DOI 10.15302/J-SSCAE-2024.11.024

数智病理平台构建及服务模式研究

陈晓红[1,2,3,4]，刘浏[1,2,3,4]，牛雅娟[5,6]，刘晓亮[1,2,3,4]，李啸海[2]，周建华[5,6]，王俊普[5,6*]

（1. 中南大学商学院，长沙 410083；2. 湘江实验室，长沙 410205；3. 湖南工商大学前沿交叉学院，长沙 410205；
4. 湖南工商大学管理科学与工程学院，长沙 410205；5. 中南大学湘雅医院，长沙 410008；
6. 中南大学基础医学院，长沙 410008）

摘要：病理诊断是临床诊疗决策的核心依据，融合人工智能、大数据等信息技术构建的数智病理平台具有重大应用价值，将支持病理学科数字化、智慧化升级，拓展智慧病理中国方案。本文在明晰数智病理相关概念的基础上，梳理了数智病理的现实应用需求，识别出数智病理建设面临的直接挑战；立足自有研究进展及成果，从数据中台、算法中台、服务中台三方面出发，详细阐述了数智病理平台的系统架构；进一步分析了基于数智病理平台的病理科工作流程优化方向，涵盖病理样本标准化、病理诊断智能化、病理服务平台化等流程，进而前瞻了病理诊断、病理会诊、病理教学、病理科研、病理质量控制等数智病理平台服务模式应用场景。研究建议，明确政策导向、建立统一的行业标准，降低建设成本、探索多元化的资金渠道，壮大人才队伍、提高全行业的专业技术水平，推进技术革新、拓展病理服务能力，加强数据安全、防止患者隐私泄露，以加快数智病理应用、支撑智慧医疗革新。

关键词：数智病理；病理诊断；病理大模型；服务模式；病理学；病理科

中图分类号：R36；TP18　　**文献标识码：**A

Digital Intelligence Pathology Platform and Its Service Pattern

Chen Xiaohong[1,2,3,4], Liu Liu[1,2,3,4], Niu Yajua[5,6], Liu Xiaoliang[1,2,3,4], Li Xiaohai[2], Zhou Jianhua[5,6], Wang Junpu[5,6*]

(1. School of Business, Central South University, Changsha 410083, China; 2. Xiangjiang Laboratory, Changsha 410205, China;
3. School of Advanced Interdisciplinary Studies, Hunan University of Technology and Business, Changsha 410205, China;
4. School of Management Science and Engineering, Hunan University of Technology and Business, Changsha 410205, China;
5. Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410008, China; 6. School of Basic Medicine,
Central South University, Changsha 410008, China)

Abstract: Pathological diagnosis is the cornerstone for clinical diagnosis and treatment decision-making. The digital intelligence pathology platform built by integrating artificial intelligence, big data, and other information technologies has great application values, which will support the digitalization and intelligent upgrading of the pathology discipline and expand the Chinese solution of intelligent pathology. This study systematically clarifies the conceptual framework of digital intelligence pathology, identifies practical application requirements, and highlights critical challenges in its implementation. Building on proprietary research achievements, we

收稿日期：2024-11-19；**修回日期：**2025-02-12

通讯作者：*王俊普，中南大学湘雅医院 / 湘雅基础医学院副教授，研究方向为病理学与数智病理；E-mail: wang-jp2013@csu.edu.cn

资助项目：中国工程院咨询项目“全球未来产业发展趋势及湖南未来产业布局研究”(2024-DFZD-39)；湘江实验室项目(23XJ01008, 23XJ03001)

本刊网址：sscae.engineering.org.cn

propose a tripartite middleware architecture comprising data, algorithm, and service platforms. The system architecture integrates standardized data management, AI-driven analytical modules, and interoperable service interfaces to optimize pathological workflows. Key workflow improvements include standardized specimen processing, intelligent diagnostic assistance, and platform-based service integration. Furthermore, the study explores prospective application scenarios for digital intelligence pathology platforms, spanning diagnostic services, multidisciplinary consultations, medical education, scientific research, and quality control. Strategic recommendations are provided to accelerate adoption: establishing policy-guided industry standards, diversifying funding channels, strengthening professional training, advancing technological innovation, and ensuring data security with privacy protection. These measures aim to expedite the integration of digital intelligence pathology into clinical practice and support the evolution of smart healthcare.

Keywords: digital intelligence pathology; pathological diagnosis; pathological foundation model; service pattern; pathology; pathology department

一、前言

病理诊断为临床医生提供精准诊断，其结果直接关系到临床医生的手术方案、治疗方案、预后判断、治疗效果等，被视为疾病诊断的“金标准”、精准医学的基础支撑[1]。深入开展健康中国行动、爱国卫生运动，加强健康、养老等民生科技研发及应用成为公共管理的重点任务；推动人工智能（AI）生成内容大模型绿色创新发展、以新一代信息技术为依托加快形成新质生产力、健全算力网服务生态体系[2]等“AI+”发展要素成为社会关注焦点。在此背景下，加快推进“AI+”行动并积极布局数智病理平台，是更好服务居民健康、实现智慧病理的必经之路[1,3,4]。

当前，我国加速推动医疗机构的数字化、智能化转型[3,5,6]，已有多个联合团队和机构启动了数智病理的研发与应用工作并取得了积极进展。例如，华为技术有限公司、上海交通大学医学院附属瑞金医院联合发布了瑞智病理大模型，为医生提供更精准、更高效的辅助诊断支持；腾讯 AI 实验室与多家医疗机构开展合作，研发病理图像识别和诊断辅助系统；阿里云计算有限公司联合多家医疗机构搭建了智能病理平台，以发挥云计算、大数据处理优势；中南大学湘雅医院联合湘江实验室、芙蓉实验室发布了国内首款融合电镜超微病理图像的湘江病理大模型，以智能化手段提升病理诊断的准确性及效率。数智病理平台的建设与应用，可实现相关数据的数字化存储与标准化处理[7]，为病理诊断提供坚实的数据基础[8]；优化病理诊断流程，提高病理图像的解读效率和相关诊断的准确性[9~11]；突破地理限制，使基层医疗机构能够及时获取专家级的病理分析和诊断服务，促进医学研究和医疗资源的均衡分配[1,12,13]。

