



医联网与智慧医疗健康管理

杨善林¹, 范先群², 丁 帅¹, 顾东晓¹, 李霄剑¹, 欧阳波¹

1 合肥工业大学 管理学院, 合肥 230009

2 上海交通大学 医学院, 上海 200025

摘要: 提升医疗健康机构的管理服务能力有赖于医疗健康管理理论的持续创新。受限于现有封闭、孤立的服务模式, 现阶段的服务体系难以应对新一代信息技术环境下的诊疗服务模式变革。针对该矛盾, 提出医联网构建运行机理与智慧医疗健康服务机制这一核心科学问题, 介绍医联网的运行和演化机理、医疗健康大数据与人工智能、基于医联网的医疗过程及其智慧管理、基于医联网的健康服务及其智慧管理、基于医联网的重大传染性疾病防治及其智慧管理、医联网医院和医联体的智慧运营管理6个重点研究方向, 凝练出重点方向的典型科学问题, 以期通过理论研究促进智慧医疗健康服务和管理实践发展。

关键词: 医联网; 医疗健康管理; 智慧医疗; 医疗健康大数据; 服务机制

中图分类号: TD18

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1672-0334.2021.06.008

文章编号: 1672-0334(2021)06-0071-05

引言

改革开放以来, 中国医疗卫生事业发展成效显著, 国民健康水平持续提高。然而, 医疗卫生资源分配不均、区域协同救治体系薄弱等问题尚未得到根本缓解, 传统封闭、孤立的医院诊疗模式已经难以应对人口迅速老龄化、大量慢病管理和重大传染性疾病防控带来的巨大挑战, 更是无法满足人民对美好生活的向往。当前, 互联网、云计算、大数据、人工智能和5G通信技术等新一代信息技术正在全球范围内引发医疗和健康科技创新体系的深刻变革^[1], 并催生了以医联网为纽带、以智慧医疗健康管理为特征的新一轮重大技术创新和管理创新。加快推进医联网等国家公共卫生新型基础设施建设, 加强部署基于医联网的智慧医疗健康管理前瞻性基础研究, 不仅关乎14亿人民福祉, 更是关乎国家全局、社会稳定和民族未来, 具有重大战略意义。

医联网是指由分布在各类医疗、健康、保险机构或社区、家庭等空间并与医疗健康相关的人和物及其信息资源构成的互联网络, 它建立在互联网基础之上, 具有泛连接性、超时空性、强连续性、高安全性和高可及性等特征, 在高速通信网络和互联医疗设施的支持下, 通过医疗健康大数据和人工智能等

技术的综合运用, 能够实现线上线下协同的智慧医疗健康和保险服务, 还能够支持医院智慧管理以及医疗卫生全过程监管^[2]。面对中国医疗健康事业发展的新机遇以及新一轮科技革命和产业变革向纵深推进的新要求, 系统深入地研究医联网与智慧医疗健康管理理论和方法, 探索医学工程、管理科学和信息技术的交叉融合创新, 不仅能够揭示医联网环境下就医全流程、健康管理和重大传染病防控的资源要素、协同机理及其演化规律, 还能够创新发展分散自治的医疗卫生装备、医疗信息系统、医疗健康服务的跨区域跨组织融合和协调联动服务模式, 突破医联网医院与医联体数据、业务、管理边界壁垒, 为广大人民群众提供公平可及、系统连续、安全可控和成本合理的智慧医疗健康服务。

1 国内外研究现状和发展态势

从世界范围看, 新一代信息技术正在推动医疗领域进入以信息化、数字化、移动化和智慧化为主要特征的健康4.0时代。美国远程医疗协会(American Telemedicine Association, ATA)认可的远程医疗服务已拓展到远程皮肤诊疗和远程病理诊疗等十几个专科医疗领域, 并制定了相应的规范和指南。自2000年

