

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2021.10.006

国际比较视野下机器人在医疗卫生领域的应用政策研究

毛子骏¹, 刘子灵², 周光勇³

- (1. 华中科技大学公共管理学院,
2. 华中科技大学公共管理学院非传统安全中心
3. 华中科技大学科学技术发展院, 湖北武汉 430074)

摘要: 新冠肺炎疫情的暴发加速了机器人在医疗卫生领域的应用, 而中国机器人发展仍处于“婴儿期”。通过对近年来美、日、欧盟、中涉及医疗卫生机器人的相关政策进行比较分析, 发现应用政策差异主要体现在机构设置、项目开展、平台建设、法规伦理研究 4 个方面。研究发现, 与美、日、欧盟比较, 中国在上述方面存在明显差异: 顶层设计过于依赖战略目标和资金支持, 忽略人才培养、科技创新等软实力配置, 项目审批程序多、速度慢; 政策制定中有政府过度参与的迹象, 同时医疗大数据管理和数据平台的建设尚处于萌芽期; 社会包容性以及相应制度化标准的政策力度不足等。借鉴先进国家和地区的经验, 得出对中国发展医疗卫生机器人的启示: 政府需要在加强顶层设计、培养人才、面向市场定向开发、大数据平台建立和法规及伦理研究等方向进一步加强探索, 抢占新一代机器人的技术制高点, 以期实现智慧医疗的愿景。

关键词: 机器人; 医疗卫生领域; 人工智能; 机器人应用政策

中图分类号: TP242.3; F43; G301

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695 (2021) 10-0049-11

Research on the Application Policy in Medical and Health Robots from the Perspective of International Comparison

Mao Zijun¹, Liu Ziling², Zhou Guangyong³

- (1. College of Public Administration, Huazhong University of Science and Technology;
2. Non-traditional Security Institute, College of Public Administration, Huazhong University of Science and Technology;
3. Research and Development Office, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The outbreak of COVID-19 pneumonia has accelerated the application of robots in the field of medical and health care, and the development of robots in China is still in "emerging stage". This paper analyzes the relevant policies concerning medical and health robots in the United States, Japan, the European Union, and China in recent years, and finds that compared with the United States, Japan and the EU, China has significant differences in the above aspects, mainly as follows: the top-level design relies too much on strategic objectives and financial support, ignores the soft allocation of power such as talent training and scientific and technological innovation; project approval procedures are numerous and slow; there are signs of excessive government involvement in policy-making, at the same time, medical big data management and data platform construction are still in its infancy; and lack of policies on social inclusiveness and corresponding institutionalized standards. Learning from the experience of advanced countries and regions, China should further promote the development medical and health robots in following aspects: the government needs to further strengthen exploration in the direction of strengthening top-level design, training talents, market-oriented targeted development, big data platform establishment and regulations and ethical research, to seize the technical commanding heights of the new generation of robots, in order to realize the vision of smart medical care.

Key words: robot; medical and health field; artificial intelligence; robot application policy

1 研究背景

据中国《全国医疗卫生服务体系规划纲要 (2015—2020 年)》统计, 国内每千常住人口拥有

执业医师 2.06 名、护士 2.05 名, 医疗行业供需矛盾日益突出^[1]; 同时, 人口老龄化、经济水平增长带来的高质量医疗需求也驱动医疗卫生向智能化发展,

收稿日期: 2020-09-24, 修回日期: 2020-11-18

基金项目: 国家社会科学基金一般项目“政治安全视角下人工智能风险识别与评估研究”(18BZZ091)

项目来源: 华中科技大学新型冠状病毒肺炎应急科技攻关专项项目“基于综合集成研讨的重大突发公共卫生事件快速识别与预警机制研究”
(2020kxyG-YJ022)

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

医疗卫生机器人是赋能医疗行业的有效方案。2020年新冠肺炎疫情使医疗系统承受着巨大的压力，以人工为主的传统治疗方式不足以满足疫情防控需要，运用智能化医疗新理念、新技术成为当务之急。对此，中国工信部科技司^[2]倡议进一步发挥人工智能（AI）赋能效用，发布《充分发挥人工智能赋能效用 协力抗击新型冠状病毒感染的肺炎疫情 倡议书》。医疗卫生机器人这一新兴产业技术以其减少感染、长效工作的优势在特殊情境下得到快速推广，但相关产业政策还方兴未艾，在技术开发、市场准入、医疗监管、法规伦理等方面具有滞后性。

市场非经济性和波动性在新技术和新产业的发展初期普遍存在，良好科技环境、公平市场机制都得益于政策的有效引导。在医疗机器人这一新兴行业，日本素有“机器人王国”的称号并保持技术领先优势，美国在2016年把机器人发展提升到国家战略高度，欧盟启动多个项目鼓励公私合作，而中国主要靠政策扶持推动产业创新，因此，学习他国先进实践经验对我国政策制定有参考性和针对性启示。为了更好地促进产业进步，学者从不同角度对人工智能政策进行探索研究，如，吴瑜等^[3]从文本挖掘与数据可视化方法分别对中国和美国科技政策方面相关文献进行量化分析，解读中美科技政策的异同点；罗连发等^[4]在中外机器人使用状况、产业现状、政策环境、对劳动力市场的影响的分析框架下对机器人发展现状及未来进行评估；毛子骏等^[5]创造性地使用PMC指数模型和政策工具——创新价值链，对各国人工智能政策进行量化分析和评价。然而，目前大多数研究仅从政策工具视角分析政策内容，或是关注机器人产业发展状况，关于鼓励发展医疗卫生机器人的应用政策研究较为匮乏，对“健康+人工智能”这一独特领域鲜有关注。

本研究聚焦重大公共卫生事件中医疗卫生机器人应用这一热点，重点梳理了美国、日本、欧盟、中国鼓励发展医疗卫生机器人应用政策，从设立人工智能相关机构、开展人工智能相关项目、建设数字化平台、推进人工智能法规伦理研究4个方面进行比较，从文本研读和实践经验中总结出共通的规律，以期对人工智能时代中国的智能医疗建设提供借鉴。

2 重大公共卫生事件中的医疗卫生机器人应用

以传染病为主的重大突发公共卫生事件具有重大公共卫生风险，减少人员流动成为疫情防控的重要手段。在医疗领域，机器人不仅具有全自动、标准化、可控制、可追溯、长时间高效工作的特点，更兼有减少感染接触、提高工作效率的优点，在重大公共卫生事件中展现其五大优势：（1）降低在抗疫工作中被感染的概率；（2）为医护人员减轻工作负担，为患者提供更加高品质的医疗服务；（3）节约

