,TAM对应微观层,反映药学人员对人工智能技术的个体感知与采纳决策情况。本节基于TAM框架,从PU与PEOU 2个维度识别药学领域人工智能应用的激励和约束因素。

4.1.1 PU的激励和约束因素

药学从业人员对人工智能技术有用性的感知,主要源于技术带来的效率与质量提升。当医疗机构通过资金与培训投入,向药学人员展示人工智能在药物研发、精准用药及安全监测等方面的显著成效时,药学人员的PU认知得以强化,采纳意愿随之增强(呼应命题P2)^[14-17]。这种个体意愿需经由组织采购、流程嵌入及制度保障等环节,才能转化为实际应用并推动扩散(呼应命题P4)。

4.1.2 PEOU的激励和约束因素

PEOU的激励因素比较集中,主要包括以下3个方面:人机交互是否友好、与既有药学信息系统能否兼容、技术支持响应是否及时。只要做到以上3个因素中的其中1个,比如界面足够直观,药师的PEOU就会显著提升,其采纳意愿也会随之增强(呼应命题P1)。PEOU的约束因素同样清晰:药学领域人工智能的应用通常内嵌深度学习算法,药师需要学习较长时间且需具备专业判断能力,才能对相关应用进行有效和正确的使用;若组织既没有安排分层培训,又缺乏现场技术支持,那么对该工具的认知负担便会直接降低药师的尝试意愿(呼应命题P6)。

4.2 基于TOE框架视角的分析

4.2.1 技术维度的激励和约束因素

技术基础设施的完善度对人工智能在药学领域应用的效果和范围有重要影响。当人工智能技术能与现有药学信息系统无缝集成时,药学人员学习和使用新技术的门槛将大幅降低,有助于提升其对人工智能的PEOU(呼应命题P1)^[18]。反之,技术架构的局限性(包括复杂性高和集成成本高等)则制约了药学人员对人工智能的PEOU,构成命题P1的负向情形。这表明TOE框架的技术维度通过影响个体PEOU发挥中介作用,体现了技术环境向微观个体感知的传导机制。

4.2.2 组织维度的激励和约束因素

组织维度的高层支持与创新氛围是药学领域人工智能应用的核心激励因素。当管理层提供战略承诺、财务预算和技能培训时,药学人员不仅更容易感知人工智能的有用性,而且能促进其实际采纳人工智能技术(呼应命题P2)^[19-20]。约束因素方面,资源匮乏和科室壁垒等组织层面的因素会削弱上述调节效应:即使药师个人认可人工智能的价值,但在缺乏组织资源和协作机制的情况下,其采纳意愿也难以转变为实际采纳行为。这印

证了命题P4的中介机制,即个体采纳意愿必须经由组织决策才能转化为实际的技术部署和应用。

4.2.3 环境维度的激励和约束因素

外部的制度压力与竞争驱动是药学领域人工智能应用环境维度的核心激励因素。行政引导和市场竞争构成了组织采纳人工智能技术的外部驱动力(呼应命题P3)。约束因素方面,政策不确定性和法规真空抑制了组织的采纳决策,构成命题P3的负向情形。此外,环境维度的分析也揭示了命题P3、P4、P5之间的联动关系:有利的政策环境推动组织采纳决策(呼应命题P3),组织决策进而将个体意愿转化为实际部署(呼应命题P4),成功的早期应用案例又通过可观察性机制加速人工智能应用更大范围的扩散(呼应命题P5)。

4.3 基于DOI视角的分析

在DOI框架中,笔者认为有2个主要的激励因素:第一个是相对优势——人工智能在药物分子筛选、不良反应风险预测等应用中,可降低错误率、提高工作效率,这种优势是显而易见的。第二个是可观察性——当一家医疗机构成功运行了某一方案,消息便很快在行业内扩散,这正是命题P5想表达的扩散机制。在药学领域,人工智能技术的复杂性突出表现为算法的“黑箱”属性和与医疗机构既有标准操作规程兼容困难。药学从业人员的PEOU受到该复杂性的影响,进而制约了人工智能应用在药学领域的扩散速度和覆盖范围,这呼应了命题P6。

