

◆ 综述

Exploration of imaging medical association 3.0: Hierarchical diagnosis, treatment and construction of disciplines supported by 5G technology

HUANG Cong¹, YANG Lu¹, DENG Yongkun², WU Chundi³, GAO Runsong³, LI Quan^{2*}

(1. Department of Radiology, 2. Department of Medical Engineering, 3. Department of Information, No. 926 Hospital, Joint Logistics Support Force of PLA, Kaiyuan 661699, China)

[Abstract] Imaging medical consortium 3.0 innovatively constructed a technology architecture of hierarchical diagnosis and treatment system based on 5G communication, artificial intelligence (AI), blockchain and cloud computing technologies. This model included 3 core technical modules, *i. e.* an inter-institutional AI-assisted diagnosis system adopting a federated learning framework, a medical imaging data sharing platform based on blockchain technology and an elastic computing power scheduling system relying on 5G network slicing technology. Empirical data showed that this model had significantly improved the accessibility of imaging examinations in primary medical institutions, reduced the missed report rate of critical values and shortened the response time for emergency imaging diagnosis in multiple pilot regions. For implementation challenges including stability of 5G network transmission, multi-stakeholder benefit distribution mechanisms and ethical risks in medical data, innovative solutions containing quantum key encrypted transmission, the Shapley value game allocation model and dual-audit supervision framework were proposed. In the future, in-depth integration of 6G terahertz communication, digital twin modeling and federated learning algorithms will drive imaging medical consortium toward the stage of global intelligent collaboration, providing innovative technical path for building a fair and inclusive global medical resource allocation system.

[Keywords] blockchain; federated learning; imaging medical consortium 3.0; 5G communication; hierarchical medical system; digital twin

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2026.01.032

探索影像医联体 3.0:5G 技术支撑下的 分级诊疗与学科共建

黄 聪¹, 杨 鲁¹, 邓永坤², 巫春蒂³, 高润松³, 李 泉^{2*}

(1. 中国人民解放军联勤保障部队第九二六医院放射科, 2. 医学工程科, 3. 信息科, 云南 开远 661699)

[摘要] 影像医联体 3.0 创新性地基于 5G 通信、人工智能(AI)、区块链与云计算技术而构建了分级诊疗体系技术架构, 其中包括 3 大核心技术模块, 即采用联邦学习框架的跨机构 AI 辅助诊断系统, 基于区块链技术的医学影像数据共享平台, 以及依托 5G 网络切片技术的弹性算力调度体系。实证数据显示, 影像医联体 3.0 在多个试点区域均显著提升了基层医疗机构影像检查的可及性, 使危急值漏报率下降、急诊影像学诊断响应时间缩短。为克服其所面临的 5G 网络传输稳定性、多主体利益分配机制及医疗数据伦理风险三重挑战, 影像医联体 3.0 提出量子密钥加密传输、Shapley 值博弈分配模型和双重审计监管框架等方案。未来 6G 太赫兹通信、数字孪生建模与联邦学习算法的深度整合将驱动影像医联体向全域智能协同阶段发展, 为构建公平普惠的全球医疗资源配置体系提供新的技术路径。

