

基于多模型协同的分级诊疗优势号源推荐系统构建与应用

张甦敏¹ 石岩¹ 吴国挺¹

(¹ 上海市大数据中心, 上海 200072)

[摘要] 目的/意义 构建市级家庭医生分级诊疗优势号源智能推荐系统, 改善基层首诊占比不足、转诊精准度低和号源匹配不均衡等问题, 提升家庭医生签约服务质效和分级诊疗效能。**方法/过程** 采用四层逻辑架构, 融合大数据采集、治理与分析技术, 部署专家推荐、医院优势号源推荐及最优组合推荐三大算法模型, 实现精准匹配与转诊功能。**结果/结论** 本系统可提高全市优势号源推荐采纳率和转诊履约率等, 有效优化医疗资源配置, 强化家庭医生枢纽作用, 为区域分级诊疗高效落地提供实践参考。

[关键词] 大数据; 算法模型; 分级诊疗; 优势号源; 智能推荐

Construction and Application of a Preferred Appointment Resource Recommendation System for Hierarchical Medical Care Based on Multi-model Collaboration

ZHANG Sumin SHI Yan Wu Guoting

Shanghai Bigdata Center, Shanghai 200072, China

[Abstract] Purpose/Significance A municipal intelligent recommendation system for priority appointment slots in hierarchical medical care for family doctors is constructed to address insufficient primary care consultation rate at grassroots level, low referral accuracy and unbalanced appointment slot matching, and improve the quality of contracted services provided by family doctors and the efficiency of hierarchical medical care.**Method/Process** A four-layer logical architecture was adopted with integrated big data collection, governance and analytical technologies. Three algorithm models including expert-based recommendation, hospital advantage appointment recommendation and optimal combination recommendation were deployed to realize precise matching and intelligent referral.**Result/Conclusion** The system can increase the adoption rate of recommended priority appointment slots and referral fulfillment rate in the city. It effectively optimizes the allocation of medical resources and strengthens the pivotal role of family doctors, providing practical references for the efficient implementation of regional hierarchical medical care.

[Keywords] Big Data; Algorithm Models; Hierarchical Medical Care; Preferred Appointment Resources; Intelligent Recommendation

1 引言

当前推进分级诊疗政策是破解我国医疗资源配置难题的核心路径^[1], 上海市已全面推行家庭医生签约居民预约转诊机制, 但“签而不约”的现象仍普遍存在^[2], 亟需通过完善号源预约制度、优化医疗资源布局、创新服务模式等措施来提升预约转诊履约率和优质医疗资源利用率^[3]。2024年以来, 上海市陆续出台系列号源管理新政^{[4]–[7]}, 要求上级医院预留一定比例的专家专病号源供家庭医生提前预约^[8], 此类号源即为优势号源, 因此全市对分级诊疗平台的号源管理、转诊匹配等提出了更高要求。当前大数据与人工智能技术为医疗服务智能化、精细化转型提供了全新技术路径^{[9]–[10]}。但实践过程中仍面临号源数据融合不足、智能推荐能力薄弱、签约与号源数据联动不畅等瓶颈。本研究依托上海市分级诊疗平台, 运用大数据技术构建优势号源智能推荐系统, 为分级诊疗体系的高效落地提供坚实的技术支撑。

2 系统分析

2.1 数据建模与精准匹配

[修回日期] 2026-6-4

[作者简介] 张甦敏, 工程师, 发表论文 8 篇。通讯作者: 石岩, 高级工程师

10.12201/bmr.202610.00039V1

随着“互联网+医疗健康”时代的发展，门诊预约挂号已经成为提升医院诊前服务的通用模式^[11]，上海市号源新政要求推进号源信息跨平台对接和共享^[12]，而数据建模是实现号源供需精准匹配的核心。本系统以“签约居民预约需求—医院优势号源—专家优势病种”三元组为核心建模对象，构建标准化三维特征模型：基于居民主诉、既往史及社区诊断构建需求特征向量；依托专家赫芬达尔-赫希曼指数（Herfindahl-Hirschman Index, HHI）病种集中度、专科匹配度与履约率构建专长特征向量；结合号源供给量、就诊完成率和时段分布构建供给特征向量。三类特征经标准化编码映射至同一向量空间，通过相似度函数计算得分进行号源匹配。该模型能够适配分级诊疗场景、融合多类医疗核心数据，同时根据家庭医生实践结果形成算法反馈闭环，动态校准模型参数，持续提升匹配精准度。

