

智慧健康城市技术框架及应用^{*}

孟小虎¹ 邱五七² 恽 韬¹ 于海天¹ 王 曦² 严晓玲² 毛阿燕²

(¹ 华为技术有限公司 北京 100073 ² 中国医学科学院/北京协和医学院医学信息研究所 北京 100020)

[摘要] **目的/意义** 基于数字健康共同体参考架构, 构建智慧健康城市技术框架, 支撑智慧健康城市研究和发展。**方法/过程** 遵从该架构, 结合卫生健康行业数字化需求和实践, 推导代表智慧健康城市数字基础设施和智能中枢的“1 + 1 + 3 + N”技术框架, 即医疗健康一张网、统一的数字健康底座、3 大业务平台和 N 个智能化应用, 并进行应用分析。**结果/结论** 应用该框架破解信息互通难题, 显著释放医疗健康数据价值, 支撑行业用户、产业伙伴面向不同业务领域打造场景化解决方案, 为各地智慧健康城市顶层规划、建设和发展提供参考。

[关键词] 智慧健康城市; 技术框架; 数字基础设施; 数字健康底座

[中图分类号] R - 058 **[文献标识码]** A **[DOI]** 10.3969/j.issn.1673-6036.2024.07.003

The Technical Framework and Applications of Smart and Healthy City

MENG Xiaohu¹, QIU Wuyi², YUN Tao¹, YU Haitian¹, WANG Xi², YAN Xiaoling², MAO Ayan²

¹ Huawei Technologies Co. Ltd., Beijing 100073, China; ² Institute of Medical Information, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100020, China

[Abstract] **Purpose/Significance** Based on the digital health community reference architecture, the technical framework for smart and healthy city is constructed to support the research and development of smart and healthy city. **Method/Process** According to the architecture, combined with the needs and practices of the digitalization of the health industry, the “1 + 1 + 3 + N” technical framework representing the digital infrastructure and smart hub of the smart and healthy city is derived, namely, the one network, unified digital health foundation, three service platforms and N intelligent applications, application analysis is conducted. **Result/Conclusion** The framework can be used to crack the information interoperability problem, significantly release the value of medical and health data, and support industry users and industry partners to hammer out scenario - based solutions for different business areas, and provide references for the top - level planning, construction and development of smart and healthy cities around the country.

[Keywords] smart and healthy city; technical framework; digital infrastructure; digital health foundation

1 引言

随着数字技术全面融入社会各领域, 智慧健康城市成为实施数字中国、健康中国战略^[1]和实现卫生健康相关领域可持续发展目标的必然选择, 将为我国应对人口老龄化趋势、改善居民生活方式、应

[修回日期] 2024 - 04 - 16

[作者简介] 孟小虎, 高级解决方案架构师; 通信作者: 邱五七, 博士, 副研究员。

[基金项目] 华为技术有限公司委托课题。

对疾病谱变化、迎战突发公共卫生事件提供新解决方案。本文提出智慧健康城市规划和建设技术框架并对应用案例进行分析, 以期为各地智慧健康城市建设和发展提供参考。

2 数字技术是智慧健康城市发展的重要基础

从城市视角而非仅从政务视角进行数字化升级已成为当前智慧城市建设共识。以公众健康为中心的智慧医疗不应局限于卫生健康管理机构、疾控、医院、基层医疗等单一领域, 而应形成共建、共治、共享格局, 促进全民健康信息联通应用, 推进智慧健康从区域向城市发展, 实现更高水平的全民健康。数字健康处在健康中国和数字中国两大战略的交汇点上, 其基础是数字基础设施和数据资源体系。数字健康的重要意义, 见图 1。