[第一作者] 黄聪(1988—), 男, 四川达州人, 在读硕士, 副主任医师。研究方向: 中枢神经系统、乳腺及心血管疾病影像学。

E-mail: heradiology@163.com

[通信作者] 李泉, 中国人民解放军联勤保障部队第九二六医院医学工程科, 661699。E-mail: intermilan009@qq.com

[收稿日期] 2025-03-24 [修回日期] 2025-11-13

【关键词】 区块链；联邦学习；影像医联体 3.0；5G 通信；分级诊疗；数字孪生

【中图分类号】 R445 【文献标识码】 A 【文章编号】 1003-3289(2026)01-0147-05

医学影像资源配置不均与服务质量差异已成为全球医疗改革重点^[1]。传统影像医联体虽已初步实现了资源整合,但因网络传输效率低及实时交互能力不足^[1]而面临数据互通和智能化融合问题。5G 技术以其高带宽、低时延和海量连接特性^[2-3]支撑着影像医联体向 3.0 智能化演进,在保障急诊和肿瘤等场景的服务质量、支持专家实时指导基层操作^[1-2,4]的同时构建分布式分析平台,以促进多模态数据融合^[5]、提升分级诊疗效能^[6]。当前 5G 建设成本与基层支付能力间的经济矛盾、数据共享与隐私保护、传统科室管理与多学科协同之间存在诸多矛盾^[7-8]。本文就 5G 驱动下影像医联体 3.0 的实施路径及为高质量影像服务体系提供理论与范式研究进展展开综述。

1 核心技术架构

影像医联体 3.0 的“5G+ABC”技术架构通过多模态技术实现医学影像智能化:在基础技术层通过联邦学习构建云端诊断系统,所获模型筛查肺结节的敏感性达 92.3%^[3];区块链则采用多中心联盟链与零知识证明技术支撑多机构医学影像数据安全流通,实现数据全生命周期管理^[6,7];云计算层通过 5G 网络切片技术构建资源池,提升三维影像重建效率^[4,9];终端设备层集成 5G 移动 CT,以提升县域 CT 设备覆盖率^[7,9]。在智能终端装备方面,5G 增强现实超声系统实现了亚毫米级同步,训练后的人工智能(artificial intelligence, AI)程序有助于提高超声诊断乳腺癌准确性^[10]。通过上述“云-边-端”三级协同架构整合 AI、区块链、云计算与 5G 通信技术而构建智能医学影像服务体系。

2 分级诊疗实践创新

影像医联体 3.0 基于 5G 技术构建分级诊疗双向

协同模型(图 1),通过“纵向能力传导-横向资源互通”机制推动医疗服务升级,使三级医院可通过 5G+4K 实时交互系统远程指导基层治疗肝癌、提升治疗成功率。智能病例库年处理 12.6 万例会诊病例并进行精准匹配^[4];部署在县域医院的 5G 边缘计算 AI 平台使急性脑卒中门诊时间缩短至 25 min,并能通过 5G+虚拟现实(virtual reality, VR)临床培训系统培养基层技师,形成可持续培养体系^[8,10];而社区医院的 5G 移动 CT 智能分诊系统结合电子健康档案分析使危急值漏报率明显下降,利用远程指导下的智能超声系统则使甲状腺结节穿刺病理诊断符合率达 94.7%^[7,11]。

横向资源互通机制重点突破区域医疗壁垒:长江三角洲城市群肺结节诊疗联盟利用 AI 质控系统将诊断 Kappa 值提升至 0.85,并通过云端动态调度平台使 MR 闲置时段利用率达 83%^[9-10]。区块链预约平台使 PET/CT 日均检查量提升 76.8%而成本降低 37%,其 5G 物联网管理系统可在对比剂短缺事件中保障资源供给^[6,11]。利用 5G 技术已实现了医疗资源配置与服务能级的系统性跃升。

3 学科共建突破路径

影像医联体 3.0 以影像科为中心,构建“医工研”协同体系(图 2),聚焦能力传导、交叉融合与科研转化。

3.1 能力传导体系 通过构建三级联动技术网络和基于 5G+VR 的沉浸式教学平台,可显著提升基层医师诊断肺结节能力,利用智能训练系统能通过操作轨迹建模而生成个性化能力提升方案^[12-13]。基于标准化质控系统,结合实时视频督导与 AI 协议优化引擎,使基层医疗机构腰椎 MR 检查合格率达 95%^[7-8]。

