

doi: 10.19920/j.cnki.jmsc.2021.10.001

# 医联网：新时代医疗健康模式变革与创新发展的<sup>①</sup>

杨善林<sup>1,2\*</sup>, 丁帅<sup>1,2\*</sup>, 顾东晓<sup>1,2</sup>, 李霄剑<sup>1,2</sup>, 欧阳波<sup>1,2</sup>, 齐佳音<sup>3,4</sup>

- (1. 合肥工业大学管理学院, 合肥 230009; 2. 过程优化与智能决策教育部重点实验室, 合肥 230009;  
3. 上海对外经贸大学人工智能与变革管理研究院, 上海 200336;  
4. 北京邮电大学可信分布式计算与服务教育部重点实验室, 北京 100876)

**摘要:** 医联网是互联网扎根于医疗健康体系中诞生的衍生物, 其建设发展符合互联网的价值演变规律, 正在经历从技术性向平台性、资源性转变, 加快推动院内-院外、线上-线下的资源整合与协同, 并正在引发医疗健康行业发展范式和服务体系的重大变革. 在梳理智慧医疗发展现状及主要挑战的基础上, 提出了医联网的定义, 指出了其泛连接性、超时空性、强连续性、高安全性和高可及性等主要特征, 并探究了医联网的发展形态和模式变革. 最后, 提出了医联网构建和医联网环境下的数据治理、服务协同、全流程监管等领域的关键科学问题, 以期指引新时代医疗健康模式的变革和创新发展的.

**关键词:** 医联网; 智慧医疗; 模式变革; 远程医疗; 互联网医疗

**中图分类号:** C931.6   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-9807(2021)10-0001-11

## 0 引言

以习近平总书记为核心的党中央高度重视医疗与卫生事业发展, 始终把人民群众的生命安全和身体健康放在第一位, 城乡居民健康水平持续改善<sup>[1]</sup>, 抗击新冠肺炎疫情取得重大成果<sup>[2]</sup>. 然而, 我国长期存在优质医疗资源总量不足、分配不均等问题, 服务水平在区域之间、城乡之间更是存在巨大差距<sup>[3]</sup>. 与此同时, 我国老龄化程度不断加深, 全社会对安全优质的医疗健康服务需求呈现加速增长态势<sup>[4]</sup>. 为了应对这些挑战, 我国在“十三五”期间布局了一批重大工程项目, 推动了互联网、云计算、大数据、人工智能、区块链和5G通信技术新一代信息技术与医疗健康的交叉融合, 催生了以医联网(internet of healthcare systems, IHS)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.

从世界范围来看, 新一代信息技术正在推动医疗健康领域进入以数字化、网络化和智能化为主要特征的“医联网”新时代. 学术界就新一代信息技术与医疗健康领域的融合创新展开了广泛且深入的探索. 2019年10月, *Science* 出版“全球健康”专刊, 对全球领先的疫苗研发、新发感染应对策略、即时诊断方法以及促进心理健康和新生儿健康等方面的智慧医疗成果进行介绍<sup>[5]</sup>. 2019年1月, *Nature Medicine* 出版“*Medicine in the Digital Age*”专刊, 探讨了大数据和人工智能在神经系统疾病诊断、儿科疾病诊断等方面的研究成果<sup>[6-8]</sup>. 2020年3月, *MIS Quarterly* 出版专刊, 探索信息技术对慢病管理的影响. *Management Science*、*Information Systems Research* 等管理学权威期刊在基于新一代信息技术的医院运作管理、区域数据共享

① 收稿日期: 2021-02-07; 修订日期: 2021-06-08.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71690230; 71690235; 91846107; 71771077; 61903115).

通讯作者: 杨善林(1948—), 男, 安徽怀宁人, 教授、中国工程院院士, Email: yangsl@hfut.edu.cn

丁帅(1984—), 男, 安徽肥东人, 教授, Email: dingshuai@hfut.edu.cn

和线上医疗服务等方面也相继发表了一批有代表性的学术成果。我国政府制定并实施了《“健康中国2030”规划纲要》、《“十三五”卫生与健康规划》等一系列重要政策,推动各级卫生主管部门和医疗机构建设完善院内系统和区域平台,鼓励互联网医疗服务创新,推动医疗资源上下贯通和信息互通共享,加快构建覆盖诊前、诊中和诊后的一体化医疗服务模式<sup>[9]</sup>。

为了应对优质医疗资源稀缺和人口老龄化、大量慢病管理和重大传染病防控等带来的巨大挑战,世界各国正在积极探索智能互联的医疗健康服务新模式。在信息技术与医疗健康的融合发展进程中,催生了远程医疗、医疗物联网、互联网医疗等重要概念。远程医疗(telemedicine)依托线下医疗机构实体,通过建立医生和患者之间的远程音视频交互,使患者可以接受外地专家的会诊并在其指导下进行治疗和护理。世界卫生组织将其定义为“使用信息通讯技术进行包括诊断、治疗及咨询等医疗照护行为,以及卫生教育与医疗信息的传递”<sup>[10]</sup>。国家卫生健康委员会将其定义为:“远程医疗是依托现代信息技术,构建网络化信息平台,连通不同地区的医疗机构与患者,进行跨机构、跨地域医疗诊治与医学专业交流等医疗活动”<sup>②</sup>。远程医疗主要提供医患间的远程信息交互服务,业务范围主要局限于远程会诊、远程咨询和指导,缺少对其他医疗健康资源的有效整合以及对患者健康多通道数据的实时动态收集、处理、分析和知识服务能力<sup>[11]</sup>。

医疗物联网(internet of medical things, IoMT)通过对医疗设备、可穿戴设备和各类生物传感器的连接和使用,提高对院内-院外医疗健康数据的管理能力,改善医疗保健服务水平,并提高患者的健康素养与身体健康状况<sup>[12]</sup>。华为公司将其定义为<sup>③</sup>“通过射频识别、红外感应器、全球定位系统等信息传感设备,按约定的协议,把医疗业务相关的人员、资产、物品与互联网连接起来,进行信息交换以实现医疗机构智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络”。IoMT是实现智慧医疗