防护设备，可以在无防护的条件下长时间工作；（4）仅在规定范围内工作，减少跨区感染的可能性；（5）7×24 h智能高效工作，可解决目前医务人员人手不足的问题。

在重大公共卫生事件中，测温机器人、物流机器人、护理机器人、消毒机器人、导诊机器人、远程诊断机器人、疫情回访机器人等新技术在医疗技术改革攻坚、提升城市运行效率、促进公共安全治理等关键领域发挥重要作用。例如，在新冠肺炎疫情中，减少医务人员与患者直接接触成为疫情防控的必要手段，护理机器人能够帮助医务人员脱去外层防护服，减少直接接触的概率；同时可以帮助检测防护服是否有破损、是否穿戴正确，更大限度地保护一线医务人员的生命；咽拭子采样机器人以远程人机协作的方式，可以轻柔、快速地完成核酸检测中咽部组织采样任务，采样成功率大于95%，可以有效避免医务人员感染、提升生物样本采集的规范性并保证标本质量；阿里和京东两家企业推出的远程医疗机器人以人机协作的方式为医生过滤无效咨询，缓解线上医生接待压力，合理优化医疗资源配置，释放更多医师资源做线下患者治疗；百度灵医智惠推出“智能咨询助手”，通过提供标准化预问诊路径提升医生诊治效率，并向在线健康咨询平台、政府疫情防控平台、互联网医院等提供平台免费开放应用程序接口（API），全力支撑医疗诊治领域智能应用^[6]；消毒类智能医疗机器人具有减少接触、长效工作的优势，其中自主移动消毒机器人在无人环境下能够实现高效、精准地对室内消毒防疫，具有对污染区域、障碍和污染源的主动检测，自主完成对自身运动和消毒行为规划和执行的能力，有助于改善医院卫生环境，减少传染病蔓延，避免医护人员因人工消毒而发生的感染风险；京东企业物流利用机器人配送生活资源，在隔离地区开展无人机配送、为已经封闭的地区提供物流服务，解决人民生活必需品的“最后500m”问题；测温机器人将红外测温与人脸识别系统相连，具有云端AI、远距离、非接触、大面积、高效率等特点，可实现红外线5m以内快速测量体温，并识别人员是否戴口罩，代替传统测温；在医院外，空中的测温无人机借助热成像技术，可远距离、全覆盖、高准确地测出相关区域或相关人员的体温；导诊机器人通过语音交互、图像智能、智能运动底盘等人工智能技术，实现无人导诊，自动响应发热问诊、引领病人初步诊疗，实现医生对病人的远程诊疗。

3 世界主要国家医疗卫生机器人应用政策

3.1 美国

2015年10月底，美国国家经济委员会和科技政策办公室联合发布了《美国国家创新战略》（以

下简称《创新战略》), 精准医疗计划是《创新战略》中的九大战略之一, 其目的在于依据个人基因信息为癌症及其他疾病患者制定个体医疗方案^[7]。美国机器人工业协会主席 Jeff Burnstein^[8]在 2018 世界机器人大会上提出骨骼恢复和手术机器人、服务机器人在医疗领域的主要应用方向。美国国家科技委员会于 2018 年 5 月成立人工智能特别委员会, 旨在全局统筹人工智能联邦战略, 食品药品监督管理局和人类服务部批准首个用于检测糖尿病视网膜病变的人工智能医疗诊断设备^[9]。

2016 年, 美国政府推出《国家人工智能研究与发展战略规划》, 但未提及人工智能在医疗方面的发展, 而 2019 年新版美国《国家人工智能研究与发展战略规划》中新增政府日益注重人工智能在医疗保健和医学方面的应用, 提出开放数据集、创建公共医疗保健数据平台^[10], 利用大量的医疗数据进行模型训练, 可以促进图像识别、新药研发等领域的发展^[11]。

2019 年 3 月, 美国颁布《支持老龄化的新兴技术》报告, 国家科技委员会成立了支持老年人的技术研发工作组, 通过科技提高老年人的独立性能力。

该报告中多次提到未来机器人可以在老年人的独立生活和行动运输方面发挥独特的作用, 如机器人成为老年人的导航指南, 老年人可以通过移动机器人无障碍上下车站, 公共交通也会根据机器人路径设计电梯以及可移动的机器人坡道 / 升降机; 机器人通过控制系统、传感传感器、信息处理和决策算法, 能感受房屋的导航环境以规避风险; 嵌入机器人的智能家居附带机器人评估食物制备系统、机器人喂食系统, 科学满足老年人的营养需求; 智能机器人能根据人的习惯来改变系统, 政府也将制定教育和推广计划, 以获得老年人对机器人的认可^[12]。

美国医疗卫生机器人应用的主要政策如图 1 所示。

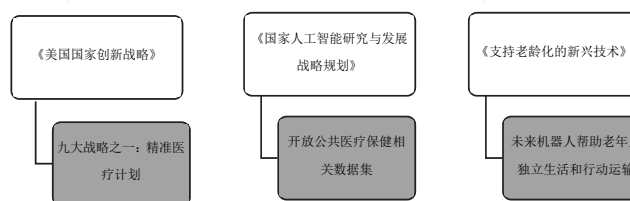


图 1 美国医疗卫生机器人应用主要政策

3.2 日本

日本医疗卫生机器人应用的主要政策如表 1 所示。

表 1 日本医疗卫生机器人应用主要政策

年份	政策名称	主要内容
2014	《关于工业、商业和生活机器人化的白皮书》	医疗卫生以及相应医疗卫生服务相关机器人的应用有清洁机器人、医疗机器人、救灾机器人, 医院全面机器人化
2015	《机器人新战略——愿景、战略和行动计划》	支持在优先领域开发护理机器人, 推进福利产品和护理机器人实用化的项目。保障机器人的使用安全
2016	《日本复兴战略——走向第四次工业革命》	进行下一代机器人的利用和研究, 利用物联网增强健康和医疗服务, 成立下一代医疗信息通信技术基础设施委员会等相关机构
2017	人工智能产业路线图	提出分 3 个阶段推进利用人工智能大幅提高制造业、物流、医疗和护理行业效率的构想, 力争到 2030 年实现完全“无人化”