3.2 多模态交叉创新平台 学科交叉创新形成了多项突破性技术方案,如乳腺癌多组学诊断模型整合动

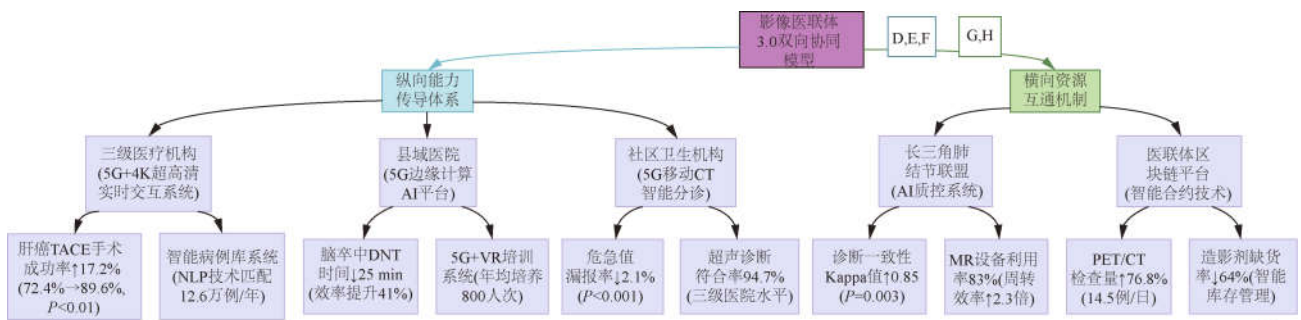


图 1 影像医联体双向协同模型下的纵向能力传导与横向资源互通机制及成效展示

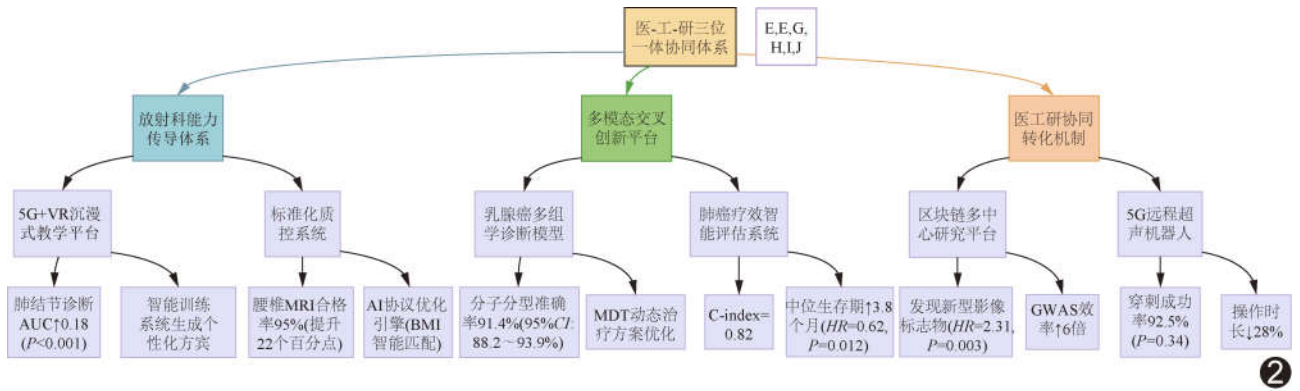


图2 “医工研”协同体系下的影像科能力传导、多模态交叉创新及协同转化机制与成效展示

态增强 MRI、数字病理切片与循环肿瘤 DNA 数据,显著提升了分子分型准确率,并通过深度融入多学科诊疗系统而动态优化治疗方案^[14-15];智能评估肺癌疗效系统通过 AI 整合 CT 影像组学特征与游离 DNA 甲基化数据而使识别无效化疗方案时间提前,延长了患者中位生存期^[16]。

3.3 “医工研”协同转化机制 科研转化体系构建了全链条创新生态:基于区块链的多中心研究平台已深度分析 10 万例乳腺的 MRI,并发现了新型影像生物学标志物,其分布式计算架构使全基因组关联研究效率明显提升^[6,17]。医工联合研发的 5G 远程超声穿刺机器人集成了触觉反馈系统与自适应力控算法,动物实验显示首次穿刺成功率达 93%,可为远程介入诊疗提供技术验证^[18]。