的核心支撑,并通过与人工智能的结合有效提升了健康体征的实时监测能力,增强了医生和患者对实时身体健康状况的掌握水平<sup>[13,14-16]</sup>。然而,对IoMT的认识和利用不应该只局限于技术系统,还需要从社会系统的视角思考IoMT技术对医疗健康服务模式演进与价值链延伸的深刻影响。

互联网医疗(internet medicine)起源于美国,并快速涌现出Teladoc、好大夫、Doctor on Demand和PatientsLikeMe等一批国际著名互联网医疗平台。我国政府也高度重视互联网医疗。2018年,国务院出台了《关于促进互联网医疗发展的意见》,对健全互联网医疗服务体系、完善相关支撑体系、加强行业监管和安全保障提出了指导意见。原国家卫生计生委统计信息中心主任孟群认为,互联网医疗是以互联网为载体、以信息技术为手段,与传统医疗健康服务深度融合而形成的一种新型医疗健康服务业态的总称<sup>[17]</sup>。互联网医疗有助于缩小区域性医疗条件差异并促进分级诊疗政策落地<sup>[18-22]</sup>。特别是在新冠疫情爆发期间,有效降低了人员交叉感染风险。从某种意义上,互联网医疗是远程医疗在当前时期最重要的表现和应用形式。当前,互联网医疗还难以涉及线上首诊、在线治疗等核心医疗环节,主要作为患者预约挂号、缴费咨询、远程复诊和医生经验知识分享的工具<sup>[23]</sup>。

远程医疗、医疗物联网和互联网医疗等概念,既相互联系又存在差异(详见附录)。但均未能体现新一代信息技术对医护人员、物资、空间和系统等泛在资源整合与协同的新趋势、新要求<sup>[24,25]</sup>,难以实现对全方位全周期主动医疗健康服务的科学决策支撑,迫切需要提出新的概念界定指引相关领域的科学研究和实践探索<sup>[26]</sup>。为此,本文首次提出了医联网的概念和主要特征,分析了医联网的发展演进与模式变革,并系统探讨了医联网与智慧医疗健康管理领域仍待深入研究的关键科学问题,对发展新时代背景下医疗健康大数据治理、医疗健康协同服务和医源性风险防控理论至

② 国家卫生计生委办公厅关于印发远程医疗信息系统建设技术指南的通知: <http://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/s10741/201501/e023e2e4e3254f73932f0b0fca99a866.shtml>

③ 华为医疗物联网解决方案: <https://e.huawei.com/cn/eblog/industries/healthcare/201903181142>

关重要,同时为构建公平可及、系统连续、安全可控、成本合理的全民健康服务体系具有重大实践意义。

### 1 医联网及其主要特征

新一代信息技术对医疗健康服务体系的赋能,不仅体现在对“人”、“物”和“信息”资源的广泛连接,更应该通过数据融合、治理和知识挖掘,实现医疗健康服务的跨界资源联动、机制创新与体系重构。因此,急需提出新的概念,指引原创性理论探索,进而支持新时代医疗健康模式变革与创新发展的。

#### 1.1 医联网的内涵

医联网是指由分布在各类医疗、健康、保险机

构或社区、家庭等空间的,并与医疗健康相关的人和物及其信息资源所构成的互连网络。它建立在互联网基础之上,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。

图 1 描述了医联网的基本内涵。医联网的建设及应用能够对所有相关的医疗健康资源要素实现智能互联,全面覆盖新一代信息技术与医疗健康深度融合的研究对象和关键科学问题,界定新时代医疗健康模式变革和创新发展的“研究域”,可以极大地优化医疗健康资源配置、突破时空限制,为患者、医务人员、医院、政府、企业和基层卫生服务机构带来整体效能跃升。

