

[专家简介] 庄严，解放军总医院医学创新研究部高级工程师。从事医院信息化建设和研究工作10余年，专长于医学大数据与人工智能相关技术，在数据库与数据仓库、人机计算、知识图谱、图神经网络方面有所研究。主持国家和军队科研课题7项，自然科学基金课题3项；获得军队科技进步二等奖1项、中华中医药协会科学技术奖2项、中国民族医药协会科学技术一等奖1项；主编和参与编著专著3部；申请医学信息化相关软件著作权8项，专利7项；以第一作者发表论文20余篇，获2017年ACM信息与知识管理国际会议(CIKM2017)最佳论文奖。

多级互联智慧医疗系统的研究与建设

李思宇，林济南，张军雁，卢若谷，肖志禹，何昆仑，庄　严
解放军总医院医学创新研究部，医疗大数据应用技术国家工程研究中心，解放军总医院医学工程实验室，国家药监局人工智能医疗器械研究与评价重点实验室，北京　100853

摘要：我国的医疗信息化建设在信息技术发展驱动和国家政策指导下已进入智慧医疗发展阶段，各级医院都在积极展开建设，需要紧抓机遇，探索智慧医疗的发展路径。本文提出一套多级互联智慧医疗系统，介绍其设计思路、关键技术以及成果应用模式等，以形成一体化的医疗服务闭环，实现医疗保障模式智慧转型。

关键词：智慧医疗；智慧医院；医院信息化；大数据；人工智能
中图分类号：R197. 324；TP311. 52　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**2095-5227(2025)02-0140-06
DOI：10.12435/j.issn.2095-5227.24070401
引用本文：李思宇，林济南，张军雁，等.多级互联智慧医疗系统的研究与建设［J］.解放军医学院学报，2025，46（2）：140-145.

Design and construction of a multilevel interconnected smart healthcare system

LI Siyu, LIN Ji'nan, ZHANG Junyan, LU Ruogu, XIAO Zhiyu, HE Kunlun, ZHUANG Yan
Medical Innovation Research Department of PLA General Hospital, National Engineering Research Center for Medical Big Data Application Technology, Medical Engineering Laboratory of PLA General Hospital, Key Laboratory of Artificial Intelligence Medical Device Research and Evaluation of the National Medical Products Administration, Beijing 100853, China
Corresponding author: ZHUANG Yan. Email: joyear2008@163.com

Abstract: China's medical information construction, driven by the development of information technology and the guidance of national policies, has entered the stage of smart healthcare. Hospitals at all levels are actively engaging in this construction, and therefore need to seize the opportunity and explore the development path of smart healthcare. This paper proposes a multilevel interconnected smart healthcare system, introduces its design idea, key points and application modes, to form a closed loop of integrated medical support services and achieve the intelligent transformation of the medical support model.

Keywords: smart healthcare; smart hospital; medical informatization; big data; artificial intelligence
Cited as: Li SY, Lin JN, Zhang JY, et al. Design and construction of a multilevel interconnected smart healthcare system［J］. Acad J Chin PLA Med Sch, 2025, 46(2): 140-145.

“十四五”是实施健康中国战略的关键时期，在加强医院互联互通、推动医院高质量发展、推进全民健康信息化等系列国家政策的指导下，各级医院探索智慧医疗建设之路，已有初步成效[1-3]。近年来，人工智能、大数据、物联网等新兴技术飞速发展，通过创新加速医疗服务的数字化、智能化，智慧医疗的技术研究和创新应用势在必行[4-5]。因此，全面融合新一代技术，构建多级互联智慧医疗系统，实现系统互联、信息互通、功能互操作，可有效提升医疗保障效能。

1　我国医疗信息化建设现状

1.1　医院信息系统间缺乏互联互通

现有医院信息系统普遍存在系统孤岛、网络孤岛等现象，标准化、集约化建设程度较低，难

收稿日期：2024-07-04
第一作者：李思宇，硕士，工程师。Email: li-siyu@foxmail.com
通信作者：庄严，博士，高级工程师。Email: joyear2008@163.com

以实现医疗系统的互联互通、医疗数据的共享共用[6-8]；且现有系统多为传统的C/S架构，面向服务的构架(service-oriented architecture，SOA)、微服务等易扩展架构还未充分应用，扩展能力不足[9]。因此，亟须设计一体化、多级互联的医疗信息系统，满足跨机构的数据协同与服务协同要求。