4 实施挑战与对策

4.1 技术层面 5G 网络覆盖范围及其稳定性是其广泛应用的关键。高频段通信可提高数据传输速率,但将缩短信号传播距离,需密集部署小基站,但可致覆盖不均而影响远程医疗质量。用户设备在 5G 与 4G 间频繁切换可能引起延迟和丢包,影响影像传输的稳定性;利用多路径传输控制协议^[19]等可提高传输效率。此外,5G 部署尚面临干扰管理和资源分配等难题,需优化其网络架构。处理大规模影像数据的技术瓶颈同样制约着 5G 影像医联体的发展。医疗影像数据庞大,对传输带宽和存储能力的要求高;5G 虽能提供高速率和低延迟,但处理和传输大规模数据仍属挑战。需要强大的计算和分析能力以处理数据,并以区块链和加密技术确保数据和隐私安全;而影像数据的异构性和标准化问题也对资源共享形成制约。

4.2 管理层面 医联体协调机制是实现分级诊疗和学科共建的关键;应在不同层级和专业间高效共享信息

与资源,以使诊疗流程顺畅。5G 技术为信息互联提供基础,但仍需解决管理挑战,包括明确职责、统一流程和利益共享等。加强组织架构和数字化平台建设,实时监控并协调运行状态,可保证医联体功能稳定^[20]。

4.3 安全伦理 数据共享是影像医联体 3.0 的基础,但面临隐私保护等问题,采集和使用医疗数据需符合法律要求。5G 技术提升了数据传输速度,但未能解决隐私安全^[21]。引入区块链技术可增强数据安全和透明度,结合 5G 实现安全传输。遵循相关法规、建立完善的数据管理制度并强化合规培训,将促进共享与隐私保护平衡发展^[22-23]。

5 典型案例分析

5.1 基层医疗服务拓展 以移动 CT 和远程 AI 辅助增强在中国西部筛查肺癌检出 524 例高危肺结节(1 年后 107 例确诊为肺癌),并对 62.98% 高危结节及时完成了后续诊疗^[24]。

5.2 急诊服务优化 生成式 AI 革命为急危重症诊疗带来了新的机遇。基于 Transformer 架构的大语言模型可处理结构化和非结构化数据,其多模态融合能力在复杂场景中展现出巨大潜力^[25]。医学 AI 通过智能诊断模型模拟医师思维,能够快速、准确评估急危重症患者病情。相比传统模型,生成式架构以自注意力机制实现跨模态特征交互,更适应急诊环境特点。

5.3 远程治疗 5G 远程介入用于血管肿瘤学领域已完成原理验证。集成了触觉反馈机器人与实时图像导航的 5G 系统能在 50 ms 内完成端到端反馈传输,已用于多种血管介入手术,且远程操作技术成功率与现场手术无显著差异,预计可缩短住院时间并提升基层复杂手术能力^[26]。甘肃省人民医院与兰州新区分院之成功实施了 20 例远程机器人胆囊切除术,标志着全国首次采用物联网卡技术实现了设备连接和数据传

输。浙江大学医学院附属邵逸夫医院与新疆兵团阿拉尔医院通过 5G 技术共同在 40 min 内完成全球首例超远程 5G 机器人肝脏切除手术。

6 展望

5G 技术在医疗领域的应用推动着影像医联体 3.0 的技术革新与实践升级,并将从以下方面持续推进。

6.1 深度融合 AI 与大数据 AI 与大数据的结合革新了医疗影像分析,深度学习多模态融合技术提高了定位及识别肿瘤准确率。AI 与物联网、区块链等结合可提升临床智能化水平,推动远程诊疗和急救^[21]。深度学习用于检测肿瘤和分析影像显著提高了诊断精度^[27]。

6.2 构建智慧医疗生态系统 5G 机器人辅助远程超声在农村地区老龄人群中的应用证实了高质量影像传输的可行性,改善了基层医疗服务质量^[28]。利用远程机器人可多地无缝连接手术,术中延迟低至 100 ms,安全且高效^[29]。混合现实技术结合 5G 实现了实时显示三维影像,为手术导航与培训提供了创新方案^[30]。数字化转型技术推动医疗教育、术前规划及康复治疗变革,构建以患者为中心的智慧医疗生态,促进资源均衡分配和实现精准医疗^[31]。