客观研判，尽管数智病理技术取得进步并成为智慧医疗高质量发展的重要组成，但当前的数智病理平台建设与应用仍面临一系列挑战：病理数据多源异构，缺乏统一的采集标准和规范，需要确保数据的准确性、一致性、完整性才能支撑平台的高效运行[14]；数智病理平台建设和运维成本高昂，需要探索构建高效、平衡的营收模式才能回收成本并保持可持续性；在病理医生短缺的现状下，需要优化数智病理平台的资源配置才能切实提升基层医疗机构的病理诊断能力[1,12,13]。这些问题直接影响数智病理平台的推广应用，也将间接影响病理学科的智慧化发展进程。

在此背景下，深入探讨数智病理平台的建设与应用课题，兼具学术研究与实践应用价值。本文在辨析数字病理概念的基础上，系统梳理数智病理的应用进展与面临挑战，构建基于病理大模型的数智病理平台，形成多模态数智病理平台服务模式；针对性提出数智病理的发展建议，推动病理学科数字化和智慧化升级，拓展智慧病理中国方案。

二、数智病理的相关概念

早在19世纪中叶，德国病理学家利用显微镜研究人体病变器官和组织，发现了组织、细胞的形态变化，认为细胞的变化及其功能障碍是一切疾病的基础，由此提出细胞病理学理论，开启了病理学科的发展[1]。病理学发展阶段主要分为传统病理、数字病理、智慧病理3个阶段，涉及的相关概念概要讨论如下。

（一）病理学

病理学是研究疾病的病因、发病机制、形态结构、病理变化、结局与转归、功能与代谢异常的医

学基础学科[15,16]，通过对疾病过程的观察和分析，揭示疾病的发生和发展规律并阐明本质。病理学不仅包括传统的组织病理、细胞病理，还涵盖免疫病理、分子病理、时空病理等新兴方向，成为连接基础医学、临床医学的“桥梁”[15,17]。在深入理解疾病机制的基础上，病理学对医学教育、科研、精准医疗的发展起到了关键的推动作用，成为提升医疗质量和患者满意度的核心学科之一。

（二）病理科

病理科是医院的平台服务型科室之一，向各个临床部门提供关键的诊断依据和科学研究资料。病理科的主要工作是接收通过各种方式（如手术摘除、内镜检查、细针吸取等）得到的人体组织或细胞样本，进行必要的处理与观察，在分析样本的基础上识别疾病的起源和进展。病理科在临床诊断中发挥着重要作用，为医学教育和科研积累了大量资源，为医学生和研究人员的科学探索提供了宝贵的素材与数据[12]。

（三）病理诊断

病理诊断作为疾病诊断的重要依托，在医疗领域具有举足轻重的地位[1,15]；通过手术切除、内镜活检、细针穿刺等方式获取人体组织或细胞，再借助显微镜等工具对样本进行一系列的处理和观察，研究疾病病因、发病机制、形态结构、功能、代谢等方面的改变，揭示疾病的发生和发展规律，从而阐明疾病的本质[9]。病理诊断为临床医生提供疾病本质的科学依据，是制定治疗方案、评估预后、指导临床决策的关键步骤，尤其是在肿瘤诊断和治疗中发挥着不可替代的作用。

（四）数智病理

数智病理是病理学与现代数智技术深度融合的创新领域[18]，以数字成像技术为基础，实现病理样本的数字化采集与存储，便捷开展病理图像的传输、分析与共享[19]。数智病理借助AI技术[7,20]、大模型技术[8,10]，对数以万计的多模态病理数据进行深度学习[21~23]，挖掘其中蕴藏的常规和未知病理特征及模式；同步进行模型的迭代，推动模型进化出新的预测功能[11,24]，辅助病理医生作出更精准、更高效的诊断[9,16]；推动病理科实现全模块（数字化、智慧化升级）、全片量（全亚专科、全量级覆盖）、全流程（贯穿整个工作流程）、全生态（医院内 / 外联通）的变革，进入病理诊断与研究的新发展阶段[15,25,26]。

三、数智病理应用需求与建设挑战

（一）数智病理应用需求

1. 临床样本量大

临床样本量大，病理科处于常态化的超负荷运转[1]。医疗行业数据显示，2023年我国每百张病床仅配备有0.52个病理医生，12个省份的相关指标不足全国最低要求的50%。在全国范围内，病理医生工作量繁重，如三级医院的平均标本量为2×10^4~2.5×10^4例 / 年，说明每位病理医生的工作量>3500个标本 / 年。作为对照，美国的病理医生人均工作量仅为154例 / 年。我国医院病理科的工作负荷率接近80%，明显超过其他科室的平均水平（50%~60%）。

2. 病理医生数量不足

病理医生培养周期长且难度高，整体缺口较大[15]。按照医疗行业测算，当前病理医生的需求量超过10万人。然而，病理医生的培养周期普遍较长，一般需要5年左右的本科教育，3~7年的研究生教育，毕业后还需进行3年的住院医师培训，在此基础上成为经验丰富的病理医生还需要5~10年。此外，病理医生的培养难度较高，要求具有扎实的医学知识和丰富的实践经验。与需求背离的是，病理科在医院被归为“辅助科室”，病理医生得到的重视程度较低，抑制了医学生选择成为病理医生的意愿，加剧了病理医生的短缺状况。