1.2　信息化建设水平参差不齐

我国医疗资源分配不均衡[10-11]，大中型医院的信息化正在加速向智慧型、创新型方向转变，但多数医疗机构分布在“边远小散”地区或医疗资源有限，信息化建设只基本满足医疗业务日常运行，受区域发展、信息技术等限制，存在专业救治水平不足、难以共享大中型医院优质医疗资源等问题，不仅制约发展，而且影响医疗保障工作的有效展开。

1.3　智能化医疗服务能力不足

医疗大数据、物联网和人工智能方向已开展很多研究[12-14]，并在影像辅助诊断、辅助治疗、风险预警等方面开展应用[15-17]，有效提高诊疗水平和效率，但国内各级医院尚未形成规模化、可靠性强的智能服务[18]。一些突发公共卫生事件、重大灾害的应对，对应急救治能力的智能化也提出了更高需求[19]，应紧跟智慧医疗蓬勃的发展浪潮，推进医疗服务智能化创新和应用。

2　多级互联智慧医疗系统设计思路

针对以上问题，本文从多级、互联、智慧等角度，提出一套多级互联的智慧医疗系统，按照“网络聚能、数据驱动、AI赋能、体系释能”的理念，将云计算、大数据、人工智能、物联网等新一代信息通信技术与多级医疗服务融合，以促进医院的智慧化发展。

2.1　总体架构

本系统以多级诊疗协同、线上线下联动为特征，将专家资源、设备资源、诊疗技术等要素智能化连接，形成覆盖全域的多级互联、功能全面、医智聚合的智慧医疗系统。采用“一网多平台、云边端协同”架构，见图1。以云网平台为底座，保障多级医疗机构的网络连通、基础资源共享；以大数据、人工智能、物联网等平台组成智慧应用服务平台，以多级互联业务系统为服务核心，协同提供多维的智慧医疗应用；智慧应急救治、智慧基层医疗系统为现场应急救治与基层诊疗康复两个典型场景提供应用方案；安全保密系统为系统运行提供全面的安全防护支撑。

2.2　建设多级互联云网平台，提供云网融合支撑底座

云网平台是云网融合、依云用网、网随云动的技术底座，突破以往医疗机构互不连通的传统模式，进行专网建设，实现多级医疗机构的内网联通以及跨域跨网；采用云存储、虚拟化和容器化等技术，构建多级互联、云边协同的云平台，实现基础设施资源的统一规划、协同建设、高效共享；提供大数据处理能力，支撑不同医疗机构的数据汇聚、存储及管理，实现数据物理分散、逻辑统一。通过打通院间网络、系统和数据屏障，实现管理协同、资源协同、数据协同、服务协同，支撑各医院快速部署所需系统，系统间联通，形成多级互联体系。