然而,激励和约束因素不是各自独立,而是相互制衡的博弈关系。当一项人工智能工具具有足够亮眼的相对优势和可见成效时,其技术复杂性带来的采纳阻力可被有效抵消。在此过程中,可试验性是关键调节器:把工具先放进一个科室、一类病种内进行小范围试点,既能直接削弱药学工作人员对其复杂性的负面感知,又能借试点成功案例反过来强化该工具的可观察性与相对优势。两条机制叠加,可有效加快宏观层面的技术扩散进程。

5 药学领域人工智能应用的优化策略

基于以上分析,本研究提出一套药学领域人工智能应用的分层级优化策略体系:短期做技术适配(落在微观层)、中期做组织赋能(落在中观层)、长期做生态重塑(落在宏观层)。其中,微观层、中观层、宏观层分别回应TAM、TOE、DOI维度的约束问题。

5.1 微观策略:提升技术感知价值与易用性

组织实证支持不足是PU侧绕不开的现实问题。医疗机构应当建立一套严格的人工智能价值实证机制:用循证医学方法(前瞻性队列、分组对照、外部验证等),对人工智能在药物研发、精准用药、用药安全监测等场景的实际效能作出量化评估,再把数据用可视化报告的形

式反馈给药师,让“有用”从一句口号变成具体数字(呼应命题P2)。还有一个问题是伦理规范的缺位。对此,医疗机构需要同步出台人工智能应用伦理准则,讲清楚人机协作中药师的责任边界:什么情况下由药师最终拍板?人工智能推荐被采纳后法律责任怎么分配?患者知情同意书怎么获取?只有先解决这些制度性顾虑,PU才能真正突破组织决策这个壁垒,落到采纳行为上(呼应命题P4)。

针对PEOU,“交互体验差”是技术侧需要着力解决的问题。Wang等^[21]在数字农业领域的研究表明,简化界面、剔除冗余步骤、增强可解释性是重建用户信任的三大着力点。在药学领域人工智能应用上,开发者应当根据不同等级医疗机构的工作场景进行差异化交互设计,让算法输出看得懂、可追溯(呼应命题P1)。学习曲线陡、技术支持弱则属于组织侧的难题。医疗机构需要按岗位搭建分层分类培训体系,把临床药师、调剂药师、药学研究人员的培训内容区分开。多个研究者在各自的研究中都强调过同一件事:培训内容必须把实操技能和伦理决策素养结合起来,单纯强调操作培训难以满足临床应用要求^[22-24]。往源头走,开发主体应在项目立项之初就与临床药师建立长期需求反馈闭环机制,让产品功能跟着真实需求迭代更新,把感知复杂度从源头上降下来(呼应命题P6)。

5.2 中观策略:强化组织支持体系与能力建设

在中观策略层面,本研究分别从技术、组织、环境3个维度提出优化策略,以破解组织内部的资源瓶颈与机制障碍。就技术基础设施层面而言,笔者认为关键在于突破“架构局限”。医疗机构应先搭建弹性计算资源池,确保人工智能模型在门(急)诊高峰时段仍能稳定运行,并将端到端响应时长控制在临床可接受范围内。与此同时,数据治理体系也须升级:统一主数据标准,把医院信息系统、检验信息系统、电子病历系统之间的数据通道打通,使部门级的数据“孤岛”不再继续存在。技术底层一旦理顺,药学人员对“难用”的直观感受会明显消解(呼应命题P1)。

针对组织和环境治理层面,笔者认为有2个问题需要解决:资源匮乏和科室壁垒。对于资源匮乏这个问题,需要医疗机构和卫生行政主管部门联合出台专项的人工智能项目管理制度,把从政府到组织的预算安排、硬件采购清单、专业人才编制都安排清楚,让药师感知到的“有用”有具体的落实途径(呼应命题P2)。对于科室壁垒这个问题,需从环境层面加以引导,鼓励药学专家、临床医师、数据科学家、信息工程师组成跨学科攻坚组,构建共建共享机制,以推动人工智能工具从需求到部署的闭环,确保个体意愿可通过组织决策真正落实到工作上(呼应命题P4)。