2014 年 5 月, 日本新能源产业技术综合开发机构公布了《关于工业、商业和生活机器人化的白皮书》, 其中定义的机器人不是单纯的学术或技术, 而是机器人和机器人技术将如何被使用, 以及对工业和社会的作用^[13]。白皮书中提到在医疗卫生以及相应医疗卫生服务相关机器人的应用有清洁机器人、医疗机器人、救灾机器人, 医院全面机器人化, 其中医疗机器人 Paro 作为医疗机器人的先驱, 重点实践于医疗保健; 医院全面机器人化体现在引入机器人和相关基础设施以改善医院的经营情况, 以及完善咨询和系统解决方案。

2015 年, 日本国家机器人革命推进小组发布《机器人新战略——愿景、战略和行动计划》(以下简称《机器人新战略》), 并提出实现机器人革命的三大战略目标, 即世界机器人创新基地、世界第一的机器人应用国家和迈向世界领先的机器人新时代^[14]。根据《机器人新战略》, 日本机器人革命的一大目标是使机器人主要应用于五大行业——制造业、服务业、护理医疗、基础设施建设和灾害

应对、农林水产和食品业, 并对机器人发展的法律制度改革进行了详细规划; 支持在优先领域开发护理机器人, 推进福利产品和护理机器人实用化项目; 为保障机器人的使用安全, 为机器人的使用制定标准, 并尝试制定全球规则推进日本在海外扩张以进行海外标准化测试。

2016 年, 日本颁布《日本复兴战略——走向第四次工业革命》, 提出促进下一代机器人的利用和研究, 利用物联网增强健康和医疗服务, 并成立下一代医疗信息通信技术基础设施委员会等相关机构, 在致力于人工智能研发和产业化的同时实现机器人自主协作^[15]。具体体现在: (1) 促进机器人技术开发和示范, 最大限度地利用信息和通信技术 (information and communications technology, ICT) 机器人、人工智能和基因组分析等技术创新, 提高医疗和护理的质量与生产力, 并改善人们的生活质量。

(2) 通过使用机器人和传感器等技术提高护理质量和生产力, 减轻护理人员的负担, 进一步将机器人技术引入护理场所。此外, 日本将使用信息通信技

术促进护理服务数据的标准化，推广适当的护理管理方法以保证评估服务质量。

2017 年 3 月，日本政府在人工智能技术战略会议上发布人工智能产业路线图，计划分 3 个阶段推进利用人工智能大幅提高制造业、物流、医疗和护理行业效率，力争到 2030 年实现完全“无人化”^[16]。日本作为世界上第一个迎接急速老龄化的国家，将利用医疗、护理的庞大信息形成大数据，实现预防医疗的飞速发展，逐步构成健康长寿产业大国。日本《人工智能技术战略》的健康、医疗、护理产业化路线分布，如图 2 所示。

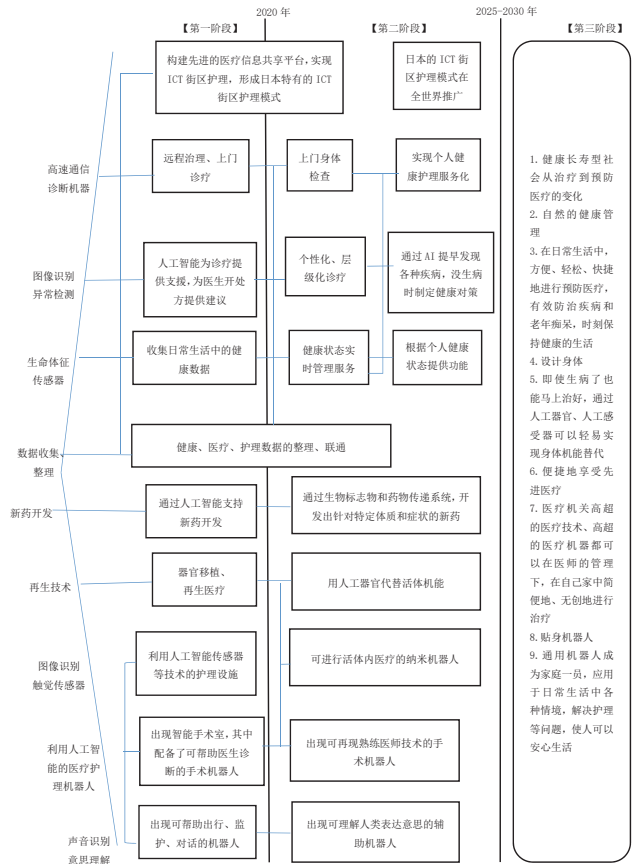


图 2 日本《人工智能技术战略》关于健康、医疗、护理产业化路线分布

3.3 欧盟

自 2014 年至今，欧洲医疗机器人的发展主要依托欧盟委员会及其资助项目，包括 SPARC、地平线 2020、ROCKEU 等（见表 2）。2018 年 1 月 10 日，欧盟委员会通信网络、内容与技术总司，机器人产业发展与影响部门主管 Anne Bajart^[17] 在布鲁塞尔就医疗卫生机器人发展进行总结，至 2020 年，欧盟委员会将投资超过 5 亿欧元发展医疗卫生机器人，并带动公共和私人资本参与。

表 2 欧盟机器人项目

项目名称	年份	目的	措施
欧洲机器人研发计划	2014 至今	提供扩大机器人在工厂、空中、陆地、水下、农业、医疗、救援服务等行业的应用，提升机器人技术对欧洲经济和社会的影响	通过多年度路线图支持的战略研究议程来宣传机器人技术的应用，并及时更新以反映机器人新的发展方向和市场领域
地平线 2020	2014—2020	帮助科研人员实现科研设想，获得科研发现、突破和创新，并促进新技术从实验室到市场的转化	创建医疗机器人数字创新中心网络，建立一个可持续的医疗保健系统
欧洲机器人协调行动	2013—2016	促进专业协调技术路线图和实施创新活动，促进欧洲机器人技术利益相关者之间的合作，促进欧洲机器人技术发展	鼓励专业服务机器人发展