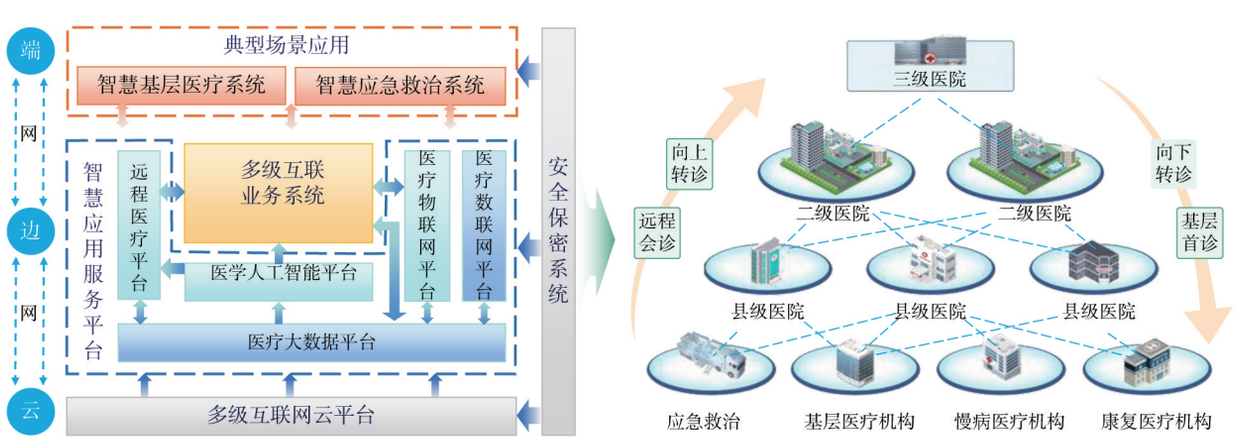


图1　总体架构

Fig. 1　Overall architecture

2.3　建设智慧应用服务平台，提供智慧医疗协同服务

数据驱动，建设医疗大数据平台和数联网平台，构建医疗数据资源体系，实现数据的标准化治理、跨机构共享；建设医学人工智能平台，基于汇聚的数据资源训练医学人工智能模型，进而提供面向辅助诊疗、临床科研等场景的人工智能服务；建设远程医疗平台，实现跨院和移动场景的远程会诊、示教、查房等服务；建设物联网平台，实现药品、耗材和设备的全流程精细化管理。系列平台组成智慧应用服务平台，为业务系统智慧赋能，形成医疗数据不断积累、智慧能力不断完善、医疗服务不断丰富的循环，打造动态演进的智慧医疗新生态。

2.4　研发多级互联业务系统，提供核心智慧医疗应用

着眼跨院业务协同，打通院间数据通路，创新打造多级互联的业务系统，突破传统医疗信息系统的单体部署模式，通过业务入网、数据上云、系统微服务化，按需部署、灵活组配，并与医院现有信息系统融合对接，创新一体化服务模式，锻造互连互通的业务系统。本系统包括医疗业务和运营管理两部分，前者覆盖门诊、住院、医技、康复、转诊、远程会诊、移动诊疗等多种应用场景，形成线上线下一体、院内院外联动的全流程智慧医疗服务；后者包括专家管理、设备管理、物资追溯、运营辅助决策等模块，为管理者提供数据支撑，实现全局态势动态掌控、医疗业务动态统筹、医疗资源合理调配。见图2。

2.5　打造智慧应急救治系统，促进医疗资源向现场拓展

面对突发公共卫生事件或重大灾害场景下救治环境不稳定、网络脆弱、数据采集难等问题，从架构和技术上突破，借助5G或卫星网，构建前后方互联的通信网络和边缘计算环境，搭建智慧应急救治系统，以“人-机-环”物联集成为核心，将急救、重症监护、检验检查、远程辅助诊疗等多类设备模块化抽组、箱组式组合，现场快速部署，建立与后方医院连通的移动应急救治节点，就地展开应急救治应用，承接检伤分类、后送监