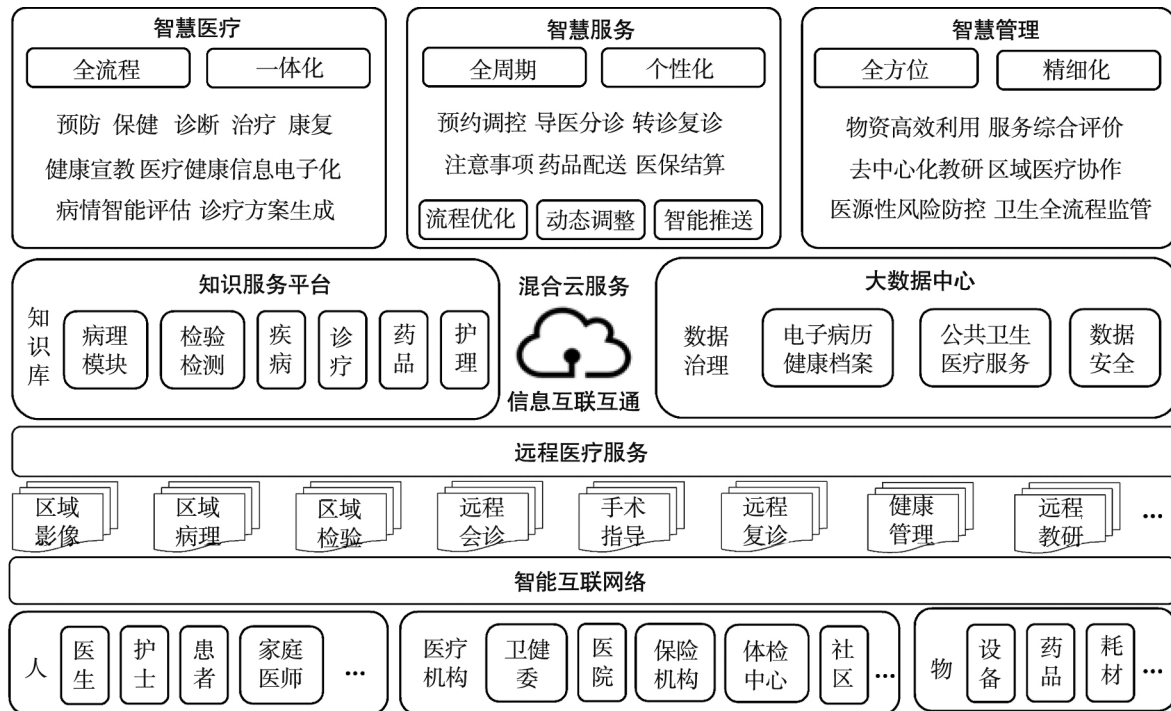


图 1 医联网概念示意图

Fig. 1 Conceptual framework of the HIS

#### 1.2 医联网的主要特征

医联网具有泛连接性、超时空性、强连续性、高安全性和高可及性等特征,从作为技术系统逐渐演变为提供各种在线医疗健康服务的平台,直至当前成为不断融入经济社会系统的战略性人造资源,不断加速医疗卫生服务体系从“人适应系统”向“系统适应人”的转变。图 2 描述了医联网的演化过程。

1) 泛连接性。医联网建立在互联网基础之上,扎根于医院、家庭、卫健委、社区、疾控、公安和民政等相关机构中,连接了检查检验设备、监护设备、治疗设备、可穿戴设备和数据处理设备等仪器设备、药品和耗材等医疗物资,以及医生、护士、患者、管理人员、科研人员和健康大众等人群。在医疗健康服务过程中产生多源异构大数据,通过数据质量控制、数据流耦合、深度挖掘和人机共融决策,实现医

疗健康管理从院内数据整合、个体响应向跨地域跨组织的系统资源泛在连接和主动服务转变<sup>[27,28]</sup>.

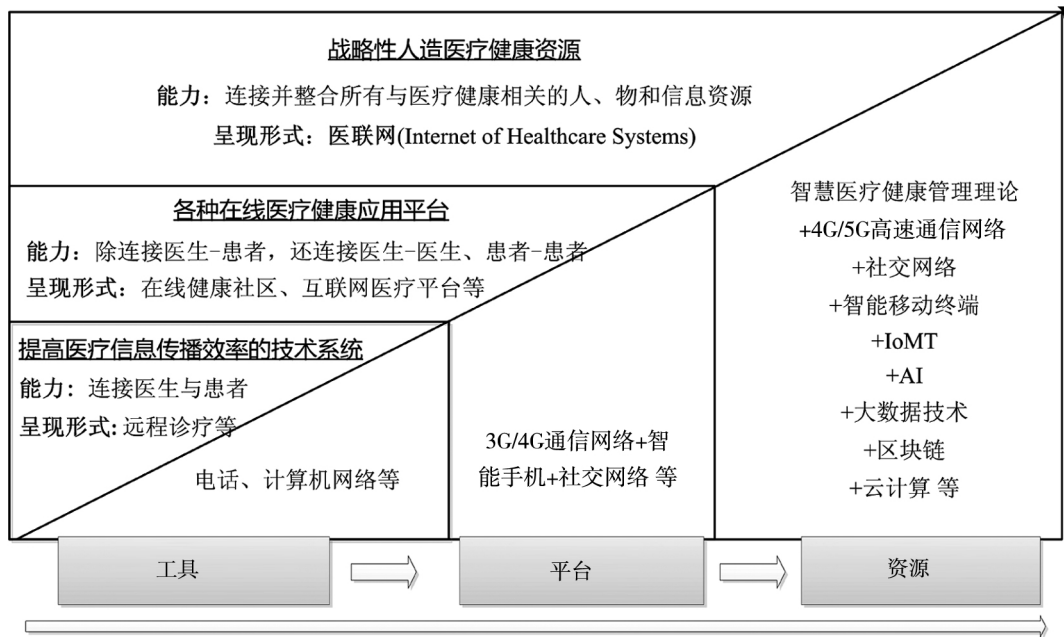


图2 医联网演化示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the evolution of IHS

2) 超时空性. 医联网超越了医疗资源的时空局限,突破了医疗机构的信息和业务壁垒,按需实时采集、存储和分析患者健康、医患交互和医疗设施数据,在医疗健康机构、家庭、社区乃至火车、飞机等移动空间中提供超时空智慧医疗健康服务<sup>[29,30]</sup>. 医联网具备超时空多层次的资源协同与业务协同架构,可通过系统自适应配置满足医疗健康服务相关的人与人、人与物、物与物的交互与远程协同需求<sup>[31,32]</sup>.

3) 强连续性. 医联网环境下的智慧医疗健康管理能够覆盖全生命周期、强连续的健康医疗协同服务,根据不同人群需求,全方位分析患者状况,精准制定医疗措施,实时监测疾病发展,精准评估医疗效果,动态调整诊疗方案,从而实现防治一体的强连续性健康服务体系. 医联网系统可以使医生在远程对患者的疾病状况、生活习惯、家族遗传、过往病史和诊疗效果等信息进行全方位研判,在疾病预测、筛查、诊断、治疗、康复和医养等全周期提供智能辅助决策支持<sup>[33,34]</sup>.

4) 高安全性. 医联网的推广应用需要构建覆盖全网络、全周期和风险可控的安全管控体系,大幅强化医疗安全的监管粒度和连续程度,有效降低医疗组织内部和医联网上的各种医源性风险和

医疗事故产生的影响. 除了全过程伦理风险控制机制和安全标准,医联网还可以综合运用区块链、同态加密和差分隐私保护等技术建立医源性风险的动态监测、智能分析和多元互动的风险规避机制,进一步减少医联网环境下医源性事故的发生概率,切实保障生命健康安全.