2.2 数据质控与分级引导

随着智慧门诊的建设^{[13]-[14]}，号源新政要求完善专科医生基本信息和专业特长，上传至相应平台并动态更新。当前健康医疗大数据在分级诊疗应用中需建立全流程质控机制，经过大数据后台测算后自动分配最优顺序，以提升叫号系统的实用性^[15]。本系统围绕完整性、准确性、时效性、一致性四个维度建立全流程质控体系，依据市级卫生健康数据规范，对核心字段进行合规性校验，自动完成数据清洗、去重与标准化处理，同时通过接口埋点实现全链路追溯，定期输出质量报告，对缺失、漂移与异常字段预警回补。系统对两类优势号源实施分类管理：“早预约”指家庭医生相较社会渠道可提前 5 天预约上级医院的号源；“预约早”指上级医院预留至开诊前 2 天交由基层统筹调配的加急号源。系统依托高质量数据和家庭医生首诊意见，精准推荐优势号源，畅通分级转诊通道，引导基层首诊。

2.3 数据联动与家医衔接

分级诊疗的持续推进依托于上下级医院的信息互通，上级诊疗数据的及时回传是保障家庭医生开展常态化随访与连续性健康管理的重要基础，因此要完善预约转诊闭环管理模式^[16]。人工智能技术是医联体建设的重要赋能技术，可提升基层诊断同质化水平^[17]，机器学习可优化多阶段医患匹配^[18]。系统数据联动是打通家庭医生签约服务与号源调配的关键，借助大数据与人工智能优化双向转诊及后续健康监测，将专家诊疗经验转化为标准化工具促进优质医疗资源下沉。

3 系统构建

3.1 系统架构设计

本系统基于“互联网+医疗”整合区域资源，构建全市统一的优势号源智能推荐平台，以家庭责任制分级诊疗为载体，秉持“数据驱动、精准匹配、闭环管理”原则，采用四层逻辑架构见图 1，自下而上分为基础设施层、数据支撑层、算法模型层、应用服务层，各层协同联动。

