

基于 AR + 5G 的肿瘤远程会诊协同体系构建与应用研究

陈晓静^{1,2} 许艺莲¹ 梅妙嫦³ 王丹丹⁴ 郭洪花²

(¹ 海南医科大学第二附属医院 海口 570311 ² 海南医科大学研究生院 海口 571199

³ 万宁市医共体北坡分院 万宁 571500 ⁴ 乐东黎族自治县人民医院医共体永明分院 乐东 572500)

〔摘要〕 **目的/意义** 构建基于 5G 与增强现实 (augmented reality, AR) 智能眼镜的远程会诊协同体系, 为提升基层肿瘤诊疗能力、优化区域医疗资源配置提供实践参考。**方法/过程** 选取海南医科大学第二附属医院医联体内 6 家成员单位, 采用回顾性非随机对照试验设计, 将 40 例肿瘤远程会诊案例分为干预组 (AR + 5G 会诊, $n=20$) 与对照组 (传统视频会诊, $n=20$)。对比分析两组在会诊效率、临床诊疗效能及专家满意度等方面差异。**结果/结论** 与传统视频会诊相比, AR + 5G 会诊系统在技术性能、流程效率、临床效能等方面均展现出显著优势。

〔关键词〕 增强现实; 智能眼镜; 5G 网络; 远程会诊; 肿瘤诊疗

〔中图分类号〕 R - 058 **〔文献标识码〕** A **〔DOI〕** 10.3969/j.issn.1673 - 6036. 2025. 11. 013

Construction and Application of a Collaborative System for Remote Oncology Consultation Based on AR + 5G

CHEN Xiaoqing^{1,2}, XU Yilian¹, MEI Miaochang³, WANG Dandan⁴, GUO Honghua²

¹The Second Affiliated Hospital of Hainan Medical University, Haikou 570311, China; ²Graduate School of Hainan Medical University, Haikou 571199, China; ³Beipo Branch of Wanning City Medical Community, Wanning 571500, China; ⁴Yongming Branch of Ledong Li Autonomous County People's Hospital Medical Community, Ledong 572500, China

〔Abstract〕 **Purpose/Significance** To develop a collaborative remote consultation system based on 5G and augmented reality (AR) smart glasses, so as to provide practical references for enhancing the diagnostic and treatment capabilities of grassroots oncology practitioners and optimizing regional healthcare resource allocation. **Method/Process** Six member units from the medical alliance of the Second Affiliated Hospital of Hainan Medical University are selected. A retrospective non - randomized controlled trial design is employed. 40 remote oncology consultation cases are divided into an intervention group (AR + 5G consultation, $n=20$) and a control group (traditional video consultation, $n=20$). The differences between the two groups are compared and analyzed in terms of consultation efficiency, clinical diagnostic effectiveness, and expert satisfaction. **Result/Conclusion** Compared to traditional video consultation, the AR + 5G consultation system demonstrates significant advantages in terms of technical performance, process efficiency, and clinical efficacy.

〔Keywords〕 augmented reality (AR); smart glasses; 5G network; remote consultation; oncology diagnostics and therapeutics

〔修回日期〕 2025 - 11 - 05

〔作者简介〕 陈晓静, 硕士研究生; 通信作者: 郭洪花, 教授。

1 引言

恶性肿瘤是严重危害我国居民健康的重大慢性疾病，其发病率和死亡率呈持续上升趋势^[1]，城乡之间发病率与死亡率差异明显^[2]。基层医疗机构在癌症早筛、规范诊疗及个体化管理等方面能力不足，区域医疗服务水平不均衡问题亟待解决^[3]。近年来，国家相继出台《“健康中国 2030”规划纲要》^[4]和《健康中国行动——癌症防治行动实施方案（2023—2030 年）》^[5]等政策，明确提出要促进优质医疗卫生资源配置均衡化、提升基层医生肿瘤诊疗能力。然而，现有远程会诊系统存在视角受限、操作反馈不充分、协作效率低等技术瓶颈，难以满足高质量肿瘤专科会诊的临床需求。第五代移动通信（5G）技术的快速发展为医疗数据实时传输、异地协同诊疗以及智慧医疗应用提供了坚实基础^[6-7]。增强现实（augmented reality，AR）技术通过提供第一视角、沉浸式交互与空间引导能力，为远程操作指导和临床多学科协作带来新的发展契机。目前关于 AR 与 5G 融合用于远程肿瘤会诊的研究有限，尤其缺乏在多学科协同机制构建和真实临床环境中的实证评估^[8]。本研究基于海南医科大学第二附属医院医联体平台，构建并验证融合 AR 智能眼镜与 5G 网络的远程会诊系统，探索其在提升远程诊疗协同效率、保障临床操作准确性与推动区域专科能力均衡化方面的实践价值。

