DOI 10.15302/J-SSCAE-2025.02.010

数字技术在医疗机构的应用与发展研究

李刚[1]，陈建均[1]，刘心怡[1]，李岩[1]，李国红[2]，范先群[3*]

（1. 上海交通大学公共卫生学院，上海 200025；2. 上海交通大学全球健康学院，上海 200025；
3. 上海交通大学医学院，上海 200025）

摘要：数字技术在医疗领域的深入应用正推动医疗机构向智慧化转型。本文基于数字技术的应用框架，梳理其在医疗服务流程中的关键应用场景，探讨其对医疗机构运行机制与服务模式的影响，并分析当前所面临的主要挑战。研究发现，当前数字技术已广泛应用于精准医疗与个性化治疗、医学研究与教育、患者服务与体验优化、患者健康管理、医疗运营与行政管理、医疗设备与设施管理等多个场景。然而，当前数字技术的推广应用仍受到多重因素制约，包括数据安全保障机制不健全、技术标准体系尚未统一、基础设施更新滞后等，这些问题在不同程度上影响了数字技术的可持续发展。对此，研究建议，未来医疗机构应加强数字技术的深度融合与持续创新，推进医疗模式向全过程健康管理转型，促进管理模式向精细化与智能化方向演进，从而实现医学认知与健康观的深层变革，最终构建起数字人文医疗服务体系。

关键词：数字技术；数字医疗；智慧医疗；人工智能；医疗机构

中图分类号：R197　　**文献标识码：**A

Application and Development of Digital Technologies in Medical Institutions

Li Gang[1], Chen Jianjun[1], Liu Xinyi[1], Li Yan[1], Li Guohong[2], Fan Xianqun[3*]

(1. School of Public Health, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200025, China; 2. School of Global Health, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200025, China; 3. School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200025, China)

Abstract: The in-depth application of digital technologies in the medical sector is driving the transformation of medical institutions toward a more intelligent and data-driven approach. This study, based on the application framework of digital technologies, outlines their key application scenarios in medical service processes, explores their impacts on the operational mechanisms and service models of medical institutions, and analyzes the major challenges currently faced. The study indicates that digital technologies have been widely applied in various scenarios, including precision medicine and personalized treatment, medical research and education, patient service and experience optimization, health management, medical operation and administration, as well as medical equipment and facility management. However, the widespread adoption of digital technologies is still constrained by multiple factors, such as inadequate data security mechanisms, lack of a unified technological standards system, and outdated infrastructure. These issues, to varying degrees, hinder the sustainable development of digital technologies. In response, this study suggests that future medical institutions should strengthen the deep integration and continuous innovation of digital technologies, promote the transformation of medical models toward comprehensive health management, and advance the refinement and intelligence of management models. This

收稿日期：2025-02-12；**修回日期：**2025-04-25

通讯作者：*范先群，上海交通大学医学院教授，中国工程院院士，研究方向为智慧医疗管理；E-mail: drfanxianqun@126.com

资助项目：中国工程院咨询项目“数字医疗发展战略及能力建设研究”(2024-XBZD-18)

本刊网址：sscae.engineering.org.cn

will facilitate a profound transformation in medical cognition and health concepts, ultimately leading to the establishment of a digital and humanistic medical service system.
Keywords: digital technology; intelligent medical treatment; smart healthcare; artificial intelligence; medical institution

一、前言

在健康中国战略不断深化的背景下，医疗卫生体系正经历从“以治病为中心”向“以健康为中心”的深刻转型。数字技术作为推动医疗系统变革的重要驱动力，正在重塑医疗服务的提供方式、资源配置模式与管理机制[1]。党的二十大报告明确提出数字中国建设和加快发展数字经济，“十四五”规划纲要、《“十四五”国家信息化规划》《“十四五”全民健康信息化规划》等重要政策文件进一步强调完善“互联网+医疗健康”服务体系，并明确将人工智能、大数据、区块链、云计算等数字技术纳入医疗卫生服务能力建设的核心内容。这一系列政策导向不仅凸显了国家对数字技术在医疗机构中应用的高度重视，也为医疗机构的数字化转型提供了坚实的制度保障和发展动力。

近年来，随着信息基础设施建设的不断完善，数字技术在医疗机构的应用已从辅助诊疗逐渐扩展到全流程重塑。无论是电子健康档案系统、智能辅助诊断平台，还是远程会诊、医疗影像识别和医院资源调度等，数字技术均初步展现了其在提高医疗质量与安全、提升医疗运行效率方面的巨大潜力[2]。与此同时，国家卫生健康委员会启动的“智慧医院建设”、国家医保局推动的“全国统一的医保信息平台”以及各地开展的“数字健康试点示范工程”，标志着我国数字医疗迈入标准化、体系化建设新阶段。然而，在快速发展的同时，我国医疗机构在数字化转型过程中仍面临一些结构性难题，如数据安全与隐私保护机制不完善、信息系统之间存在互联互通障碍、核心技术与算法依赖外部供应、医务人员数字素养普遍不足等问题，亟需在政策引导、技术创新与组织管理等方面进行系统性优化。

在此背景下，本文系统探讨数字技术在我国医疗机构中的关键应用场景，分析其发展过程中面临的主要挑战，并提出未来的发展建议，旨在为技术开发者、医疗机构管理者及政策制定者提供参考，以推动医疗机构的数字化转型和高质量发展。

二、数字技术在医疗机构中的应用场景分析框架

数字技术是指利用现代信息技术手段，对数据进行获取、存储、传输、处理和分析的一类技术体系。其核心构成不仅包含大数据、网络通信、物联网、传感器技术、区块链等传统数字技术，也包含人工智能、计算机视觉、扩展现实、高性能计算与超级计算等多个前沿技术[3,4]。这些技术在实际应用中通常不是孤立运作，而是通过相互协作以实现最佳功能。数字技术运行的逻辑在于数据驱动，通过算力、算法和模型来实现智能决策。由于医疗领域是产生海量数据的主要领域之一，这为数据驱动的医疗场景优化提供了优良的环境。其中，大数据技术能够对海量、多源、异构的医疗数据进行集成和深度挖掘，包括电子健康档案、医学影像、实验室检查结果、基因组信息等，从而为疾病预测、精准诊断与治疗决策提供基础支持[5]。云计算技术通过提供强大的计算与存储能力，实现了数据的高效存储与分析处理。人工智能技术则以其在深度学习与自然语言处理方面的算法优势，在医学图像识别、辅助诊断、疾病风险评估及治疗方案推荐等方面展现出巨大潜力[6]。物联网技术通过智能传感器实时监测分析患者的健康数据，为疾病预警和健康管理提供了有力支持[7]。目前，以虚拟现实和增强现实为代表的扩展现实技术也日益成为临床操作与医学教育中的重要工具，增强现实技术可实现术中精准导航与实时三维定位，辅助医生制定精细化手术路径，而虚拟现实能够为医学生提供高度仿真的训练环境，优化教学效果并提高操作技能。上述数字技术在医疗机构的规模化应用不仅提高了医疗诊断和决策的质量，也重塑了医疗机构的运行模式和医患互动的方式[8]。