（1）欧洲机器人研发计划。2014 年，欧盟启动了投资 28 亿欧元的“SPARC”机器人研发计划^[18]。

“SPARC”作为一种公私合作关系（public private partnership, PPP）模式项目，是由欧盟委员会、欧洲工业界与学术界共同发起的项目，旨在提升机器人技术对欧洲经济产业和社会进步的影响。多年度路线图 (multiannual roadmap, MAR) 支持的战略研究议程 (Strategic Research Agenda, SRA) 是“SPARC”宣传机器人技术应用的主要途径，机器人产业新的发展方向和市场领域也在其中体现。2020 年的战略研究议程提出，机器人技术在医疗保健中的使用已经对健康产业产生了直接影响，并将进一步扩大。在过去的 5 年中，远程操作外科手术机器人的全球市场迅速增长，而用于训练和治疗中的机器人尚处于发展的早期阶段。预计在未来 10 年中，康复机器人的使用将大大增加，康复机器人可以根据已知患者的进展情况为其提供重复性和渐进性锻炼，在患者家中部署可移动的机器人系统，预计可以节约大量成本。在医疗保健领域，具有内置感应功能的微型手术机器人将助力精密手术，并在心血管、神经和肿瘤学领域产生重大影响，这些设备不仅会增加手术成功概率，而且能减少手术感染几率。机器人技术也在老龄化社会中扮演着许多角色，首先，机器人通过家庭自动化实现日常服务，例如清洁和食物制备，从而使老年人能够在较少的外部帮助下维持其良好生活环境；其次，机器人为行动不便的老人提供个人护理和认知支持，并且进行状态监控，在必要时联系外界帮助。

（2）地平线 2020。地平线 2020 计划于 2014 年正式启动，为期 7 年（2014—2020 年），是欧盟为实施创新政策的资金工具。其宗旨为帮助科研人员实现科研设想，获得科研发现、突破和创新，并促进新技术从实验室到市场的转化。在 2018—2020 年

期间，欧盟委员会在地平线 2020 的研究和创新计划费用增至 15 亿欧元，并将重点投入到与人工智能相关的交通、医疗等关键领域^[18]。地平线 2020 最新计划（ICT2018—2020）指出，欧盟委员会将开发一项信息通信技术，即支持创建医疗机器人数字创新中心网络（DIH），并借助机器人、人工智能和大数据的发展推动医疗行业的改革^[19]。数字创新中心还将聚集医疗保健技术领域的利益相关者，包括国家医疗保健系统、医院、护理人员、机器人设备制造商、人工智能和数据专家、机器人公司，并将推动法律、保险行业的相应配套改革。同时，欧盟委员会将建立一个可持续的医疗保健系统，以解决人口老龄化、医疗保健专业人员人数减少以及成本增加的问题，并提到机器人技术具有革新医疗领域的潜力。在医院，外科手术机器人可以进行更高精度的微创手术；智能胶囊可以用于诊断癌症；物流机器人为医院和疗养院之间运输的必需品。在家中，康复机器人可以激励患者并辅助锻炼；机器人的外骨骼和假肢帮助残疾人移动；护理机器人可以辅助老年人行动。

（3）欧洲机器人协调行动。2013—2016 年，由欧盟委员会资金支持的欧洲机器人协调行动（ROCK-EU）项目致力于促进专业协调技术路线图

和实施创新活动，促进欧洲机器人技术利益相关者之间的合作，促进欧洲机器人技术发展^[20]。其中提到，机器人是一种可在两个或多个轴上编程的执行机构，并具有一定程度的自主权，可以在其环境中移动以执行预期的任务。其中，专业服务机器人或专业用途服务机器人是由训练有素的操作员操作，用于商业任务的服务机器人，例如公共场所的清洁机器人、办公室或医院的送货机器人、消防机器人、康复机器人和医院的手术机器人。统计评估表明，近 60% 的专业服务机器人起源于欧洲，其中大多数现场机器人在欧洲生产（2014 年约占全球供应量的 93%），专业服务机器人的销售额不断增长^[20]。

3.4 中国

自 2015 年中国实施制造强国战略以来，政府陆续颁布《机器人产业发展规划（2016—2020 年）》《智能硬件产业创新发展专项行动（2016—2018 年）》等一系列支持开发医疗卫生机器人的相关政策。2017 年国务院颁布《新一代人工智能发展规划》后，国内各省份响应号召，根据本地实际颁布相关政策，通过产业布局、人才引进、特色项目等形式发展医疗卫生机器人^[21]。中国各级医疗卫生机器人相关政策如表 3、表 4 所示。

表 3 中国国家级医疗卫生机器人相关政策

年份	发布单位	政策名称	主要相关内容
2016	工信部、发改委、财政部	《机器人产业发展规划（2016—2020 年）》	重点发展消防救援机器人、手术机器人、智能型公共服务机器人、智能护理机器人等 4 种标志性产品，推进专业服务机器人实现系列化，个人/家庭服务机器人实现商品化
2016	工信部、发改委	《智能硬件产业创新发展专项行动（2016—2018 年）》	1. 智能服务机器人。完善智能服务机器人编程和标准，提升服务机器人智能化水平，拓展产品应用市场 2. 智慧医院。推动智能医疗健康设备在诊断、治疗、护理、康复等环节的应用，推广远程诊断、远程手术、远程治疗等模式，支持医疗资源和服务数字化、定制化、远程化发展，促进社区、家政、医疗护理机构、养老机构协同信息服务，提高医疗保障服务水平
2017	国务院	《新一代人工智能发展规划》	1. 智能机器人。攻克智能机器人核心科技，研制智能服务机器人，实现大规模应用并进入国际市场。建立智能机器人标准体系和安全规则 2. 智能医疗。推广应用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，开发人机协同的手术机器人，研发人机协同临床智能诊疗方案，加强流行病智能监测和防控 3. 智能健康和养老。突破健康大数据分析、物联网等关键技术，研发健康管理可穿戴设备和家庭智能健康检测监测设备，推动健康管理实现从点状监测向连续监测、从短流程管理向长流程管理转变
2017	工信部	《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划（2018—2020 年）》	1. 发展智能服务机器人。提升清洁、老年陪护、康复、助残、儿童教育等家庭服务机器人的智能化水平，支持手术机器人操作系统研发，推动手术机器人在临床医疗中的应用。到 2020 年，医疗康复、助老助残等机器人实现样机生产，完成技术与功能验证，实现 20 家以上应用示范 2. 建立行业训练资源库。面向医疗行业领域，支持建设高质量人工智能训练资源库、标准测试数据集并推动共享；鼓励建设提供知识图谱、算法训练、产品优化等共性服务的开放性云平台
2018	国务院	《关于促进“互联网+医疗健康”发展的意见》	1. 研发基于人工智能的临床诊疗决策支持系统，开展基于人工智能技术、医疗健康智能设备的移动医疗示范，实现个人健康实时监测与评估、疾病预警、慢病筛查、主动干预 2. 加强临床、科研数据整合共享和应用，支持研发医疗健康相关的人工智能技术、医用机器人、大型医疗设备、应急救援医疗设备、生物三维打印技术和可穿戴设备

