

DOI: 10.13376/j.cbils/2022108

文章编号: 1004-0374(2022)08-0974-09



阮梅花, 中国科学院上海营养与健康研究所上海生命科学信息中心研究员, 主持上海市科委软科学项目“上海脑科学技术预见研究”等4个项目, 参与国家科技部、自然科学基金委、中国科协、中科院等来源项目20多项, 近年来重点围绕慢病防控与健康促进、脑科学与类脑智能、RNA研究与健康领域开展战略情报研究, 为国家和区域相关科技发展和政策管理提供决策参考。

从战略规划与科技布局看国内外 人工智能医学应用的发展现状

袁天蔚¹, 薛淮², 杨靖³, 张英梅⁴, 熊燕¹, 阮梅花^{1*}

(1 中国科学院上海营养与健康研究所, 中国科学院上海生命科学信息中心, 上海 200031; 2 中国科学院学部工作局, 北京 100190; 3 复旦大学附属中山医院徐汇医院心内科, 上海互联网医院工程技术研究中心, 上海 200031; 4 复旦大学附属中山医院心内科, 上海市心血管病研究所, 上海 200032)

摘要: 人工智能技术适用于各类医学场景, 能够优化并提高医学研究和医疗服务效率。该文总结了美国、欧洲、日本、中国在人工智能医学应用方面的战略规划、科技项目和支撑平台, 结合论文和专利的产出情况, 比较主要国家在人工智能医学应用领域的发展现状。我国的人工智能医学应用论文和专利数量已经位列全球第一, 但尚未明确优先领域发展路径, 跨模态数据资源和学科交叉型人才未获得充分关注, 行业标准和监管体系有待进一步完善。为推动我国人工智能在医学应用中的发展, 建议优化健康与医学数据平台等医疗信息基础设施, 聚焦重点应用领域开展技术攻关, 培养学科交叉型人才, 加快相关标准体系建设。

关键词: 人工智能医学应用; 战略规划; 科技项目; 技术平台; 比较分析

中图分类号: R-33; TP18 文献标志码: A

Development status of artificial intelligence in medicine based on the strategic planning and scientific projects

YUAN Tian-Wei¹, XUE Huai², YANG Jing³, ZHANG Ying-Mei⁴, XIONG Yan¹, RUAN Mei-Hua^{1*}

(1 Shanghai Information Center for Life Sciences, Shanghai Institute of Nutrition and Health, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031, China; 2 Academic Divisions, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 3 Department of Cardiology, Shanghai Xuhui District Central Hospital and Zhongshan-Xuhui Hospital, Fudan University,

收稿日期: 2022-08-03

基金项目: 国家自然科学基金应急管理项目(L1824024); 国家自然科学基金(NFSC)-中国科学院(CAS)联合项目(XK2018SMC001)

*通信作者: E-mail: mhruan@sibs.ac.cn

Shanghai Internet Hospital Engineering Technology Research Center, Shanghai 200031, China;
4 Department of Cardiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai Institute of Cardiovascular Diseases,
Shanghai 200032, China)

Abstract: Artificial intelligence can optimize the efficiency and quality of research and services in various medical scenarios. This paper summarizes the strategic planning, scientific projects and supporting platforms of artificial intelligence in medicine in the United States, Europe, Japan and China. In combination with the output of research articles and patents, it compares the development status of artificial intelligence in medicine. In China, the number of research articles and patents of artificial intelligence in medicine has ranked first all over the world in 2021. However, the roadmaps of priority areas in China have not been clarified yet. Cross modal databases and interdisciplinary talents have not received sufficient attention. The industrial standards and regulatory systems need to be further improved. In order to promote the development of artificial intelligence in medicine in China, this paper makes the following suggestions: optimizing the health and medical information infrastructure, carrying out projects in priority areas, cultivating interdisciplinary talents in medicine and artificial intelligence, and accelerating the construction of relevant standard systems.

Key words: artificial intelligence in medicine; strategic planning; scientific projects; technological platforms; comparative analysis

人工智能 (artificial intelligence, AI) 具有优化学习和预测的能力, 适用于各类医学场景^[1-3]。近年来, 计算机视觉、自然语言处理、机器学习等人工智能技术已经广泛渗透到医学研究、临床诊疗、健康管理、药物和医疗机器人研发等应用场景中。全球超过 50 个国家已经发布国家级人工智能战略, 进行前瞻性的科学规划布局。医学应用是人工智能的主要发展方向之一^[4]。人工智能医学应用 (Artificial Intelligence in Medicine) 以智能为手段, 以医学为目的, 研发用于模拟、延伸和扩展医学领域的知识表示、获取及应用的理论、方法、技术及应用系统^[5]。《国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知》中提出了“发展智能医疗、智能健康和养老等便捷高效的智能服务, 加快人工智能创新应用, 为公众提供个性化、多元化、高品质服务”的重点任务。本文梳理了美国、欧盟及主要欧洲国家、日本和中国的战略规划和科技项目, 比较各国的基础设施和研发能力, 为促进我国人工智能医学应用领域发展提供参考建议。