医疗机构的一切活动都是以改善或维持人的健康和生命为中心使命，数字技术落地到各类具体医疗场景需要依托一定的载体并以智能系统或产品的形式呈现，这一实现过程通常涵盖了从基础设施层、数据资源层、数字技术层到应用场景层的全周

期架构体系。其中，基础设施层作为底层支撑，主要包括计算与存储设备、网络设备、感知设备和医疗设备等硬件设施。这些硬件设施确保了医疗数据的有效采集、存储、传输和处理，并为智能系统、医疗机器人及智能终端设备的运行提供一定的载体。数字技术赋能高质量、高度智能化的医疗场景往往需要更为庞大和丰富的数据资源体系。在数据资源层，需要整合管理来自医疗机构、公共卫生机构以及科研机构等多个来源的多模态异构数据，包括电子病历、医学影像、检验与检测、药品与用药、健康监测与随访、数据标准、医疗知识、医疗机构运营与管理、医学科研、公共卫生与人口健康以及与健康相关的其他类型数据库，这些数据库为后续智能系统和产品开发提供了高价值的真实世界数据。在此基础上，数字技术层可依托大数据、人工智能、网络通信、物联网、计算机视觉、扩展现实等技术，对多源异构数据进行深度挖掘和处理，进而生成面向实际应用场景的智能系统，或开发出具备自主决策或执行能力的智能产品，如医疗机器人、智能终端设备等。这些技术成果广泛应用于智慧医疗、智慧服务和智慧管理三大核心场景，涵盖临床诊断与治疗、远程医疗、自动化调配、智慧导诊、移动医疗、医疗设备与设施管理、医疗运营与行政管理、医学研究与教育等多个具体医疗场景（见图1）。