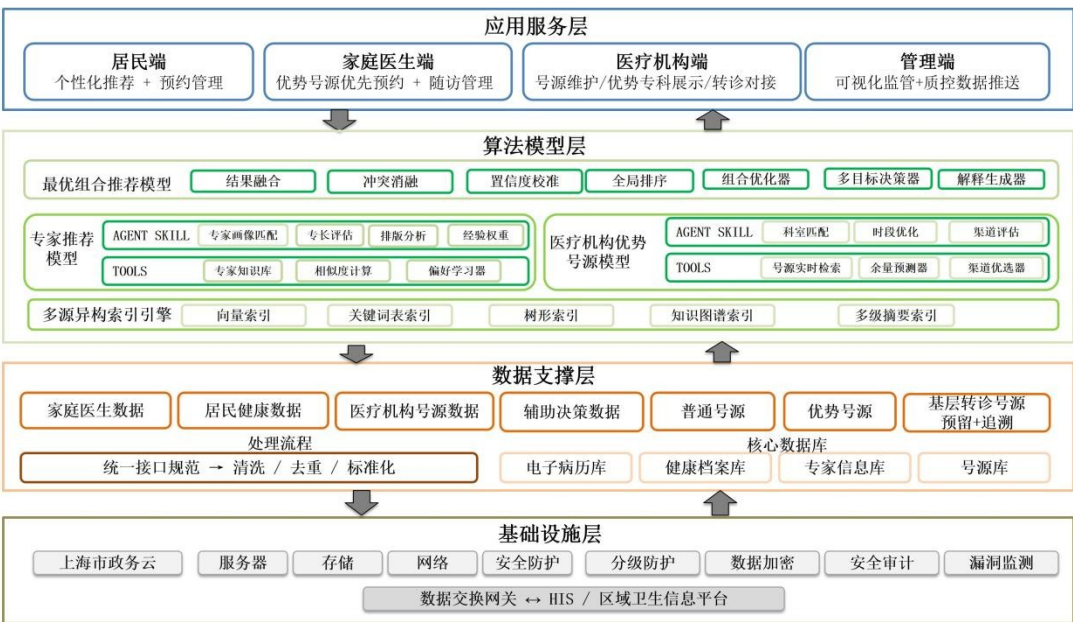


图 1 系统架构图

3.1.1 基础设施层

该层依托上海市政务云平台搭建运行环境，整合服务器、存储、网络与安全防护等基础资源，并遵循政务云安全规范，落实分级防护、数据加密、安全审计与漏洞监测等保障机制。该层通过部署虚拟化服务器集群、高性能计算节点与分布式存储系统，适配海量算力与存储需求，并借助数据交换网关对接各医院的医院信息系统（Hospital Information System, HIS）与区域卫生信息平台，实现多源数据安全交互，保障系统稳定可靠运行。

3.1.2 数据支撑层

该层依托多源渠道实现医疗数据自动化汇聚与标准化治理，搭建市级统一数据平台。平台遵循市级卫生健康数据规范，采集全市公立医院、科室及医师基础信息，结合国际疾病分类（International Classification of Diseases, ICD）编码^{[19][20]}提取专家病种专长、诊疗量与服务评价数据，并通过门诊工作站插件及标准化接口实时归集临床多源异构数据。数据涵盖家庭医生服务、居民健康档案、优势号源资源及辅助决策四大类别，依托内置治理工具与 80 余项质控规则，自动完成数据清洗、去重与标准化处理并定期输出质控报告。同时，通过接口升级与转诊埋点优化精准区分普通号源与优势号源，实现号源全链路追溯。原始数据经治理后归入电子病历、健康档案、专家信息、号源信息四大核心数据库，为算法模型层提供高质量数据支撑。

3.1.3 算法模型层

该层采用“双路分工决策+全局统筹”的三模型协作架构，专家推荐模型（Expert Recommendation Model, ERM）与医院优势号源模型（Hospital Advantage Appointment Model, HAAM）负责双路分决策，最优组合推荐模型（Optimal Combination Recommendation Model, OCRM）负责上层统筹，三者协同构建“索引→检索→评估→决策→解释”的五阶段推理链。各模型均配备独立的智能体技能与专属工具集，并在底层共享多源异构索引引擎。该引擎作为统一数据底座，集成了向量索引、关键词索引、树形索引、知识图谱索引及多级摘要索引，支撑语义检索、精确匹配、层级钻取与关系发现四类检索范式。检索机制上，各模型依据输入特征自主规划索引调用策略，实现按需动态组合。当结果置信度^{阈值}不足时，自动触发探索式补充召回机制，规避传统固定规则驱动下全量无差别召回的弊端。

3.1.4 应用服务层

该层采用“居民端—家庭医生端—医院端—管理端”四级应用架构，多方协同构建分级诊疗业务闭环。居民端提供个性化号源推荐与预约服务，家庭医生端支持优势号源优先预约和随访管理，医院端承担号源维护、专科展示与转诊对接，管理端实现可视化监管与质量管控。各端依托数据互通实现业务联动，通过增设号源查询专属字段，实现优势号源精细化监测质控，并实时回传诊疗数据，支撑居民连续性健康管理。平台依托可视化监管大屏与多维报表，开展履约监管、号源结构分析及基层服务效能评估。

3.2 多模型协同设计

本系统融合三类模型协同运行（见图 2），实现优势号源的个性化智能推送与精准预约，可依据患者实时诊断结果，结合医院资源、专家排班及优势号源标签，智能匹配对应专科专家并按匹配度排序，经家庭医生确认后，自动完成号源预约与转诊信息同步。