2 资料与方法

2.1 研究对象与设计

以海南医科大学第二附属医院医联体内 6 家成员单位为试点，回顾性收集 2025 年 1—6 月有效肿瘤远程会诊案例 40 例，纳入病例包括肺癌、乳腺癌、胃癌等常见实体肿瘤，以验证该系统应用于基层医院常见肿瘤类型的临床效能。所有医院均具备远程医疗基础设施与电子病历系统。海南医科大学第二附属医院作为牵头单位，负责提供远程会诊平台与专家资源支持，统一实施标准化操作流程和技术指导。采用回顾

性非随机对照试验设计，按照所使用远程会诊系统的不同分为两组。干预组（AR + 5G 组）采用 AR 智能眼镜结合 5G 网络及本研究开发的远程会诊平台进行会诊，共计 20 例；对照组（传统视频组）使用常规视频会议工具或医院现有远程会诊系统进行会诊，共计 20 例。比较两组患者年龄、性别、肿瘤类型和医院级别等关键基线特征，均无统计学差异（ $P > 0.05$ ），表明两组基线资料均衡可比，后续研究结果的组间差异可主要归因于不同会诊系统的影响，见表 1。数据采集严格遵循《个人信息保护法》等相关法律法规要求，所有数据在分析前均完成脱敏处理，并已通过海南医科大学第二附属医院医学伦理审查委员会批准（批件号：2025-SP126），所有入选患者均签署知情同意书。

表 1 患者基线特征

特征	AR + 5G 组	传统视频组	统计量	P
年龄（岁）	56.3 ± 10.2	54.7 ± 11.5	$t = 0.48$	0.633
男性（例）	12	11	$\chi^2 = 0.10$	0.752
肿瘤类型				0.728
肺癌（例）	8	6		
乳腺癌（例）	5	7		
胃癌（例）	4	5		
其他（例）	3	2		
就诊医院级别				1.000
三级医院（例）	10	10		
二级医院（例）	10	10		

注：肿瘤类型、就诊医院级别采用 Fisher 精确检验（小样本保守原则）。

2.2 会诊流程及关键技术

传统远程会诊流程包括会诊申请、资料审核、专家预约、视频会诊、意见录入及报告生成等环节，在临床应用中主要面临以下问题：一是第三方视角无法提供术野第一视角，专家难以获得沉浸式临场感；二是缺乏精准的实时标注与空间指引能力，难以进行精细的操作指导；三是音视频延迟高、多学科专家接入不便，导致协作流程碎片化。针对上述问题，本研究构建基于 AR 智能眼镜与 5G 网络的远程会诊系统。系统工作流程，见图 1。系统核心特征及关键技术，见表 2。