3. 资源分布不均

病理资源分布处于严重不均状态，制约着临床分诊改革[1]。在医院层面，病理医生配置呈现向三级医院高度集中的态势，仅有不足1%的病理医生分配在一级医院；基层医院难以开展精准诊疗，只能引导患者转向高层级医院，加剧了医疗资源紧张的局面。在区域分布层面，病理学的优势研究力量集中在华东、华中、华南等经济发达地区，导致全国各地区的医疗服务水平落差明显，偏远地区的患者难以享受到优质病理诊断服务，不利于医疗服务的均衡发展。

4. 自动化程度低

病理科业务的自动化程度偏低，严重制约发展

水平[15]。与检验科、影像科相比，病理科的自动化设备应用较少，诊断流程更多依赖人工操作，导致单个患者案例的诊断时间偏长；数字化进程推进迟缓，多数仍采用传统的人工诊断模式，主要依靠“显微镜+病理组织切片”进行判断。这种业务现状不仅效率低下，而且易受人为因素影响而降低诊断的准确性。偏低的自动化程度进一步加剧了病理科“人才成长慢 – 科室发展难 – 人才招不到”的不利局面，使基层医院的病理科难以突破“手工作坊式”的业务困境，整体服务能力及质量难以提升。

（二）数智病理建设面临的挑战

1. 政策导向不明、行业标准未统一

数智病理领域面临政策导向模糊、行业标准缺失的双重困境[6,18,27]，模型落地应用面临政策限制、传统思维模式限制的双重障碍。在政策层面，数字病理切片的替代规则、存储规范尚不明确，医院在全面推进数智病理平台建设上难以抉择；智慧病理发展缺乏优先政策扶持和驱动，医院开展建设的热情不高。行业内尚无统一标准，导致数据格式、传输协议等类型繁多，不同系统之间兼容性不佳，信息无法畅通与整合[20]，也就限制了数智病理技术的普及应用和创新发展。

2. 建设成本较高、营收机制尚未明晰

数智病理平台建设成本较高，在投入产出方面面临直接挑战[18]。一方面，相关建设涵盖存储条件建设、扫描仪购置、网络搭建等方面的成本，而智慧诊断模型因病种多样而致构建过程复杂（目前模型泛化存在一定难度，每个病种均需独立建模），1 套完整的系统需投资约 1000 万元、耗时 1~2 年，对于医院而言是资金需求大、回报周期长的前沿建设项目。另一方面，现行医保政策中数智病理应用相关的营收机制缺失，在临床诊疗过程中医院无法对数字病理切片合理收费，其应用价值仅体现于科研支撑，而经济收益难以直接获取。较高的建设投入与偏低的经济回报共存，使医院对于数智病理平台建设的意愿低迷，不利于数智病理在医疗领域的推广应用与演进升级。

3. 病理切片全流程的质量控制难以数字化

病理切片全流程需要实施质量控制，而相关的数字化进程存在多重困难[1,26,28]。对于从标本送检到归档的一系列复杂环节，准确且标准化的操作流程决定了病理诊断结果的质量和可靠性，但各个环节实现数字化质量控制难度较高，目前仍缺乏有效的数字化监控技术手段，难以实时追踪和精准把控质量[23]。数据采集和整合同样面临困难，难以全面准确地记录每个步骤中的关键信息。不同系列的设备及系统之间数据兼容性差，导致关键信息难以连贯，遑论统一分析，严重影响病理切片全流程质量控制的数字化实现，构成病理诊断质量及效率提升的直接制约。

4. 数据安全和算法能力有待提升

数智病理平台在数据安全和算法能力方面存在明显的不足[4,18,26]。不同平台的软硬件适配性不佳，医院内 / 外数据连通不畅，海量的患者数据难以进行有机整合，不利于相关数据的高效利用与深入挖掘。类似数据的存储和信息安全风险长期存在，医院需要持续投入信息化资源予以防护。病理诊断包含多种类型且病种复杂，当前的病理算法在准确性、泛化性上能力欠缺，尤其是细分亚型诊断所需的大量数据训练难以在短期内完成[16,29]，致使临床应用受限[8]，阻碍了相关技术的演进升级[30]。

四、数智病理平台构建与流程优化

（一）数智病理平台的系统架构

在构建数智病理平台过程中，系统架构是实现平台高效运行并充分发挥预期功能的关键支撑。科学设计数据中台、算法中台、服务中台等方案，提供病理数据的高效管理、智能诊断的精准分析、综合服务的全面支撑等能力。数据中台用于解决与数据相关的问题，算法中台聚焦算法能力增强，服务中台着重优化服务体验；三方面精准适配并密切协同，推动数智病理平台的精准化、智能化、一体化发展（见图 1）。

1. 数据中台

在数智病理平台的系统架构中，数据中台处于基础性、核心性地位，是算法中台、服务中台、后续应用示范得以顺利开展的依托。数智病理能力构建依赖海量、真实、多模态的病理数据来训练算法，然而相关数据来源繁杂，数据的质量问题显著影响 AI 算法的准确性和普适性。同时，临床病理诊断任务复杂多样，不同病种对 AI 模型的能力要求存在差异性。为此，本研究团队优先构建 4 类主

图1　基于病理大模型的数智病理平台系统架构

注：APP表示应用程序；Web表示网页。

要肿瘤类型的病理数据联盟链和知识图谱，建立了对应的数据中台，实现病理样本的数字化、标准化，兼顾病理数据的安全处置。全面采集并整合相关病理数据，建立联盟链，保障病理数据的数字化存储与安全使用。利用数据清洗和加工手段，构建标记系统，提高病理数据的标准化水平。建立数据服务可视化功能，形成大数据资源池，实现病理数据的服务化供给，由此解决病理数据的数字化程度不足、多源异构、集成度偏低等问题，更好挖掘数据的潜在价值。