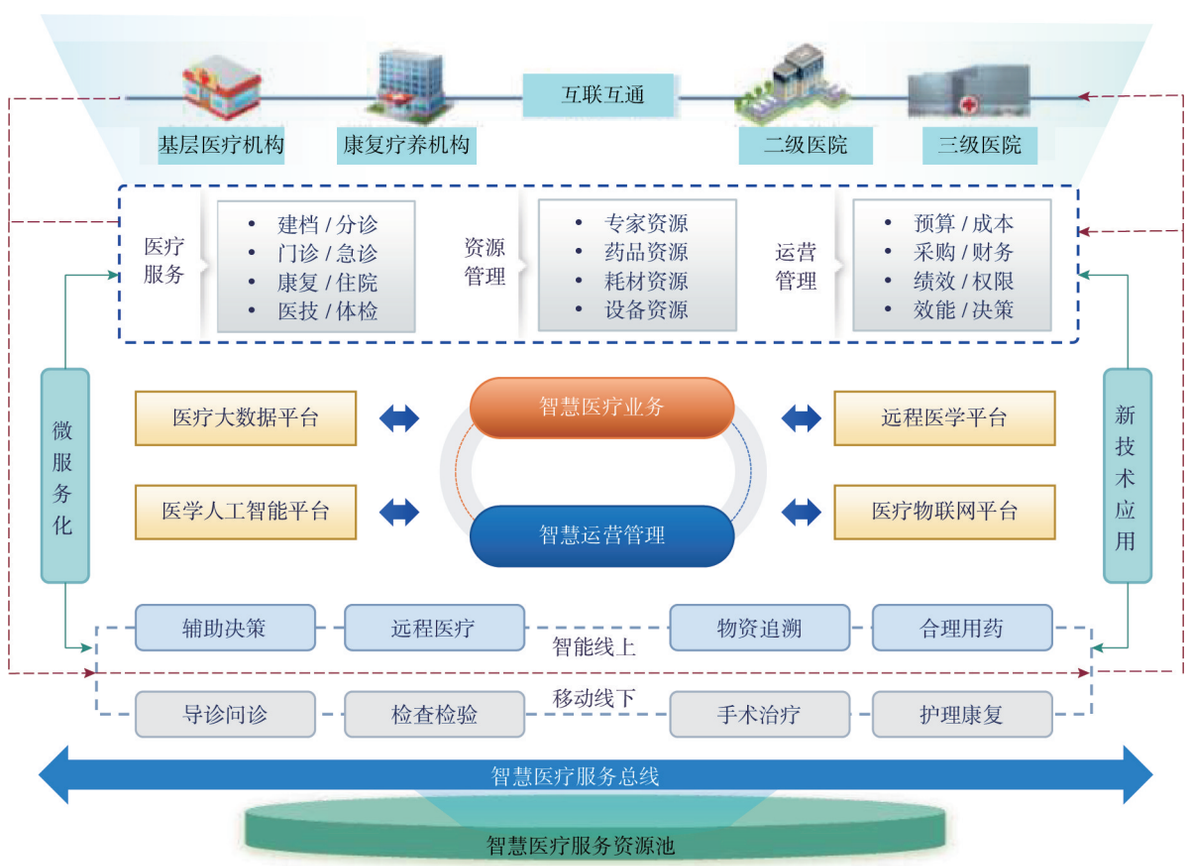


图2　多级互联业务系统示意

Fig. 2　Multi-level interconnected healthcare system

护救治、远程医疗支援、医疗资源管理等保障任务，有效贯通从现场到后方医院的救治链条，提升应急救治效率。

2.6　打造智慧基层医疗系统，促进医疗资源向基层延伸

围绕维护人民生命健康的需求，研发智慧基层医疗系统，云端部署统一的基层业务管理平台，边端创新选用多样化的医疗设备，进行物联改造和数据采集，建设智慧诊室、智慧健康评估室、智慧疾病康复室与远程会诊中心，形成一体化的基层医疗服务模式。患者在基层医疗机构进行健康评估与分析，生成全面的电子健康档案，结合人工智能模型定制个性化康复方案，继而按计划进行运动伤、慢病、心理等方面的康复活动并定期评估复诊；同时建立完善的远程会诊、双向转诊支持平台，强化基层医疗机构与各级医院的连通，缩短基层患者与医疗专家的距离。见图3。

2.7　建设安全保密系统，提供安全保密一体化解决方案

充分考虑建设实际，构建网络安全保密、计算安全保密、用户安全保密、数据安全保密、应用安全保密和安全保密管理六位一体化安全保密系统，全面融入、全程运行，满足国家安全保密防护要求，防范和抵御来自系统内部与外部的安全威胁和失泄密风险，保障系统稳定可靠运行。

3　关键技术

3.1　“云-网-边-端”、多级协同的总体架构

“云”：依托云网平台统一建设，基于分级诊疗体系，将医疗机构分为一级、二级、三级医疗服务节点、应急救治节点和基层医疗服务节点，以云原生技术栈分级构建云服务能力，物理上分级部署、管理上集中调度，建设弹性灵活的多级云环境，有效支撑传统业务场景云化；“网”：融合节点间互联广域网、5G、卫星网、Wi-Fi和物联网等多种网络，采用软件定义网络技术，自动化部署虚拟网络，为云平台和上层应用提供网络服务，满足节点间安全连接、数据传输的要求；“边”：系统采用B/S架构，“边”侧构建智慧应用服务平台，提供智能辅助诊疗、临床科研、辅助决策、药品耗材管理等智慧服务能力；“端”：主要包括应急救治、基层等服务节点和接入系统的医疗终端。通过加强基础设施集约化建设、数据标准化共享、信息系统共用，实现云网联动、多级互联、全局协同的智慧医疗系统。