6.3 推进国际合作与标准化 5G 和智能医疗技术的快速发展催生了国际合作需求,通过统一数据标准和接口规范推动医疗影像数据共享,促进实现全球医疗资源整合。基于移动互联网的混合现实交互式远程协作系统实现了跨国实时手术协作,推动了技术推广和应用^[32]。远程机器人手术的国际合作促进了先进医疗技术在偏远地区的普及,有助于缩小医疗服务差距^[33]。未来需通过国际协作解决 5G 医疗的安全性、隐私保护和基础设施建设等问题。实现标准化将提升医疗设备兼容性和服务一致性,为智慧医疗生态系统的可持续发展奠定基础。

7 小结

5G 技术推动影像医联体 3.0 提升医疗影像传输效率、优化分级诊疗体系并缓解医疗资源不均,通过支持远程会诊和多中心协作而提升诊疗效率、增强基层医疗能力并减轻大医院压力;学科共建促进多学科融合,推动临床研究和培养人才。当前影像医联体 3.0 仍面临技术标准及数据安全等挑战。未来应重视技术创新与管理、强化政策支持,以构建智慧医疗新生态。

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:黄聪查阅文献、撰写和修改文章;杨鲁、

邓永坤、巫春蒂和高润松查阅文献;李泉指导、修改和审阅文章。

[参考文献]

[1] ZHANG T, XU Y, REN J, et al. Inequality in the distribution of health resources and health services in China: Hospitals versus primary care institutions [J]. *Int J Equity Health*, 2017, 16 (1):42.

[2] HUANG G, CHEN X, LIAO C. AI-driven wearable bioelectronics in digital healthcare[J]. *Biosensors (Basel)*, 2025, 15(7):410.

[3] MISTRY I, TANWAR S, TYAGI S, et al. Blockchain for 5G-enabled IoT for industrial automation: A systematic review, solutions, and challenges[J]. *Mech Syst Signal Process*, 2020, 135:106382.

[4] 李英忠. 基于 5G 医疗定制网的远程手术的实践与思考[J]. *工程与应用*, 2021, 37(11):104-114.

[5] 张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 等. 5G MEC 融合架构及部署策略[J]. *电信科学*, 2018, 34(4):109-117.

[6] WANG Y, CHEN H. The impact of the implementation of hierarchical medical system on population health: Evidence from China[J]. *Front Public Health*, 2024, 12:1402832.

[7] 刘炜, 彭宇飞, 田钊, 等. 基于区块链的医疗信息隐私保护研究综述[J]. *郑州大学学报(理学版)*, 2021, 53(2):1-18.

[8] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. *计算机集成制造系统*, 2019, 25(1):1-18.

[9] 杨媛. 分级诊疗背景下湖北省县医院服务能力研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2020:1-64.

[10] OCONNELL A M, BARTOLOTTA T V, ORLANDO A, et al. Diagnostic performance of an artificial intelligence system in breast ultrasound[J]. *J Ultrasound Med*, 2022, 41(1):97-105.

[11] HASSANPOUR S, LANGLOTZ C P. Information extraction from multi-institutional radiology reports[J]. *Artif Intell Med*, 2016, 66:29-39.

[12] CHEN Y, SUN Z, LIN W, et al. Artificial intelligence in the training of radiology residents: A multicenter randomized controlled trial[J]. *J Cancer Educ*, 2025, 40(2):234-240.

[13] STOGIANNOS N, JENNINGS M, GEORGE C S, et al. The American Society of Radiologic Technologists (ASRT) AI educator survey: A cross-sectional study to explore knowledge, experience, and use of AI within education[J]. *J Med Imaging Radiat Sci*, 2024, 55(4):101449.

[14] PHAM T M Q, PHAN T H, JASMINE T X, et al. Multimodal analysis of genome-wide methylation, copy number aberrations, and end motif signatures enhances detection of early-stage breast cancer[J]. *Front Oncol*. 2023, 13:1127086.