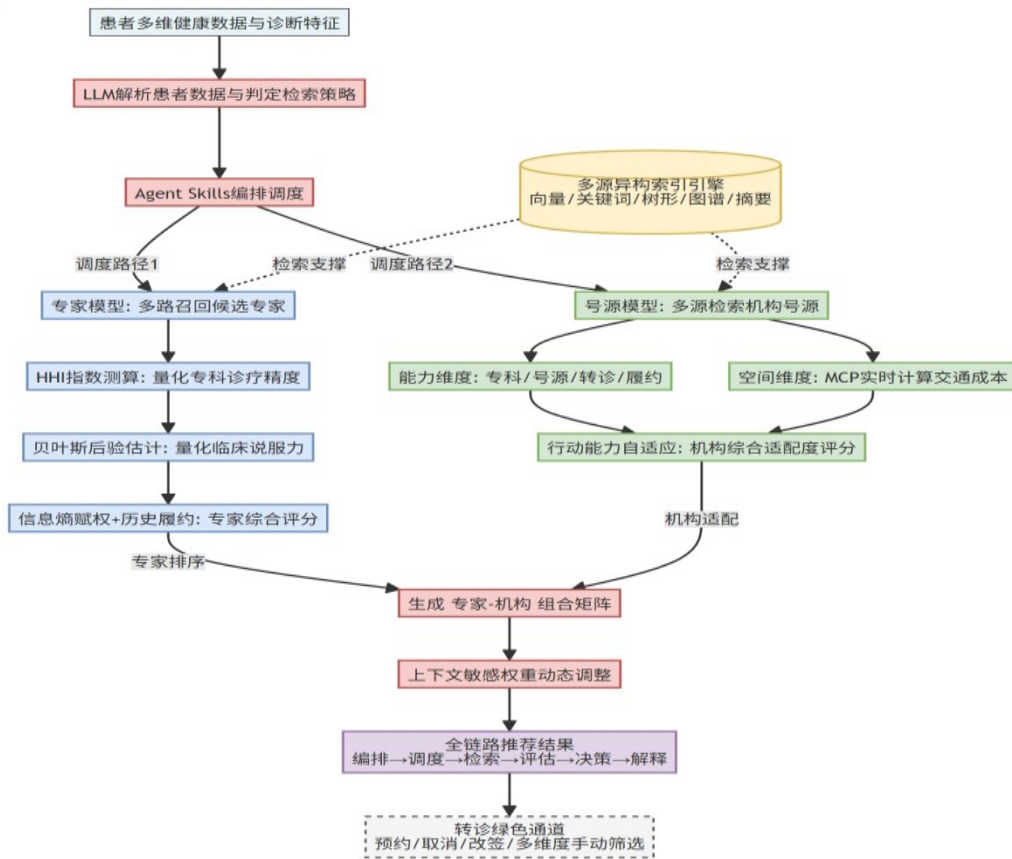


图2 模型流程图

3.2.1 ERM 设计

ERM 通过多源异构索引引擎多路召回候选专家，挖掘专家擅长病种，并根据患者主诉、既往史、社区诊断等信息匹配对应专家。模型通过 HHI 衡量医生病种接诊集中度：医生 d 在近 12 个月滚动窗口内接诊总病例数 N_d ，其中 ICD-10 前 3 位编码病种 i 的病例数为 $n_{d,i}$ 、病种类别数 K ，同一患者同次诊疗仅计 1 例，则

$$HHI_d = \sum_{i=1}^K \left(\frac{n_{d,i}}{N_d} \right)^2, N_d = \sum_{i=1}^K n_{d,i}; \text{病例统计口径为窗口内已履约的门诊就诊记录（值域}$$