3.2　微服务架构与服务资源池

为了将新技术合理应用到实际医疗场景，并满足不同医疗机构的需求，同时保持系统的可扩展性、敏捷性和安全性，本系统采用微服务架构。首先构建基于API网关的服务资源池，统一发布、

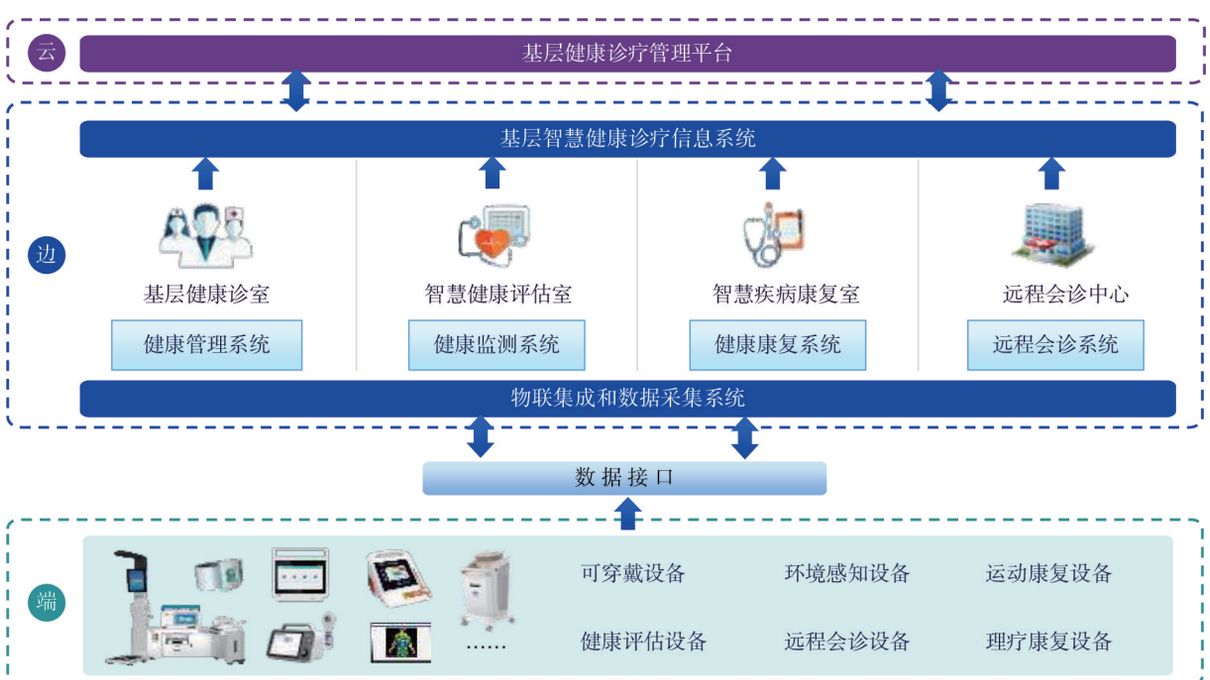


图3　智慧基层医疗系统

Fig. 3　Smart primary healthcare system

订阅、编排和调度服务，实现去中心化的服务管理和规范化的服务交互。其次将新技术与需求结合，封装为粒度适中、依赖度低、适用性高的微服务，形成微服务群组，服务可快速接入、动态集成，供上层业务系统或外部系统调用。此外，还支持智能多协议适配、服务治理、容器管理集群、配置中心等功能，共同构成微服务架构体系，支撑智慧医疗创新赋能。

3.3　医疗物联网数据采集与集成管理

医疗物联网包括医疗设备物联网、药品耗材物联网两部分，前者支持COAP、MQTT、HTTP等通信协议，呼吸机、监护仪等生命支持类设备，经物联网化改造的急救、康复类设备及温湿度等环境感知设备均可无感入网，设备数据自动采集、实时传输，为智慧病房、智慧ICU等应用提供物联数据支持，并可统一管理设备；后者基于唯一标识(UDI编码)体系，多种编码融合，建立统一的数据编码和解析标准，配合RFID条码及PDA、智能药柜/耗材柜等的使用，药品耗材数据可智能识别、批量读写、共享交换和精细化管理，从而建设物资供应保障平台，实现药品耗材的入出库管理、采购验收管理、盘点管理、智能预警等功能，进行全生命周期的追溯管理和全面监管。