三、数字技术在医疗机构中的典型应用场景

（一）智慧医疗

1. 精准医疗与个性化治疗

随着临床数据标准体系的建立和完善，多模态的临床高质量医疗数据不断生成，使前沿数字技术

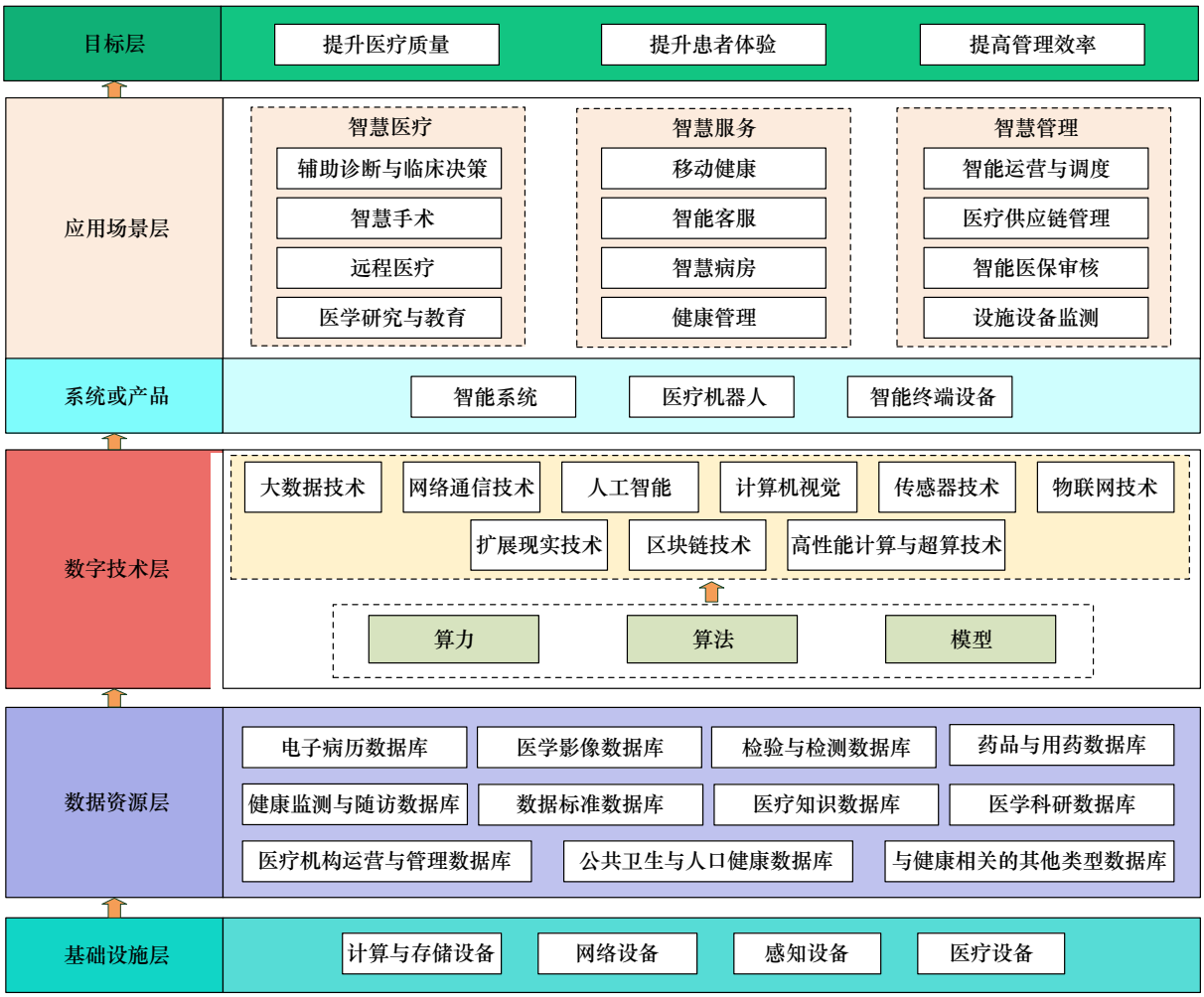

图1　数字技术在医疗机构中的应用场景框架

处理此类数据并生成高质量的知识应用于临床实践成为可能。在智慧医疗场景中，基于数字技术的智能临床诊断系统和手术机器人的应用尤为广泛。这些系统和设备集成了人工智能、大数据分析、计算机视觉和虚拟现实等多种前沿技术。在智能辅助诊断方面，利用计算机视觉和深度学习技术可对放射影像、手术图像及病理切片等多源图像数据进行快速处理，能够识别早期微小病灶，显著提升疾病诊断的准确性[6]。在智能辅助治疗方面，人工智能与虚拟现实技术的结合，使手术路径规划、病灶精准定位及术中导航等环节更加高效可靠，提升了微创及复杂外科手术的安全性与精准度。在智能辅助决策方面，人工智能技术通过深度分析临床专科数据，融合患者的多组学信息（如基因组、蛋白组、代谢组等），可实现个体化诊疗方案的智能推荐。对于基层医疗机构的全科医生，智能决策系统通过嵌入常见病与慢性病的标准化诊疗路径，并结合自然语言处理与机器学习模型，帮助全科医生在有限资源下优化诊疗方案[9]。在医疗文书管理方面，随着语言大模型技术的发展，智能病历生成系统可以根据结构化或半结构化数据自动生成病历文书，减轻了医务人员的日常工作压力[10]。对于用药管理，处方前置审核系统及智能化用药辅助决策平台利用知识图谱和规则引擎模型，能为医生合理用药、安全用药提供科学建议。随着医疗大模型的加速落地，越来越多的医疗机构开始部署本地化人工智能系统，广泛应用于智能问诊、影像辅助判读等实际场景，进一步拓展了人工智能在临床中的应用边界。除了数据驱动的智能系统，数字技术在医疗场景中的另一重要应用形式是医疗机器人。根据2024 年全国 200 余家三甲公立医院的公开报道显示，手术机器人已成为人工智能应用深化以来增长最快的一个领域。这一单体智能设备对环境的改造要求较低，已广泛应用于多个学科的临床实践中，特别是在精密操作和微创手术领域展现出显著优势。

2. 医学研究与教育

高质量的临床实践离不开医学研究与教育的有利支撑。得益于人工智能、虚拟现实等数字技术的日臻完备，利用这些技术开发的一些科研、教学平台也大幅度地提升了各自的质量和效率。在智能辅助科研方面，人工智能已被广泛应用于医学研究的多个环节，尤其在基因组学、药物研发和疾病机制解析等领域表现出巨大潜力[11]。通过机器学习与高维数据分析技术，人工智能能够对复杂的医学实验数据进行高效解读，提升科研工作的准确性与效率。例如，在癌症基因组研究中，人工智能算法可对百万级基因组数据进行深度挖掘，识别不同肿瘤类型的遗传特征与突变模式，为精准治疗策略的制定提供理论支持和技术依据。医学大数据的整合与分析进一步扩展了科研的广度和深度。通过汇聚电子健康记录、基因组信息、临床影像、药物使用历史等多维度医疗数据，研究人员能够基于大数据分析方法识别潜在疾病模式、筛选高风险人群、发现新的治疗靶点[12]。例如，利用多模态人工智能模型对癌症患者的基因表达谱和临床数据进行整合分析，研究人员得以探索个体化药物反应机制，从而加速精准医疗的临床转化[13]。在医学教育与临床培训领域，虚拟现实技术的引入显著提升了教学的交互性与沉浸感。虚拟现实辅助教学平台为医学生提供了无风险的虚拟环境，用于解剖学习和病理构建，加强其对人体结构与功能的理解。同时，虚拟手术模拟系统为临床技能训练提供了逼真的实践场景，使学生能够在真实感强烈的环境中反复练习、评估操作技能，有效提高其实操技能[14]。

（二）智慧服务

1. 患者服务与体验优化

医疗活动不仅关注患者自身机体的改善情况，也重视患者在就医过程中的体验感和满意度。通信技术、人工智能、大数据、虚拟现实等技术的不断融合发展，使“信息多跑路，患者少走路”的服务理念逐步落实，推动了以患者为中心的就诊流程重构和服务模式优化。在第五代移动通信网络和智能移动设备等的支持下，以前需要借助电脑端访问的信息，现在也可以通过手机端进行访问。当前绝大多数医疗机构已将预约挂号、在线复诊、线上缴费、线上医保结算、报告查询、健康档案查询、药品配送、处方流转等服务进行整合，并通过小程序或微信公众号向患者提供一站式访问入口。此外，随着人工智能技术在医院内的部署，智能客服、智慧导诊等功能也不断嵌入移动端，这些智能系统主要通过自然语言处理、语音识别、云计算、知识图谱技术来实现与患者的互动，通过对患者描述症状的理解，为患者推荐适合的科室、医生或提供全天

候的医疗咨询[15]。智慧病房的建设依托大数据、物联网、人工智能等，包含智慧床旁交互系统、护士站智能交互系统、移动护理系统、医生查房系统等多种功能模块。这些系统不仅能够实时采集患者的生理参数，还能通过与医院内部系统进行对接，实现医生、护士、患者及医院管理者的紧密联系。

2. 患者健康管理

医疗机构逐渐重视对患者在院内外的健康管理，通过应用物联网、大数据、人工智能等关键技术，对患者的健康状况进行长期监控、预防干预及个性化管理，特别是在慢性病管理方面。患者通过智能穿戴设备如智能手表、血糖仪、血压计等，将心率、血糖、血压等健康数据实时上传至云平台，系统通过人工智能算法对这些数据进行实时分析，一旦发现健康异常，能够及时发出预警，提醒患者或医生采取必要的干预措施，从而有效避免健康风险的发生。同时，数字技术还支持个性化健康干预，通过结合患者的健康数据、生活习惯和基因组信息，生成定制化的健康管理方案[16]。一些糖尿病管理平台可以通过患者日常记录的饮食、运动、血糖等数据，结合健康历史信息，提供实时反馈与个性化建议，并定期支持在线医生咨询，减少患者对定期门诊的依赖，从而进一步提高患者健康管理的效率和效果[17]。此外，智能随访、智能满意度调查及院后管理技术，借助语音识别与自然语言处理等技术，实现高效的患者随访与个性化健康管理，提升患者依从性与治疗效果，同时减轻医疗工作人员的负担。

（三）智慧管理

1. 医疗运营与行政管理

以人工智能、大数据、物联网为代表的数字技术，在医疗质量管理、人力资源管理、医疗资源配置及医保管理中发挥着重要作用。在医疗质量管理方面，数字技术助力构建基于知识图谱的医疗质量管理系统，通过临床路径管理对治疗方案执行情况进行全过程实时监控，有效规范诊疗行为[18]。在人力资源管理方面，人工智能与大数据分析技术被广泛应用于医务人员排班优化、人力预测与工作负荷评估[19]。系统可基于患者就诊流量、科室业务强度等变量，动态预测医护人员的排班需求，有效缓解资源错配问题。通过智能监测医务人员的工作强度与绩效表现，系统还能精准识别潜在的职业疲劳风险，提升人力调配科学性与人员满意度。在医疗资源配置领域，数字技术赋能实现资源管理的智能化和动态化。以智能手术室管理系统为例，通过整合人工智能与数字孪生技术，可实时监控手术资源的使用情况、设备运行状态与手术紧急程度，辅助实现手术排程的智能优化与资源调度的即时调整，有效提升手术室利用效率[20]。在药品与医疗物资管理方面，智能药房系统与自动化物流平台通过机器人技术与大数据协同[21]，实现物资的自动分拣、精准配送与库存动态监控，不仅降低了库存成本，还减少了人为操作误差，提升了整体运营效率。医保管理环节也因人工智能技术的引入而实现高效化升级。智能医保审核系统基于嵌入式知识规则库与医保支付规范，能够对医疗费用数据进行多维度精准分析与合规性判断。系统实时识别异常费用项目、核查医保编码准确性，辅助审核人员提升工作效率与判断准确性，有效防控不合理诊疗行为，强化医保资金使用的科学性与透明度[22,23]。