$[0,1]$ ，越接近 1 越集中）。接诊量低于 100 例的医生，以全市同科室医生 HHI 中位数替代。贝叶斯后验估计：全市同科室医生平均病种分布为先验（狄利克雷先验 $\alpha_i = \alpha_0 \cdot p_i$ ， α_0 ）、医生历史接诊病种频次为似然（多项分布），共轭得后验均值

$$P_i = E[\theta_i | n_d] = \frac{\alpha_i + n_{d,i}}{\alpha_0 + N_d}; \text{样本量较小收缩至全市均值、充足逼近自身占比，量化临}$$

床说服力。最终候选专家综合评分加权 $S_{cored} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot f_j$ ，其中 f_j 为含专科匹配度、HHI 集中度、履约率等的第 j 项指标归一化评分， w_j 由信息熵赋权，满足 $0 \leq w_j \leq 1$ 且 $\sum w_j = 1$ ：先对原始矩阵做效益型标准化 $r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j x_j}{\max_j x_j - \min_j x_j}$ （分母为 0 时取

$$1），计算占比 $p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}}$ 与熵值 $e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, k = \frac{1}{\ln m}$ （ $p_{ij}=0$ 时约定 0），$$

再得熵权 $w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)}$ 。候选专家由索引引擎多路召回，每路 Top-100，合并去重后

取 Top-50，综合评分低于置信度阈值时触发探索式补充召回并降权重排，实现“以病寻

医”的精准排序推荐。其中，平滑校正后的HHI作为加权合成中的一项指标参与信息熵自动赋权，可通过多指标耦合稀释单一指标极端值对综合评分的干扰。人工校核机制按“专家—优势病种”清单，医院端工作人员定期抽样核验HHI排序结果，结合家庭医生转诊反馈信息开展交叉印证。

3.2.2 HAAM 设计

HAAM 搭载地图导航模型上下文协议工具（Model Context Protocol Tools, MCP Tools），从能力与空间双维度构建评价体系。能力维度包括专科匹配度、号源供给、转诊协同与预约号源完成就诊率；空间维度包括患者居住地至候选机构的出行时间的地理可达性与交通成本。模型利用多源异构索引引擎按专科匹配度召回候选机构，并合成医院综合

适配度评分 $S_m = \sum_{j_1}^4 w_j^C \cdot f_j^C + \sum_{k_1}^2 w_k^S \cdot f_k^S$ （上标 C 能力维度、S 空间维度，权重 $\sum w_j^C + \sum w_k^S = 1$ ）。针对患者行动能力分级调节权重： $w_j^C = (1 - \beta_a) \cdot u_j, w_k^S = \beta_a \cdot v_k$ ($\beta_a \in [0.3, 0.7]$ 且 $\beta_1 < \beta_2 < \beta_3$)。候选机构按 S_m 降序取 Top-N，低于置信度阈值时回退为按专科排序的列表，输出差异化推荐结果。

3.2.3 OCRM 设计

OCRM 为算法模型层的决策中枢，通过大模型解析患者主诉、诊断与空间约束，通过智能体编排技能判定检索策略，依次调度ERM与HAAM，生成“专家-机构”组合矩阵。模型根据患者特殊状态及地理空间数据作权重动态调整，组合推荐度定义为 $U_{e,m,v_c} = \mu_c \cdot Score_e(e) + v_c \cdot S_m(m) + \eta_c \cdot \Phi_{e,m,v_c}$ ，其中 $Score_e(e)$ 、 $S_m(m)$ 分别为专家综合评分与机构综合适配度评分， Φ_{e,m,v_c} 为“专家专长病种—机构优势专科—患者诊断 ICD”三方匹配一致性项， μ_c 、 v_c 、 η_c 为随患者急症、复诊、行动不便等状态与地理空间数据动态调整的上下文敏感权重， $\mu_c + v_c + \eta_c = 1$ ；按 U 降序取前 N 名形成推荐列表。当模型输出解析失败或字段缺失时，回退至规则模板，按综合适配度评分降序取前 3 名推荐，并记录失败日志供人工复核，是否采纳模型推荐的号源由家庭医生在确认界面操作。