表 4 中国省（区、市）级医疗卫生机器人相关政策（部分）

年份	省份	政策名称	主要相关内容
2017	上海市	《关于本市推动新一代人工智能发展的实施意见》	加强自主智能医疗机器人和医疗设备等在辅助病症诊断、影像分析、手术诊疗、精准医疗中的推广应用，推动智能陪护机器人、智能健康设备等广泛应用，提升养老服务感受度。融合发展智能机器人产业，大力推进医疗康复、养老陪护等特定应用场景的智能服务机器人研发及产业化，到 2020 年，智能机器人产业规模达 200 亿元
2017	辽宁省	《辽宁省新一代人工智能发展规划》	重点突破医疗机器人等共性关键技术，开展具有自主知识产权的智能医疗/康复机器人产品研发。研究具有自主控制、精细感知、辅助诊断、精准导航和远程互动的机器人辅助手术系统、人机协同临床智能诊疗系统，研制功能替代性智能假体、手术机器人、智能诊疗助手。研发具有智能感知识别、自主移动和作业能力的智能复合型助老助残机器人

表 4（续）

年份	省份	政策名称	主要相关内容
2017	吉林省	《吉林省人民政府关于落实新一代人工智能发展规划的实施意见》	开展建设智慧医院试点，开发人机协同的手术机器人，研发人机协同临床智能诊疗方案
2018	天津市	《天津：智能医疗与健康专项行动》	支持人机协同手术机器人开发与应用，以及基于大数据和人工智能的临床辅助分析工具开发
2018	河北省	《河北省战略性新兴产业发展三年行动计划——生物医药健康产业发展专项实施方案》	重点开发医用机器人移动医疗产品以及生物医用材料。围绕老年人、残疾人等特定人群需求，重点发展照护和康复机器人、仿生假肢、虚拟现实康复训练设备等产品，积极拓展改善消费者生活品质的产品
2018	安徽省	《安徽省新一代人工智能产业发展规划（2018—2030 年）》	重点推进以人工智能的人机交互技术为核心的智能服务机器人的研发、生产和应用，推动智能服务机器人在医疗等重点行业快速落地。研发智能导诊导医机器人、外科辅助机器人，提高医生诊疗水平和工作效率，推进智慧医院建设
2019	浙江省	《浙江省促进新一代人工智能发展行动计划（2019—2022 年）》	推动服务机器人在医疗康复、家庭服务、公共服务等场景应用

4 国内外医疗卫生机器人应用政策的比较分析

科技政策作为一种制度安排和规则设计，对其进行量化分析具有相当的难度^[22]，目前政策比较研究主要采用文本挖掘和数量统计两种方法。文本挖掘的基本假设是某一词汇出现的频率越高，其相关政策效用就越强；数量统计假设某一维度出台的政策数量越多，政策效用就越强。但是，上述两种方法忽略对政策内容差异的分析。其次，由于本研

究仅限于比较美、日、中、欧盟的医疗卫生机器人应用政策，样本量较少，不适合进行文本挖掘和数量统计。因此，本研究采用定性研究方法，从设立人工智能相关机构、开展机器人相关项目、建设数字化平台、推进人工智能法规伦理研究四方面进行横向比较，对美国、日本、欧盟、中国医疗卫生机器人应用的国家和地区政策内容进行文本分析，如表 5 所示。

表 5 美国、日本、欧盟、中国医疗卫生机器人应用政策对比分析

维度	美国	日本	欧盟	中国
机构设立	人工智能特别委员会	人工智能技术战略委员会	欧盟机器人协会	中国人工智能学会；新一代人工智能发展战略研究院
项目开展	精准医疗计划；国家机器人计划 2.0	战略性创新项目（SIP）	欧洲机器人协调行动；欧洲机器人研发计划	《机器人产业发展规划》；“智能机器人”重点专项
平台建设	医疗保健相关数据集	医疗领域信息通信平台	医疗机器人数字创新中心网络（DIH）；DigiHealth 知识中心	医疗行业训练资源库
法规伦理	加大对人工智能法规适用性的试点研究；颁布《人工智能国家安全委员会法案》《开放政府数据法》	机器人法律制度改革；加快审批速度；人工智能伦理委员会	成立人工智能高级别专家组，发布《人工智能伦理准则》；欧盟新数据保护法	发布《关于推进机器人检测认证体系建设的意见》，设计检验检测认证体系建立原则、标准体系构成、认证平台建设及认证开展

4.1 人工智能相关机构

近年来，各国和地区日益重视顶层设计，将人工智能和机器人发展列入国家和地区科技发展乃至经济发展的重要战略之一，并设立相关机构进行管理，促进产学研发展，但就其机构性质和机构职能侧重点而言各不相同。

（1）机构性质对比（见表 6）。美、日、中的机器人战略机构为政府主导化，是政府建立或挂靠在政府单位的官方机构，由具有实权的部门力量支持；欧盟呈现社会组织团体中心化，依托企业和科研机构成立，并由政府提供相关资助给予保障。美国人工智能特别委员会由国家科学与技术委员会管理，服从白宫科学和技术政策局的领导，结合各部门的优势来改善联邦政府在人工智能领域的投入。日本人工智能技术战略委员会作为日本人工智能发展的控制中枢，设研究协调委员会负责人工智能的

研究开发、产业协调委员会负责成果产业化，相互配合将人工智能研发成果转化为现实生产力^[23]。欧盟机器人的产业化发展依托由 35 个机构、超过 250 家企业、大学和研究机构组成的欧洲机器人协会，科技实力雄厚，并为欧洲机器人联盟提供法律实体，启动“SPARC”“地平线 2020”等研发计划。中国将国家整体发展置于优先位置，成立了人工智能学会（Chinese Association for Artificial Intelligence, CAAI）、新一代人工智能发展战略研究院等机构组织，通过最新研究成果的平台分享，洞悉人工智能下一个发展周期的动态和趋势，为科研界、教育界、企业界、投资界以及政府部门等产业各方提供方向指引和决策支持。其中，新一代人工智能发展战略研究院在学术委员会的学术指导下开展工作，挂靠南开大学、天津大学，并依托南开大学进行建设。