2. 医疗设备与设施管理

物联网、大数据分析、人工智能以及云计算等关键技术在设备状态监控、预测性维护与能源管理等多个方面的应用，极大地推动了医疗设备与设施管理向智能化、精细化方向发展。在设备状态监控方面，物联网技术使医疗设备能够实现关键运行参数（如温度、电量、使用频率等）的实时上传与集中管理，医院管理者据此可对设备健康状况进行动态监测与远程预警。典型案例如GE Healthcare构建的远程设备监控系统，利用物联网技术实现设备运行状态的全流程追踪，大幅度降低了设备故障率，提升了设备的可用性与服务连续性[24]。为应对传统设备维护中“事后修复”带来的医疗服务中断问题，越来越多的医疗机构引入了基于人工智能与大数据分析的预测性维护系统。该系统通过对设备历史运行数据的建模分析，识别潜在风险因素并提前预警故障发生，支持医疗机构科学制定维护计划，避免因突发设备故障影响诊疗流程。一些三甲医院已通过机器学习模型对计算机断层扫描、核磁共振成像等关键精密设备进行智能监测与预测性维修，显著缩短设备停机时间并有效控制维护成本[25]。在医疗设施运营过程中，智慧能源管理作为降低医院运行成本、践行绿色医疗理念的重要组成，正得到

广泛部署。通过智能传感器与人工智能算法相结合的能源管理系统，医院能够根据不同功能区域的人员流动与使用强度，自动调节空调、照明等系统的工作状态，从而实现精准节能。此类系统不仅提高了能源使用效率，也助力医疗机构实现碳排放控制与绿色医院建设目标[26]。

四、数字技术对医疗机构的赋能作用

随着数字技术的不断更新迭代，医疗机构正逐步走向数字化、网络化、智能化的新阶段。数字技术的广泛应用正深刻改变医疗机构的运营模式和服务质量，对提高运营效率、保障医疗安全、降低成本以及改善患者体验等均产生了深远影响。同时，这些技术的应用也对医务人员的工作负荷产生积极调节作用，但伴随而来的技术依赖和医患互动减少的问题不容忽视。

（一）医疗运营效率的提升

数字技术应用的前提是需要将海量的医疗数据转化为可处理和可分析的电子数据。原本需要经过物理传输的数据资料，现在可以通过网络进行高速传递，这一数字化的管理流程显著提高了数据的流转效率。经过标准化处理的医疗电子数据，再通过不同的数字技术加工流程，最终可以转化为应用于临床和管理实践活动的知识。临床的医疗活动和管理实践活动有一定的程式，通过给医疗数据制定相应的自动化处理分析流程，在借助强大的算力 / 算法下，其实时动态生成的数据可以直接用于指导医疗实践活动，这一自动化流程也可以显著缩短处理时间，提高医疗机构的运行效率[27]。

（二）医疗安全与质量的提升

医疗安全与质量的实现离不开高保真的医疗数据支持。数字技术保证了医疗数据在流转过程中的安全性和准确性，减少了人为干预和差错。数字技术作为一种科学技术，其存在的首要属性就是不以个人的偏好而发生转移。医务人员一旦设置数字技术按一定程式处理某类具体问题时，如对医学影像、临床检验等数据进行分析时，不会出现主观偏好和职业倦怠的影响，其做出的分析判断往往是稳定和客观的。此外，医疗数据通常是海量和多模态的，数字技术在处理这类数据时拥有巨大的技术优势，更容易做出高质量的临床决策，保障了医疗安全和质量。

（三）成本控制与资源优化

数字技术对医疗成本控制具有显著的推动作用。自动化设备和智能系统的应用，使许多以往依赖人工完成的重复性工作被标准化和自动化处理，如病理切片分析、影像初筛等环节的智能辅助，使医务人员能够将更多时间投入到复杂诊疗活动中，人力投入更为高效[28]。与此同时，检查报告和影像资料逐步转向电子化，纸质打印和胶片制作的需求显著下降，相关的耗材、存储和管理成本随之减少。借助大数据的精细化管理，医院对设备与资源的调度更为精准，既提高了利用率，也减少了资源闲置带来的隐性成本[29]。

（四）患者就医体验的改善

数字技术在医疗场景中的持续演进显著改善了患者就医体验，并在诊前、诊中及诊后全过程中实现了服务模式的升级。远程医疗平台突破了传统就医的时空限制，患者可通过移动终端便捷实现在线问诊、远程随访与健康咨询，特别有助于解决偏远地区或行动不便群体的就医障碍。移动健康应用则整合了预约挂号、病历管理与健康监测等功能，使患者能实时掌握自身健康状况，并获得个性化干预建议，从而增强了健康管理的透明度与主动性。随着人工智能大模型的本地化部署，智能医助服务得以在诊疗全流程中为患者提供个性化、连续性的健康支持。此外，拓展现实技术在术前演示和康复训练中的应用，帮助患者更直观地理解治疗过程与康复路径，增强了对医治方案的信任感与配合度。上述多元化的技术路径共同构建出以患者为中心的智慧医疗服务生态，显著提升了医疗服务的获得感与幸福感。

（五）医务人员工作负荷的降低

数字化工具的应用改变了医务人员的工作方式，使其在日常工作中不必承担大量事务性工作。电子病历系统与智能化文书工具能够自动生成或结构化处理临床记录，减少了以往需要耗费大量时间的手写或重复录入工作。临床决策支持系统在用药、检验指标预警、诊疗路径提示等方面提供实时

辅助，使医务人员能够在更短时间内完成判断并减少认知负荷。智能排班系统依据实时监控的患者流量与医务人员工作数据动态调控排班安排，既避免了人工调度中的误差，也有效防止了因过劳引发的医务人员工作效率下降，进一步提升了整体工作满意度与生活质量[30]。