3.4　多模态医疗数据融合与处理分析

基于通用数据模型、医疗行业标准和本系统应用需求，构建多源数据融合的标准化通用医学数据模型，以及对应的数据传输、存储结构，将来自医疗设备和智能采集终端的医学影像数据、物联网流式数据、检查检验数据，来自信息系统的健康档案、电子病历、临床业务数据、医疗资源数据，以及其他来源的医学术语、指南、文献、运营管理数据等海量跨尺度、多模态数据统一汇聚到大数据平台，基于通用医学模型进行ETL、治理与融合，构建多模态标准化数据集与医学事实图谱，实现医疗数据快速检索与融合分析，支撑上层的辅助诊疗、临床科研、物资调配、运营决策等智慧应用。

3.5　医学人工智能服务闭环

医学人工智能平台作为系统中的“智慧大脑”，提供一站式医疗人工智能服务，覆盖人工智能模型的研发-管理-共享-应用全流程。首先，依托云网平台提供算力资源统一管理，构建标准化的医疗人工智能模型研发流程。借助分布式计算和联邦学习等技术，利用大数据平台提供的训练数据，医院科研人员可低成本训练医疗人工智能模型，并基于服务资源池生成组件化的智慧医疗能力。利用云边协同技术，将云上能力下沉边端，医院可直接调用推理服务，并提供诊疗数据反哺模型优化，形成完整的医学人工智能服务闭环，降低人工智能使用门槛，助力智慧医疗生态体系可持续发展。

4　应用模式

本系统在多级医疗机构部署智慧医疗服务节点，整合优质医疗资源，组成多级互联的分级诊疗协同网络，并向急救现场延伸，创新构建前后方一体、多级联动的智慧医疗服务模式，开展应用。

4.1　智慧医疗

基于分级诊疗体系，构建联通多级医院的体系化智慧医疗协同服务流程，为医院信息化建设数智赋能。依托人工智能和大数据平台，为医护人员提供智能导诊分诊、医嘱语音录入、临床诊疗辅助决策等智能医疗服务，可轻松建立专病数据库进行临床研究，并迭代更新智能辅诊模型，提高科研成果转化质效；依托多级互联的云网平台，提供跨院的电子病历和影像调阅、双向转诊、远程会诊、远程手术指导等服务；依托智慧基层医疗系统，将基层原有的业务流程打散再造，联合其他医疗机构，打造防、诊、治、康、健的基层全方位服务闭环。通过不断完善分级联动的智慧医疗健康服务，丰富医疗保障手段，帮助医护人员提高工作质量和效率。

4.2　智慧服务

面向诊前、诊中、诊后多环节，在多级医疗机构开展全流程智慧医疗服务。为患者提供线上线下结合、院内院外一体的协同医疗服务，如先线上咨询导诊、预约挂号，再线下就诊、检查，后续用手机复诊、指导康复，简化患者就医步骤；基于跨机构汇聚的诊疗、体检、康复等数据形成电子健康档案，为患者进行全生命周期的健康管理，全面追踪评估健康情况，及时风险预警；基层医疗机构利用配备的健康评估和康复设备，进行健康监测、个性化康复训练并定期评估；结合远程会诊和双向转诊服务，患者可便捷享受上级医院的医疗服务。利用多级协同的智慧化服务模式，完善医疗机构的协作机制，推进医疗资源合理流动，为患者提供更好地就医体验。

4.3　智慧管理

本系统汇聚各级医疗机构和各个信息系统数据，通过医疗数据标准化、医疗设备物联化、人工智能算法工具化等手段，建立多层次的运营管理指标体系，实现覆盖临床业务、医院管理、科研管理和绩效管理等多维度的态势感知，构建智慧医疗综合态势“一张图”，进行关键运营数据的自动采集、实时监测、多维分析、预测预警。医院管理部门可动态监测医疗人员、医院床位、药品耗材、医疗设备等医疗资源调配情况，随时掌握医疗保障态势，结合智能分析评估，辅助进行管理决策，实现医院管理精细化、科学化、高效化，为各级医疗机构提能增效，促进提升其智慧决策和科学管理能力。