1 从规划和项目看各国人工智能医学应用的重点布局方向

全球多个国家已经围绕人工智能提出国家级战略, 加大其在医学应用中的部署, 支持科技与产业创新, 推动数据共享和开放, 加强人才培养和储备, 完善标准和法规。

1.1 美国: 利用人工智能技术以促进智慧医疗的变革发展

人工智能技术在医学领域的优化和能力提升迅速获得美国政府的关注。美国国家科技委员会总统执行办公室在 2016 年发布的《为人工智能的未来做好准备》总结了若干应用案例, 包括: 基于人工智能技术提升医疗并发症的预测水平, 改善战争创伤治疗, 提高恢复速度, 降低治疗费用; 使用人工智能系统降低医院内感染率; 利用人工智能技术分析并挖掘电子病历数据, 在诊断过程中自动执行医疗决策等。国家科技委员会还总结了人工智能医学应用的发展目标, 包括: 支持生物信息学分析, 大规模识别遗传风险并进行基因组研究; 预测新药的有效性和安全性; 基于多维度数据研究公共卫生问题; 系统支持医疗诊断和处方治疗的决策; 制定个性化药物及治疗方案; 提高患者舒适度, 减少浪费等^[6]。美国在《国家人工智能研究和发展战略计划 (2020 年更新版)》中围绕人工智能的发展和应用提出若干任务, 包括: (1) 支持科学研究, 如医学图像解读等; (2) 加强人才培养, 如对医学生进行人工智能技能培训; (3) 开发有效的人机合作方法, 在医学诊断等领域开发补充或增强人类能力的系统; (4) 理解和应对人工智能的伦理、法律和社会问题; (5) 发展共享数据集, 创造利于人工智能算法训练和测试的环境^[7]。

在美国联邦机构资助的生命健康科研计划中, 人工智能发挥越来越大的作用。健康与人类服务部

下属“研究、创新、风险投资部”，通过公私合作伙伴关系，支持利用机器学习改善“行为、控制和治疗的早期预警”(Early Notification to Act, Control, and Treat, ENACT)的研究。美国国家科学基金会的“国家机器人计划”支持研发基于智能感知系统的机器人，实现患者的个性化护理和功能补偿，同时帮助医疗机构改善传染病监控与预防^[8-9]。美国国立卫生研究院(NIH)通过“数据科学战略计划”推进数据驱动的生物医学和医疗保健研究^[10]。NIH正在实施的“人类微生物组计划”“All of Us”计划、“通过推进创新神经技术进行大脑研究”(简称BRAIN计划)、“癌症登月计划”等大型科学计划，都利用人工智能和机器学习优化数据管理和分析过程，提高研究效率并加速成果转化。从项目关键词来看，美国联邦机构资助的人工智能医学应用项目主要涉及以下主题：(1) 癌症、消化系统疾病、血液疾病的诊疗和药物研发；(2) 老年疾病、神经退行性疾病、阿尔茨海默症、获得性认知障碍的机制研究；(3) 基于行为和社会医学的精神性疾病研究；(4) 儿科、患者安全、女性健康、少数群体健康、艾滋病等预防性公共卫生研究^[11]。

目前，人工智能产品在市场化过程中面临迭代速度快、算法可解释性差、对诊疗影响较大等挑战。为推动人工智能产品的市场化发展，美国食品药品监督管理局围绕“数字+医疗”的产品，探索相应的监管方案，在《基于人工智能/机器学习的医疗器械软件行动计划》^[12]中提出对人工智能独立软件进行全生命周期监管的思路与方法，与加州大学、斯坦福大学等高校合作研究，消除算法偏差、提高鲁棒性和弹性以减少临床数据变化对算法的影响，强化对人工智能产品的评价能力；与企业合作开展医疗器械的真实世界性能监测并收集数据，确定相应的管理模型和参数。

1.2 欧盟及欧洲国家：奠定数据基础和伦理监管标准

由于《通用数据保护条例》等法规的实施，欧洲地区对于数据的收集、处理、储存等过程进行严格的管理与监督，这也影响了欧盟委员会在人工智能领域的发展策略。欧盟委员会在《欧洲人工智能》报告中提出了3个发展方向：(1) 升级基础设施，促进人工智能训练数据集的获取；(2) 建设教育和培训系统，进行数字技能培训；(3) 建设合适的伦理和法律框架。欧盟委员会强调“以人为本”的发展理念，提出建立可信任人工智能的7大指导原则：人类监督；技术稳健性和安全性；隐私和数据管理；

透明度；多样性、无歧视、公平性；环境和社会福利；问责制。基于“可信赖人工智能评估列表”和“人工智能伦理指导原则”，欧盟委员会致力于创建关于人工智能伦理和应用的金标准，推动人工智能的规范化应用^[13]。欧洲各国在信息通信技术和数字化领域具有较强的研发基础，因此欧盟委员会建议快速发展颠覆性的电子健康技术，利用数字健康、移动医疗、远程医疗、基因组学等领域的研究进展来应对健康和护理的机遇和挑战。2018年，Health EU计划提出了“虚拟数字人”(Human Avatars)的概念，基于组学数据、医学和影像数据、环境和生活方式数据、生物传感数据等数据集，构建“人类化身”，制定个性化的预防和治疗策略，研发大数据分析、微/纳米系统、器官芯片等关键技术^[14]。在欧盟委员会正在实施的“未来新兴技术(FET)旗舰计划”中^[15]：LifeTime项目基于“人类细胞图谱”(Human Cell Atlas, HCA)，将人工智能与单细胞数据、先进成像、器官芯片、类器官等技术整合，动态跟踪疾病的分子变化过程，研究新型疗法；HumanE AI项目则强调“以人为本”，建立高效、全面、可解释的机器学习系统，并应用于动态、开放的真实世界环境，深入理解和解读人类及其周围环境数据，赋予人工智能系统自我学习和自我反思的能力。