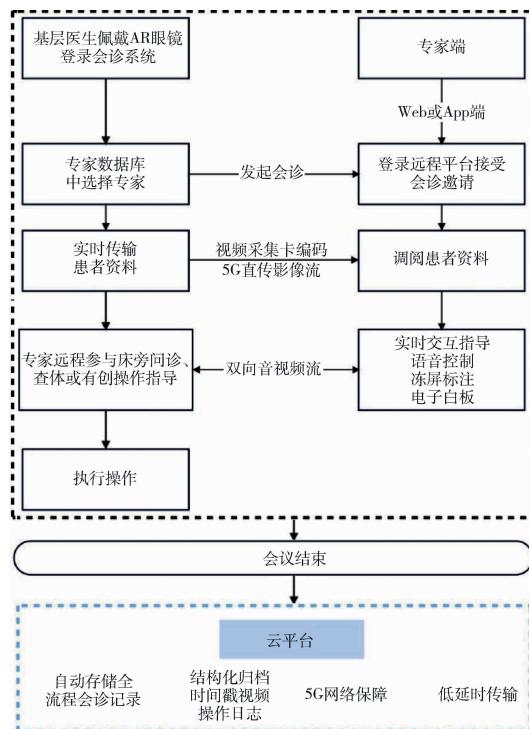


图 1 基于 AR + 5G 的远程协同会诊流程

表 2 AR + 5G 远程会诊系统核心特征

核心特征	关键技术实现
第一视角临 场感与空间 配准	AR 眼镜 (Rokid Glass 2) 作为前端设备, 配备 800 万像素摄像头与双目衍射光波导显示系统, 支持 1.4 微米精度采集与 40° 视场角术野。内置 SLAM 空间配准技术, 导航误差达毫米级; IP66 防护与 4 小时续航保障复杂环境稳定运行
低延迟、高 优先级数据 传输	构建边缘 - 云端协同传输架构, DICOM 影像经 H.265 编码后通过 MQTT 协议传输。5G 网络动态分配超 70% 带宽优先保障术野视频流, 云端流控引擎智能优化, 确保毫秒级操作指令响应
多模态实时 交互引导	集成冻屏标注与语音控制双模交互, 支持毫米级精度穿刺路径标注与医疗场景语音解析。利用 5G 多路并发, 支持多位多学科专家同步介入, 其标注轨迹可实时叠加至现场医生 AR 视野
全流程数据 闭环管理	全流程数据按 CDA R2 标准结构化存储于 HStreamDB 数据库, 传输与存储层分别采用国密 SM4 与 AES - 256 加密, 并引入区块链时间戳存证; 通过 HL7 FHIR R4 接口对接医院电子病历系统

注: SLAM 为即时定位与地图构建 (simultaneous localization and mapping), DICOM 为医学数字成像与通信标准 (digital imaging and communications in medicine), MQTT 为消息队列遥测传输 (message queuing telemetry transport), CDA R2 为临床文档架构 (clinical document architecture)。

2.3 评价指标

2.3.1 技术性能指标 (表 3)

表 3 技术性能评估指标

评估指标	定义或测量方法
5G 端到端时延 (ms)	数据从 AR 终端发送至专家端的总延迟
下载或上传速率 (Mbp)	会诊期间平均数据传输速率, 使用 5G 网络探测仪连续记录
视频和图像质量评估 (分)	专家主观视频质量评分, 由两名高年资医师分别对检查端和会诊端的视频和图像进行评估
远程会诊时间 (min)	远程会诊响应时间指接到会诊申请至完成会诊安排的时间; 远程会诊总时长指会诊开始至会诊结束的时间

注: 采用李克特 4 级量表评估视频和图片质量, 0 分为非常不清晰, 1 分为不清晰, 2 分为较清晰, 3 分为清晰, 4 分为非常清晰。

2.3.2 临床效能指标 包括诊断准确率 (正确诊断病例数/总病例数)、误诊率 (误诊病例数/总病例数)、诊断耗时 (从数据输入至给出诊断建议的时间, 单位为 min) 和操作成功率 (首次操作达成预定目标的例数/总病例数)。

2.3.3 专家满意度评分 为评估专家对远程会诊系统的使用体验, 在每次会诊结束后 10 分钟内, 邀请参与会诊的专家完成满意度问卷调查。问卷基于李克特五级评分量表设计, 涵盖系统操作便利性、视频图像清晰度、音频传输质量、信息同步及时性、交互指导的精确性及整体流程满意度 6 个维度, 评分范围为 1 分 (非常不满意) — 5 分 (非常满意)。将上述 6 个维度作为独立的一级指标进行分析, 每个维度取算术平均值 (均数 ± 标准差) 作为最终满意度得分。

2.4 质量控制

为保证数据真实性, 采取以下质量控制措施: 一是所有参与研究的医护人员均接受统一的系统操作培训; 二是技术性能数据由系统后台及专业网络探测仪自动记录, 避免人为误差; 三是临床诊断结果由至少两名副高及以上职称的专家盲法评估确认; 四是满意度问卷在会诊结束后即时匿名填写,

系统自动归档以防篡改。

2.5 统计学分析

数据整理与统计分析使用 Excel 2019 和 SPSS 27.0 软件。符合正态分布的计量资料以均数 \pm 标准差描述, 组间比较采用 t 检验; 偏态分布的计量资料组间比较采用 Mann - Whitney U 检验或 Wilcoxon 符号秩检验; 计数资料采用例数和百分比表示, 组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。所有检验均为双侧, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3 结果