表 6 美国、日本、欧盟、中国人工智能机构对比

维度	美国	日本	欧盟	中国
机构名称	人工智能特别委员会	人工智能技术战略委员会	欧盟机器人协会	新一代人工智能发展战略研究院
机构性质	受国家科学与技术委员会管理，服从白宫科学和技术政策局的领导	日本人工智能发展的控制中枢，成员包括议长、顾问、三省大臣以及学术界、产业界的负责人等	非营利组织，也是欧洲最大的机器人组织，2012 年协会由 35 个机构构成，为欧洲机器人联盟提供法律实体	挂靠大学进行建设，实行领导小组领导下的院长负责制，在学术委员会的学术指导下开展工作
机构职能	向白宫提供政府层面有关人工智能研究与发展方面的建议，同时帮助政府、私企和独立研究者建立合作伙伴关系	协调各方力量发展人工智能，并促进研发成果应用于社会生产生活之中，推动超智能社会 5.0 建设	发展欧洲人工智能生态系统，提升技能和接受度，创新有利环境、标准和规则的制定，以及社会层面的推动工作	进行人工智能国家战略研究，立足天津、面向全国，吸引全球资源建设跨越多学科的研究平台和文理交叉的高端智库

(2) 机构职责对比。美国和中国侧重加强人工智能的战略研究，帮助多个主体建立合作交流平台；日本和欧盟注重通过引导项目建设加快人工智能系统落地。美国人工智能特别委员会帮助建立多方利益的合作伙伴关系，向白宫提供政府层面有关人工智能研究与发展方面的建议。日本人工智能技术战略委员会主要职责是推动超智能社会 5.0 建设，通过协调各方力量发展人工智能，促进研发成果转化，应用于社会生产生活之中。中国新一代人工智能战略院实行小实体、大联合、网络化的运行模式，定位于战略研究，吸引全球资源建设跨越多学科的研究平台和文理交叉的高端智库，提供更多有针对性的政策建议，为更多企业的智能改造提供合作桥梁和案例示范。值得指出的是，作为中国工程院在人工智能领域建设的唯一行业战略研究院，新一代人工智能战略院集聚了较为丰富的院士资源，每年承担由工程院院士牵头的多项重大战略咨询项目。欧洲机器人协会专注于优化欧洲人工智能生态系统，创造有利的市场环境，促进提升技能，标准和规则的制定，以及社会层面的推动工作，协会非常重视与不同利益方共建强大的人工智能研发能力，创造人工智能信任并建立一个平等竞争的市场。

4.2 人工智能相关项目

各国根据机器人战略规划启动研发项目，相同之处在于，项目内容都覆盖了目标规划、技术集成、联合研发、社会服务等方面，一方面反映了各国对医疗卫生机器人的重视和积极回应，另一方面也体现了医疗卫生机器人对各国医疗发展的深远影响。然而，其项目部署的细化及侧重点各不相同：美国重视基础工程研究及机器人教育开发；欧盟关注公私合作关系对机器人发展的重要性；日本加强项目计划的资金支持，并以社会效益为首要目标；中国关注机器人标志性产品研发及典型应用示范，以此加快机器人标准化进程。

美国注重基础工程研究对协作型机器人的开发。2016 年美国国家科学基金会^[24]、联合国防部、能源部等政府机构发布了《国家机器人计划 2.0》，旨在通过基础研究促进协作型机器人开发和实际应用，在教育课程中融入机器人学内容。目前，《国家机

器人计划 2.0》资助机器人项目包括抗战在流行病前线的机器人，用于帮助医务人员减少与患者密切接触从而避免传染。精准医疗计划是美国《创新战略》中的九大战略之一，提到机器人作为代替医生了解病人健康、疾病、身体条件复杂机制的工具，能科学预测治疗方法的有效性。

日本提供资金支持，强调成果转化。2015 年 5 月，日本正式启动了旨在开辟新领域的“战略性创新项目”（SIP）研究计划，由内阁专门设置科技创新推进经费支持，由综合科学技术会议组织专家组对计划进行审议和评价，预留了 190 亿日元作为健康医疗领域的经费^[25]。该计划重视项目评估，强调产学研合作，以获得广泛的经济社会效益为目标，充分利用产学研合作机制。2018 年 7 月，日本综合科学技术创新会议（CSTI）发布第 2 期战略性创新推进计划（SIP），资助项目包括人工智能医院的先进诊疗系统，研发内容包括：开发高度安全的医疗信息数据库及医疗信息的遴选、分析技术；使用人工智能自动记录医疗期间的各项活动；开发类似运用血液进行超高精度检查等基于患者生理信息的人工智能诊断、监测和治疗技术，实现癌症等病患超早期诊断；对人工智能医院在医学领域的示范试验的研究评价^[26]。

欧盟关注公私合作对机器人发展的重要性。由欧盟委员会资金支持的“欧洲机器人协调行动”（Rock-EU）项目致力于促进专业协调技术路线图、实施创新活动、机器人技术利益相关者之间的合作以及机器人技术发展。同时，“SPARC”作为一种 PPP 模式项目，为公私合作创造有利实体，推动着企业、研发、政府的广泛交流。

中国以重大标志性产品为突破。2016 年发布的《机器人产业规划》指出，机器人产业发展要推进重大标志性产品率先突破。在服务机器人领域，重点发展消防救援机器人、手术机器人、智能型公共服务机器人、智能护理机器人等 4 种标志性产品，推进专业服务机器人实现系列化，个人/家庭服务机器人实现商品化。科技部^[27]于 2017 年发布“智能机器人”重点专项，用于突破服务机器人、医疗/康复机器人关键技术，并协同标准体系建设、技术