收稿日期: 2021-10-10 **修返日期:** 2021-11-10

作者简介: 杨善林, 中国工程院院士, 合肥工业大学管理学院教授, 研究方向为信息管理与信息系统、决策理论与方法、医疗健康管理等, 代表性学术成果为“大数据中的管理问题: 基于大数据的资源观”, 发表在2015年第5期《管理科学学报》, E-mail: yangsl@hfut.edu.cn

初开始,德国的远程医疗系统进入普及阶段,各医疗系统之间的合作通过远程医疗网络得到显著加强。与此同时,日本、英国、法国和意大利等国均在智慧医疗领域展现出迅猛的发展势头。

学术界就新一代信息技术与医疗领域融合创新展开了广泛且深入的探索。2020年2月6日,国际泛癌全基因组分析联盟在《Nature》《Nature Genetics》《Nature Communications》发表系列研究论文,通过对肿瘤全基因组测序数据的采集分析,高精度、系统性地绘制出常见癌症的多组学数据画像和风险图谱,为医联网环境下癌症的精准医疗提供了全面的基因大数据支撑。2019年《Nature Medicine》推出医疗人工智能专刊,刊出了人工智能技术在神经系统疾病诊断、儿科疾病诊断和早期心脏病检测等方面的研究成果^[3-4]。CRC出版社(Chemical Rubber Company Press)于2018年出版了题为《Medical Big Data and Internet of Medical Things: Advances, Challenges and Applications》的专著,邀请相关领域的权威学者就5G、大数据、物联网在医疗领域应用的前景和挑战进行深入的探讨^[5]。不难看出,这些研究多局限于解决某一单项医疗问题的技术层面,是新一代信息技术的分散应用,迫切需要在理论层面将互联网、大数据和人工智能等技术系统地融入到医疗健康过程中,形成医联网与智慧医疗健康管理的理论基础体系。

2 中国的发展基础和优势

中国政府高度重视新一代信息技术与医疗健康的融合发展,制定了《“健康中国2030”规划纲要》《“十三五”卫生与健康规划》等一系列政策,鼓励医疗机构应用新一代信息技术拓展医疗服务空间和内容,加快实现医疗健康资源上下贯通、信息互通共享、业务高效协同,构建覆盖诊前、诊中、诊后的线上线下一体化医疗服务模式。这充分彰显了中国政治体制优势,为新一代信息技术与中国医疗健康领域的融合发展提供了良好的政策环境。中国面临着城镇化和人口老龄化带来的巨大挑战,优质医疗健康服务供给总体不足,为医联网和智慧医疗健康的发展提供了市场优势。与此同时,中国新一代信息技术发展势头良好,尤其是5G通信技术更是处于国际领先水平,为远程移动医疗提供了强有力的通信技术保障。医疗大数据积累迅速,医疗人工智能迅猛发展,在基因筛查、医疗影像分析和临床辅助决策等领域取得了国际领先的成果,也为中国医联网与智慧医疗健康的发展奠定了良好技术优势。应充分发挥中国在体制、市场和技术等方面的优势,加快推进医联网基础设施建设,系统研究新一代信息技术环境下医联网与智慧医疗健康管理的理论基础和方法。

3 主要研究方向和典型科学问题

新一代信息技术与医疗行业的不断融合正在逐步改变传统的诊疗模式,全新的智慧医疗模式正在诞生。一方面,这将为打破中国医疗行业的资源分

布不均、老百姓“看病难、看病贵”等困境提供新的契机;另一方面,新一代信息技术环境下医疗行业的改革发展也面临很多严峻挑战^[6-8]。例如,如何融入新一代信息技术构建符合医疗行业规律的医联网系统,如何融合各类医疗信息资源理解医疗健康机构、家庭和社区等场景中的医疗信息含义,如何延伸现有的医疗流程建立健全全方位、全周期的医疗保障制度,如何建立远程医疗和智慧医疗等模式实现医疗资源的高效利用等。针对当前医疗健康领域的国家重大战略需求和智慧医疗面临的重大研究挑战,结合国内外研究基础和医疗实际需求,凝练出医联网与智慧医疗健康管理的核心科学问题是:医联网构建运行机理与智慧医疗健康服务机制。