欧洲各国的人工智能战略同样关注健康数据及伦理问题。英国《产业战略：人工智能领域行动》^[16]提出新建“数据伦理和创新中心”来领导英国乃至全球的人工智能伦理安全，确保以透明且符合公共利益的方式开发和使用人工智能技术^[17]，解决疾病检测、慢病管理、卫生服务和药物发现中因人工智能产生的健康偏见等问题。法国于2018年提出“AI for Humanity”战略，在健康、医疗护理等领域发展大数据、超级计算机等技术，重点关注人才储备、数据资源、伦理框架3大任务。《德国高技术战略2025》提出了抗击癌症和智能医学两大使命，持续关注患者福利、数据保护和数据安全等焦点问题，创建科学研究和医疗保健的数字网络。

1.3 日本：明确人工智能的医疗应用场景及发展路线

日本将人工智能视为一种服务形式，与不同数据融合并用于产业领域^[18]。人工智能是日本实现“超智能社会(Society 5.0)”的重要基础。健康医疗护理是日本人工智能的4个重点领域之一。日本《人工智能战略2019》提出构建人工智能所需的数据基础，在日本的优势医疗领域促进人工智能技术的开

发和应用,在预防和护理领域引进人工智能和物联网,形成世界最先进的医疗人工智能市场和医疗人工智能中心^[19]。日本已经在健康医疗护理领域绘制了具体的人工智能发展路线图:优先布局数据采集和预处理等基础环节,随后衍生应用于各类重点学科和医疗领域^[6]。厚生劳动省确定了6个人工智能医疗保健领域,包括较早推行的基因组医学、医学影像、诊断治疗、药物开发4个领域,以及2020年后推出的痴呆症长期护理、手术2个领域^[20]。此外,日本政府还通过跨部门的“战略创新促进项目”推动人工智能产业创新,重点开发医疗辅助机器人和数据挖掘技术,实现更程度的个性化医疗^[21]。

1.4 中国:通过产品创新和环境建设驱动人工智能医学应用的规范化发展

国务院分别于2017和2018年发布《新一代人工智能发展规划》和《关于促进“互联网+医疗健康”发展的意见》。前者作为我国人工智能领域的首个系统部署文件,提出应“推广人工智能治疗新模式新手段,建立快速精准的智能医疗体系”;后者强调“互联网+”的理念,要求研发基于人工智能的临床诊疗决策支持系统,并加强临床、科研数据整合共享和应用。工信部和药监局在《关于组织开展人工智能医疗器械创新任务揭榜工作的通知》中明确了智能产品和支撑环境2个方向,聚焦智能辅助诊断产品、智能辅助治疗产品、人工智能医学应用数据库等8类任务,通过集中攻关加速人工智能医疗器械的新技术和新产品落地应用^[22]。为了鼓励智能产品创新,国家标准化委员会、工信部、药监局等部委先后发布《国家新一代人工智能标准体系建设指南》《医疗装备产业发展规划(2021-2025年)》《人工智能医用软件产品分类界定指导原则》等政策文件,促进产品应用推广,完善标准体系。为了强化支撑环境建设,工信部已经组织在5G+医疗健康应用方面实施987个试点项目,具体包括5G+急诊救治、5G+远程诊断、5G+远程治疗、5G+远程重症监护、5G+中医诊疗、5G+医院管理、5G+智能疾控、5G+健康管理等主题^[23]。2018年以来,我国围绕医学应用领域人工智能发布多项政策,重点关注:满足医院的设备和管理需求,鼓励国产高端医疗设备的应用;着力构建大数据云端医疗数据库,加强医疗信息化基础建设;支持远程医疗和第三方检验中心建设,全面推进分级诊疗的落地;大力发展网络医学影像平台和高端影像设备,推进影像信息化等主题^[24]。

2 从支撑平台看各国人工智能医学应用的基础设施

生命健康相关数据是人工智能医学应用的基础要素。各国陆续搭建生命健康相关数据库,整合基因组学、蛋白质组学等数据,并在此基础上构建人工智能技术与应用平台,推动相关科学研究和产品开发。

2.1 美国:陆续建成较完备的数据资源与试点平台

美国在大数据方面布局较早,已经建成了较为完善的数据库,并根据人工智能的需求优化数据格式,推动人工智能在生命科学研究和医学领域的应用。NIH先后建成了Genotype-Tissue Expression Project^[25]、Genomic Data Commons^[26]、Trans-Omics for Precision Medicine Project^[27]、Short-Read Archive^[28]等数据库,并优化Biowulf超级计算机,支持计算化学、基因组学、医学影像等数十个生物医学领域的数据分析^[29]。为了弥补生物医学数据存在格式差异和内容缺失,NIH通过“人工智能桥梁”项目(Bridge2AI)建立了生成生物医学和行为学的旗舰数据集,开发软件和工具以支持跨数据库的研究工作^[30]。

近几年,美国大力支持人工智能医学应用平台的建设。这类平台将提供数据驱动的公用工具,吸引学术机构和研发企业的合作研发。为支持基于人工智能的实验和疗法研究,数字企业与研究机构依托美国联邦政府首席技术官办公室的“机会项目”建成一批基础设施平台,例如,飞利浦研究所的“试验资源管理器”、微软公司的Microsoft Healthcare Bot、美国能源部橡树岭国家实验室的大型知识图表ORNL SmartClinicalTrials、TrialX的iConnect平台、Flatiron Health公司的Flatiron Trials、AheadIntoFun公司的A.CCESS.io平台等。