4.4　智慧应急救治

依托多级互联的智慧医疗系统，在重大突发事件等场景提供应急救治支援保障。前出现场，提供伤情检测评估、辅助诊断等救治服务；转运后送途中，提供全维立体监护、病历无缝交接、远程辅助救治等服务，将后方优质救治资源前伸，争取更好救治效果。同时，将伤情、物资、救治等多源信息及时汇聚分析，为后方指挥人员救援态势感知、情报分析研判、辅助指挥决策等提供支撑。利用物联网技术，实现应急保障物资的动态跟踪、精确统筹、智能调配。灾后，持续开展慢病管理、康复训练、心理干预等智慧康复服务，帮患者重返社会生活，形成完整的救治服务闭环。

5　结语

本文设计了一套多级互联的智慧医疗系统，该系统应用全新网信架构和人工智能、大数据等先进技术，云网联动，数智融合，推进各级医疗机构的医疗信息化建设和智慧化转型，实现全业务互联和全链条互通，构建多级协同的一体化服务生态，推动分级诊疗模式落地实施，促进医院高质量发展。同时，依托多级互联架构，将优质医疗资源向基层医疗机构、急救现场延伸，形成更便捷、精准、高效的智慧医疗服务模式，优化就医体验。

为保证本系统达到预期成效，需在建设过程中解决以下困难：(1)为满足互联互通需求，需要进行多个不同密级网系间的数据跨网跨域加密交换，同时满足移动终端和医疗物联网建设需求，对于部分医院，需要探索技术路径，有一定改造成本；(2)系统的跨域跨网连通，大量医疗数据的流转，新技术的落地应用，都对安全防护提出了更高要求，需要严格配置安全防护方案以保证主机安全、网络安全和应用安全，利用数联网、联邦学习等技术加强数据安全，并进行软硬件的国产化适配，既满足自主可控要求，也满足本系统的功能和性能要求；(3)需加强包容性设计，医护人员工作压力大、强度高，经常遇到紧急情况，需优化系统的用户体验，真正提升工作效率，同时更多地为老年、残障等弱势群体患者考虑，增强医疗服务的可及性和公平性。

多级互联智慧医疗系统应用于各级医疗机构，以院内和跨院的智慧医疗和智慧管理为主，结合部分物联医疗设备和移动端APP提供医疗保障服务。未来，可将更多轻便智能的无人装备、医疗机器人等新一代医疗设备有机融入，构建更智能高效的救治模式，并与更多社会机构加强互联互通，融入区域全民健康信息化建设，覆盖更多机构和人群，构建全域化的智慧医疗体系，为推进健康中国建设、提高人民健康水平提供有力支撑。

作者贡献　李思宇：论文撰写；庄严：审读，整体把控和指导；何昆仑：监督指导；林济南、张军雁、卢若谷、肖志禹：审读和修订。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突。

参考文献

1　董方杰，胡建平，吴士勇. 我国卫生健康信息互联互通2.0技术特征研究［J］. 中国卫生信息管理杂志，2023，20（1）：1-6.
2　许昌，孙逸凡，董四平，等. 智慧医院建设促进公立医院高质量发展的思考［J］. 中国医院管理，2023，43（1）：10-13.
3　徐向东，吴士勇. 数字时代全民健康信息平台建设的重点要素分析［J］. 中国卫生信息管理杂志，2024，21（3）：361-365.
4　Saba Raoof S，Durai MAS. A comprehensive review on smart health care：applications，paradigms，and challenges with case studies［J/OL］. https://doi.org/10.1155/2022/4822235.
5　Kwon H，An S，Lee HY，et al. Review of smart hospital services in real healthcare environments［J］. Healthc Inform Res，2022，28（1）：3-15.
6　黄镇文. 基于互联互通的医院信息平台建设与应用探究［J］. 数字技术与应用，2023，41（8）：179-181.
7　牟丽，夏英华，何群，等. 我国智慧医疗建设现状、问题及对策研究［J］. 中国医院，2021，25（1）：24-26.
8　何贤英，李陈晨，孙东旭，等. 我国医疗机构远程医疗信息化建设现状调查与分析［J］. 中国医院统计，2023，30（5）：339-344.
9　徐向东，胡建平，张学高. 从技术架构演变看医院信息化发展历程［J］. 中国卫生信息管理杂志，2019，16（4）：389-394.

（下转第152页）