（六）潜在负面影响的反思

数字技术在提高医疗机构效率与服务质量方面具有重要潜力，但其应用带来的潜在负面影响同样不容忽视。随着数字技术的广泛应用，医疗机构可能出现对技术的过度依赖。人工智能辅助诊断工具和自动化系统的普及，会使部分医务人员在临床诊断和决策中过度依赖技术结果，而忽视自身的专业判断。这种依赖可能导致职业技能弱化，尤其是在面对复杂或异常情况时，医务人员的应对能力显得不足。年轻医务人员可能更倾向于依赖技术支持，而忽略传统医学知识和技能的积累，进而影响医学专业素养的长期发展。此外，数字技术在优化流程的同时，也可能导致医患之间的人际互动减少。远程医疗、自动化服务和人工智能辅助诊断系统的使用，虽然提高了效率，但可能减少了医生与患者之间面对面沟通的机会。这种沟通的减少可能影响患者对医生的信任感，尤其是当患者需要情感支持或面对复杂病情时，缺乏人性化的关怀可能导致不满情绪的增加。

五、数字技术在医疗机构应用面临的主要挑战

尽管数字技术在医疗机构中展现出巨大的潜力，推动了医疗行业的转型升级，但其应用过程中仍面临着一系列挑战和问题。这些挑战不仅涉及技术本身的局限性，还包括制度、管理、伦理等多方面的因素。

（一）数据安全与隐私保护问题

数据安全和隐私保护是发展数字技术的基石。患者的电子健康档案、医学影像、基因组等数据含有大量高价值的敏感数据，在云端存储和传输过程中，可能面临被恶意攻击、泄露或滥用的风险[31]。2023年，共报告了725起大型数据泄露事件，影响近1.33亿人[32]。尽管当前我国已经出台了一些数据安全法规及相关医疗隐私保护政策，但在具体的技术落地过程中，如何确保数据安全、防止不当共享和抵御黑客攻击仍面临挑战。此外，医疗数据的跨机构共享虽然能够促进医学研究和提高诊疗水平，但同时也增加了数据保护的复杂性和难度。

（二）数据产权与使用权问题

大量医疗数据的生成和积累使数据的产权与使用权问题成为医疗行业亟待解决的关键挑战之一。医疗数据不仅包括患者的个人健康信息、医学影像和病历数据，还涉及医疗设备的使用数据、疾病预警信息以及治疗效果反馈等多种形式的数据。然而，数据的拥有者和使用者之间的权益关系尚不明确，这给数据流转和共享带来了法律风险、商业纠纷以及使用不当的潜在问题[33]。在数据产权和使用权问题上，如何确认数据的所有者、如何确保数据使用的合法性和公平性，也是当前医疗机构亟需解决的难题。具体而言，首先需要明确数据属于谁——是患者本人、医疗机构还是数据管理方；其次，规范数据的使用方式和流转渠道，避免数据被滥用或未经授权的第三方获取。

（三）技术标准与系统兼容性问题

数字技术在医疗行业的广泛应用要求各类信息系统之间能够实现高效、顺畅的互操作性。然而，现有的医疗信息系统多为各个医院和区域自行开发或采购，缺乏统一的技术标准和规范。这导致了不同系统之间的兼容性差，信息共享和数据传递受限，从而影响了数字技术的全面应用和效能。例如，不同公司开发的智能系统在数据字段、标准方面存在差异，导致不同医院和地区之间的信息无法高效对接，极大地限制了患者跨医院、跨地区就医的便利性和数据的可用性。

（四）伦理与法律困境问题

数字技术的应用涉及诸多伦理和法律问题。例如，人工智能系统在医学影像分析、临床决策支持等方面的应用，虽然能够提高诊断效率和精度，但也引发了对“机器替代医生”的担忧。人工智能算法的决策过程往往缺乏透明度和可解释性，难以满

足医学伦理中对决策责任和解释性的要求。随着医疗手术机器人、智能诊断等技术的广泛应用，医疗服务的提供者不再局限于传统的医护人员。当出现医疗事故或不良医疗后果时，很难明确是数字技术本身的缺陷、数据的不准确，还是医护人员操作不当，亦或是多方因素共同作用的结果，在法律层面也存在一定的定责困难。

（五）技术应用的成本问题

尽管数字技术在提高效率、降低成本方面具有潜力，但其初期投入较大，尤其对于小型医院和基层医疗机构而言，资金压力尤为突出。医疗机构不仅需要采购先进的硬件设备，还需要投入大量资金进行系统开发和维护，在技术人员的招聘和培训等方面也需要大量投入。尤其是在人工智能、物联网、虚拟现实等新兴技术的应用过程中，技术研发和设备的更新换代周期较长，给医院带来了沉重的经济负担。

（六）医务人员的数字技能短缺

数字技术的应用需要医务人员具备一定的数字化技能，然而，当前许多医疗从业人员，尤其是基层医生和护理人员，数字技能的培训仍存在不足。许多医生依赖传统的手工操作和经验判断，缺乏对先进数字技术的理解和应用能力。在人工智能辅助诊断、远程医疗、电子病历等技术的应用中，医务人员的技术适应性和操作熟练度直接影响到技术的应用效果。

（七）基础设施建设滞后与技术演进之间的矛盾

医疗机构在积极推动技术引入与应用的过程中，日益面临基础设施建设滞后所带来的适配性挑战。人工智能、机器人辅助手术、虚拟现实等前沿技术的不断涌现，往往超越了当前多数医院的技术承载能力与基础条件，形成了技术跃迁与系统更新之间的不协调局面。一方面，现有的信息系统、设备配置及运维体系难以满足新兴技术的运行要求，造成资源冗余与系统兼容性不足；另一方面，快速的技术更新周期使部分已部署系统和设备迅速面临功能过时与性能瓶颈的问题，从而对医疗机构的运营效率、服务质量乃至患者体验产生不利影响。

六、数字技术赋能医疗机构发展的对策建议

（一）技术层面的深度整合与创新

从技术演进趋势来看，未来数字医疗将以多维度、深层次的跨技术融合为主要特征。以第五代移动通信、物联网、扩展现实、感知技术、边缘计算、人工智能为代表的新兴技术，将共同构建医疗机构的数据驱动基础设施，显著增强其在健康数据的采集、传输、处理及智能分析等关键环节的能力。特别是感知技术（如计算机视觉、语音识别、触觉感知）、智能分析技术（如疾病预测模型、健康风险评估算法）与互联技术（如远程协同平台、跨机构数据共享系统）之间的深度融合，正加速实现医院技术体系、服务流程与管理模式的有机统一。这种融合不仅提升了临床诊疗的智能化水平，也重塑了医疗服务的组织与供给方式。在此基础上，未来医院的发展范式将由以“设备为中心”的物理配置逻辑，逐步转向以“数据为中心”的智能决策逻辑，最终构建以智能预测、精准识别与高效干预为核心特征的全景式数字医疗生态系统。