2.2 欧盟及欧洲国家:全力建设基因组和健康数据资源

欧盟“地平线2020”重点关注基因组学和健康数据资源建设,成员国主持并运营若干泛欧数据平台,以改善健康数据的质量,提高数据传输和使用效率。由西班牙生物医学研究所协调的“多尺度复杂基因组”项目(Multi-Scale Complex Genomics, MuG)建设了“MuG虚拟研究环境(Virtual Research Environment, MuGVRE)”平台,基于云端技术为3D/4D基因组研究提供虚拟平台,便于研究人员在网站平台中存储、处理、分析数据,并进行可视化研究。意大利数据咨询公司Lynkeus牵头的My

Health My Data (MHMD) 项目使用区块链技术安全有效地存储和传输医疗数据, 并开发了可兼容的数据共享系统, 提供数据合集生成、使用和共享健康数据的创新方法, 促进医院、研究中心和企业之间的数据交易。2022年5月, 欧盟宣布启动欧盟首个特定领域的通用数据空间“欧洲健康数据空间”, 充分发挥公民与研究人员的数字管理能力, 允许公民上传、审阅、修改数据并设定数据开放权限, 允许成员国机构在获得许可的条件下收集、使用、分析健康数据^[31]。

为了促进欧洲医疗保健数字化转型, 欧盟及欧洲国家政府资助医疗机构和医药公司, 成立区域人工智能医学应用平台。法国信息管理公司 Thales 主持协调“地平线 2020”项目 AI4EU, 创建开放、可持续的 AI-On-Demand 平台, 按需提供先进的人工智能工具、组件、模块、知识、算法和案例, 促进欧洲人工智能生态系统内的合作。英国国家医疗服务体系建设了 5 个独立的区域人工智能医疗中心, 以期在 2030 年前改变慢病的预防、早期诊断和治疗模式: 伦敦中心和利兹中心聚焦医学影像与人工智能; 格拉斯哥中心关注人工智能数字诊断; 牛津中心旨在建立英国国家智能医学影像联盟; 考文垂中心专注于建设分析知识与教育的病毒学图像数据库^[32]。法国赛诺菲公司建成数字实验室 39BIS, 帮助赛诺菲及初创公司、学术机构、孵化器、大型企业等利益相关方利用电子医疗记录进行药物和疫苗研发、药物警戒、罕见病研究等活动^[33]。

2.3 日本: 持续建设智能医疗与健康管理系统

日本政府在 2018 年已建成医疗信息数据库网络 (MID-NET) 并发布第一份应用指南, 包含约 400 万急性住院患者的电子病历和医疗信息, 为新药与医疗器械的安全评估提供数据支持。通过 MID-NET 数据库, 管理机构能够基于真实世界数据, 在不依赖于医疗人员报告的情况下使用电子医疗信息直接评估和了解医疗产品的副作用, 提高药物安全和质量监控, 改进药物和医疗器械开发过程, 减少审批时间。日本国立信息研究所、日本医学研究发展局与日本胃肠内镜学会、日本病理学会、日本放射学会合作建设用于医学影像的人工智能研究和数据云平台, 其中日本胃肠内镜学会构建全国胃肠内镜诊断数据库与内镜图像的综合数据库, 设计高性能的云平台及相关分析方法; 日本病理学会负责开发病理学支持系统, 实现病理组织数字图像的自动收集; 日本放射学会计划建立全国图像诊断数据库

以协助诊断。

目前, 日本已经设立了若干跨机构的人工智能研究中心。日本理化学研究所创新智能集成研究中心于 2017 年投入运营, 招募公司、大学、研究机构优秀研究人员, 面向基础技术、优势领域、社会问题(老年健康等)、伦理法律、人才培养等进行项目研究, 强化特定领域的人工智能人才队伍建设。日本产业技术综合研究所成立的人工智能研究中心开发“嵌入现实世界的人工智能”, 将人工智能技术与服务行业、医疗和护理等应用联系起来, 推动特定领域的人工智能产业发展。

2.4 中国: 陆续建设相关研究单元与创新平台

近年来, 科技部等部委持续支持新一代人工智能开放创新平台建设, 聚焦人工智能重点细分领域, 吸引和支持研究机构和行业领军企业发挥引领示范作用, 整合技术资源、产业链资源和金融资源, 为持续提升人工智能核心研发能力和服务能力提供重要创新载体^[34]。上海交通大学、南开大学、苏州大学等高校和研究机构已经设有智能研究院。西安交大第二附属医院也于 2019 年 4 月建立了我国首家院内医学人工智能研究院。

一些科技企业也积极参与人工智能医学应用领域的研发。腾讯公司承担建设的医疗影像国家新一代人工智能开放创新平台是 2017 年科技部公布的 4 个首批国家人工智能开放创新平台之一。该平台拥有腾讯觅影等产品, 包含 6 个人工智能系统, 涉及食管癌、肺癌、糖尿病、宫颈癌和乳腺癌等疾病, 检测准确率超过 90%; 在肺结节方面, 觅影可以检测出 3 mm 及以上的微小结节, 检测准确率超过 95%。未来, 腾讯觅影还将与医学院和医疗机构合作, 助力更多病种检测。

3 从论文与专利看各国人工智能医学应用研发的成果产出

3.1 我国人工智能医学应用研究的论文和专利数量快速增长

在相关科技项目的支持下, 人工智能技术与医学应用快速融合。学术机构、企业单位、医疗机构, 乃至学术联盟都积极参与人工智能医学应用的基础研究和技术开发, 近 10 年的研究论文和专利申请数量呈现指数级增长趋势。我国在人工智能医学应用中的研发进步明显, 2021 年, 我国研究论文数量已经超越美国位列全球第一, 2015 年起, 我国的专利申请数量连续 6 年保持全球第一(图 1、图 2)。