5) 高可及性. 在医联网环境下,通过建立跨区域、跨组织的协作机制和交互机制,全方位整合各类医疗健康资源要素,依托互联网医疗业务以及线上线下的双向数据共享甚至互操作,助力医院将服务资源从院内延伸到院外,从单体医院扩展到区域医联体和医共体,形成以互联网医院平台为核心,医事、药事、药品、支付、保险和康养产业等服务有序运行的竞争协作型医疗健康生态圈<sup>[35]</sup>.

## 2 医联网的发展演进

新一代信息技术在医疗健康管理领域的广泛渗透,催生了搭载在医联网基础之上的新型医疗健康服务模式. 以医疗保险企业、平台型企业、装备制造企业和信息系统企业等为代表的产业界,积极发挥各自在技术、数据、客户、资源整合能力

等方面的优势,开展智慧医疗健康管理的实践探索,医联网也在这个过程中萌芽和演进,涌现出各具特色的医联网发展形态和路径。

#### 1) 以服务患者为中心的医联网形态

该形态下的医联网致力于搭建以患者为中心的一站式健康咨询与健康管理平台,依托平台拓展和数据服务衍生的方式不断增强对患者的服务能力。代表性案例:美国联合健康集团的 OPTUM 健康管理产业链,构建了以服务患者为中心以及由健康管理、系统建设和药品服务等核心要素构成的智慧医疗健康保障体系;平安好医生构建了家庭医生、名医问诊、健康社区、健康评测、健康习惯和健康档案等线上服务,为患者提供了全方位便捷化的医疗健康服务。

#### 2) 以资源整合为中心的医联网形态

该形态下的医联网以医药资源整合为中心,连接各类机构的人力、设备、药品以及信息等资源,提供线上线下一体化配置、跨区域集约共享的整体解决方案。代表性案例: Mckesso 是全球领先的药品和健康产品及服务供应商,主要业务有互联网药品与医疗用品销售、在线药学服务与技术等;阿里健康则通过与医药产业链上下游企业的合作,构建了高效的医药专用物流服务体系,为在线医疗服务提供流量入口,并拓展医保线上支付、芝麻信用就医和未来医院建设。

#### 3) 以装备智能互联为中心的医联网形态

该形态下的医联网以装备智能互联为中心,利用物联网和 5G 通信等技术连接各种医疗设备、移动终端和医生工作站等,实现智能装备院内多场景互联融合和院间跨平台接入的功能,为医疗健康行业提供装备智能互联的全面解决方案。代表性案例: GE Healthcare 通过装备的数字化与网络化,加速推进医疗健康服务系统设计、开发、制造、分销和服务。华为公司提出了基于医疗协同、云端共享和开放兼容的一网一云一平台架构,为医院和患者提供智慧门诊、智慧病房、线上咨询、线上处方、线上检查检验和药品配送等服务,实现线上线下医疗服务一体化。

#### 4) 以医生知识共享为中心的医联网形态

该形态下的医联网以医生知识共享为中心,利用大数据和人工智能等技术,从医院临床数据

中心和互联网平台中挖掘各种知识,为临床辅助诊疗、健康管理、药品研发、药学服务、临床教学和培训提供重要知识工具。代表性案例: Epocrates 是全球第一家上市的移动医疗公司,主打产品是为医生临床决策提供药品和临床知识库支持;丁香园是为医学领域相关人员提供知识交流和共享的社会化网络,并通过权威内容分享、丰富数据积累和标准化高质量服务实现对医院、医生、科研人员、患者、生物医药企业和保险企业的连接、资源整合与服务。

#### 5) 以机构能力拓展为中心的医联网形态

该形态下的医联网以机构能力拓展为中心,帮助实体医院将服务资源从院内延伸到院外,从单体医院扩展到医联体或医共体,进而形成促进医事、药事、药品、支付和健康产业等有序运行与协同服务的医疗健康生态圈。代表性案例: Epic Systems 是美国最大的电子健康档案供应商,通过各级医疗机构电子健康档案系统的业务能力拓展,为远程诊疗过程提供医疗数据支撑;卫宁健康是 IDC Health Insights 全球医疗科技公司排名中亚洲唯一上榜企业,采取“云医、云药、云险、云康”和“创新服务平台”云端业务协同的模式,整合互联网业务资源和庞大的医院信息资源,推进远程医疗和互联网医院的建设,大规模拓展实体医院机构的服务能力。

综上,以医疗机构、医疗 IT 企业或互联网平台为中心的医联网发展形态虽各具特色,但尚未涉及广泛的各类主体、资源和机构等的常态化协调联动。医联网作为下一代医疗健康公共服务基础设施,其理论与实践研究应该是以服务患者为中心,在互联网基础上连接患者、医生、装备、系统、机构以及线上线下泛在资源,为患者提供具有泛连接性、超时空性、强连续性、高安全性和高可及性的全方位全周期智慧医疗健康服务。

### 3 医联网环境下的模式变革

医联网将原有医疗健康体系的线下运作模式变革为线上线下协同运作,大幅加快医疗健康体系的运行协作效率,正在引发以下变革。

#### 1) 医疗服务模式变革

医联网连接了原有单点离散医疗健康服务,通过线上信息的流通共享和智能化的数据治理分析使原本割裂的诊疗康复流程串联起来,形成完整的全方位全周期服务体系,并逐步向社区、家庭等空间蔓延,服务于居民的日常健康生活。医疗健康服务模式的变革主要体现在从被动型服务向主动型服务转变、离散型服务向连续型服务转变、单一机构服务向区域协同服务转变和单次诊疗服务向诊疗康复全周期服务转变。