为夯实医疗机构数字化转型的技术根基，应优先推进智能基础设施建设。首先，加强顶层设计，推动国家级、行业级标准体系建设。建议医疗机构联合政府部门及技术企业，围绕健康数据的采集、处理、传输等环节，制定统一的接口规范和数据交换标准，促进系统互联互通，有效打通“信息孤岛”。在资源配置方面，加快关键设备的智能化改造与信息系统的升级换代。例如，部署多模态感知设备，实现设备联网与联控，推进医疗资源在全流程、全场景中的数字化重构。在技术架构层面，建设统一的数据中台与人工智能服务接口，形成具备模块化、可扩展性与前瞻性的技术支撑体系。同时，建立医疗机构内部“医疗+科技”协同运行机制，设立如医工协同办公室、智能技术评估小组等制度化组织，强化技术治理能力与临床需求对接能力。在资金保障方面，可通过设立数字化专项投资基金，或探索医企共建共投机制，引导资源向硬件智能化改造等关键环节集中配置。人才是第一资源，应将高层次复合型人才队伍建设置于优先地位，系统引进并培养同时具备医学素养与信息技术能力的跨界人才，推动建立如“数字医疗官”等新

型岗位体系，全面提升医疗机构在数据治理、系统集成与数字技术应用等方面的核心能力。

（二）医疗服务模式的升级与转型

数字技术和智能设备在医疗机构内外的广泛应用为医疗服务模式的转型提供了新的发展空间。通过技术的不断升级，医疗服务流程得以重新设计与优化。智能感知设备、健康监测工具以及物联网的普及，进一步扩展了数据收集的范围，这些数据可以高效整合到统一的健康管理平台中，并赋能患者和医生的共同决策，推动从传统诊疗向更加个性化和综合化的健康管理方向发展。

实现服务模式转型的关键在于对既有服务流程、空间配置、技术系统与制度机制的系统性重构。在服务流程重构方面，依托人工智能与预测建模技术，重塑患者就医路径。例如，可通过智能导诊与辅助决策系统将常规检查流程前置，实现“检查前移–诊疗直达”，缩短患者等待时间。在空间与设施布局方面，强化智慧化服务节点的构建，如设置远程诊疗中心、线上挂号与药品配送一体化终端，形成“院内高效协同–院外远程延伸”的立体式服务网络。在技术支撑体系方面，加快构建统一的“患者健康账户”体系，整合院内外、线上线下多渠道健康数据，推动个体健康画像精准化、服务推送个性化。在经费保障机制方面，建议将数字健康服务项目（如远程监护、在线复诊、慢病随访）纳入医保支付目录或政府补贴范畴，增强医院与服务提供方的积极性。在标准规范制定方面，尽快完善健康服务流程规范及数据使用规则，明确患者数据的归属权、使用授权机制与责任边界，强化数字服务的隐私保护与伦理保障，确保系统长期稳定运行。在人力资源保障方面，推动新型数字健康服务职业体系建设，如健康服务协调员、远程护理助理、数字健康客服等新岗位，完善培训体系，提升医护人员的信息素养与平台操作能力，实现传统医学人力与数字健康服务的有效衔接。

（三）管理模式的精细化与智能化运营

随着人工智能大模型在医疗机构深度嵌入与广泛部署，医院管理体系正经历由传统经验导向向数据驱动导向的根本性转型。大数据、人工智能、物联网等新兴技术为医院运营提供了高时效性、强关联性与广覆盖性的决策支持手段，使医疗机构得以在资源配置、流程调度与绩效考核等方面实现更高水平的精细化与智能化管理。通过对运营、人力、设备、药品、后勤等多维数据的智能采集与动态分析，医院可实现资源使用的可视化、运营流程的实时优化以及各类服务单元的系统协同。与此同时，智能化管理模式已成为推动医疗机构绿色转型的重要抓手。一方面，通过远程调度、流程再造与能耗监测等手段提升效率、减少浪费；另一方面，以数据感知为基础的碳排监控系统，有助于实现节能降耗与生态绩效的动态监管。未来医院将不再是传统意义上的物理空间集合体，而是运转于高度自动化与智能化平台之上的数据型组织，其决策能力、响应速度与服务韧性将实现跨越式提升。

为推动医院管理模式从经验导向向数据驱动的系统化转型，需在资源配置、技术支持、制度建设、标准规范、人才体系与资金投入等多个层面协同发力，构建支撑智能化运营的整体保障体系。首先，应加快医院智能基础设施建设，部署涵盖物流调度、能源监测、设备联控的综合性管理系统，实现资源使用的全流程可视化与动态优化，从而提升管理效率与绿色绩效。在此基础上，需强化技术支撑平台，依托大数据与人工智能等前沿工具，建设集预测分析、流程管控与风险预警于一体的运营管理系统，为医院提供高质量的智能决策支持。与此同时，管理体制需同步转型，构建以“数据驱动–流程优化–反馈闭环”为核心逻辑的运行机制，通过重塑组织流程、优化协同接口，提升医院整体的系统响应力与治理效能。为确保各项改革举措的有效推进，应加快制定并推广医院数字化运营成熟度评价体系与绿色运营指标框架，推动运营行为的标准化、规范化与可评估化。其次，数字管理转型对专业人才提出更高要求，亟需建立以数据治理、流程重构与智能分析为核心能力的复合型管理人才队伍，推动管理干部的信息化素养与数据思维系统提升。最后，建议将智能化运营系统建设纳入医院中长期发展战略与资本性投资预算，探索以节能减排效益为基础的绿色融资机制，形成可持续的经费投入保障。上述措施的有机协同，将为医院构建高效、透明、智能、绿色的现代运营管理体系提供坚实支撑。

（四）数据智能驱动的医学认知与健康观革新

多模态数据和人工智能技术快速发展加速了我们对疾病防治进程的探索，使得我们能够更深入地理解疾病的发生机制和生命过程本身。在全面知识库和强大人工智能算力的支持下，我们审视疾病与生命的视角变得更加广阔。人类有望突破以单一病理生理实体为中心的传统医学范式，转而从复杂系统的视角重新定义“健康”与“疾病”、“生”与“死”之间的边界。通过对疾病与死亡机制的系统性认知，人类或将获得一种更为开阔而深邃的生命观和医学观。从“知其死”的科学认知中，人类或许能够反向引发对“生”的深刻再思考与再定义，进而激发出面向幸福、福祉与命运的哲学探索与实践动力。这不仅拓展了精准医疗的认知边界，也将成为推动人类健康文明跃迁的关键力量。