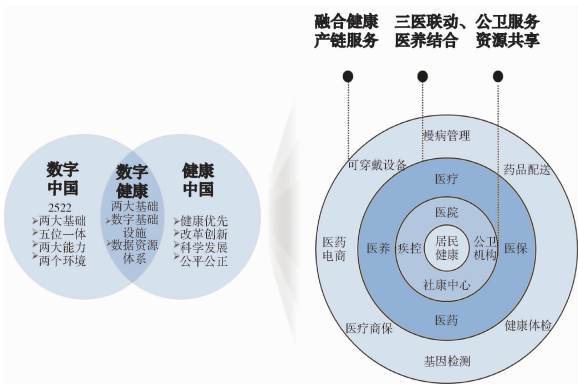


图 1 数字健康的重要意义

《“十四五”全民健康信息化规划》^[2] 提出, 进一步畅通全民健康信息“大动脉”, 以数据资源为关键要素, 以新一代信息技术为有力支撑, 以数字化、网络化、智能化促进行业转型升级, 重塑管理服务模式, 实现政府决策科学化、社会治理精准化、公共服务高效化, 为防范化解突发公共卫生风险、建设健康中国、推动卫生健康事业高质量发展提供技术支撑。全民健康信息“大动脉”的畅通须打通 3 层资源。第 1 层是公共卫生机构、社会健康服务中心、疾病预防控制机构、医院数据; 第 2 层是三医(医保、医药、医疗)联动, 同时做好医养融合管理; 第 3 层是融合健康产业链服务, 完善个人数据(包括穿戴设备、慢病管理、健康体检、基因检测等)融合。打通 3 层资源, 推动以公众健康为中心的数据全生命周期管理, 构建数据驱动的卫生健康业务系统和服务体系, 使数字便民、惠民的健康医疗服务落到实处。

3 基于数字健康共同体参考架构的智慧健康城市构建

3.1 数字健康共同体参考架构

智慧健康城市建设是一项系统工程, 需要政府、医院、公卫、社区、企业、行业组织等多方合作, 共同完善数字健康体系。项目团队前期研究中提出构建“数字健康共同体”, 以推动医疗健康领域管理、服务模式全面转型, 见图 2。

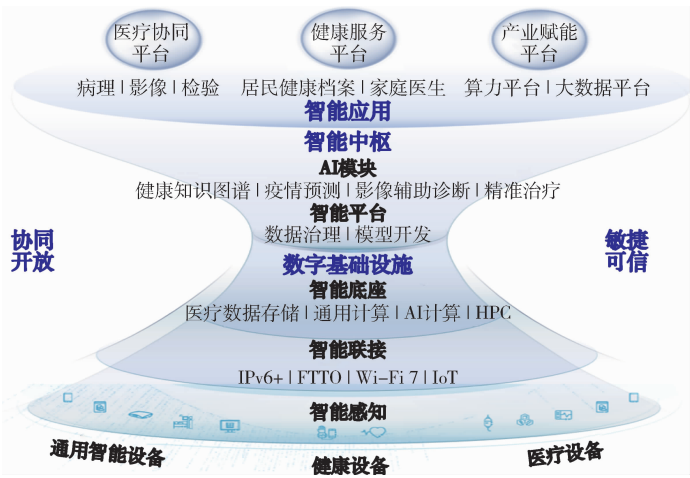


图 2 数字健康共同体参考架构

数字健康共同体参考架构包括数字基础设施、智能中枢和智能应用等层次，其中数字基础设施部分又可分为智能感知、智能联接、智能底座3层，智能中枢包括智能平台和人工智能（artificial intelligence, AI）模块，构成立体感知、多域协同、精确判断和持续进化的智能系统。采用“云、网、边、端”协同一体的技术架构，秉持安全可控、医防协同、开放融合、共建共享原则，为医疗单位提供科技创新服务。数字健康共同体参考架构是基于相同价值理念、目标形成的紧密联系的集合体，体现了

智慧健康城市共建共享的价值理念。

基于数字健康共同体参考架构，本研究提出面向智慧健康城市的“1+1+3+N”技术框架，旨在通过打造多级协同的多维感知和联接网络，构建统一数字健康底座，依托健康服务平台、医疗协同平台、产业赋能平台，服务各类医疗健康行业应用，分别面向公众、医护人员、管理者、医疗健康产业提供服务，实现便民、惠医、善政、兴业的目標，见图3。