#### 2) 医疗协作模式变革

以云架构为基础的远程多模信息交互技术为不同区域医疗协作交流提供了极为便捷的途径,同时区块链等技术的融入极大地增加了医联网上医疗信息传输的可信度、安全性和溯源能力,人工智能和人机交互等技术的创新进一步拓展了医疗协作的手段,这将原本以医院为边界的医疗协作范围进一步拓展延伸,形成了跨机构和跨区域的协作整体。医疗协作模式的变革主要体现在空间聚集型协作向空间分散型协作转变、时间衔接型协作向时间同步型协作转变、流程分工型协作向专业分工型协作转变。

#### 3) 医疗监管模式变革

物联网技术的运用使得医联网系统对医疗过程感知粒度不断细化,人工智能技术的发展则大幅提高了系统的数据处理分析能力,这使得医疗体系的监督管理模式可以不再局限于原有的流程化监管,而是通过多模感知、融合分析、风险识别、流程指引和辅助决策等智能化手段赋能医疗监管制度,提升医疗监管效果<sup>[36]</sup>。医疗监管模式的变革主要体现在粗放型监管向精细型监管转变、被动响应型监管向主动识别型监管转变和案例回溯型监管向过程指引型监管转变。

#### 4) 医疗科研模式变革

传统临床科研模式需要医生主动记录病例数据,往往受科室、医院、地域等外界因素的制约难以形成具有规模且分布均匀的病例样本集。医联网为各个专科形成紧密型医联体提供了良好的环境,通过医疗协作和数据共享可以形成大规模高质量病例样本数据库,结合医生临床经验和智能化数据分析技术,能够更加便捷地发现普适性临床规律,并进一步通过医联网进行快速推广和在

线验证。医疗科研模式的变革主要体现在从循证型科研向数据型科研转变、从单中心和多中心科研向去中心化的群智协作型科研转变。

## 4 医联网环境下的智慧医疗健康管理创新

当前,医联网理论与实践探索尚处于初级阶段,运用多学科交叉融合方法,揭示医联网环境下医疗服务、健康管理和重大传染病防控的资源要素协同及其演化规律,以多主体数据治理、跨界协同服务与医源性风险防控为突破口,创建具有中国特色、且国际领先的医联网与智慧医疗健康管理理论体系,有利于推动我国医疗健康管理科学研究水平迈向世界前列,为“健康中国”战略提供科学理论支撑。

### 4.1 医联网体系结构与运行演化机理

医联网广泛连接着与医疗健康相关的各类资源,构成了打破时空限制的复杂系统。随着医联网系统连接广度与复杂度的不断提升,相关的系统工程理论成为决定系统能力的关键。为了实现医联网的多资源聚合、多系统融合、多主体协同和全过程优化,必须从系统、过程、对象和机构等视角出发构建医联网的体系结构,建立医联网的技术标准体系,揭示医联网的运行与演化规律,构建面向医联网的技术创新体系、服务模式创新体系和商业模式创新体系,探索产业体系形成过程及其演进机理。

### 4.2 医联网环境下的装备自适应连接与安全互操作技术

医联网融入了医疗物联网的技术特点,通过检查检验设备、治疗设备、服务交互设备、可穿戴设备以及智能医疗机器人等各类医疗设备与医疗物资的连接,大幅增强医疗人员、管理人员以及患者的感知与操控能力,打破医院、社区和家庭间的空间界限,进而实现全局范围内的医疗资源优化调配。一方面,必须依托高速通信网络,研发适应各类医疗设备资源的统一通讯协议及其相应的边缘终端模块,设计面向各类医疗设备的远程互操作接口,突破面向网络时延和网络不稳定等问题

的远程安全操控技术, 从而提供面向各类医疗设备的自适应连接能力; 另一方面, 更需要从实体认知、安全交换、数据溯源和攻击检测等不同层面, 研究医联网环境下的网络安全技术和隐私保护技术, 保障设备互连操控的稳定性、安全性和可信性。

#### 4.3 医联网环境下的数据治理与人机共融决策

医联网正在经历从技术性向平台性、资源性时代转变, 极大地提高院内-院外、线上-线下资源的整合深度和广度, 并逐渐呈现出人机共融的卫生服务新格局。因此, 急需厘清诊疗数据、运作数据、健康数据和医患交互数据等多源多模态医疗健康数据在服务过程中的产生与流通规律, 探明医联网机制设计与医患行为改变的人机共融演化机理, 建立医联网环境下的大数据治理、互认共享质量控制、数据流耦合、安全隐私保护和人机共融决策机制, 推动医疗健康管理从院内数据整合、个体响应向跨地域跨组织网络化资源共享、人机共融智能的全生命周期医疗健康转变。

#### 4.4 医联网环境下的医疗健康协同服务机制

医联网细化了医疗健康服务的感知粒度, 资源组织规模大、层级多和管理复杂度高。为了实现按需响应的主动健康服务, 必须打破医疗健康过程的时空限制和资源约束, 建立医疗健康协同的智能服务模式和创新机制<sup>[37]</sup>。因此, 急需从多阶段多主体协同服务的工作流程创新出发, 构建医联网环境下的全面健康管理模式, 创建基于医患交互与信任转移机制的群体协同决策模型和医疗健康协同服务模式, 构建分级、分层、分流的医疗装备、系统和服务协同运作机制, 构建可解释的医疗健康数据智能分析与跨域知识推理模型, 突破数据业务壁垒与地域救治边界, 提升跨区域医疗资源协同决策和智慧服务的能力。

#### 4.5 医联网环境下的重大传染病应急防控机制

科学精准打赢新冠肺炎等重大传染性疾病预防防控阻击战, 不仅需要强化公共卫生风险意识, 还需要运用新一代信息技术, 助力完善国家重大疫情防控与应急救治体系<sup>[38]</sup>。通过医联网建设及其重大传染病防治应用研究, 优化快速响应、灵活机动的大数据风险研判与智能决策方式, 不断提升国家疫情监测分析、防控救治与资源调配能力。