围绕医联网与智慧医疗健康管理,深入探索医联网构建运行机理与智慧医疗健康服务机制,需开展6个方向的研究工作。首先,从基础理论层面出发,开展医联网的运行和演化机理、医疗健康大数据与人工智能的研究;其次,面向医联网环境下医疗健康领域的行业变革,分别研究基于医联网的医疗过程及其智慧管理、基于医联网的健康服务及其智慧管理;再次,以重大传染性疾病作为一种社会影响巨大的关键病种,深入研究基于医联网的重大传染性疾病预防及其智慧管理;最后,围绕医院和医联体这些医联网的核心组成机构,开展医联网医院和医联体的智慧运营管理的研究。通过上述研究,最终将形成适合中国情景的医联网与智慧医疗健康管理基础理论体系,为医疗卫生事业发展和健康服务产业持续创新提供科学支撑。6个研究方向之间的逻辑关系见图1。

3.1 医联网的运行和演化机理

本方向的典型科学问题为:跨时空、多层次医联网体系结构形成和远程协同运行机理。医联网建立在互联网和医疗物联网基础之上,通过高速通信网络连接固定和移动空间中的人和物及其信息资源,打破医院的信息和业务壁垒,实时采集、存储医患信息和医疗设施数据,在医疗健康机构、家庭、社区乃至火车和飞机等移动空间中提供跨时空智慧医疗健康服务^[9]。因此,需要从系统、过程、对象和机构等视角出发,遵循层次界定构建体系结构,建立与医疗健康服务相关的人与人、人与物、物与物的远程协同机制。为了厘清医联网运行和演化规律,关键要研究跨时空、多层次医联网体系结构形成和远程协同运行机理。

典型科学问题举例:医疗设备互联互通机制,医联网通信协议的标准化,无线通信网络的构建和优化,多层次医联网体系结构优化,医联网的安全性和可靠性分析,医疗大数据的存储机制,医疗数据隐私保护机制,多生理心理参数检测机制,体内环境实时感知和重构方法,医患的动作意图感知方法,机械外骨骼等辅助康复系统的自主控制,移动医疗设施的自主规划和导航,手术机器人等治疗系统的远程操控机制,远程人机协同实时控制机制。