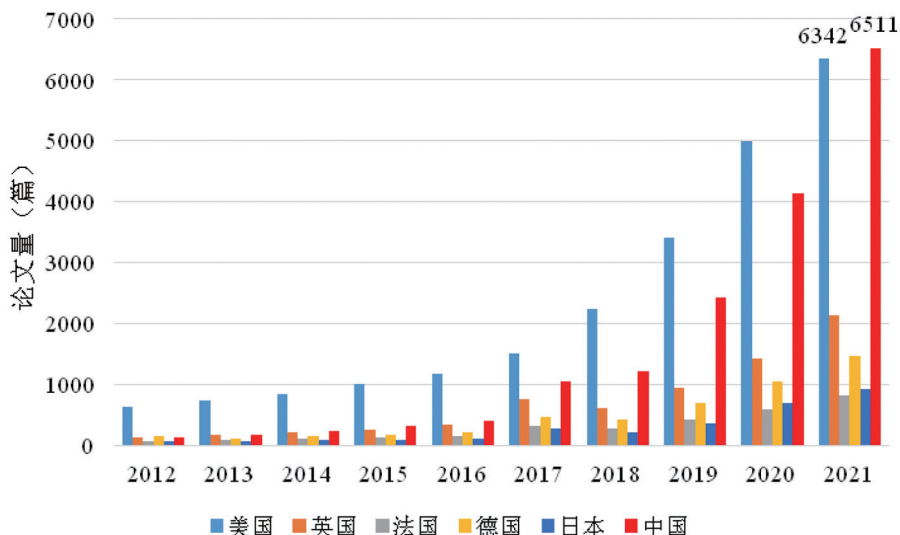


图1 2012—2021年美、英、法、德、日、中六国在人工智能医学应用领域的论文发表情况

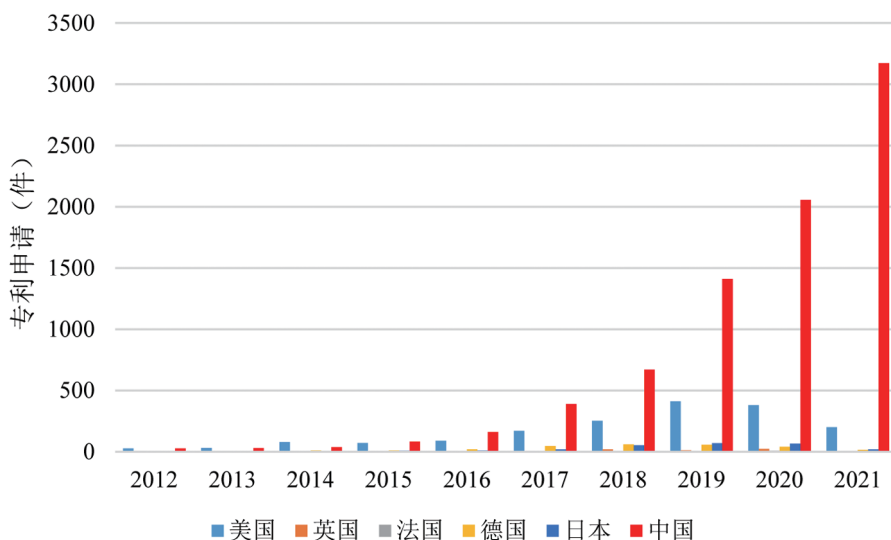


图2 2012—2021年美、英、法、德、日、中六国在人工智能医学应用领域的专利申请情况

表1 2012—2021年人工智能医学应用专利申请量前10的国内外机构

国际专利申请人	专利申请量(件)	中国专利申请人	专利申请量(件)
西门子公司	367	平安科技(深圳)有限公司	307
国际商业机器公司(IBM)	258	浙江大学	113
皇家飞利浦公司	230	电子科技大学	94
通用电气公司	120	腾讯科技(深圳)有限公司	84
加州大学系统	68	北京百度网讯科技有限公司	82
凯斯西储大学	64	上海联影医疗科技有限公司	68
谷歌公司	47	北京工业大学	63
NantOmics公司	43	复旦大学	63
HeartFlow公司	38	四川大学	57
斯坦福大学	34	清华大学	55

3.2 大型电子科技公司在人工智能医学应用领域的技术开发表现活跃

企业在人工智能医学应用的研究开发中发挥了重要作用。近10年来,专利申请数量较多的国际机构既包括西门子、国际商业机器公司(IBM)、飞利浦、通用电气、谷歌等大型电子科技公司,也包括精准疗法研发公司 NantOmics 和医学领域的独角兽公司 HeartFlow 等。平安科技、腾讯、百度、联想等国内企业也拥有较多专利,具备一定的技术开发实力(表1)。

基于对论文和专利数量较多的国内外高校和企业的研发重点的梳理,可以看到,医学图像识别和疾病诊断是国内外机构共同关注的重点;国外的一些机构更关注人工智能技术在疾病治疗和药物研发