因此, 迫切需要研究大规模、跨地域重大传染病风险研判与疫情监测方法, 医联网环境下的重大传染病应急救治模式, 重大传染病应急防控策略与协同机理, 以及基于医联网的重大传染病资源调配决策方法, 为我国重大传染病智慧防治与应急资源调配管理提供科学支撑。

#### 4.6 医联网环境下的医源性风险识别与预测

医源性风险通常会给患者带来不同程度的身心损伤甚至死亡, 也是导致医患矛盾频发的主要诱因之一。在智能互联环境下, 医源性风险的表现形式、严重程度、作用机制、影响范围均发生显著变化。医联网的建设及应用将对有效防控医疗健康服务过程中的医源性风险、减少不良医疗事故发生产生重要影响。因此, 急需开展医联网环境下的医源性风险形态与作用机理, 跨时空多粒度的医源性风险分析、研判、预测等理论研究和场景驱动的实时动态识别与防控方法研究, 建立基于区块链的医联网隐私数据保护与智慧防控机制, 构建医联网环境下的医源性风险决策与监管机制。

#### 4.7 医联网环境下的智慧医院架构与运作管理

为了提高医联网环境下的医疗系统运行效率, 需要综合运用新一代信息技术对电子健康记录、区域健康信息、穿戴监测数据、在线医疗数据等数据进行联合建模, 探索数据与知识联合驱动的医院智慧管理体系与医联体智慧运营服务模式, 建立面向医联体资源要素高效整合的医联网医院管理体系架构与组织结构, 并有针对性地研究特定管理决策场景的多源异构信息感知与语义知识发现方法, 探索医联网医院资源共享的质量标准体系与运行机理, 突破医疗资源时空局限、延伸医疗服务能力, 实现院内-院外、线上-线下协同的医院运作管理。

#### 4.8 医联网环境下的医疗卫生全流程监管

医联网能够通过音视频、检验检测数据、医疗电子文本、设备运行参数等信息详细记录并还原医疗卫生全过程, 可为医疗卫生体系相关行政管理部门的监督、审批、追责、惩戒等监管行为提供实时动态、详细可依的管理依据。一方面, 必须探索基于大数据和人工智能的智慧医疗卫生监管技术, 充分利用指数增长的大规模医疗监管数据; 另

一方面,还需要变革医疗卫生监管的流程体系,将医疗数据治理、医源性风险识别、智能医疗质量评估等技术应用于医疗卫生监管过程中,构建基于互联网的医疗服务质量全流程监管机制,实现高实时、细粒度、可溯源的主动医疗卫生全流程监管。

## 5 结束语

当前,产业界围绕互联网与智慧医疗健康管理已经开展了许多卓有成效的探索,但基础理论

研究明显落后于实践,迫切需要探索新的科学研究范式开展原创性理论研究,促进实践更好更快的发展。本文提出了医联网的定义,系统研究了医联网的主要特征、发展演进、模式变革和关键科学问题。在未来的科学研究中,必须结合我国分级诊疗制度实施路径、“健康中国”战略规划、以及智慧医院与互联网医院建设经验,采取数据驱动与行为建模相结合、定量研究与定性分析相融通、理论探索与重大应用相促进的方式逐步推进,从而研究构建多主体、多层次、多粒度、跨组织的医联网与智慧医疗健康理论体系。

### 参考文献:

- [1]孙春兰. 全面推进健康中国建设[N]. 人民日报, 2020-11-27(006).  
Sun Chunlan. We will comprehensively promote the building of a healthy China [N]. People's Daily Online, 2020-11-27(006). (in Chinese)
- [2]张辉,王耀南,易俊飞,等. 面向重大疫情应急防控的智能机器人系统研究[J]. 中国科学: 信息科学, 2020, 50(7): 1069-1090.  
Zhang Hui, Wang Yaonan, Yi Junfei, et al. Research on intelligent robot system for emergency prevention and control of major epidemics [J]. Science in China: Information Science, 2020, 50(7): 1069-1090. (in Chinese)
- [3]王文娟,曹向阳. 增加医疗资源供给能否解决“看病贵”问题?——基于中国省际面板数据的分析[J]. 管理世界, 2016, 32(6): 98-106.  
Wang Wenjuan, Cao Xiangyang. Can increasing the supply of medical resources solve the problem of “expensive medical treatment”? Analysis based on China's provincial panel data [J]. Management World, 2016, 32(6): 86-96. (in Chinese)
- [4]葛延风,王列军,冯文猛,等. 我国健康老龄化的挑战与策略选择[J]. 管理世界, 2020, 36(4): 98-106.  
Ge Yanfeng, Wang Liejun, Feng Wenmeng, et al. The challenge and strategy selection of healthy aging in China [J]. Management World, 2020, 36(4): 98-106. (in Chinese)
- [5]Obermeyer Z, Powers B, Vogeli C, et al. Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations [J]. Science, 2019, 366(6464): 447-453.
- [6]Topol E J. High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence [J]. Nature Medicine, 2019, 25(1): 44-56.
- [7]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.
- [8]Liang H, Tsui B Y, Ni H, et al. Evaluation and accurate diagnoses of pediatric diseases using artificial intelligence [J]. Nature Medicine, 2019, 25(3): 433-438.
- [9]杨善林,周开乐,张强,等. 互联网的资源观[J]. 管理科学学报, 2016, 19(1): 1-11.  
Yang Shanlin, Zhou Kaile, Zhang Qiang, et al. A resource view of the Internet [J]. Journal of Management and Sciences in China, 2016, 19(1): 1-11. (in Chinese)
- [10]World Health Organization. Telemedicine: Opportunities and Developments in Member States: Report on the Second Global Survey on eHealth [M]. Geneva: World Health Organization, 2010.
- [11]Kim S H, Tong J, Peden C. Admission control biases in hospital unit capacity management: How occupancy information hurdles and decision noise impact utilization [J]. Management Science, 2020, 66(11): 5151-5170.