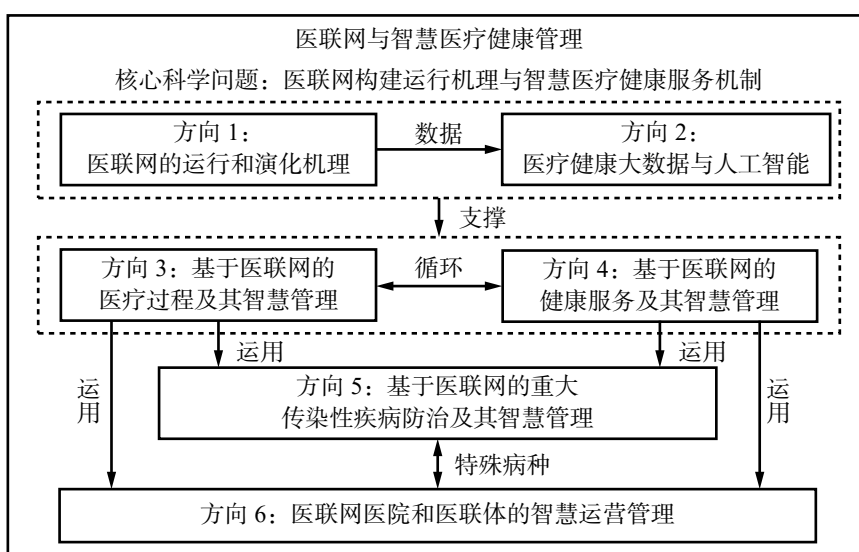


图1 研究方向的逻辑关系

Figure 1 Logical Relationship between Research Directions

3.2 医疗健康大数据与人工智能

本方向的典型科学问题为: 多模态、跨平台医疗健康大数据融合和人机共融决策机理。医疗健康大数据与人工智能是医学、管理、信息等多学科交叉融合的国际前沿热点, 探索大数据融合推理和人机共融诊疗决策是全球科学界共同面临的世界性科学难题^[10-11]。在医联网应用实践中, 医疗服务和健康管理创新需要对线上线下诊疗数据、多组学数据以及医患交互、体验、关系等社交网络数据进行采集、关联、融合和建模分析, 推进医疗健康管理从院内数据整合和个体响应向跨地域跨组织网络化资源共享、人机共融智能转变^[12-13]。针对医联网环境下大数据的多模态、多组学、时序性、质量差异等特征及其带来的科学挑战, 亟须探索多模态跨平台医疗健康大数据融合和人机共融决策机理。

典型科学问题举例: 跨时空、跨粒度医疗健康大数据语义感知机制, 多模态关联数据流的耦合规律, 多源异构数据的语义完整性和质量可靠性, 语义关联导向的医疗健康大数据特征融合和决策融合理论, 多组学测序数据的精细化检测方法, 全流程数据质量控制原理, 集动态序列和深层特征的多模态深度学习方法, 数据和知识联合驱动的医联网人机共融决策机制, 基于行为理解的人机共融诊疗决策理论, 医联网诊疗的多任务学习框架, 符合中国人群基因胚系特点的复杂疾病智能辅助决策方法体系。

3.3 基于医联网的医疗过程及其智慧管理

本方向的典型科学问题为: 全方位、个性化远程医疗的动态决策和过程评价优化机制。医联网系统打破了医疗过程的时空限制, 细化了医疗过程的感知粒度, 使医生可以在远程对患者的疾病状况、生活习惯和过往病史等信息进行全方位的了解^[2]。这需要构建医联网环境下的远程诊疗体系, 利用人工智能和大数据等技术捕捉并识别患者的个性化特征,

全方位分析患者状况, 精准制定医疗措施, 实时监测、分析和预测疾病发展, 动态调整诊疗方案, 实现从传统医疗到远程精准医疗的转变^[14]。针对医联网环境下远程医疗过程管理的个性化、时序化和动态化需求, 从远程医疗架构、动态医疗决策、医疗效果评估和医疗过程优化等方面出发, 深入探索全方位、个性化远程医疗的动态决策方法和过程评价优化机制。

典型科学问题举例: 远程健康状况感知和分析方法, 医疗效果远程动态评估方法, 多模数据驱动的相似病案检索和分析理论, 基于实时动态视觉信息的远程手术场景重构和行为理解, 云边融合的手术过程智能分析和质量评价方法, 人机混合的远程术中协同决策方法, 急症危重患者的死亡风险预测方法, 面向远程医疗药物干预的智能动态决策机制, 面向老慢病患者的再入院风险预测, 医联网环境下远程医疗的医源性风险评估和规避机制。

3.4 基于医联网的健康服务及其智慧管理

本方向的典型科学问题为: 全过程、跨组织健康资源深度聚合和智能服务机制。随着工业化、城镇化和人口老龄化加速, 老年病和慢性病增多, 经济社会发展的需求已经从人口红利向健康红利转变。医联网运用新一代信息技术深度整合公卫、养老和环境等领域的健康资源, 是实现全民、全生命周期健康服务的重要保障。医联网环境下的智慧健康服务不仅需要集成医院、社区、养老服务机构、公安和互联网医疗机构等跨组织信息资源, 还要实现数据驱动下人员、设备、床位等各种资源的充分整合和协同服务。为此, 需要深入研究全过程、跨组织健康资源深度聚合和智能服务机制。

典型科学问题举例: 医联网环境下的健康服务组织结构和流程变革, 基于医联网的全过程、跨组织健康监测和预测预警方法, 多主体价值共创视角下的移动医联网平台构建, 多层次健康需求动态演化建