为加快推进数据智能驱动的医学认知与健康观革新，应构建跨学科融合与制度协同的支撑体系。在技术层面，加快建立具备异构健康数据处理能力的智能分析平台，构建面向疾病预测、防控决策与健康建模的开放算法生态，提升人工智能算法对医学语义与临床情境的适应性。在机制方面，推动国家级数据共享与研究平台建设，实现临床、科研、预防、生命、社会以及其他多源数据的规范化汇聚与授权使用，突破“数据孤岛”壁垒，保障数据在伦理、安全前提下的可用、可控与可信。在人才保障方面，加强医学与人工智能等交叉学科高层次人才的联合培养，设立“医学—AI联合博士／博士后”项目，构建具备复杂系统建模、健康数据理解和人文健康素养的复合型研究团队。通过多维协同的战略部署，可系统释放数据智能在重塑医学认知、深化健康观念方面的潜力，真正实现从“精确诊断”向“智慧认知”的跃迁，引领以人本主义为核心的医学未来。

（五）数字人文关怀与数据反哺型科研生态

医疗机构的职责不应止于在院内完成对患者的治疗，更应在后治疗阶段为特殊患者群体提供持续关怀，尤其需要重视对生命晚期患者、癌症患者及其他脆弱群体及其家属的人文关怀。医疗机构有必要建立脆弱人群的健康追踪监测、健康关怀数字化平台，通过数据平台主动识别经济负担沉重、治疗意愿弱化或因病致困的边缘群体，并开放一定的数据接口，与慈善机构、社会服务组织等联动合作，构建“医疗－社会”融合型的多层级支持网络，从而缓解患者及其家庭的心理、经济与社会压力。在现实医疗实践中，部分因技术受限或因疾病经济负担过重而选择放弃治疗的患者，医疗机构也需要重视这部分患病群体的福祉和诊疗方案权益。他们与疾病做斗争过程中所留下的疾病转归数据是留给人类的宝贵财富，映射出他们作为“人”的存在与尊严。关怀这部分群体同时也是对这种疾病的重新审视和再认知，并借助数据共享与科研反哺机制，从根本上提升医学应对复杂病症的能力，并不断减少“医学的盲区”和“苦难病人”的再现。这种“数据来源于患者、知识反哺于患者”的闭环体系，为构建以患者为中心的精准医疗和人文关怀模式提供了坚实支撑，也为医学研究范式的转型与医疗服务体系的效能跃升奠定了基础。最终，医疗机构不仅拓展了自身的职能边界，更在推动医学研究、优化医疗服务与提升社会健康福祉之间，形成了协同进化的耦合机制。这一转型不仅重塑了医疗服务的逻辑结构与运行机制，更昭示出未来医疗机构将在公共健康治理体系中承担更具系统性、前瞻性与责任性的角色。

利益冲突声明

本文作者在此声明不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: February 12, 2025; **Revised date:** April 25, 2025

Corresponding author: Fan Xianqun is a professor from School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, and a member of Chinese Academy of Engineering. His major research field is smart healthcare management. E-mail: drfanxianqun@126.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the Development Strategy and Capacity Building of Digital Healthcare” (2024-XBZD-18)

参考文献

[1] 陈晓红, 刘浏, 袁依格, 等. 医疗大模型技术及应用发展研究 [J]. 中国工程科学, 2024, 26(6): 77–88.
Chen X H, Liu L, Yuan Y G, et al. Technology and application development of medical foundation model [J]. Strategic Study of CAE, 2024, 26(6): 77–88.

[2] Martin G, Clarke J, Liew F, et al. Evaluating the impact of organisational digital maturity on clinical outcomes in secondary care in England [J]. NPJ Digital Medicine, 2019, 2: 41.

[3] Ting D S W, Lin H T, Ruamviboonsuk P, et al. Artificial intelligence, the Internet of things, and virtual clinics: Ophthalmology at the digital translation forefront [J]. The Lancet Digital Health,

2020, 2(1): e8–e9.

[4] Shilo S, Rossman H, Segal E. Axes of a revolution: Challenges and promises of big data in healthcare [J]. Nature Medicine, 2020, 26(1): 29–38.

[5] Dash S, Shakyawar S K, Sharma M, et al. Big data in healthcare: Management, analysis and future prospects [J]. Journal of Big Data, 2019, 6(1): 54.

[6] 英特尔. 医疗保健和生命科学领域的人工智能: 使用案例和技术 [EB/OL]. [2024-12-05]. https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/healthcare-it/artificial-intelligence.html.
Intel. Artificial intelligence in healthcare: Use cases and technologies [EB/OL]. [2024-12-05]. https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/healthcare-it/artificial-intelligence.html.

[7] 中国信息通信研究院. 医疗物联网安全研究报告(2021年) [EB/OL]. (2021-07-28)[2024-12-05]. http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202107/P020210926551990304594.pdf.
China Academy of Information and Communications Technology. Security research report of Internet of medical things (2021) [EB/OL]. (2021-07-28)[2024-12-05]. http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202107/P020210926551990304594.pdf.

[8] Ting D S W, Liu Y, Burlina P, et al. AI for medical imaging goes deep [J]. Nature Medicine, 2018, 24(5): 539–540.

[9] 胡佳敏, 邱艳, 任菁菁. AI在基层医疗慢性病管理中的应用研究进展 [J]. 中华全科医学, 2024, 22(3): 481–485.
Hu J M, Qiu Y, Ren J J. Advances in the application of AI in chronic disease management in primary care [J]. Chinese Journal of General Practice, 2024, 22(3): 481–485.

[10] 光明日报. 上海市五官科医院推出首个近视儿童AI生成式病历 [EB/OL]. (2024-09-10)[2024-12-09]. https://difang.gmw.cn/sh/2024-09/10/content_37552822.htm.
Guangming Daily. Shanghai Ent Hospital has launched the first AI-generated medical record for children with myopia [EB/OL]. (2024-09-10)[2024-12-09]. https://difang.gmw.cn/sh/2024-09/10/content_37552822.htm.

[11] 广东医科大学. 多模态临床诊疗通用数据模型标准助力医疗数据标准化与创新 [EB/OL]. (2024-05-15)[2024-12-05]. https://news.gdmu.edu.cn/info/1004/29892.htm.
Guangdong Medical University. Multimodal clinical diagnosis and treatment common data model standards help medical data standardization and innovation [EB/OL]. (2024-05-15)[2024-12-05]. https://news.gdmu.edu.cn/info/1004/29892.htm.

[12] 清华大学智能产业研究院. 人工智能在多模态电子医疗大数据中的应用 [EB/OL]. (2021-11-12)[2024-12-05]. https://air.tsinghua.edu.cn/info/1008/1324.htm.
Institute for AI Industry Research, Tsinghua University. Application of artificial intelligence in multimodal electronic medical big data [EB/OL]. (2021-11-12)[2024-12-05]. https://air.tsinghua.edu.cn/info/1008/1324.htm.