3.1 系统运行流程和性能指标分析

基层医生佩戴 AR 眼镜登录远程会诊平台, 调用专家数据库匹配相关专科专家并发起会诊请求。专家端通过 Web 或 App 登录系统, 基于视频采集卡及 5G 高速网络实时调阅患者资料, 实现音视频同步连接。在远程会诊过程中, 专家可利用语音控制、画面冻屏标注、视频实时点选与电子白板等功能, 实现对基层医生床旁问诊、查体或有创操作的实时指导。远程会诊系统技术性能指标比较, 见表 4。AR + 5G 组在端到端时延、上传速率、视频质量主观评分以及操作响应耗时等方面优于传统视频组 ($P < 0.001$)。两组下载速率差异无统计学意义 ($P = 0.156$)。系统运行过程中, AR 眼镜端与专家端连接稳定, 远程会诊平台无中断、卡顿等重大技术故障。所有病例均顺利完成远程会诊及数据采集。

表 4 技术性能指标对比

评价指标	AR + 5G 组	传统视频组	统计量	P
端到端时延 (ms)	48.3 \pm 5.2	285.6 \pm 45.8	$t = 24.12$	<0.001
下载速率 (Mbps)	218.7 \pm 56.3	195.4 \pm 52.1	$t = 1.45$	0.156
上传速率 (Mbps)	63.5 \pm 18.4	28.3 \pm 10.5	$t = 8.01$	<0.001
视频质量评分 (分)	3.85 \pm 0.32	2.95 \pm 0.61	$Z = -4.32$	<0.001
操作响应耗时 (ms)	152 \pm 18	420 \pm 65	$t = 18.45$	<0.001

注: 计量资料以均数 \pm 标准差表示, 组间比较采用独立样本 t 检验; 偏态分布资料 (视频质量评分) 采用 Mann - Whitney U 检验 (以 Z 值表示)。

3.2 临床效能评价

3.2.1 诊断和操作效能分析 诊断效能对比, 见表 5。AR + 5G 组在诊断准确率、误诊率和操作成功率上呈现数值优势, 但差异无统计学意义 ($P > 0.05$); 诊断耗时方面, AR + 5G 组显著短于对照组 ($P < 0.001$)。

表 5 诊断效能指标对比

评估指标	AR + 5G 组	传统视频组	统计量	P
诊断准确率 (%)	95	85	$\chi^2 = 1.05$	0.306
误诊率 (%)	0	10		0.149
操作成功率 (%)	90	75		0.380
诊断耗时 (min)	15.3 \pm 3.2	21.8 \pm 4.5	$t = 5.43$	<0.001

注: 空白表示该项未计算 χ^2 值, 采用 Fisher 精确检验。

3.2.2 会诊流程效率分析 AR + 5G 组会诊响应时间和会诊总时长均短于对照组, 见表 6。AR + 5G 组中会诊专家通过语音指令、图像标注等方式进行床旁操作指导平均 3.6 次/例, 远程交互的精确性与效率明显提高。

表 6 会诊流程时效对比 (min)

评估指标	AR + 5G 组	传统视频组	t	P
会诊响应时间	18.5 \pm 4.2	35.4 \pm 7.8	8.72	<0.001
会诊总时长	25.3 \pm 4.1	32.6 \pm 5.9	4.93	<0.001

3.2.3 会诊专家满意度评分结果 共回收专家满意度问卷 80 份, 问卷回收率为 100%。AR + 5G 组在系统操作便利性、视频图像清晰度、音频传输质量等 6 个维度的平均评分显著高于传统视频组, 见表 7。

表 7 专家满意度多维度对比 (分)

评价维度	AR + 5G 组	传统视频组	t	P
系统操作便利性	4.5 \pm 0.5	3.5 \pm 0.7	7.81	<0.001
视频图像清晰度	4.7 \pm 0.4	3.8 \pm 0.6	7.92	<0.001
音频传输质量	4.6 \pm 0.3	3.9 \pm 0.5	7.45	<0.001
信息同步及时性	4.8 \pm 0.4	3.3 \pm 0.9	9.63	<0.001
交互指导准确性	4.7 \pm 0.3	3.1 \pm 0.8	11.02	<0.001
整体流程满意度	4.6 \pm 0.4	3.6 \pm 0.7	8.25	<0.001