中的作用,而国内机构的研发重点主要在疾病监测、健康管理系统的优化等方面(图3)。

4 各国人工智能医学应用领域的规划布局的比较分析及对我国人工智能医学应用的启示与建议

4.1 比较分析

通过对各国人工智能医学应用领域的规划布局和支撑平台总结比较(图4)可以看出,由于面临人口老龄化形势严峻、慢性疾病与传染病负担重、医疗资源短缺等共同问题,多数国家都试图通过人工智能与医疗融合的科技布局,进一步推进疾病诊断、药物研发、重大慢病治疗与管理、医疗机器人的发展。相比较而言,欧美国家在基础研究和技术开发

应用场景	预测监测	诊断	治疗	医疗流程改进	健康管理	药物研发	医学研究
技术路线	分子标志物识别	认知评估诊断				寻找适应症	基因检测
认知计算							
机器学习/计算	Heartflow公司 凯斯西储大学 平安科技	图像标注 特征提取	西门子 IBM公司 凯斯西储大学 Nantomics公司 Heartflow公司	复旦大学 清华大学	IBM公司 谷歌公司	IBM公司 Nantomics公司 Heartflow公司	IBM列分析 凯斯西储大学 Nantomics 斯坦福大学
图像识别	浙江大学 电子科技大学 北京工业大学	辅助影像分析 病理样本分析	平安科技 Heartflow公司 斯坦福大学 平安科技 复旦大学 清华大学			平安科技 浙江大学 电子科技大学 腾讯科技 复旦大学 四川大学 清华大学 北京工业大学 百度网讯	
语音交互/转写		谷歌 百度网讯 四川大学					
自然语言处理		相似病例搜索					浙江大学 腾讯科技 复旦大学
智能机器人		西门子设备	IBM公司人	病	复旦大学人	外骨骼机器人	

注:图中黑色字体为国外机构,紫色字体为国内机构。

图3 人工智能医学应用领域主要机构的技术研发重点分布(例举)

	美国	欧盟及欧洲国家	日本	中国
战略规划	<ul style="list-style-type: none"> 《美国国家人工智能研究和发展战略规划》:支持AI研究;加强人才培养;开发人机合作方法;应对AI的伦理、法律、社会问题;发展共享数据。 《为人工智能的未来做好准备》:生物信息学及基因组研究;新药有效性和安全性预测;多维度公共卫生研究;医疗诊断和处方决策;个性化治疗方案;提高患者舒适度。 《基于人工智能/机器学习的医疗器械软件行动计划》:对AI能独立软件进行全生命周期监管,消除算法偏差、提高鲁棒性和弹性。 	<ul style="list-style-type: none"> 《欧盟人工智能》:升级基础设施;建设教育培训系统;建设AI伦理和法律框架。 英国《产业战略:人工智能领域行动》:新建“数据伦理和创新中心”。 法国“AI for Humanity”战略:人才储备、数据资源、伦理框架3大任务。 《德国高技术战略2025》:关注患者福利、数据保护和数据安全等,创建数字网络以发展智能医学。 	<ul style="list-style-type: none"> 日本《人工智能战略2019》:构建AI所需的数据基础;在健康医疗护理的分支领域绘制发展路线图。 	<ul style="list-style-type: none"> 《新一代人工智能发展规划》:推广人工智能治疗新模式新手段,建立快速精准的智能医疗体系。 《关于促进“互联网+医疗健康”发展的意见》:研发基于AI的临床诊疗决策支持系统。 《国家新一代人工智能标准体系建设指南》:完善标准体系以支持AI医疗创新发展。
大型科技项目	<ul style="list-style-type: none"> AI医学项目:ENACT关注早期诊断;“国家机器人计划”关注个性化护理和传染病监控;“数据科学战略计划”关注数字驱动医学研究 涉及AI的生命健康项目:“人类微生物组计划”、“All of Us”计划、BRAINI计划、“癌症登月计划”等将人工智能技术应用作为重要组成部分 	<ul style="list-style-type: none"> Health EU的“人类形象”利用数字化技术细化人类特征;HumanE AI项目使用AI技术解析真实世界和环境数据 LifeTime项目等充分利用人工智能技术开发新型疗法 	<ul style="list-style-type: none"> 建设AI增强示范医院 	<ul style="list-style-type: none"> “人工智能医疗器械创新任务揭榜工作”等
支撑平台	<ul style="list-style-type: none"> 生命健康数据资源:the Genotype-Tissue Expression Project, the Genomic Data Commons等组学数据库 AI医学应用平台:美国首席技术官办公室的“机会项目”资助建成5个AI医学平台 	<ul style="list-style-type: none"> MuG虚拟研究环境、My Health My Data数据系统、欧洲健康数据空间等 	<ul style="list-style-type: none"> MID-NET电子病历数据库 	<ul style="list-style-type: none"> 西安交大第二附属医院医学人工智能研究院、腾讯医疗影像国家新一代人工智能开放创新平台等

图4 美、欧、日、中在人工智能医学应用方面的战略规划、科技项目、支撑平台(例举)

方面布局较多, 更强调人工智能技术与基础生物/医学的深度融合, 而日本、中国等更关注医疗应用、互联网医院/智能医院的建设。

美国以人工智能技术为核心, 全面布局了医学基础研究、人才培养、监管科学、数据库建设等, 改善和优化人工智能的医学研究和医疗应用; 通过将人工智能技术融入“人类微生物组计划”、BRAIN计划等健康/医学研究项目中, 提高生物医学研究的效率和质量。欧盟及欧洲国家关注人工智能技术应用导致的数据安全和伦理等问题, 通过建立伦理框架规范人工智能医学应用发展, 规避潜在风险, 以占据数字经济的前沿和领先地位。日本关注人工智能的具体医学应用场景, 强调在优势医学应用领域中研发并应用人工智能技术。