模方法和动态健康管理理论,医联网技术对多维、多层次健康绩效的影响机理,全景化慢病知识管理理论和全周期群体智能交互决策机制,医联网环境下的医养区块链资源整合方法,跨界、跨组织多粒度医养资源协同服务模式。

3.5 基于医联网的重大传染性疾病预防及其智慧管理

本方向的典型科学问题为:大规模、跨地域重大传染病风险研判和应急防控协同机制。基于医联网的信息感知优势,优化快速响应、灵活机动的大数据风险研判和智能决策方式,建立健全分级、分层、分流的医疗装备、系统、服务协同运作机制,突破数据业务壁垒和地域救治边界,进而实现重大传染病智慧应急管理和“防-控-治”一体化机制。通过深入研究疫情风险要素、传染病知识库构建、应急物资需求特征分析和传染病传播规律,能够拓展重大传染病应急管理前沿研究领域,为智慧应急管理理论体系发展奠定基础。

典型科学问题举例:重大传染性疾病预防的智能风险管理理论,重大疫情趋势研判和风险演化规律,基于医联网的应急管理监测分析机制,覆盖科研、疾控、治疗全流程的资源协同和共享机理,平战结合的应急物资储备保障体系,跨地域、跨组织联防联控的医联网动态演化和重构机制,防治结合的医疗卫生资源调度和优化理论,知识支撑与数据驱动相结合的传染病溯源机制,重大传染病疫情防控的效果评估方法。

3.6 医联网医院和医联体的智慧运营管理

本方向的典型科学问题为:跨时空、多粒度医疗健康资源协同运作和群智决策机制。为了优化中国医疗健康资源配置和提高医疗系统运行效率,需要综合运用新一代信息技术对跨时空的医疗健康数据资源进行采集和分析建模,并通过人机交互和可视化服务实现对医联网医院和医联体智慧运营的有力支持。通过积极探索大数据驱动的医联网医院和医联体资源协同管理决策和运营服务模式,整合跨组织医疗专家、设备、药品和床位等资源要素,突破时空限制,延伸医疗服务,提高服务的可及性、连续性以及知识服务能力和资源利用效率^[15]。

典型科学问题举例:面向医联体资源要素高效整合的医联网医院体系架构、组织结构、管理方式和运行机理,医联网医院资源共享的质量标准体系和运行机理,医联网环境下多层次医疗健康服务的演化规律和行为模式,面向特定运营管理决策情景的实时动态多源异构信息感知和语义知识发现方法,基于云的医联网医院和医联体运营管理移动式知识服务平台,知识驱动的多元多边交互式管理和人机协同群智决策方法,医联网环境下商业保险知识服务平台运行机制和服务模式。

4 结束语

新一代信息技术的发展正在加速推动医疗健康

管理的变革,如何应对中国医疗健康管理领域的巨大挑战,完善国家医疗卫生服务体系,是当前中国经济社会发展亟须解决的重大问题,发展和应用符合中国特色的医联网与智慧医疗健康管理理论是解决这些问题的重要途径。本研究首次提出医联网构建运行机理和智慧医疗健康服务机制这一核心科学问题,并进一步凝练了6个重点研究方向,不仅有助于指导中国医联网体系建设和医疗健康服务创新实践,还能够开拓医疗健康管理的前沿科学领域,推动中国医疗健康管理科学发展。

参考文献:

- [1] ESTEVA A, ROBICQUET A, RAMSUNDAR B, et al. A guide to deep learning in healthcare. *Nature Medicine*, 2019, 25(1): 24–29.
- [2] 杨善林,丁帅,顾东晓,等. 医联网:新时代医疗健康模式变革与创新. *管理科学学报*, 2021, 24(10): 1–11.
YANG Shanlin, DING Shuai, GU Dongxiao, et al. Internet of healthcare systems (IHS): revolution and innovations of healthcare management in the new era. *Journal of Management Sciences in China*, 2021, 24(10): 1–11.
- [3] HE J X, BAXTER S L, XU J, et al. The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Nature Medicine*, 2019, 25(1): 30–36.
- [4] ATTIA Z I, KAPA S, LOPEZ-JIMENEZ F, et al. Screening for cardiac contractile dysfunction using an artificial intelligence-enabled electrocardiogram. *Nature Medicine*, 2019, 25(1): 70–74.
- [5] HASSANIEN A E, DEY N, BORRA S. *Medical big data and internet of medical things: advances, challenges and applications*. Boca Raton: CRC Press, 2018.
- [6] HAO H J, PADMAN R, SUN B H, et al. Quantifying the impact of social influence on the information technology implementation process by physicians: a hierarchical Bayesian learning approach. *Information Systems Research*, 2018, 29(1): 25–41.
- [7] HE S C, SIM M, ZHANG M L. Data-driven patient scheduling in emergency departments: a hybrid robust-stochastic approach. *Management Science*, 2019, 65(9): 4123–4140.
- [8] ADJERID I, ADLER-MILSTEIN J, ANGST C. Reducing Medicare spending through electronic health information exchange: the role of incentives and exchange maturity. *Information Systems Research*, 2018, 29(2): 341–361.
- [9] GATOULLAT A, BADR Y, MASSOT B, et al. Internet of medical things: a review of recent contributions dealing with cyber-physical systems in medicine. *IEEE Internet of Things Journal*, 2018, 5(5): 3810–3822.
- [10] SHILO S, ROSSMAN H, SEGAL E. Axes of a revolution: challenges and promises of big data in healthcare. *Nature Medicine*, 2020, 26(1): 29–38.
- [11] TOPOL E J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 2019, 25(1): 44–56.
- [12] PRICE II W N, COHEN I G. Privacy in the age of medical big data. *Nature Medicine*, 2019, 25(1): 37–43.
- [13] SALMINGER S, STURMA A, HOFER C, et al. Long-term implant of intramuscular sensors and nerve transfers for wireless control of robotic arms in above-elbow amputees. *Science Robotics*,

2019, 4(32): eaaw6306.

- [14] NEGOESCU D M, BIMPIKIS K, BRANDEAU M L, et al. Dynamic learning of patient response types: an application to treating chronic diseases. *Management Science*, 2018, 64(8): 3469–3488.

- [15] SAGHAFIAN S, HOPP W J, IRAVANI S M R, et al. Workload management in telemedical physician triage and other knowledge-based service systems. *Management Science*, 2018, 64(11): 5180–5197.

Internet of Healthcare Systems and Smart Medical Health Management

YANG Shanlin¹, FAN Xianqun², DING Shuai¹, GU Dongxiao¹, LI Xiaojian¹, OUYANG Bo¹

1 School of Management, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

2 School of Medicine, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200025, China

Abstract: The improvement of management and service ability of medical health institutions depends on the continuous innovation of medical health management theory. Limited by the existing closed and isolated service model, the current service system is difficult to cope with the reform of the diagnosis and treatment service model in the environment of a new generation of information technology. In view of this contradiction, this study puts forward the core scientific question of the construction and mechanism of Internet of Healthcare Systems (IHS) and smart medical health service. This study puts forward six key research directions according to the proposed scientific question, including the operation and evolution mechanism of IHS, medical health big data and artificial intelligence, medical process and intelligent management based on IHS, IHS based health services and intelligent management, prevention and intelligent management of major infectious diseases based on IHS, and intelligent operations management of IHS hospitals and medical alliance. This study further consolidates the specific typical scientific issues in these key research directions, and aims to realize the innovation and reform of medical health management through theoretical and practical research.

Keywords: internet of healthcare systems; medical health management; smart medical; medical health big data; service mechanism

Received Date: October 10th, 2021 **Accepted Date:** November 10th, 2021

Biography: YANG Shanlin, member of the Chinese Academy of Engineering, is a professor in the School of Management at Hefei University of Technology. His research interests cover information management and information system, decision theory and methods, and medical health management. His representative paper titled “Management issues in big data: the resource-based view of big data” was published in the *Journal of Management Sciences in China* (Issue 5, 2015). E-mail: yangsl@hfut.edu.cn □