注: 评分范围 1—5 分, 分值越高满意度越高。

4 讨论与建议

本研究基于 AR 智能眼镜与 5G 网络构建远程会诊系统，突破传统视频会诊视角受限、反馈延迟和协同碎片化等技术瓶颈，为肿瘤等复杂疾病的跨地域协作提供高效、精准的解决方案。在基层医院医疗能力相对薄弱、患者异地转诊困难的背景下^[9-10]，该系统展现出显著的应用价值和推广潜力。

4.1 技术性能与低延迟交互优势

本研究在区域医联体内系统性验证 AR + 5G 远程协同体系的临床效能与技术优势。在系统性能方面，AR + 5G 组实现平均 48.3 ms 的端到端时延与高达 218.7 Mbps 的下载速率，为远程音视频数据的稳定传输提供坚实基础。操作响应平均耗时控制在 152 ms 以内，有效支撑专家对基层医生的实时指令传达与图像交互，展现出 AR 设备与 5G 网络结合后的低延迟特性和稳定性。

4.2 临床诊断效能的优化潜力

在临床诊断方面，AR + 5G 组在诊断准确率、误诊率和操作成功率方面呈现数值优势，但差异无统计学意义 ($P > 0.05$)，可能是受到样本量的限制影响，未来须扩大样本量验证其对诊断质量的优化作用。AR + 5G 组的诊断耗时显著缩短，表明在双目衍射光波导与 SLAM 配准技术支持下，第一视角画面与交互式操作指令能够为远程专家提供更直观、准确的临床信息，从而优化临床判断路径。这与梁伟等^[11]在交通伤救治中的研究结论一致：基于 AR 的实时远程会诊系统可显著缩短患者的急诊室滞留时间和入院至手术时间，并有效降低并发症发生率。系统在二级医院实现与三级医院同质化的诊断水平，证明其可增强基层肿瘤诊疗水平。尤其在术前评估及复杂穿刺定位等操作场景中，专家通过图像标注与语音指令等方式进行远程指导，有助于提升诊断准确性和治疗方案可行性。本研究所提出的远程医疗模式与国内外其他专科结论相互印证。Ho G 等^[12]开展的多中心前瞻性研究表明，基于云

平台的远程皮肤共聚焦显微镜诊断对皮肤恶性肿瘤的检测灵敏度达 89%，并有效减少 44.8% 非必要活检。证实跨越不同医学专科，高质量的远程影像传输与交互是实现精准远程诊疗的关键。

4.3 协同流程效率与专家体验的提升

该系统可显著提升会诊交互质量。专家平均每例指导交互次数达 3.6 次，体现其在远程床旁操作引导中的主动参与程度和交互深度，有效提升基层医生的操作能力。此外，专家满意度在 6 个维度上均显著高于传统组 ($P < 0.001$)，尤其在信息同步及时性和交互指导准确性方面提升最为显著。有研究^[13]回顾性分析 13 067 例远程会诊病例，结果表明传统模式的会诊响应时长普遍在 25 ~ 48 小时之间，且正高级专家响应更慢。本研究构建的 AR + 5G 系统将远程会诊响应时间优化至分钟级，从根本上解决传统会诊模式的效率瓶颈。不仅体现系统的技术稳定性与人机交互体验优势，也表明其在临床实际使用中具有良好的适配性与接受度，为未来在更大范围内的推广应用提供了实证依据。

4.4 局限性和展望

本研究仍存在不足之处，有待在后续研究中进一步完善和优化。首先，本研究采用回顾性、非随机对照设计，受实际临床场景和资源所限，未能对入组病例实施随机化分组。尽管统计分析表明两组患者在年龄、性别、肿瘤类型等基线特征上无显著差异，但无法完全排除未知或未测量混杂因素带来的影响，在一定程度上削弱了研究结果因果推断的强度。其次，本研究样本量较小，且病例分布以常见肿瘤类型为主，对复杂、罕见肿瘤诊疗场景的代表性不足，未来应扩大样本量并进行前瞻性随机对照研究进一步验证。再次，尽管 AR + 5G 会诊系统可提升信息传输效率与交互能力，但在某些高风险、有创操作环节中，远程专家仍难以完全替代现场医师的即时决策和干预。最后，现阶段系统主要依赖 5G 网络支持，如果在网络覆盖不足或基站部署尚未完善的偏远地区应用，可能面临数据传输延迟甚至中断的风险，影响使用效果与推广可行性。