- [12] Rani S, Ahmed S H, Talwar R, et al. IoMT: A reliable cross layer protocol for internet of multimedia things [J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2017, 4(3): 832–839.
- [13] Arthur G, Youakim B, Bertrand M, et al. Internet of medical things: A review of recent contributions dealing with cyber-physical systems in medicine [J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2018, 5(5): 3810–3822.
- [14] Cao R, Tang Z, Liu C, et al. A scalable multicloud storage architecture for cloud-supported medical internet of things [J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2020, 7(3): 1641–1654.
- [15] Haque A, Milstein A, Fei-Fei L. Illuminating the dark spaces of healthcare with ambient intelligence [J]. *Nature*, 2020, 585(7824): 193–202.
- [16] Son J, Brennan P F, Zhou S Y. A data analytics framework for smart asthma management based on remote health information systems with bluetooth-enabled personal inhalers [J]. *MIS Quarterly*, 2020, 44(1): 285–303.
- [17] 孟群. 医疗健康+互联网现状及发展趋势 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016.  
Meng Qun. The Status Quo and Development Trend of Healthcare Plus Internet [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2016.
- [18] Bhargava H K, Mishra A N. Electronic medical records and physician productivity: Evidence from panel data analysis [J]. *Management Science*, 2014, 60(10): 2543–2562.
- [19] Hydari M Z, Telang R, Marella W M. Saving patientryan—Can advanced electronic medical records make patient care safer? [J]. *Management Science*, 2019, 65(5): 2041–2059.
- [20] Thompson S, Whitaker J, Kohli R, et al. Chronic disease management: How IT and analytics create healthcare value through the temporal displacement of care [J]. *MIS Quarterly*, 2019, 44(1): 1–30.
- [21] Goh J M, Gao G D, Agarwal R. The creation of social value: Can an online health community reduce rural-urban health disparities? [J]. *MIS Quarterly*, 2016, 40(1): 247–263.
- [22] Shuren J, Patel B, Patel, et al. FDA regulation of mobile medical apps [J]. *JAMA*, 2018, 320(4): 337–338.
- [23] 林徐勋, 王海燕. 在线健康信息服务动态定价与推广策略 [J]. *管理科学学报*, 2020, 23(11): 23–46.  
Lin Xuxun, Wang Haiyan. Dynamic pricing and promotion strategy of online health information service [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2020, 23(11): 23–46. (in Chinese)
- [24] da Costa C A, Pasluosta C F, Eskofier B, et al. Internet of health things: Toward intelligent vital signs monitoring in hospital wards [J]. *Artificial Intelligence in Medicine*, 2018, 89: 61–69.
- [25] Angst C M, Devaraj S, D'Arcy J. Dual role of IT-assisted communication in patient care: A validated structure-process-outcome framework [J]. *Journal of Management Information Systems*, 2012, 29(2): 257–292.
- [26] 杜少甫, 谢金贵, 刘作仪. 医疗运作管理: 新兴研究热点及其进展 [J]. *管理科学学报*, 2013, 16(8): 1–19.  
Du Shaofu, Xie Jingui, Liu Zuoyi. Progress and prospects in an emerging hot topic: Healthcare operations management [J]. *Journal of Management and Sciences in China*, 2013, 16(8): 1–19. (in Chinese)
- [27] Reed M E, Huang J, Graetz I, et al. Patient characteristics associated with choosing a telemedicine visit vs office visit with the same primary care clinicians [J]. *JAMA Network Open*, 2020, 3(6): e205873.
- [28] 杨善林, 周开乐. 大数据中的管理问题: 基于大数据的资源观 [J]. *管理科学学报*, 2015, 18(5): 1–8.  
Yang Shanlin, Zhou Kaile. Management issues in Big Data: The resource-based view of Big Data [J]. *Journal of Management and Sciences in China*, 2015, 18(5): 1–8. (in Chinese)
- [29] Topol E J, Steinhubl S R, Torkamani A. Digital medical tools and sensors [J]. *JAMA*, 2015, 313(4): 353–354.
- [30] Rajan B, Tezcan T, Seidmann A. Service systems with heterogeneous customers: Investigating the effect of telemedicine on chronic care [J]. *Management Science*, 2019, 65(3): 1236–1267.
- [31] Kohli R, Tan S L. Electronic health records: How can is researchers contribute to transforming healthcare [J]. *MIS Quarterly*, 2016, 40(3): 553–574.
- [32] Jiang J, Cameron A F. IT-Enabled self-monitoring for chronic disease self-management: An interdisciplinary review [J]. *MIS Quarterly*, 2020, 44(1): 451–508.
- [33] Kallinikos J, Tempini N. Patient data as medical facts: Social media practices as a foundation for medical knowledge creation [J]. *Information Systems Research*, 2014, 25(4): 817–833.

- [34] Saifee D H , Zheng Z , Bardhan I R , et al. Are online reviews of physicians reliable indicators of clinical outcomes? A focus on chronic disease management [J]. *Information Systems Research* , 2020 , 31( 4) : 1282 – 1300.
- [35] Yang H , Guo X , Wu T. Exploring the influence of the online physician service delivery process on patient satisfaction [J]. *Decision Support Systems* , 2015 , 78: 113 – 121.
- [36] 朱立龙 , 荣俊美. “互联网 + 医疗健康”背景下考虑患者反馈机制的药品质量监管策略研究 [J]. *中国管理科学* , 2020 , 28( 5) : 122 – 135.  
Zhu Lilong , Rong Junmei. Drug quality supervision strategy considering patient feedback mechanism under the background of “Internet + medical health” [J]. *Chinese Journal of Management Science* , 2020 , 28( 5) : 122 – 135. ( in Chinese)
- [37] 郭鑫鑫 , 王海燕 , 许蒙蒙. 医疗信息共享对患者转移数量和服务质量水平影响研究 [J]. *中国管理科学* , 2021 , 29( 1) : 226 – 236.  
Guo Xinxin , Wang Haiyan , Xu Mengmeng. The impact of health information exchange on the number of patients transferred and the quality of service [J]. *Chinese Journal of Management Science* , 2021 , 29( 1) : 226 – 236. ( in Chinese)
- [38] 欧阳桃花 , 郑舒文 , 程 杨. 构建重大突发公共卫生事件治理体系: 基于中国情景的案例研究 [J]. *管理世界* , 2020 , 36( 8) : 19 – 32.  
Ouyang Taohua , Zheng Shuwen , Cheng Yang. The management of large-scale public health emergency: A case study of coronavirus epidemic in China [J]. *Management World* , 2020 , 32( 8) : 19 – 32. ( in Chinese)