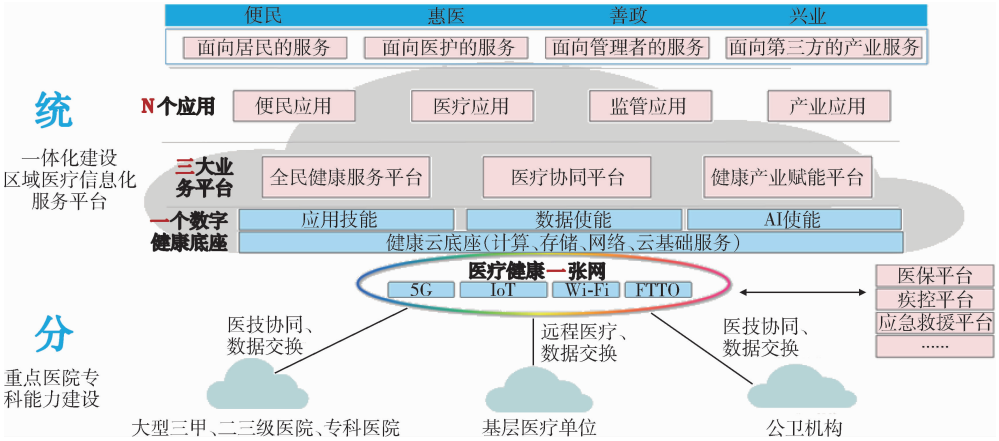


图3 智慧健康城市“1+1+3+N”技术框架

3.2 医疗健康一张网

基于统一架构打造多级协同、多维感知和全联接的医疗健康一张网，其作用在于连接和传递智能感知得到的数据，是智慧健康城市数字基础设施的重要部分。多维感知能力在医疗健康领域的作用日益重要，其通过医疗设备、健康设备和通用智能设备获得各类医疗影像数据和检验数据、人体健康数据，进而建立个人数字健康档案，为治疗和保健提供全量数据基础。利用高灵敏生物传感器技术与智能硬件还可以实时跟踪身体各项指标，建立个人健康知识图谱，从而实现自主驱动个人健康，减少对医生的依赖。智能感知是数字健康共同体参考架构的“五官和手脚”，是物理世界与数字世界的纽带。基于品类丰富、泛在部署的终端设备，以感知为基础，以智能为核心，对传统感知能力进行智能化升级，构建无处不在的感知系统；基于智联操作系

统，为部分感知终端赋予交互能力，将处理结果反馈到物理世界中。使用声、光、电、磁等多种感知手段，通过各类设备对气体、水质、人体等不同物质进行感知，以获取物理世界全面信息，并通过雷视拟合、光视联动等多维感知技术进行融合创新，提高全场景感知精准性。

基于多级协同的医疗健康网络，实现个人、家庭、各级医院、公卫机构和各类业务平台的智能联接。健康数据可进行实时流畅传输，实现全场景、全触点、无缝覆盖的泛在高速联接，支持远程会诊、影像、超声、病理、查房、手术指导和教育培训等医疗一体化服务，并实现患者诊前、诊中、诊后全流程健康服务等。未来随着智能化水平不断提升，通信网络将可联接个人及与个人相关的各类感知、显示和计算资源；联接家庭用户及与家庭相关的家居、车和内容资源；联接组织内成员及与组织相关的机器、边缘计算和云资源，以满足丰富多样