收集4类主要肿瘤的多模态数据，涉及临床、医学影像、组学、病理等层次，包含多样的数据类型，据此构建全量信息病理诊断库；运用AI算法与人工审核相结合的方式进行深入剖析和挖掘，持续拓展实体与关系，构建出结构化的知识模型，即病理知识图谱，为整个数智病理体系筑牢数据基础。该图谱可为医生提供详尽精准的肿瘤诊断信息，支持医生制定科学合理的治疗方案，也能为患者提供个性化、精准化的医疗服务，助力患者更好地开展自身健康管理。

2. 算法中台

在数智病理平台的系统架构中，算法中台起到“智慧引擎”作用，为精准诊断提供核心支撑，主要涉及标准化制片、数字化处理、高效的算法模型训练等要素。AI算法的能力是智慧病理发展的关键基础，当前的病理AI算法仍待进一步提升。需要海量、真实、多模态的病理数据，才能支持算法优化和精准度提升，更好契合数智病理与临床应用标准。为此，本研究团队依托病理基础大模型以及数据中台的数据支撑，融合多种先进技术构建了肿瘤数智病理AI算法体系、预训练+微调医疗大模型，构成了AI生成内容算法中台。

整合通用与前沿算法体系，构建病理诊断算法资源池。应用数据中台的数据调用能力，自动引入标注或未标注的数据，测试模型和算法在不同病种及亚型诊断中的表现，筛选出优化组合并进行持续提升，实现病理诊断的智能化与集成化，破解算法性能参差不齐、集成度偏低的难题，为算法中台筑牢应用基础。基于病理基础大模型，与肿瘤病理数据库、知识图谱相结合，重点优化并训练AI算法，提升诊断效率及准确性，支持诊断流程调整，提供智能化诊断能力。将病理知识图谱融入预训练+微调病理基础大模型，构建肿瘤病理大模型；肿瘤病理大模型与病理知识图谱协同应用，进一步增强诊断效能与可解释性。基于病理大模型赋能虚拟数字人、服务中台，降低医疗成本、减少资源浪费，为患者提供更精准、个性化的医疗服务，推动数智病理技术的临床深度应用。

3. 服务中台

在数智病理平台的系统架构中，服务中台发挥着整合资源、优化服务体验的关键作用，成为将数据中台、算法中台与用户连接的“桥梁”。融合应用元宇宙相关技术，能够提供沉浸式虚拟体验，在病理诊断、会诊、教学、科研、质量控制等场景引发变革，以解决传统服务模式的诸多难题。为此，本研究团队构建了虚实交互、人机交互的服务中台，创建虚实交互空间、虚拟数字人并集成至统一平台，拓宽了病理服务场景。服务中台基于数据中台、算法中台提供的数据和算法支撑，采用微服务技术架构，对业务功能进行高内聚、低耦合的模块化拆分；支持开展病理服务的快速迭代与持续交付，灵活拓展病理诊断、会诊、教学、科研、质量控制等方面的功能，避免重复建设并改善现有病理平台的应用能力，推动病理服务的统一化与平台化。

应用数字孪生、物联网等元宇宙技术，构建了虚拟病理科实验室，全面呈现设备能力与实施流程，结合专业设备实现虚实交互功能，支持医学生、年轻医生进行病理学习和病理诊断实训操作。搭建虚拟教室和会诊室，配置相应设备，提供沉浸式体验，破解线上教学、远程会诊中存在的问题。构建基于 AI 生成内容的多模态虚拟数字人，与病理大模型协同作用，融入医学虚拟人体模型、数字员工、虚拟偶像等角色特性，促进深入理解疾病机制和治疗方法，辅助医生开展病理诊断、教学、科普等工作。

（二）基于数智病理平台的病理科工作流程优化

优化病理科工作流程是数智病理平台应用的核心任务。在从标本送检到归档的全流程中，标准化制片、数字化处理、算法模型训练等环节尤为关键。优化病理样本标准化、病理诊断智能化、病理服务平台化等流程，推动病理诊断从传统模式向智慧模式转型升级，更好保障临床诊疗与患者需求（见图2）。

1. 病理样本标准化流程优化

优化病理样本标准化流程是构建数智病理平台的关键环节。① 运用病理全视野数字切片扫描仪进行样本数字化处理；统一数据接口与标准，制定数据命名规范，适配不同品牌和型号扫描仪的接口协议，整合各类扫描仪产生的数字化数据，便于高效管理和共享；制定完善的数据管理流程，充分保障数据质量，为后续病理分析打牢基础。② 应用病理数据标记系统，对数字化样本进行精准标注，分类存储数字化、标准化后的标注 / 未标注病理数据，构建医院病理科本地病理数据库。③ 以医院病理科的本地数据库为节点，在确保数据脱敏且不出域的前提下，构建病理数据联盟链，集成公开数据集，遴选合适的共识算法与节点类型，搭建多节点网络；制定数据交换协议，强化安全保障措施，建立用户认证系统，确保数据安全和有序共享，形成病