## Internet of healthcare systems ( IHS) : Revolution and innovations of healthcare management in the new era

*YANG Shan-lin*<sup>1,2\*</sup> , *DING Shuai*<sup>1,2\*</sup> , *GU Dong-xiao*<sup>1,2</sup> , *Li Xiao-jian*<sup>1,2</sup> , *OUYANG Bo*<sup>1,2</sup> , *QI Jia-yin*<sup>3,4</sup>

1. School of Management , Hefei University of Technology , Hefei 230009 , China;
2. Key Laboratory of Process Optimization and Intelligent Decision-making , Ministry of Education , Hefei 230009 , China;
3. Institute of Artificial Intelligence and Change Management , Shanghai University of International Business and Economics , Shanghai 200336 , China;
4. Key Laboratory of TDCS , Beijing University of Posts and Telecommunications , Beijing 100876 , China

**Abstract:** Internet of healthcare systems ( IHS) is a new concept derived from the processes in which internet takes root in the healthcare systems. The construction and development of IHS correspond with the evolution regularity of internet , as IHS is currently transforming from a technological , subject into a societal , platform-and-resource-based subject. The emerging of IHS technologies and applications are accelerating the cooperation and systemization of healthcare resources in different scenarios , such as in/out hospital and online/offline resources , triggering major revolutions in the development paradigms and service systems of the healthcare industry. This study firstly reviewed several related concepts and then put forward the definition of IHS from the perspective of management science. Six main characteristics of IHS are introduced , such as high interoperability , cross spatiotemporal , strong continuity , strong security and high accessibility. The main applications of IHS are then summarized. Finally , several key scientific questions are introduced involving the construction of IHS and data governance , service collaboration , and full-process supervision in the environment of IHS , which will be beneficial for the innovation and reformation of healthcare in the new era.

**Key words:** internet of healthcare systems; smart healthcare; pattern revolution; telemedicine; internet medicine

附录

附表 医联网与互联网医疗、远程医疗、医疗物联网的区别  
Appendix Table Difference between internet medicine, telemedicine, IoMT and IHS

特点	对象			
	远程医疗 <sup>[7, 22]</sup>	医疗物联网 <sup>[8]</sup>	互联网医疗 <sup>[6, 9, 14]</sup>	医联网
思想基础	以远程协同为中心, 强调远程医患连接	作为支撑智慧医疗的主要技术之一	以医院为中心, 延伸医院业务, 人适应系统	以人、物和信息等医疗健康资源整合为中心, 系统适应人
业务/功能	主要包括远程医学咨询、远程会诊、远程手术、远程医学教育培训和远程学术交流等	主要包括智慧病房、ICU 智能监测、智慧药房和设备耗材管理等	主要聚焦于远程诊疗。用于在线问诊、咨询、指导和药品网络配送	实现医院和医联网医疗健康服务和智慧管理、远程会诊、远程医疗和远程指导等各类远程医疗健康服务和智慧管理
服务环节	主要集中在预防、保健和诊断环节	主要集中在就诊服务、康复和护理等环节	主要集中在预防、保健和诊断环节	覆盖预防、保健、诊断、治疗和康复的完整医学链条
“人”的整合	通过远程通讯技术实现跨区域医生资源与患者需求的对接	能够通过可穿戴设备、移动终端等进行全方位信息采集	通过整合不同医疗机构的医生资源实现对患者的在线服务	实现跨区域跨组织的诊疗、检验、检查和药学等各领域人力资源整合, 为患者提供从健康咨询到检验检查、诊疗、保健和康养等全环节的医疗健康服务
“物”的整合	仅限于“物”的连接, 较少涉及物资整合和统筹调配	实现各种医疗仪器设备和对象的广泛连接和交互	具备对不同区域药品资源的整合和在线配送功能	能够对分散在各地的药品、耗材、仪器和设备等各类物资进行深度整合与协调
“信息”的整合	线下-线上数据资源的整合程度有限, 信息资源整合和利用率较低	主要集中于组织内信息感知、信息采集和分析	医疗机构的临床系统独立运行, 与互联网医疗平台互联程度不高	医联网上各个系统、设备等实现高水平智能互联, 基于系统视角进行全局信息资源的整合、分析、管理和利用
监管机制	政策上尚未开放全环节的完整医学链条, 特别是远程诊断和治疗环节。	存在对患者信息过度获取和患者隐私泄露隐患	监管机制不完善, 存在医源性风险和“无方购药”、“药不对症”等情况	对医源性风险进行有效防控, 具有基于区块链的全过程、全环节、全链条安全监管和患者隐私保护措施
管理特征	以患者远程医疗需求为主导, 以平台组织为载体, 将医疗服务远程化, 方便患者就医	侧重于通过信息实时动态采集为就诊、治理和护理等阶段提供过程监测	将线上-线下医疗资源视为相对独立的部分, 按照各自流程分别组织资源和提供服务	将线上-线下资源视为有机整体, 以系统的视角组织和调度各类医联网资源, 为患者提供主动连续性的医疗健康服务