的业务需求。健康行业智能化对网络联接层提出更高要求,各种场景对网络都有不同要求。因此行业智能化需要万物智联、弹性超宽、智能无损、自智自驭的智能联接。

3.3 一个数字健康底座

数字健康底座通过提供计算、存储、网络等资源,为统一的数据资源平台构建基础,并通过数据使能、AI 使能、应用使能提供相应的各类工具和能力,为支撑各类数字化业务应用奠定基础。数字资源平台能够集成各类健康数据,包括生命体征、健康医疗服务、生物医药研发、医疗保障等。需要构建城市级健康数据体系和健康数据标准,打破各部门、各医疗机构之间数据壁垒,构建医疗健康数字体系,并通过完善健康大数据共享安全机制,保障医疗健康数据资产使用安全。建立健全大数据辅助科学决策和社会治理机制,推进政府管理和社会治理模式创新,实现政府决策科学化、社会治理精准化、公共服务高效化。以推行电子政务、建设智慧城市等为抓手,以数据集中和共享为途径,推动技术融合、业务融合、数据融合,实现跨层级、跨区域、跨系统、跨部门、跨业务的协同管理和服务。

数字健康底座承载了全民健康服务、医疗协同、产业赋能 3 大业务平台。基于数字健康底座的数据使能、AI 使能和应用使能,业务平台可以利用 AI 医疗大模型构建真实世界医学知识图谱,一方面面向医疗机构,特别是基层卫生医疗机构,提高其临床决策效率和准确率;另一方面面向公众,依托“互联网+健康服务”模式提供权威医学知识,开展线上预约、线上诊疗,提高其健康素养和幸福指数。同时通过提供完善的健康信息化服务,推动实现健康业务全流程管理数字化,从而构建完整的健康产业生态系统,赋能健康产业发展。

3.4 三大业务平台

3.4.1 全民健康服务平台 各级卫生健康主管部门主导全民健康服务平台顶层设计,统筹谋划建设目标和总体架构,明确组织领导、投入保障、人才和技术服务等相关政策,分阶段有序推进实施。通

过智慧健康基础设施建设、健康信息共享建设、健康信息务实应用建设,解决服务碎片化问题,提高卫生与健康服务和管理效率、效益;通过促进健康医疗大数据应用,改进健康医疗服务模式。例如,苏州市持续推动医疗健康大数据中心及相关应用领域和业务平台建设,其医疗健康大数据中心目前已初步实现全市各级公立医疗卫生机构互联互通。系统汇聚就诊记录、检验检查报告、体检报告、疫苗接种、妇幼保健等 300 多个数据集,在全市城区设有 6 000 个医生工作站,医生看诊过程中可跨院浏览患者影像报告、健康档案,问诊效率提升。同时市民可通过“健康苏州掌上行”App 在全市近百家医疗机构预约挂号,还可以实时查看个人就诊记录和健康档案,便于实现个人健康管理。

3.4.2 医疗协同平台 当前,我国积极推进公立医院改革与高质量发展,采取以下措施推动医疗行业发展已成为共识:加快智慧医疗、智慧服务和智慧管理三位一体的智慧医院建设;通过数字技术支撑实现高等级医疗机构“一院多区”的一体化管理和高品质、同质化医疗服务;用数字技术加速医疗数字化进程,促进诊疗智能化、管理精细化和服务高效化,助力医疗行业提质增效;加速数字技术和医疗健康全场景融合,助力优质医疗资源扩容下沉和医疗资源均衡布局;提升公共卫生管理,推动医防融合和平急结合,发挥科技信息化引领作用,从以“治病”为中心向以“健康”为中心转变。

以统筹集约方式实现影像、病理、检验等中心的区域化共建共享可大幅提升区域医疗资源协同能力。一方面可以集中建设医技中心,实现资源、人才聚集,保证高水平医疗建设,实现优质医疗资源向更大范围覆盖;另一方面通过数据共享,可减少不同医院间重复检查,减轻患者负担,提升数据利用价值。例如,深圳罗湖医院集团构建医院、社区、家庭整体协同的一体化区域医疗健康协同平台,实现从院内数字化升级向院外健康管理扩展的全面进阶。