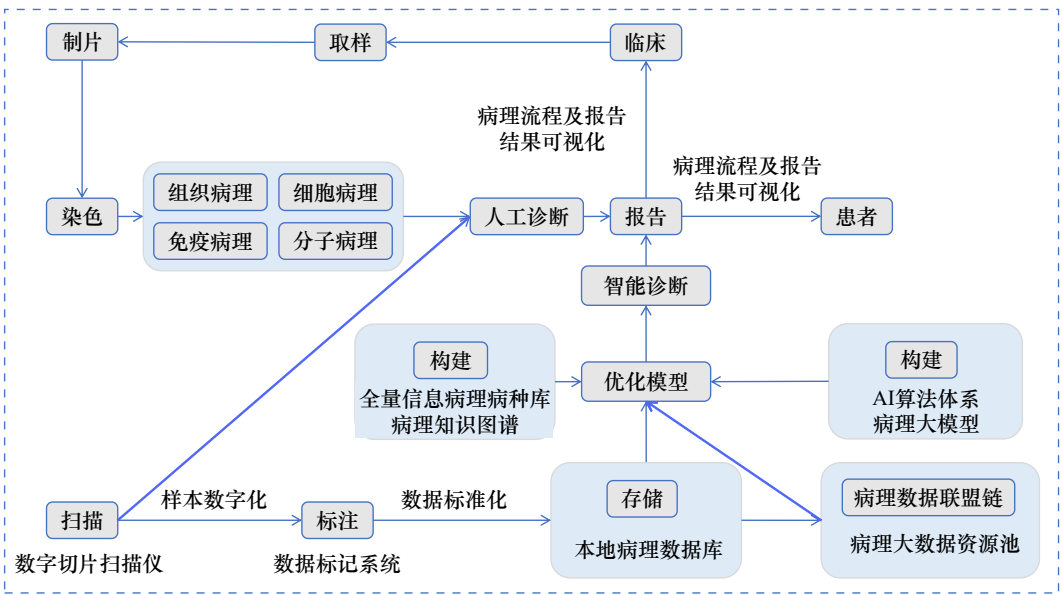

图2　病理样本全流程示意图

理大数据资源池，为智能诊断筑牢数据基础。

2. 病理诊断智能化流程优化

优化病理诊断智能化流程，支持提升病理诊断的准确性和效率。① 构建涵盖全量信息的病理诊断病种库，以此为基础建立病理知识图谱，明确疾病、组织、细胞等实体以及病因、病理生理、病理变化等的关系；运用网络本体语言定义本体描述实体关系，经由资源描述框架构建知识图谱，通过辅助诊断、发病机制来验证知识图谱的准确性与完整性。② 在建立AI算法体系时，依托病理大模型并集成病理领域的通用和前沿算法。根据病理图像分析任务确定所需数据集，遴选AI算法和大模型能力，组合或运用集成学习方法、调整参数、优化损失函数、正则化等措施来提升算法性能，以交叉验证并评估模型泛化能力。③ 基于病理大数据资源池进行数据自动调度，采用优化算法实现智能诊断，由病理医生确认结果并形成报告，完成智能化诊断流程。

3. 病理服务平台化流程优化

优化病理服务平台化流程，提升病理服务的透明度、便捷性和患者体验。① 病理流程管理系统处于核心位置，具有良好的可视化和虚拟化功能，将病理流程及报告结果以直观形式呈现给临床医生和患者。关键性的病理流程节点可按需开放，按照虚拟呈现方式供相关方清晰了解，将病理诊断结果进行可视化展示，打破信息不对称局面。② 传统的病理流程仅对内可见，而优化后的病理服务平台化流程可使相关方实时掌握病理诊断动态并减少等待过程，也辅助临床医生及时获取病理信息并优化诊疗方案。③ 优化后的病理服务平台化流程直接提升患者就医体验和医疗服务效率，也可促进病理科与临床科室的协同，推动医疗服务更为精准、高效、人性化。

五、数智病理平台服务模式

发展基于病理大模型的多模态数智病理平台及服务模式，构建全面、高效、用户友好的病理服务生态系统，为各类用户提供个性化入口，实现功能精准对接。数智病理平台在中南大学湘雅系医院开展应用试点，经拓展后涵盖病理诊断、会诊、教学、科研、质量控制等应用场景。以线上、线下一体，全流程、全链条、全过程数智病理的发展方式，支撑相应研究成果的产业化，形成契合国情的智慧病理整体解决方案，提升我国病理学科智慧化发展水平（见图3）。

（一）病理诊断

数智病理平台支持推动病理诊断变革，对患者和医生具有重要意义。结合数字成像与AI技术，采用高分辨率扫描仪将病理切片转为数字图像，简便存储、传输与分析。AI算法支持快速解读病理图像，提高诊断准确性及效率，显著缩短病理结果等待时间。数智病理平台支持诊断流程优化，患者的病理数据将得到更高水平的管理与运用，如医生借助平台可更精准诊断并制定合理