[13] Chen Z F, Chen Y, Sun Y, et al. Predicting gastric cancer response to anti-HER2 therapy or anti-HER2 combined immunotherapy based on multi-modal data [J]. Signal Transduction and Targeted Therapy, 2024, 9: 222.

[14] 北京协和医院. 虚拟现实系统实现沉浸式教学 [N]. 健康报, 2024-07-10(06).
Peking Union Medical College Hospital. Virtual reality system realizes immersive teaching [N]. Health News, 2024-07-10(06).

[15] 北京协和医院. 智能语音识别技术赋能临床医疗 [EB/OL]. (2019-09-23)[2024-12-10]. https://www.pumch.cn/detail/21887.html.
Peking Union Medical College Hospital. Intelligent speech recognition technology empowers clinical medicine [EB/OL]. (2019-09-23)[2024-12-10]. https://www.pumch.cn/detail/21887.html.

[16] 中国医院协会信息专业委员会. 以大模型驱动全周期健康管理 [EB/OL]. (2024-06-14)[2024-12-01]. https://www.chima.org.cn/Html/News/Articles/16876.html.
CHIMA. Full cycle health management driven by large model [EB/OL]. (2024-06-14)[2024-12-01]. https://www.chima.org.cn/Html/News/Articles/16876.html.

[17] 崔婧晨, 张普洪, 娜地拉•多里坤, 等. 糖尿病患者健康管理中移动互动类平台的应用现状 [J]. 中华健康管理学杂志, 2021, 7(1): 98–102.
Cui J C, Zhang P H, Nadila·Duolikun, et al. Review on interaction platform application of mobile health in health management for diabetic patients [J]. Chinese Journal of Health Management, 2021, 7(1): 98–102.

[18] Mahmood U, Shukla-Dave A, Chan H P, et al. Artificial intelligence in medicine: Mitigating risks and maximizing benefits *via* quality assurance, quality control, and acceptance testing [J]. BJR|Artificial Intelligence, 2024, 1(1): ubae003.

[19] 天使排班. 医生自己开发的排班系统 [EB/OL]. [2024-12-05]. https://angel.jclab.net.
Angel Office. A scheduling system developed by doctors themselves [EB/OL]. [2024-12-05]. https://angel.jclab.net.

[20] 中国医院协会信息管理专业委员会. 南通大学附属医院挖潜5G“智”力 建设数智手术室及多媒体手术病历系统 [EB/OL]. (2023-04-27)[2024-12-05]. https://www.chima.org.cn/Html/News/Articles/16097.html.
CHIMA. Affiliated Hospital of Nantong University: Tapping 5G “intelligence” power to build digital intelligence operating room and multimedia surgical record system [EB/OL]. (2023-04-27)[2024-12-05]. https://www.chima.org.cn/Html/News/Articles/16097.html.

[21] 宋伟泽. 基于智能机器人的医院药房系统应用 [J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(9): 140–144.
Song W Z. Design and application of hospital pharmacy system platform based on intelligent robot [J]. Intelligent Computer and Applications, 2024, 14(9): 140–144.

[22] 乔梅芳, 胡碧花, 马绍椿. 国家医保信息平台智能审核系统应用分析与建议 [J]. 医院管理论坛, 2023, 40(11): 29–31, 47.
Qiao M F, Hu B H, Ma S C. Analysis and suggestions on the intelligent audit system in national medical insurance information platform [J]. Hospital Management Forum, 2023, 40(11): 29–31, 47.

[23] 程玉敏, 黄凤明. 院端医保智能审核系统应用实务研究 [J]. 中国卫生信息管理杂志, 2023, 20(5): 792–796.
Cheng Y M, Huang F M. Practical research on the application of hospital-end medical insurance intelligent audit system [J]. Chinese Journal of Health Informatics and Management, 2023, 20(5): 792–796.

[24] 上海市第一人民医院. 基于物联网与数据驱动的医院设备全生

命周期管理 [J]. 中国设备工程, 2020 (S1): 156–162.
Shanghai General Hospital. Life cycle management of hospital equipment based on Internet of Things and data driving [J]. China Plant Engineering, 2020 (S1): 156–162.

[25] 陆剑峰, 徐煜昊, 夏路遥, 等. 数字孪生支持下的设备故障预测与健康管理方法综述 [J]. 自动化仪表, 2022, 43(6): 1–7, 12.
Lu J F, Xu Y H, Xia L Y, et al. Review of digital twin-enabled device prognostics and health management approaches [J]. Process Automation Instrumentation, 2022, 43(6): 1–7, 12.

[26] Emergen Research. 医疗设备维修市场规模 [EB/OL]. (2023-05-28)[2024-12-09]. https://www.emergenresearch.com/cn/industry-report/medical-equipment-maintenance-market.
Emergen Research. The market size of medical equipment maintenance [EB/OL]. (2023-05-28)[2024-12-09]. https://www.emergenresearch.com/cn/industry-report/medical-equipment-maintenance-market.

[27] 孙茜, 冯霞, 隆云滔, 等. 数字技术赋能我国医疗治理现代化建设研究 [J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(12): 1705–1715.
Sun Q, Feng X, Long Y T, et al. Deepening digital technologies to enable modernization of China's governance of health [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(12): 1705–1715.

[28] Huang H, Shih P C, Zhu Y L, et al. An integrated model for medical expense system optimization during diagnosis process based on artificial intelligence algorithm [J]. Journal of Combinatorial Optimization, 2022, 44(4): 2515–2532.

[29] Kummaragunta Joel Prabhod. The role of artificial intelligence in reducing healthcare costs and improving operational efficiency [J]. Quarterly Journal of Emerging Technologies and Innovations, 2024, 9(2):47–59.

[30] Fogel A L, Kvedar J C. Artificial intelligence powers digital medicine [J]. NPJ Digital Medicine, 2018, 1: 5.

[31] L. E. K. Consulting. 人工智能应用对医疗机构的启示 [EB/OL]. [2024-12-05]. https://www.lek.com/sites/default/files/PDFs/Chinese%20PDFs/CN-AI_Hospital.pdf.
L. E. K. Consulting. The implications of artificial intelligence application for medical institutions [EB/OL]. [2024-12-05]. https://www.lek.com/sites/default/files/PDFs/Chinese%20PDFs/CN-AI_Hospital.pdf.

[32] Steve Alder. Healthcare data breach statistics [EB/OL]. (2025-04-17)[2025-04-24]. https://www.hipaajournal.com/healthcare-data-breach-statistics/.

[33] Davies C R. An evolutionary step in intellectual property rights–Artificial intelligence and intellectual property [J]. Computer Law & Security Review, 2011, 27(6): 601–619.