3.4.3 健康产业赋能平台 健康产业集群是一定区域内覆盖健康产业链全环节或部分环节,生产健康产品或提供健康服务的企业,以及与健康产业相

关的其他组织、机构的集聚。建立“产、学、研、销、服务”一体化基地，承担从产品生产、开发、人才培养到销售、批发的全流程业务，基地设有实验室、研究机构，还可提供预约挂号、分级转诊、权威检测等健康医疗服务，有助于打通“医”和“药”两个环节。

健康产业赋能平台旨在通过提供完善的健康信息化服务，推动实现健康技术体系自主化、健康业务全流程管理数字化，从而完善健康产业生态系统，赋能健康产业发展。例如，在政府主导和政策支持下，成都数字健康产业园构建了数字智能基础设施，搭建数字健康产业生态平台，实现资本协同，汇聚创新资源及齐备的产业配套，着力打造健康产业全链条。

通过医疗健康行业智能网络、统一数字健康底座、3 大业务平台建设，可为智慧健康城市打造开放的数字基础设施和智能中枢。基于统一架构的多级感知网破解信息互通难题，以统一数字底座承载的 3 大平台显著释放医疗健康数据价值；同时可为行业用户、产业伙伴提供面向不同业务领域的场景化解决方案。

3.5 N 个健康智能化应用

3.5.1 构建健康知识图谱，使健康管理更实时高效 世界卫生组织（World Health Organization, WHO）研究显示，在影响人体健康的各类因素中，生活方式和行为因素的影响占 60%^[3]，培养良好生活习惯是保持健康的重要前提。通过健康状态的实时监测和建模计算，可促进良好生活习惯的培养，结合疾病预防，健康管理重点由“治已病”转向“治未病”。

互联网、物联网、AI 等技术的发展，以及可穿戴设备、家用监测设备等产品的普及，为实现个人健康建模提供可能。利用大数据、物联网等技术，实时分析用户身体指标数据、医学临床反应、健康诊疗结果等，形成健康知识图谱。通过对比分析，为用户提供个性化健康解决方案；可通过对营养、运动、睡眠等维度的干预，帮助用户形成健康生活习惯，减少患病概率。已有公司尝试针对饮食和疾

病之间的关系构建健康知识图谱，帮助用户改善睡眠质量，进行体重管理，全年接受健康管理的参与者每日睡眠时间平均增加 35 分钟，体重减轻约 1.5 千克^[4]，进而降低不良生活方式导致的相关疾病发生概率。此外，还可以将健康知识图谱与医疗知识图谱相结合，绘制患病风险情况及未来发展趋势相关图谱，为用户提供更准确的症状、药物、病情风险因素、医生诊断等信息，帮助医生作出更迅速、更有针对性的诊断。

3.5.2 传染病蔓延趋势预测，使疾病预报更准确 利用自然语言处理等技术，持续收集并分析全球范围内关于重大公共卫生事件的新闻、报告和搜索引擎指数，从中提取有效数据并进行科学建模和智能化判断分析，有效提升公共卫生事件响应速度和应对决策能力。信息与通信技术（information and communications technology, ICT）可用于流行病等监控和预测。已有公司使用自然语言处理和机器学习技术，根据公共卫生组织、数字媒体、全球航空公司票务数据、牲畜健康报告和人口统计声明等公共数据来源，实现 24 小时不间断地分析疾病传播与蔓延情况^[5]。

3.5.3 应用远程智慧超声，实现云上诊断 超声医学在肿瘤、心血管疾病、妇产科疾病等诊断中发挥着重要作用，是帮助基层医疗机构构建基本医疗诊断能力、实现国家医疗设备下沉的重要手段，小型化、智能化、低成本是医用超声的重要发展方向。随着数字技术不断发展，基于大带宽、低时延网络和云端大算力的支持，利用全光、5G 等高带宽、低延迟网络传输特性，将超声图像甚至原始信号数据传输至云端，由云端大算力进行分析处理，超声诊断能力将得到进一步提升。借助“大带宽网络 + 人工智能”数字化技术，远程智慧超声可提供超越现有超声诊断的能力和体验，提高诊断水平和质量、降低诊断服务门槛。通过云端，可为各级医院/医疗机构超声医生、临床医生提供服务，降低漏诊和误诊率，提高超声诊断整体服务能力，同时缓解高龄资深超声医生紧缺问题。