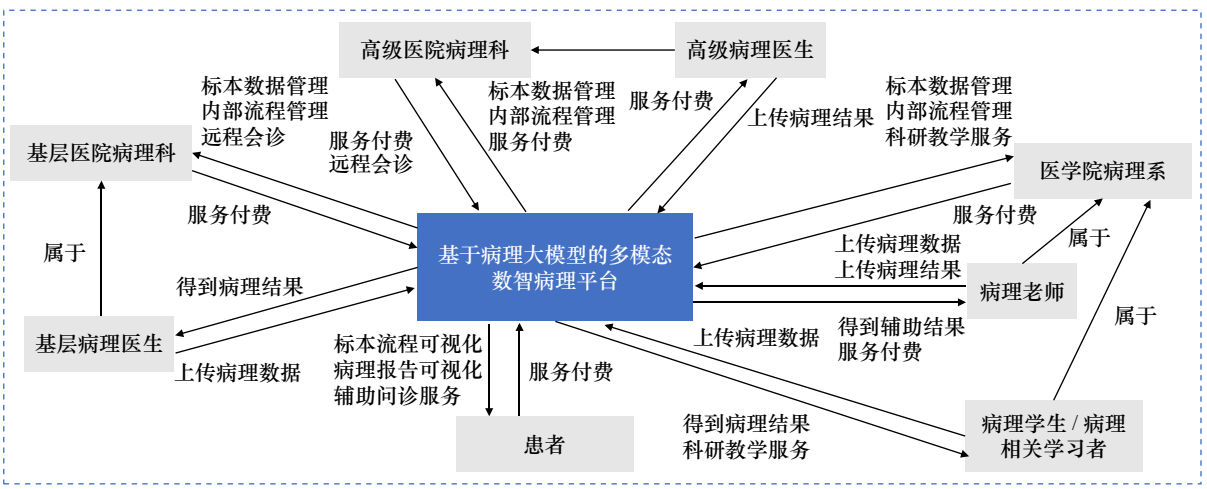

图3　基于病理大模型的多模态数智病理平台服务逻辑

的治疗方案，病理教育资源得以高水平共享，直接提升医生专业水平，也使患者间接受益。未来，数智病理平台将深入挖掘病理数据，广泛拓展临床应用，向患者提供个性化且精准的医疗服务，使远程病理服务更为普及，患者在居住地就能获得专家诊断结果。

（二）病理会诊

数智病理平台提供的远程会诊功能，为患者、基层医疗机构带来便利和益处。在高速网络、先进扫描技术的支持下，病理切片数字图像可快速传递至专家处进行即时的分析诊断，使患者在居住地即可获得高水平的医疗服务。在元宇宙技术构建的虚拟环境下，医生可面对面交流讨论，专家能在虚拟空间中标注图像、分享观点，提升病理诊断效率，助力病理医生专业成长。远程会诊系统在优化医疗资源配置、降低医疗系统成本方面具有积极意义，可为基层医院提供大量的学习机会，实质性促进医疗资源均衡。未来，数智病理平台将更为智能化、个性化，向患者提供更优质的医疗服务。

（三）病理教学

数智病理平台支持病理教学变革，为学生和教师提供显著便利。学生可随时在计算机上观察数字切片图像，突破时间和空间束缚，便于教学资源的最大化利用。数智病理平台集成的AI算法和大模型，助力学生理解复杂变化、激发学习兴趣、增强实践能力。数智病理平台提供的虚拟仿真实验、案例分析等，支持学生在安全环境中模拟诊断，提前熟悉临床流程。教师可创建虚拟病理实验室，开展远程教学与互动讨论，便于师生实时交流探讨，获得沉浸式学习体验。未来，数智病理平台将在病理学人才培养方面发挥关键作用，全面提高学生掌握病理诊断知识与技术的能力及速度。

（四）病理科研

数智病理平台集成海量的病理数据资源，为病理科研提供直接助力。借助AI技术，科研人员可深入学习感兴趣的病理图像，提高精准识别和分类病变组织的能力，加快病理机理研究、疾病模型构建的进程。数智病理平台支持多中心、跨区域的协同研究，可打破地域限制、促进数据共享与资源整合，驱动相关科研工作形成网络；在提高病理样本处理效率和分析准确性方面具有良好表现，为相关科研提供充分的数据支持。未来，数智病理平台将拓展数据维度，引入更多先进算法，为科研人员提供全面深入的研究工具，支持病理学科的创新发展。

（五）病理质量控制

数智病理平台的病理质量控制能力至关重要，事关各级医疗机构的认可度和病理行业的发展高度。依托数智病理平台，可开展病理切片全流程的数字化监控，对标本采集、制片、染色、诊断报告的全流程进行精准质量把控；通过平台集成的算法和模型，自动识别切片中的异常情况（如组织处理不当、染色不均等）并及时发出预警；基于平台内建的质量评估模型，定期生成质量控制报告，向病理医生提供诊断准确性方面的参考指标，支持发现潜在的诊断偏差。未来，数智病理平台将支持不同医疗机构之间共享和交流病理质量控制数据，在保障患者获得更可靠、更精准病理服务的同时，促进病理行业的规范化发展。

六、数智病理发展建议

（一）明确政策导向，建立统一的行业标准

为了促进数智病理平台的健康发展和广泛应用，建议尽快明确数字病理切片的法律地位，规定在医疗诊断中的有效性以及替代传统切片的条件。制定病理数据的采集、存储、传输、共享方面的标准规范，如统一的数据格式、加密传输协议、数据访问权限设置，确保数据的安全性和互通性。建立病理数据质量控制体系，对病理切片的数字化过程实施质量监督，确保数据的准确性和可靠性。推动建立病理诊断报告的电子化标准，包含报告内容、格式、电子签名等，有利于整合电子病历系统并共享医疗信息。制定数智病理设备的技术标准和认证体系，确保设备的兼容性和性能符合医疗行业要求，筑牢数智病理平台推广应用的基础条件。

（二）降低建设成本，探索多元化的资金渠道

合理降低数智病理平台的建设成本，缓解医疗

机构的投资压力，有利于促进新技术装备的广泛应用，提高医疗服务的质量和效率。建议将数智病理平台建设纳入专项财政补贴范围，对医疗机构采购的关键数智病理设备给予一定比例的直接补贴，降低医疗机构的初期投入成本；向数智病理平台研发企业提供税收优惠政策，如研发费用按照适当比例进行税前加计扣除，激励企业扩大研发投入；行业管理部门牵头设立数智病理发展基金，采用公私合作模式，吸引社会资本参与，共担发展风险和收益，加速数智病理平台的部署应用。对积极参与数智病理平台建设的医疗机构，可考虑减免相关行政事业性收费，进一步减轻经济负担。鼓励金融机构为数智病理平台建设提供低息贷款，保障医疗机构和研发企业在设备更新、技术攻关方面的资金需求。