三大模型协同可为转诊患者精准匹配上级医院专科优势号源，打通转诊通道。系统支持家庭医生在线预约、退改及多维度筛选，兼顾智能推荐精度与个性化需求。家庭医生拥有最终转诊决策权，可自主调整系统推荐方案，其所有操作及变更原因完整留痕，纳入质控分析以优化推荐模型。系统为其提供推荐依据、置信度评分与备选清单作为决策支撑，保障推荐过程具备可解释性、可追溯性与可审计性。

4 系统应用效果

本研究依托上海市分级诊疗平台，于 2024 年 4 月上线优势号源智能推荐模型，实现核心医疗数据融合汇聚，覆盖全市近 4 万名出诊专家及近 3000 个科室。研究选取模型上线前后 2024 年与 2026 年的第一季度（Q1）平台全量业务指标开展对比分析。两个观测周期内，需求机构均为全市 246 家社区卫生服务中心，供给医院由 106 家增至 110 家，家庭医生签约居民稳定在 1100 余万人，保障两组对比样本具备较好可比性。

表 1 系统应用前后优势号源预约情况对照表

序号	系统全市指标	2024 年 Q1 (无模型)	2026 年 Q1 (有模型)
1	优势号源预约总数 (个)	7969	109201
2	优势号源预约转诊完成数 (个)	5152	77660
3	优势号源推荐采纳率 (%)	10.4%	51.1%
4	优势号源转诊履约率 (%)	64.7%	71.1%

4.1 扩大优势号源预约规模

本系统在 2026 年第一季度实现社区卫生服务中心向上级二三级医院转诊的优势号源预约总数 109201 个，较 2024 年第一季度 7969 个增长 12.7 倍。优势号源预约后的实际转诊完成数由 5152 个提升至 77660 个。两个观测周期内单家社区卫生服务中心平均号源预约数由 32 个提升至 44 个。优势号源预约量与就诊履约量同步增长，体现系统对基层预约转诊业务的支撑承载能力提升，实质性转诊服务规模持续扩容。

4.2 提升转诊推荐采纳水平

本系统的预约号源推荐采纳率由 2024 年第一季度的 10.4% 上升至 2026 年第一季度的 51.1%。2024 年第一季度尚未采用智能推荐模型，多数推荐优势号源未能被患者采

纳，患者采纳水平偏低；智能推荐模型上线运行后，系统综合研判患者病情特征与实时优势号源供给状况动态生成推荐号源，更加贴合基层分级转诊真实业务场景，提高了家庭医生与就诊居民对转诊推荐方案的接受程度。

4.3 改善转诊服务履约效能

本系统的优势号源转诊履约率由 2024 年第一季度的 64.7%提升至 2026 年第一季度的 71.1%。该指标用于衡量家庭医生依托优先预约通道提交转诊建议后，居民最终完成就诊的转化水平。数据变化表明，借助社区优先通道开展转诊，转诊申请后预约赴诊的流程衔接更加顺畅，有效减少号源空置、占号以及重复预约等资源浪费现象，进一步稳固社区首诊、有序转诊的业务联动机制。

5 结语

本文构建了以数据驱动、智能适配与全程监管为核心的分级诊疗优势号源智能推荐系统，依托三大算法模型落地“早预约”、“预约早”双维服务及三级监管体系，改善转诊精准度不足、就诊流程繁杂等行业痛点，完成号源精准匹配，进一步发挥家庭医生的枢纽职能。在大模型技术赋能背景下，系统将探索推动智能化能力持续跃升，包括落实向下转诊，实现患者“康复回社区”；推动医疗机构检查检验结果互认，降低群众就医成本；完善价值医疗导向的考核激励体系等。同时，系统将持续优化模型适配性能、深化数据安全共享机制、提升基层信息化水平和健全监管预警体系等，为分级诊疗制度的落地实施提供可行的实践方案与技术支持。

作者贡献：张甦敏负责研究设计、论文撰写与修订；石岩负责模型开发、系统建设实施；吴国挺负责数据收集、整理和分析。

利益声明：所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

[1]杜刚,李梦圆,闵思齐.医联体模式下双向转诊中的医患匹配模型[J].工业工程,2025,28(05):18-34.