5.3 宏观策略:完善外部生态支持系统

在宏观层面,笔者从政策监管框架、数据壁垒和公众信任3个维度提出优化策略,以化解外部环境的法律风险,打破数据壁垒。

针对政策监管,笔者认为最棘手的地方在于“不确定性”和“法规真空”同时存在。一方面,行业协会与学术机构应当牵头出台人工智能伦理审查指导性文件。对此,可借鉴医疗器械、医学影像人工智能等领域已经相对成熟的做法,把药学人工智能在不同应用场景下的算法偏见评估标准、责任归属、数据隐私保护机制、临床应用认证流程等逐一细化、明确。另一方面,政府部门要推动医疗机构、监管部门、医药企业、技术供应商和学术界共同搭建跨界联合监管机制,确保人工智能工具从研发到部署能始终遵循药品生产质量管理规范和医疗机构管理规范准则,这与命题P3所指的环境支撑作用相呼应。

针对数据壁垒和公众信任的问题,笔者认为数据标准化是化解“算法黑箱与流程冲突”的另一条路径,同时这也有利于解决公众信任的问题。具体的做法是:政府牵头把高校、企业、行业协会、医疗机构四方力量统筹起来,搭建一个遵循国际医疗信息互操作标准的药学数据中心,并以开源方式联合开发一套可复用的算法模型库。跨机构的数据共享配合多中心模型验证,可以同时收获2层效益:算法的可解释性能逐步提升,人工智能工具与现行药学标准操作规程的适配度也能持续提高。与此同时,政府相关部门应该鼓励企业、行业协会等相关方开展人工智能应用的科普推广活动,提高公众对人工智能价值的认知与接受度,提升公众信任,从而加快药学领域人工智能应用的扩散速度。上述这套组合策略,正呼应命题P6所提示的复杂性约束破解路径。

6 结语

本研究基于TAM-TOE-DOI整合框架,提出的6大核心命题在分析与策略设计中均得到了系统性验证和回应,形成了“提出→验证→回应”的完整闭环。研究表明,技术复杂性、组织资源匮乏、政策不确定性及伦理担忧是制约药学领域人工智能应用的主要壁垒,而技术的相对优势、管理层支持、政策引导及成功案例的可观察性则构成关键激励因素。为有效破除人工智能采纳障碍,需从微观、中观、宏观3个层面协同发力:在技术层面优化人机交互以提升PU与PEOU,在组织层面强化管理支持与跨学科团队建设,在生态层面完善政策法规与标准化数据平台。中国卫生行政、医保等相关部门应整合上述策略,针对不同层级医疗机构制定分类推进路径,逐步降低人工智能采纳门槛,加速人工智能与药学实践的深度融合,从而提升医疗服务质量与资源配置效率,助力“智慧医疗”与“人工智能+药学服务”战略目标的实现。