（三）壮大人才队伍，提高全行业的专业技术水平

数智病理平台兼有传统医疗和新兴信息技术，发展和应用存在挑战性，需要全面提升病理医生的专业技术能力，培育和留住优秀人才，提高病理行业的整体专业水平。尽快建立全国性的病理医生继续教育平台，提供定期的线上和线下培训课程，突出数智病理技术、科研成果、诊断标准等前沿内容。研究和推出病理医生专业技能认证项目，通过认证的医生可在职称晋升、薪酬分配上获得权益。积极实施病理学科人才引进计划，为学成归国、跨国流动的病理医生提供研究经费、税收减免、生活保障等方面的支持。鼓励医疗机构与高校、企业开展深入合作，为病理学专业的学生、年轻医生提供实习和工作机会，更好地规划个人的职业发展路径。设立病理诊断创新奖励基金，对病理诊断方向上做出创新业绩的医生群体、研究团队给予奖励，激发病理行业的创造性。

（四）推进技术革新，拓展病理服务能力

加强数智病理平台相关技术的发展，切实提升病理诊断的质量及效率，由此扩大服务范围、满足患者需求。建议行业管理部门建设区域性病理数据中心，开展病理数据的集中存储与应用，为AI、大数据分析提供数据要素基础。推广使用数智病理扫描设备，保障病理图像的基础质量和相关数据的准确性，为基层医疗机构提供高质量的病理诊断服务。鼓励开发和应用病理诊断专业软件，融合AI辅助诊断能力，提高病理诊断的准确率和效率。建立远程病理会诊网络，便捷连接各层级医疗机构，便于患者获得专家的远程诊断和咨询服务。支持病理诊断领域的技术创新，为病理研究项目提供必要的资金支持，提高新技术的成熟度并促进转化应用。

（五）加强数据安全，防止患者隐私泄露

提升病理数据的安全性、保护患者的隐私权益，是数智病理平台推广应用的“红线”要求。在部署数智病理平台的医疗机构建立数据安全管理团队，制定本单位的数据保护策略，管控自有业务中病理数据的收集、存储、处理、传输全流程；定期实施数据安全培训，确保接触病理数据的人员明晰数据保护的重要性和操作规范。采用端到端加密技术，确保病理数据的传输安全性，对存储的病理数据进行必要的加密处理，防止不当泄露；建立严格的数据访问控制机制，实行最小权限原则，确保只有授权人员才能访问敏感数据。定期进行数据安全审计，评估潜在的安全风险，及时采取整改措施；在发生数据泄露后，迅速启动应急预案，公开公正地进行处理和善后。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: November 19, 2024; **Revised date:** February 12, 2025

Corresponding author: Wang Junpu is an associate professor from the Xiangya Hospital / Xiangya School of Basic Medical Science of Central South University. His major research fields include pathology and digital intelligence pathology. E-mail: wang-jp2013@csu.edu.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on Global Future Industrial Development Trend and Hunan Future Industrial Layout” (2024-DFZD-39); Xiangjiang Laboratory Project (23XJ01008, 23XJ03001)

参考文献

[1] 蛋壳研究院. 2023数字智慧病理行业研究报告 [R]. 重庆: 蛋壳研究院, 2023.
VCBeat Research. Research report on digital intelligence pathology industry (2023) [R]. Chongqing: VCBeat Research, 2023.

[2] 陈晓红, 许冠英, 徐雪松, 等. 我国算力服务体系构建及路径研究 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(6): 49–60.
Chen X H, Xu G Y, Xu X S, et al. Computing power service system of China and its development path [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(6): 49–60.

[3] 人工智能医疗器械创新合作平台, 中国信息通信研究院. 人工智能大模型赋能医疗健康产业白皮书(2023) [R]. 北京: 人工智能医疗器械创新合作平台, 中国信息通信研究院, 2023.
Artificial Intelligent Medical Device Innovation and Cooperation Platform, China Academy of Information and Communications Technology. White paper on empowering the healthcare industry with AI large languagemodels (2023) [R]. Beijing: Artificial Intelligent Medical Device Innovation and Cooperation Platform, China Academy of Information and Communications Technology, 2023.

[4] 陈晓红, 刘浏, 袁依格, 等. 医疗大模型技术及应用发展研究 [J]. 中国工程科学, 2024, 26(6): 77–88.
Chen X H, Liu L, Yuan Y G, et al. Technology and application development of medical foundation model [J]. Strategic Study of CAE, 2024, 26(6): 77–88.

[5] Moor M, Banerjee O, Abad Z S H, et al. Foundation models for generalist medical artificial intelligence [J]. Nature, 2023, 616(7956): 259–265.

[6] Singhal K, Azizi S, Tu T, et al. Large language models encode clinical knowledge [J]. Nature, 2023, 620(7972): 172–180.

[7] Greenwald N F, Miller G, Moen E, et al. Whole-cell segmentation of tissue images with human-level performance using large-scale data annotation and deep learning [J]. Nature Biotechnology, 2022, 40(4): 555–565.

[8] Huang Z, Bianchi F, Yuksekgonul M, et al. A visual-language foundation model for pathology image analysis using medical Twitter [J]. Nature Medicine, 2023, 29(9): 2307–2316.

[9] 余净纯, 郭明星, 韩靖, 等. 人工智能在病理诊断领域的进展 [J]. 分子影像学杂志, 2022, 45(5): 779–789.
Yu J C, Guo M X, Han J, et al. Progress of artificial intelligence in the field of pathological diagnosis [J]. Journal of Molecular Imaging, 2022, 45(5): 779–789.

[10] Xu H W, Usuyama N, Bagga J, et al. A whole-slide foundation model for digital pathology from real-world data [J]. Nature, 2024, 630(8015): 181–188.