[2]焦岳龙,王娟娟,马鸣骁,等.分级诊疗背景下上海市三级医院家庭医生签约居民预约转诊服务模式实践[J].中国卫生质量管理,2025,32(11):80-83.DOI:10.13912/j.cnki.chqm.2025.32.11.16.

[3]陈云峰,顾珊珊,张春燕,等.分级诊疗背景下社区卫生服务中心预约转诊患者失约影响因素分析[J].中国卫生质量管理,2025,32(11):84-88.

[4]上海市卫生健康委员会.关于印发《2026年上海市基层卫生健康工作要点》的通知(沪卫基层〔2026〕3号)[EB/OL].(2026-03-11)[2026-05-26].<https://wsjkw.sh.gov.cn/jcws2/20260311/31bd524828d64062a65d9846d3c6b58e.html>.

[5]上海市卫生健康委员会.对市十六届人大二次会议第0177号代表建议的答复[EB/OL].(2024-05-16)[2026-05-26].<https://wsjkw.sh.gov.cn/rddbgydf/20240516/0bc00ae3ff184becbbf91fdbf8e927b7.html>.

[6]上海市卫生健康委员会.关于加强本市首诊和转诊医疗服务工作的通知(沪卫医〔2025〕31号)[EB/OL].(2025-05-23)[2026-05-26].<https://wsjkw.sh.gov.cn/yzgl3/20250523/1ecfa289e36a493fb6b7aa687d8d66f2.html>.

[7]上海市卫生健康委员会.关于印发《上海市家庭医生签约服务规范(2024版)》的通知(沪卫基层〔2024〕13号)[EB/OL].(2025-01-21)[2026-05-26].<https://www.shanghai.gov.cn/gwk/search/content/cce2723d80034c169d573aaa4c23fd59>.

[8]付晨.上海市社区卫生服务能力提升的路径探索[J].健康发展与政策研究,2024,27(03):201-205.

[9]杨立群,岑毅.大数据与人工智能赋能分级诊疗的应用现状与展望[J].科技传播,2026,18(02):169-172.

[10]秦盼盼,谢莉琴,陈荃,等.基于健康医疗大数据的分级诊疗实施路径研究[J].中国医院管理,2021,41(06):75-78.

[11]纪亚亮.预约挂号智慧号源服务系统设计与应用[J].网络安全和信息化,2024,(03):82-84.

- [12]张志坚,赵敏,孙中海,等.基于动态资源管理的预约模式在医联体跨域服务中的应用研究[J].中国数字医学,2025,20(09):115-120.
- [13]房华,许惠翔,杨锐,等.智慧门诊挂号就诊流程的构建与应用[J].中国卫生信息管理杂志,2022,19(1):79-84.
- [14]向波.基于服务流程优化的智慧门诊建设研究[J].中外医药研究,2025,4(17):164-166.
- [15]史诚,阮雅蔚,于盼佳,等.复杂环境背景下专科医院号源管理系统的均衡分析[J].江苏卫生事业管理,2025,36(03):391-394.
- [16]徐青艳,吕旭飞,韩裕乐,等.号源新政对上海市徐汇区签约居民预约转诊的影响分析[J].上海医药,2024,45(24):9-12,47.
- [17]陈虎,陈敏,刘星媛.人工智能提升医联体诊断同质化有效性的研究及展望[J].中国医院管理,2026,46(3):93-96.
- [18]范婷睿,刘盾,叶晓庆.考虑需求优先性的在线医患双边匹配方法[J].计算机科学,2023,50(10):28-36.
- [19]World Health Organization. Family of international classifications[R].Geneva:WHO,2004.
- [20]杨兴宇,王贺男,于丽华,等.《中国临床疾病诊断规范术语集》的临床应用与实践[J].中国卫生经济,2021,40(4):27-29.