3.5.4 药效精确评估，从“千人一药”到“千人千药” 制定有效药物治疗方案通常需要综合考虑

病患情况、药物匹配、用药时机、用药剂量、用药疗程和联合用药效果等因素，且需根据诊疗情况进行实时完善，这给医生诊断带来挑战。在传统模式下，医生很难全面了解患者身体状况，主要依赖专业知识和个人经验判断，快速给出通用型医疗方案。AI 通过大量病例诊疗方案的学习，可实时分析患者个体综合差异，帮助医生给出个性化治疗方案。例如，新加坡研究机构^[6]创建了 AI 技术驱动的药效精准评估平台，该平台可以快速识别患者历史临床数据，针对患者自身情况给出用药剂量建议和联合用药方案，并在此基础上对肿瘤大小或肿瘤生物标志物水平相关数据进行修正，此类数据可用于患者疗程和后续治疗方案制定等参考。

4 结语

目前数字健康共同体参考架构已在部分城市展开实践，智慧健康城市形态逐渐清晰。第 1 种是市级健康城市，如苏州以城市健康云为核心，实现 5 级医疗机构协同，构建市级智慧健康服务体系。第 2 种是区县级健康城市，构建医院、社区、家庭整体协同的区域医疗健康服务体系，如深圳罗湖区卫生服务体系实现了从院内数字化升级到院外健康管理服务的全面进阶。第 3 种是健康产业园，由政府及卫生健康主管机构、城市建设投资公司统建，运用自主可控的云平台和大数据底座能力，打造数字健康产业生态平台，如成都武侯区的双华数字健康产业园基于区位优势，正着力打造健康产业全链条。通过不同应用形态，数字健康共同体参考架构可发挥巨大作用，通过构建开放、安全、合作的

“健康共同体”，打造健康中国数字底座及内核，实现健康城市智慧化升级。

作者贡献：孟小虎负责论文构思、论文撰写与修订；邱五七负责提供指导、论文审核；恽韬负责论文修订；于海天负责部分章节撰写；王曦、严晓玲、毛阿燕负责论文审核与提供修订建议。

利益声明：所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- 1 “健康中国 2030”规划纲要 [EB/OL]. [2023 - 07 - 08]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2016/content_5133024.htm.
- 2 “十四五”全民健康信息化规划 [EB/OL]. [2023 - 07 - 08]. <http://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/s3585u/202211/49eb570ca79a42f688f9efac42e3c0f1.shtml>.
- 3 FARHUD D D. Impact of lifestyle on health [EB/OL]. [2022 - 07 - 04]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4703222/#B1>.
- 4 MIAO Health. Chronic disease management’s digital future [EB/OL]. [2022 - 07 - 04]. <https://www.nature.com/articles/d42473-021-00191-7>.
- 5 STIEG C. How this Canadian start - up spotted coronavirus before everyone else knew about it [EB/OL]. [2022 - 07 - 04]. <https://www.cnbc.com/2020/03/03/bluedot-used-artificial-intelligence-to-predict-coronavirus-spread.html>.
- 6 TAN B K J, TEO C B, TADEO X, et al. Personalised, rational, efficacy - driven cancer drug dosing via an artificial intelligence SystEm (PRECISE): a protocol for the PRECISE CURATE. AI pilot clinical trial [EB/OL]. [2022 - 07 - 04]. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fdgth.2021.635524/full>.

敬告作者

《医学信息学杂志》网站现已开通，投稿作者请登录期刊网站：<http://www.yxxxx.ac.cn>，在线注册并投稿。

《医学信息学杂志》编辑部