验证平台与系统建设、典型应用示范，加速推进中国智能机器人技术与产业的快速发展。

4.3 建设数字化平台

医疗大数据平台建设是医疗设备智能化转型的底层基础设施建设，从而拉动其上层建筑发展，以数字技术提升医疗体设备行业的配置效率。各国均把建立大数据平台列为重要的科技战略之一，但实现的方式不一致。其中，欧盟注重项目开发对数字医疗的改善，利用市场导向和资金支持为相关利益者创建平台服务；日本利用医疗数据平台实现分级诊疗、区域协作的柔性适应状态；美国和中国则强调中央－地方的政策指导，旨在促进医疗“高精尖”科技向集约化、协同化发展。

美国开放公共医疗保健相关数据集，满足图像识别、新药研发等领域所需的医疗数据模型训练以及各种人工智能应用的需求。作为发展大数据的先行者，美国拥有完整的医疗健康大数据库，建成覆盖本土 12 个区域的电子病历数据中心、9 个医疗知识中心、8 个医学影像与生物信息数据中心。2014 年，美国联邦政府专门负责信息化规划的国家卫生信息技术协调办公室 (ONC) 发布了《美国联邦政府医疗信息化战略规划 2015—2020》（见图 3），明确了实现健康医疗数据共享的目标，提出增强医疗服务能力、提高公众和社区的健康水平、推动医学知识研究与创新等 3 项应用目标。由美国卫生与公众服务部（HHS）管理的联邦政府网站（HealthData.gov）是国家级的健康数据开放平台，通过该网站，越来越多的来自于 CMS（医疗保险和医疗补助服务中心）、CDC（疾病控制中心）、FDA（食品药品监督管理局）、NIH（美国国立卫生研究院）等渠道的 HHS 数据库向社会开放，数据内容包括临床服务质量信息、全国卫生服务提供者目录、最新医疗和科学知识数据库、消费产品数据、社区卫生绩效信息、政府支出数据等^[28]。

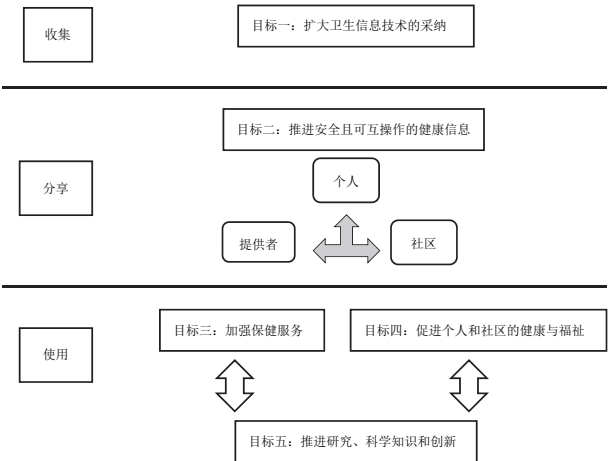


图 3 《美国联邦政府医疗信息化战略规划 (2015—2020)》政策框架

日本建立先进可行的通信数据平台。早在 1995 年，日本政府通过立法的形式对医疗数据的采集提出了严格规范的要求，医疗机构必须按照规定的格式详细报告涵盖设施、设备、病种、治疗相关信息，2011 年之后，医疗机构的数据信息提供已经全面采用电子化报送系统，通过对患者的数据样本量进一步加深与拓宽的积累，为日本医疗体系的总体发展带来了强劲的驱动力，为之后日本整体的医疗体系改革和发展带来了巨大的推动效应，也是日本医疗体系改革的原动力。此外，日本将成立下一代医疗信息通信技术基础设施委员会，在医疗等领域建立信息通信平台。

欧盟立项建立数据分析知识网络。地平线 2020 计划中提及建立一个可持续的医疗保健系统和医疗机器人数字创新中心网络（DIH），把医疗保健技术领域的利益相关者聚集在一起，推动医疗行业的改革，同时建立知识网络，利用健康数据以及健康和社会护理中的 AI。例如 DigiHealth 知识中心的 ERDF 2018—2020 计划正在为数字健康知识网络建立运营模型和网络。该中心在健康数据开发实践、健康技术评估框架创建以及开发赋能技术（例如数据分析、机器学习、人工智能和数字技术）方面交流经验和信息，以便在福利和健康领域利用数字化技术、海量数据、无线技术和机器人技术。同时，欧盟^[29]启动 AI FOR EU 项目，对研发机构、企业的数据算法和工具等人工智能资源进行统一整合，提供数据开放服务。

中国培育智慧医疗体系。国务院办公厅于 2016 年颁布的《关于促进和规范健康医疗大数据应用发展的指导意见》中，强调重视推动健康医疗大数据是国家基础性战略资源，从夯实应用基础、全面深化应用、规范和推动“互联网+健康医疗”服务、加强保障体系建设等 4 个方面部署了 14 项重点任务和重大工程。在《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划（2018—2020 年）》中，提到建立行业训练资源库，面向医疗行业领域，支持建设高质量人工智能训练资源库、标准测试数据集并推动共享，鼓励建设提供知识图谱、算法训练、产品优化等共性服务的开放性云平台。

4.4 推进人工智能伦理法规建设

伦理法律是人工智能战略发展的保障，推进法规伦理研究是机器人产业发展的必然趋势。不同国家针对伦理法规有各自侧重：美国注重机器人应用法规实用性研究，为技术治理奠定制度基础；日本希望通过立法发挥机器人领先优势，占据技术高地从而占据更多海外市场；欧盟则通过立法等方式提

出伦理原则,捍卫欧洲价值观;在中国,医疗卫生机器人处于萌芽期,还在维护市场秩序、制定行业标准的初级阶段。虽然近几年中国已经加强了人工智能伦理和法律方面的探索和实践,但在基础理论研究、伦理规范制订和实施,以及专门立法方面仍显薄弱。

美国加大对人工智能法规适用性的试点研究。颁布涵盖人工智能对国家安全的影响、人工智能的前瞻性研究、开放政府数据等多方面规定的《人工智能国家安全委员会法案》《人工智能未来法案》《开放政府数据法》。其中,《人工智能未来法案》以成立 AI 咨询委员会为核心,要求研究促进人工智能发展和创新的有利环境,并对人工智能可能带来的伦理、法律及社会问题进行研究,是后续人工智能相关立法的前置性步骤。相关研究成果将为政府决策及后续的立法工作提供智力支持,体现了信息时代对监管的专业性、谦抑性要求,有利于将监管重心聚焦于技术发展导致的明确问题,在培育创新的同时确保技术不会危及社会安全,避免公权力过早介入人工智能领域而对技术及产业发展造成阻碍。