在平台建设方面, 欧美等国家/地区已经建立较为完善的医疗数据基础设施, 并开始基于现有数据资源开发应用工具和数据共享方案, 为人工智能技术和产品开发提供高质量的数据资源。日本基于电子医疗记录等构建了真实世界数据平台。此外, 各国相继建设的人工智能医学应用研究中心, 布局基础研究和应用研究, 正在推动技术创新和成果转化。

要真正实现人工智能技术赋能医疗应用, 提高医疗水平, 我国在前瞻布局、平台建设等方面还面临一些问题及挑战, 主要体现在以下几个方面: (1)《新一代人工智能发展规划》等整体战略部署基本完成, 产业面已有规划, 但我国在人工智能医学应用的优先和重点发展方向尚未明确具体的发展路径; (2) 相关数据基础设施建设不足, 尤其缺乏跨模态医疗数据平台, 医疗大数据的共享范围也比较有限; (3) 对医学与人工智能领域的跨学科人才培养重视不够, 学科交叉型人才缺乏; (4) 人工智能医疗应用领域的标准和监管体系有待进一步完善。

4.2 启示与建议

目前, 我国在人工智能医学应用领域有比较好的研发基础, 为进一步推动该领域发展, 充分利用我国在5G通信技术、医疗数据丰富等方面的优势, 并补足短板, 驱动智慧医疗新业态变革, 本文提出以下建议:

(1) 优化健康与医学数据平台等医疗信息基础设施

明确医学健康数据资源和技术平台的建设任务, 充分利用5G等先进的信息通信技术, 构建高标准的智慧医疗系统、远程医疗与互联网医学基础设施与平台, 提升健康/医疗数据的存储、传输速

度和医疗服务的效率。

充分发挥我国人口资源带来的健康/医疗数据优势, 在现有医院信息系统及癌症、心血管疾病等疾病数据平台的基础上, 整合生物医学研究的基因组学、蛋白质组学和代谢组学等组学数据, 来自可穿戴设备的行为数据, 以及电子医疗记录等医疗数据, 构建跨模态医学健康数据库, 提升数据质量; 同时简化数据管理和数据共享流程, 明确共享数据的范围, 保障数据的流通和互操作, 为人工智能技术的医学应用提供高质量的数据原料。

(2) 聚焦重点应用领域开展技术攻关

在现有战略规划与布局基础上, 进一步细化人工智能医学应用的发展路径, 实施相关重大项目, 通过医疗机构、人工智能技术研究机构和企业三方合作, 针对临床诊疗、健康管理和辅助决策、医疗机器人、药物研发等关键应用领域面临的问题, 开展核心、共性技术攻关研究, 并加强成果转化与应用。

(3) 培养学科交叉型人才

通过优化学科体系、继续教育培训、产学研项目合作等措施, 加强医学与人工智能交叉型人才培养。在医学生培养体系中增设人工智能相关课程, 或在人工智能相关专业体系中增设生物/医学课程, 强化学科交叉型人才的储备; 对医疗从业人员进行人工智能和数字化技术培训, 强化医疗人员的数据处理与分析技能; 鼓励开展人工智能医学应用产品的产学研合作项目, 在技术和产品开发实践过程中培养学科交叉和转化研究人才。

(4) 加快标准体系建设

加强人工智能医学应用所需的数据标准建设, 建立并完善医学数据收集、标识、分类、存储、训练、验证、应用、评价、共享和互操作的标准体系; 加强监管科学的研究投入, 针对人工智能医疗产品的特点, 明确相关产品、技术和服务的监管要求, 制定审批标准和指南, 并根据技术和行业发展程度及时更新相关标准和指南, 促进人工智能医学应用的可持续发展。

[参 考 文 献]

- [1] Hamet P, Tremblay J. Artificial intelligence in medicine. *Metabolism*, 2017, 69: S36-40
- [2] Noorbakhsh-Sabet N, Zand R, Zhang Y, et al. Artificial intelligence transforms the future of health care. *Am J Med*, 2019, 132: 795-801
- [3] He J, Baxter SL, Xu J, et al. The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Nat*