参考文献

- [1] ABULAIL R N, BADRAN O N, SHKOUKANI M A, et al. Exploring the factors influencing AI adoption intentions in higher education: an integrated model of DOI, TOE, and TAM[J]. *Computers*, 2025, 14(6):230.
- [2] AL-KFAIRY M. Factors impacting the adoption and acceptance of ChatGPT in educational settings: a narrative review of empirical studies[J]. *Appl Syst Innov*, 2024, 7(6):110.
- [3] NA S, HEO S, HAN S, et al. Acceptance model of artificial intelligence (AI)-based technologies in construction firms: applying the technology acceptance model (TAM) in combination with the technology-organisation-environment (TOE) framework[J]. *Buildings*, 2022, 12(2):90.
- [4] HU Q K, WANG X F, LIU Y F, et al. Application of artificial intelligence in drug repositioning[J]. *Gene Protein Dis*, 2023, 2(1):201.
- [5] KUMAR P, CHAUDHARY B, ARYA P, et al. Advanced artificial intelligence technologies transforming contemporary pharmaceutical research[J]. *Bioengineering*, 2025, 12(4):363.
- [6] YU Z G, HU N, ZHAO Q Y, et al. The willingness of doctors to adopt artificial intelligence-driven clinical decision support systems at different hospitals in China: fuzzy set qualitative comparative analysis of survey data[J]. *J Med Internet Res*, 2025, 27:e62768.
- [7] HSIEH P J. Determinants of physicians' intention to use AI-assisted diagnosis: an integrated readiness perspective[J]. *Comput Hum Behav*, 2023, 147:107868.
- [8] SU J Y, WANG Y H, LIU H Y, et al. Investigating the factors influencing users' adoption of artificial intelligence health assistants based on an extended UTAUT model[J]. *Sci Rep*, 2025, 15:18215.
- [9] ALSANOSI S M, PADMANABHAN S. Potential applications of artificial intelligence (AI) in managing polypharmacy in Saudi Arabia: a narrative review[J]. *Healthcare*, 2024, 12(7):788.
- [10] SAEED A A, AL ZAMEL A M, DAFALLAH A S, et al. Perceptions of pharmacy students toward artificial intelligence in pharmacy[J]. *Matrix Sci Pharma*, 2024, 8(2):31-36.
- [11] SÁNCHEZ E, CALDERÓN R, HERRERA F. Artificial intelligence adoption in SMEs: survey based on TOE-DOI framework, primary methodology and challenges[J]. *Appl Sci*, 2025, 15(12):6465.
- [12] ALMOHAMMED O A, ALNOGAIDAN R A, GHANNAM F O, et al. Public awareness of online pharmacies, consumers' motivating factors, experience and satisfaction with online pharmacy services, and current barriers and motivators for non-consumers: the case of Saudi Arabia[J]. *Saudi Pharm J*, 2023, 31(8):101676.
- [13] ANTON T S, TRUPP A, STEPHENSON M L, et al. The technology adoption model canvas (TAMC): a smart framework to guide the advancement of microbusinesses in emerging economies[J]. *Smart Cities*, 2023, 6(6):3297-3318.
- [14] ASIF L, KHAN M D, RAFIQUE M, et al. Leveraging artificial intelligence in pharmacy and clinical pharmacy transformative innovations for precision, operational efficiency, and enhanced patient-centered care[J]. *Indus J Biosci Res*, 2025, 3(5):1-12.
- [15] RAYMOND D, MANKAR D, GUDADHE A. Exploring innovation: artificial intelligence (AI) in pharmacy[EB/OL]. [2026-05-12]. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10544609&tag=1>.
- [16] BHATT P, SINGH S, KUMAR V, et al. Artificial intelligence in pharmaceutical industry: revolutionizing drug development and delivery[J]. *Curr Artif Intell*, 2024, 2:e051223224198.
- [17] OGBUAGU O O, MBATA A O, BALOGUN O D, et al. Artificial intelligence in clinical pharmacy: enhancing drug safety, adherence, and patient-centered care[J]. *Int J Multidiscip Res Growth Eval*, 2023, 4(1):814-822.
- [18] WANG M M, PAN X M. Drivers of artificial intelligence and their effects on supply chain resilience and performance: an empirical analysis on an emerging market[J]. *Sustainability*, 2022, 14(24):16836.
- [19] GROVER P, KAR A K, DWIVEDI Y K. Understanding artificial intelligence adoption in operations management: insights from the review of academic literature and social media discussions[J]. *Ann Oper Res*, 2022, 308(1):177-213.
- [20] CHEN K M, CHEN X Q, WANG Z A, et al. Does artificial intelligence promote common prosperity within enterprises? Evidence from Chinese-listed companies in the service industry[J]. *Technol Forecast Soc Change*, 2024, 200:123180.
- [21] WANG Y J, WANG N H, LI M, et al. End-users' acceptance of intelligent decision-making: a case study in digital agriculture[J]. *Adv Eng Inform*, 2024, 60:102387.
- [22] MA S Y, LEI L. The factors influencing teacher education students' willingness to adopt artificial intelligence technology for information-based teaching[J]. *Asia Pac J Educ*, 2024, 44(1):94-111.
- [23] ABDEL AZIZ M H, ROWE C, SOUTHWOOD R, et al. A scoping review of artificial intelligence within pharmacy education[J]. *Am J Pharm Educ*, 2024, 88(1):100615.
- [24] BAYAGA A. Leveraging AI-enhanced and emerging technologies for pedagogical innovations in higher education[J]. *Educ Inf Technol*, 2025, 30(1):1045-1072.

(收稿日期:2025-12-02 修回日期:2026-05-17)

(本文责编:林 静)