[11] Wang X Y, Zhao J H, Marostica E, et al. A pathology foundation model for cancer diagnosis and prognosis prediction [J]. Nature, 2024, 634(8035): 970–978.

[12] 上海交通大学医学院附属瑞金医院. 数字化智慧病理科建设白皮书 [R]. 上海: 上海交通大学医学院附属瑞金医院, 2023.
Ruijin Hospital, School of Medcine of Shanghai Jiao Tong University. White paper being a digitalization and AI-driven pathology department 2023 [R]. Shanghai: Ruijin Hospital, School of Medcine of Shanghai Jiao Tong University, 2023.

[13] 步宏. 数字病理科和病理人工智能发展现状与展望 [J]. 临床与实验病理学杂志, 2023, 39(7): 769–771.
Bu H. Development status and prospect of digital pathology department and pathological artificial intelligence [J]. Chinese Journal of Clinical and Experimental Pathology, 2023, 39(7): 769–771.

[14] 杨善林, 丁帅, 顾东晓, 等. 医疗健康大数据驱动的知识发现与知识服务方法 [J]. 管理世界, 2022, 38(1): 219–229.
Yang S L, Ding S, Gu D X, et al. Healthcare big data driven knowledge discovery and knowledge service approach [J]. Journal of Management World, 2022, 38(1): 219–229.

[15] 李挺. 建设当代临床病理学科 [J]. 北京大学学报(医学版), 2023, 55(2): 197–200.
Li T. Construction of contemporary clinical pathology discipline [J]. Journal of Peking University (Health Sciences), 2023, 55(2): 197–200.

[16] 潘雅婷, 廖心怡, 于观贞. 人工智能在肿瘤病理诊断及临床决策中的展望 [J]. 第二军医大学学报, 2021, 42(10): 1168–1174.
Pan Y T, Liao X Y, Yu G Z. Artificial intelligence in tumor pathological diagnosis and clinical decision-making: The prospect [J]. Academic Journal of Second Military Medical University, 2021, 42(10): 1168–1174.

[17] 张卉, 李瑞玉, 梁智勇. 病理学向分子病理时代迈进 [J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(8): 1101–1106.
Zhang H, Li R Y, Liang Z Y. Molecular pathology: The new era of clinical pathology [J]. Scientia Sinica Vitae, 2021, 51(8): 1101–1106.

[18] 魏瑞璇, 庞剑, 李少冬. 国内数字病理发展现状与展望 [J]. 中国医疗管理科学, 2023, 13(6): 60–65.
Wei R X, Pang J, Li S D. Current development and prospect of digital pathology in China [J]. Chinese Journal of Medical Management Sciences, 2023, 13(6): 60–65.

[19] 姚建国, 叶楠, 余力. 数字病理流程中需要注意的一些技术问题 [J]. 临床与实验病理学杂志, 2024, 40(8): 802–806.
Yao J G, Ye N, Yu L. Some technical problems needing attention in digital pathology process [J]. Chinese Journal of Clinical and Experimental Pathology, 2024, 40(8): 802–806.

[20] Shmatko A, Ghaffari Laleh N, Gerstung M, et al. Artificial intelligence in histopathology: Enhancing cancer research and clinical oncology [J]. Nature Cancer, 2022, 3(9): 1026–1038.

[21] Wang W W, Zhao Y S, Teng L H, et al. Neuropathologist-level integrated classification of adult-type diffuse gliomas using deep learning from whole-slide pathological images [J]. Nature Communications, 2023, 14(1): 6359.

[22] Wu Z Q, Trevino A E, Wu E, et al. Graph deep learning for the characterization of tumour microenvironments from spatial protein profiles in tissue specimens [J]. Nature Biomedical Engineering, 2022, 6(12): 1435–1448.

[23] Yoon C, Park E, Misra S, et al. Deep learning-based virtual staining, segmentation, and classification in label-free photoacoustic histology of human specimens [J]. Light: Science & Applications, 2024, 13(1): 226.

[24] Nahhas O S M, Loeffler C M L, Carrero Z I, et al. Regression-based deep-learning predicts molecular biomarkers from pathology slides [J]. Nature Communications, 2024, 15: 1253.

[25] 姚建国. 数字病理临床应用现状及前景展望 [J]. 四川大学学报(医学版), 2021, 52(2): 156–161.
Yao J G. Digital pathology: Current status and prospects of clinical application [J]. Journal of Sichuan University (Medical Sciences), 2021, 52(2): 156–161.

[26] 平轶芳, 闫红, 卞修武. 人工智能病理在肿瘤精准医疗时代的应用与挑战 [J]. 生命科学, 2022, 34(8): 929–940.
Ping Y F, Yan H, Bian X W. Artificial intelligence pathology in the age of oncology precision medicine: Applications and challenges [J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2022, 34(8): 929–940.

[27] Montezuma D, Oliveira S P, Neto P C, et al. Annotating for artificial

intelligence applications in digital pathology: A practical guide for pathologists and researchers [J]. Modern Pathology, 2023, 36(4): 100086.

[28] 丁维龙, 刘津龙, 朱伟, 等. 基于深度学习的病理切片质量控制算法综述 [J]. 计算机科学, 2024, 51(10): 276–286.
Ding W L, Liu J L, Zhu W, et al. Review of quality control algorithms for pathological slides based on deep learning [J]. Computer Science, 2024, 51(10): 276–286.

[29] Lu M Y, Chen B W, Williamson D F K, et al. A visual-language foundation model for computational pathology [J]. Nature Medicine, 2024, 30(3): 863–874.

[30] Chen R J, Ding T, Lu M Y, et al. Towards a general-purpose foundation model for computational pathology [J]. Nature Medicine, 2024, 30(3): 850–862.