- Med, 2019, 25: 30-6
- [4] Holon IQ. Global AI strategy landscape[EB/OL]. [2020-2-20]. <https://www.holoniq.com/wp-content/uploads/2020/02/HolonIQ-2020-AI-Strategy-Landscape.pdf>
- [5] 刘荣. 智能医学的概念与应用. 中华医学杂志, 2018, 98: 3
- [6] 李莹莹, 张建楠, 顾宴菊, 等. 医药健康领域的国家人工智能战略发展规划比较研究. 中国工程科学, 2019, 21: 106-13
- [7] National Science and Technology Council. The National Artificial Intelligence Research And Development Strategic Plan[EB/OL]. [2020-11-20]. https://www.nitrd.gov/PUBS/national_ai_rd_strategic_plan.pdf
- [8] ASME.org. National Robotics Initiative 3.0. Focuses on Innovations in Integration of Robotics[EB/OL]. [2021-2-15]. <https://www.asme.org/government-relations/capitol-update/national-robotics-initiative-30-focuses-on-innovations-in-integration-of-robotics>
- [9] National Science Foundation. National Robotics Initiative 3.0: Innovations in Integration of Robotics (NRI-3.0)[EB/OL]. [2021-4-19]. https://www.nsf.gov/pubs/2021/nsf21559/nsf21559.htm?WT.mc_id=USNSF_25&WT.mc_ev=click
- [10] NIH STRATEGIC PLAN FOR DATA SCIENCE[EB/OL]. [2018-06-15]. https://datascience.nih.gov/sites/default/files/NIH_Strategic_Plan_for_Data_Science_Final_508.pdf
- [11] 严舒, 陈娟, 欧阳昭连. 基于NIH项目的美国医学人工智能发展态势分析. 中国医疗设备, 2019, 34: 101-5
- [12] Center for Devices & Radiological Health. Artificial Intelligence/Machine Learning (AI/ML)-Based Software as a Medical Device (SaMD) Action Plan[EB/OL]. [2021-1-12]. <https://www.fda.gov/media/145022/download>
- [13] High-Level Expert Group on Artificial Intelligence. Ethics Guidelines for Trustworthy AI[EB/OL]. [2019-4-8]. https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/196377/AI%20HLEG_Ethics%20Guidelines%20for%20Trustworthy%20AI.pdf
- [14] Health EU. Health EU Manifesto[EB/OL]. [2018-12-19]. https://www.health-eu.eu/resources/Manifesto_HealthEU_19Dec18.pdf
- [15] DIGIBYTE. Launch of six European initiatives with potential for transformational impact on society and the economy[EB/OL]. [2019-3-5]. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/launch-six-european-initiatives-potential-transformational-impact-society-and-economy>
- [16] Thames Valley UK. Industrial Strategy: Artificial Intelligence Sector Deal[EB/OL]. [2020-10-29]. <https://www.thamesvalley.co.uk/download/industrial-strategy-artificial-intelligence-sector-deal/#:~:text=Industrial%20Strategy%3A%20Artificial%20Intelligence%20Sector%20Deal%20The%20UK,government%20and%20industry%20to%20realise%20this%20technology%E2%80%99s%20potential.>
- [17] Nuffield Council on Bioethics. Artificial intelligence (AI) in healthcare and research[EB/OL]. [2018-5-1]. <https://www.nuffieldbioethics.org/wp-content/uploads/Artificial-Intelligence-AI-in-healthcare-and-research.pdf>
- [18] 张唯, 厉安恬. 人工智能列国志 | 日本: 普及AI教育与机器人革命[EB/OL]. [2020-7-7]. <https://m.gmw.cn/baijia/2020-07/07/33973384.html>
- [19] 王玲. 日本政府如何布局发展人工智能. 科技中国, 2020, (12): 31-3
- [20] Tamori H, Yamashina H, Mukai M, et al. Acceptance of the use of artificial intelligence in medicine among Japan's doctors and the public: a questionnaire survey. JMIR Hum Factors, 2022, 9: e24680
- [21] Nature Research Custom. Using AI to make healthcare more human[EB/OL]. [2020-12-9]. <https://www.nature.com/articles/d42473-020-00350-2>
- [22] 工业和信息化部. 人工智能医疗器械创新任务揭榜工作启动[EB/OL]. [2021-11-08]. https://wap.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2021/art_7066b8ebe3884ab586b7b4b4bdb0b33cd.html
- [23] 工业和信息化部信息通信发展司. 987个上榜! 5G+医疗健康应用试点项目名单公布[EB/OL]. [2021-09-29]. http://www.cnni.com.cn/gxdt/202109/t20210929_313191.html
- [24] 张旭东, 陈校云, 舒婷. 中国医疗人工智能发展报告(2019)[M]. 北京: 社会科学出版社, 2019: 1-20
- [25] GTEx Consortium. The genotype-tissue expression (GTEx) project. Nat Genet, 2013, 45: 580-5
- [26] Jensen MA, Ferretti V, Grossman RL, et al. The NCI Genomic Data Commons as an engine for precision medicine. Blood, 2017, 130: 453-9
- [27] Huang L, Rosen JD, Sun Q, et al. TOP-LD: a tool to explore linkage disequilibrium with TOPMed whole-genome sequence data. Am J Hum Genet, 2022, 109: 1175-81
- [28] Wheeler DL, Barrett T, Benson DA, et al. Database resources of the National Center for Biotechnology Information. Nucleic Acids Res, 2008, 36: D13-21
- [29] Hotka J. Biowulf: NIH's Top-Ranking Supercomputer [EB/OL]. [2018-11-2]. <https://nihrecord.nih.gov/2018/11/02/biowulf-nih-s-top-ranking-supercomputer#:~:text=Biowulf%20is%20a%20massive%20upgrade%20from%20NIH%E2%80%99s%20first,image%20processing%2C%20statistical%20analysis%20and%20basic%20DNA%20sequencing>
- [30] National Institutes of Health. Bridge to Artificial Intelligence (Bridge2AI)[EB/OL]. [2022-5-4]. <https://commonfund.nih.gov/bridge2ai>
- [31] European Commission. European Health Union: a European Health Data Space for people and science[EB/OL]. [2022-5-3]. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_2711
- [32] Marr B. 4 Powerful Examples Of How AI Is Used In The NHS[EB/OL]. [2018-11-1]. <https://bernardmarr.com/default.asp?contentID=1834>
- [33] PMGROUP. Sanofi launches French eHealth laboratory 39BIS[EB/OL]. [2017-12-12]. https://www.pmlive.com/blogs/digital_intelligence/archive/2017/december/sanofi_launches_french_ehealth_laboratory_39bis_1214035
- [34] 科技部. 科技部关于印发《国家新一代人工智能开放创新平台建设工作指引》的通知[EB/OL]. [2019-8-1]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-12/03/content_5457842.htm