随着国家“健康中国2030”战略深入实施，医疗资源均衡配置与基层诊疗能力提升成为远程医疗发展的重要抓手。《“十四五”国民健康规划》^[14]和《国务院办公厅关于推动公立医院高质量发展的意见》^[15]等政策文件均强调，要推动人工智能、5G、AR等新一代信息技术与医疗服务深度融合，构建数字化、智能化、协同化的新型医疗服务体系。为进一步推动该系统规模化应用，建议将该系统纳入区域卫生信息化规划及标准化平台体系，推动技术接口与数据结构统一；建议有关部门制定合理的远程医疗服务定价与医保支付机制，提升医院与专家参与积极性；同时，建议加强对“互联网+”定点医疗机构诊疗行为的监管，通过音视频记录核验接诊医生身份的真实性与服务合规性。

5 结语

基于5G网络与AR智能眼镜构建的远程会诊协同体系在提升肿瘤专科协同效率、诊疗质量与专家交互体验方面展现出良好应用前景。未来，该系统在多病种拓展、基层常态化应用及远程智能协作模式中的深化发展，仍有赖于技术优化、临床验证与政策支持等多维协同推动。

作者贡献：陈晓静负责研究设计、研究实施、论文撰写；许艺莲负责研究实施、统计分析；梅妙嫦负责数据收集与整理；王丹丹负责技术指导、论文修订；郭洪花负责提供指导、论文修订。

利益声明：所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- 1 王宝华. 中国恶性肿瘤及危险因素流行病学调查回顾与展望 [J]. 环境卫生学杂志, 2024, 14 (10): 793–801.
- 2 郑荣寿, 陈茹, 韩冰峰, 等. 2022年中国恶性肿瘤流行情况分析 [J]. 中华肿瘤杂志, 2024, 46 (3): 221–231.
- 3 程萍, 邓晶, 曾欣, 等. 高质量发展视域下我国医疗服务质量和效率度量与地区差异研究 [J]. 中国卫生经济, 2025, 44 (4): 84–89.
- 4 “健康中国2030”规划纲要 [EB/OL]. [2025-04-09]. https://www.gov.cn/xinwen/2016-10/25/content_5124174.htm.
- 5 健康中国行动——癌症防治行动实施方案 (2023—2030年) [EB/OL]. [2025-04-09]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202311/content_6915380.htm.
- 6 LUBASCH J S, EDER P A, KAISER C, et al. Implementing telemedicine with 5G technologies in a nursing home for reducing emergency admissions – study protocol of a mixed – methods study [J]. BMC health services research, 2024, 24 (1): 1110.
- 7 LI C, ZHENG J, ZHANG X, et al. Telemedicine network latency management system in 5G telesurgery: a feasibility and effectiveness study [J]. Surgical endoscopy, 2024, 38 (3): 1592–1599.
- 8 韩文文, 胡春霞, 张凯, 等. 1例特重度烧伤患儿基于增强现实技术的远程护理 [J]. 中华护理杂志, 2025, 60 (6): 677–680.
- 9 张震江, 董焱, 彭芳, 等. 西藏自治区远程医学系统建设与应用现状分析 [J]. 中华医院管理杂志, 2021, 37 (4): 289–292.
- 10 周婧涵, 邢林艳, 王留明, 等. 海南县域医疗机构医保省级统筹和医疗服务对患者就医行为影响 [J]. 中国医院, 2025, 29 (6): 22–26.
- 11 梁伟, 谢芬, 余红标, 等. 实时远程会诊系统对严重交通伤救治的应用效果研究 [J]. 创伤外科杂志, 2024, 26 (1): 21–25.
- 12 HO G, COLLGROS H, SINZ C, et al. Remote cutaneous confocal microscopy: a multicentric prospective study evaluating diagnostic accuracy for melanoma and keratinocyte carcinoma in tertiary settings [J]. Journal of the American academy of dermatology, 2025, 92 (2): 252–260.
- 13 王振博, 纪美好, 叶明, 等. 河南省远程会诊服务效率及影响因素分析 [J]. 医学信息学杂志, 2024, 45 (9): 50–56.
- 14 “十四五”国民健康规划 [EB/OL]. [2025-04-09]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-05/20/content_5691424.htm.
- 15 国务院办公厅关于推动公立医院高质量发展的意见 [EB/OL]. [2025-04-09]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-06/04/content_5615473.htm.