[15] YU Z, MA W, ZHANG Y, et al. Advances in DCE-MRI radiomics for non-invasive prediction of breast cancer molecular subtypes: Research progress and clinical translation[J]. *Breast*

- Cancer: Targets and Therapy, 2025,17:1111-1118.
- [16] 李倩,张宇威,叶兆祥.影像人工智能在肺癌疗效评估和预测中的应用进展[J].肿瘤影像学,2023,32(1):1-11.
- [17] PAN D, ZHANG C Y, WANG Y F, et al. Machine learning-based integration of DCE-MRI radiomics for STAT3 expression prediction and survival stratification in breast cancer[J]. Front Immunol, 2025,16:1619186.
- [18] YANG L, DUAN S, ZHANG Y, et al. Feasibility and safety of percutaneous puncture guided by a 5G-based telerobotic ultrasound system: An experimental study [J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2024,47(6):812-819.
- [19] NAVARRO-ORTIZ J, RAMOS-MUNOZ J J, DELGADO-FERRO F, et al. Combining 5G new radio, Wi-Fi, and LiFi for industry 4.0: Performance evaluation [J]. Sensors (Basel), 2024,24(18):6022.
- [20] LIN X, DUAN G, HUANG J, et al. Construction of a smart hospital innovation platform using the internet + technology [J]. Altern Ther Health Med, 2024,30(12):495-505.
- [21] MOGLIA A, GEORGIU K, MARINOV B, et al. 5G in healthcare: From COVID-19 to future challenges [J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2022,26(8):4187-4196.
- [22] HAMEED K, BAJWA I S, SARWAR N, et al. Integration of 5G and block-chain technologies in smart telemedicine using IoT [J]. J Healthc Eng, 2021:8814364.
- [23] RAHMAN A, WADUD M A H, ISLAM M J, et al. Internet of medical things and blockchain-enabled patient-centric agent through SDN for remote patient monitoring in 5G network [J]. Sci Rep, 2024,14(1):5297.
- [24] TAO W, YU X, SHAO J, et al. Telemedicine-enhanced lung cancer screening using mobile computed tomography unit with remote artificial intelligence assistance in underserved communities: Initial results of a population cohort study in western China [J]. Telemed J E Health, 2024, 30 (6): e1695-e1704.
- [25] 黎圣梦婷,杨杰,陈棚棚,等.医学人工智能在急危重症应用中的难点及对策[J].中华急诊医学杂志,2025,34(5):609-616.
- [26] ZHAO Y, LIU H, WANG Z, et al. Remote vascular interventional surgery robotics: A literature review [J]. Quant Imaging Med Surg, 2022,12(4):2452-2474.
- [27] CHEN J, YE Z, ZHANG R, et al. Medical image translation with deep learning: Advances, datasets and perspectives [J]. Med Image Anal, 2025,103:103605.
- [28] DUAN S, LIU L, CHEN Y, et al. A 5G-powered robot-assisted teleultrasound diagnostic system in an intensive care unit [J]. Crit Care, 2021,25(1):134.
- [29] DE PAULA LOUREIRO M, SALVALAGGIO P, PALERMO M, et al. Implementation of robotic telesurgery in Brazil: The first experimental remote surgery performed between two Brazilian cities [J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2025,35(11):884-891.
- [30] LU L, WANG H, LIU P, et al. Applications of mixed reality technology in orthopedics surgery: A pilot study [J]. Front Bioeng Biotechnol, 2022,10:740507.
- [31] MORIMOTO T, HIRATA H, UENO M, et al. Digital transformation will change medical education and rehabilitation in spine surgery [J]. Medicina (Kaunas), 2022,58(4):508.
- [32] ZHANG S, LI F, ZHAO Y, et al. Mobile internet-based mixed-reality interactive telecollaboration system for neurosurgical procedures: Technical feasibility and clinical implementation [J]. Neurosurg Focus, 2022,52(6):E3.
- [33] 李春宝,张佳,王龙,等.标准化和数字化是髋关节镜诊疗技术的发展方向 [J].中华医学杂志,2025,105(25):2037-2041.