日本立法鼓励机器人开发创新。2015 年 1 月,日本经济产业省编制了《日本机器人战略:愿景、战略、行动计划》(又称为《新机器人战略》),对鼓励机器人发展的法律制度改革进行了详细规划,计划展开机器人技术开发、标准化、示范考核、人才培养和法规调整等具体行动;针对涉及机器人技术的医疗器械,法案规定审查期分别为正常审查项目 14 个月和优先审查项目 10 个月,以加快上市审批速度。另外,日本也成立人工智能伦理委员会,积极开展人工智能伦理道德研究。

欧盟创造可信赖的人工智能。2017 年,欧洲议会曾通过一项立法决议,提出要制定“机器人宪章”,推动人工智能和机器人立法。《欧盟人工智能》提出加强人工智能新的伦理准则研究,在捍卫欧洲价值观的基础上解决公平、安全和透明等问题。《关于人工智能、机器人及“自主”系统的声明》提出了一套人工智能发展的基本伦理原则。2019 年,欧盟新数据保护法(GDPR)正式生效,其中涉及人工智能的主要有:要求人工智能的算法具有一定的可解释性,这对于“黑箱”人工智能系统来说可能具有挑战性。同年,欧盟委员会发布了由人工智能高级专家组编制的《人工智能道德准则》,列出了人工智能可信赖的七大原则,以确保人工智能应用符合道德、技术足够稳健可靠,从而发挥其最大的优势并将风险降到最低。其中,可信赖人工智能有两个组成部分:一是应尊重基本人权、规章制度、核

心原则及价值观;二是应在技术上安全可靠,避免因技术不足而造成无意的伤害。

中国立法引导、规范机器人产业。2016 年工业和信息化部、国家发展改革委和财政部联合发布的《机器人产业发展规划(2016—2020 年)》,要求规范机器人产业市场秩序,利用第三方机构国家机器人检测与评定中心对机器人整机及关键功能部件进行检测、认证和校准,防止机器人产业无序发展^[4]。2017 年,国务院发布了《新一代人工智能发展规划》,明确提出建立人工智能法律法规、伦理规范和政策体系,形成人工智能安全评估和管控能力,为中国人工智能立法指明了方向。同年,五部委发布《关于推进机器人检测认证体系建设的意见》,涉及机器人检验检测认证体系建立原则、标准体系构成、认证平台建设及认证开展等四大方面,中央统筹规划和管理,组建由政府部门、行业协会、检验检测认证机构、企业等相关方组成的机器人检验检测认证协同推进组,来协调机器人检验检测认证相关工作。

5 结论和建议

通过对中、美、日、欧盟 4 个国家和地区医疗卫生机器人相关政策比较分析后发现,中国虽然在机构设置、项目开展、平台建设、法规和伦理研究方面都有涉及,与其他国家和地区在政策应用上不乏相似之处,但细究其具体环节依旧存在着明显的差异。首先,国家在发挥顶层设计优势时过于依赖战略目标和资金支持,忽略人才培养、科技创新等软实力配置,项目审批程序多、速度慢影响了产品开发的效率,不利于智慧医疗改革;其次,中国医疗卫生机器人政策制定中有政府过度参与的迹象,从长远来看不利于市场公平竞争,产业发展缺少对市场需求的跟进,容易降低企业对于医疗卫生机器人创新的热情;同时,平台建设方面,中国对医疗大数据的管理和数据平台的建设尚处于萌芽期,且缺乏供需对接平台以及强大的科技研发人才团队;最后,医疗卫生机器人作为新兴科技,需要社会的包容性以及相应制度化标准,相较于其他国家和地区,中国的政策力度显然是不足的。基于以上研究,得出相关启示如下。

5.1 以制度谋发展,创新培育人才奠基智慧医院改革

在中国,医疗卫生机器人的发展由政府主导,研究主体为企业、研究所和高校,而发展医疗卫生机器人是一项高能耗、高投资的项目,受到资金缺乏、市场环境开放性不足以及医药卫生系统管理的限制,因此,政府应加强顶层设计,加大资金投入和项目投资,聘请专业化的人员;同时要鼓励企业与高校

联合培养人工智能创新型人才, 建立企业与企业之间良好沟通机制, 企业可以通过与学校共同设置人工智能专业和课程, 建立人工智能实验室进行交叉学科研究。另外, 政府还应充分利用机器人推进医疗系统“无人化”的智慧医院改革, 即面向医务人员的智慧医疗、面向患者的智慧服务、面向医院的智慧管理, 推广无接触式导诊、送药、治疗、手术, 保障医院清洁无菌化, 让医疗卫生机器人走向实地场景。

5.2 以市场论需求, 赋能新科技多元场景功能化

医疗卫生机器人市场有极大缺口, 在医疗人员供不应求的驱动下, 势必成为新一轮研发目标。国家需秉持以市场需求为导向, 以产学研结合为发展框架, 鼓励研究院、企业、医院合作开发产品, 面向不同场景不同需求定向开发, 使产品更快、更准、更安全地切入临床需求。如近期以重大公共卫生事件需求为导向, 面向传染性疾病定向开发鼻、咽拭子测试机器人或自动化装备; 同时, 鼓励多元化技术、产品、应用的组合, 促进产品更好地结合现有技术, 在产业链上各环节进行落地应用; 鼓励医院管理者、临床医生、护工等主体参与机器人产品的思路开发、研发讨论、使用培训和经验交流, 促使产品从实际临床需求出发进行设计开发, 并促进产品高效落地。面对老龄化的趋势, 鼓励企业联合医院、养老院等机构开发针对老年人的行动护理、术后康复、情感陪护等需求的养老机器人, 发挥功能训练、功能替代两个作用; 同时, 机器人通过集成数据和人工智能分析, 实现健康监控和疾病预测的功能。

5.3 以数据集平台, 开展医疗大数据新基建

机器人自成信息系统平台, 通过协作形成医疗物联网优势。国家卫生健康委办公厅印发《国家卫生健康委办公厅关于在疫情防控中做好互联网诊疗咨询服务工作的通知》, 明确各级卫生健康行政部门要充分发挥互联网诊疗咨询服务在疫情防控中的作用; 2020年3月4日, 中共中央政治局常务委员会强调加快推进5G网络、数据中心等新型基础设施建设进度。针对此趋势, 政府应建立良性畅通的健康大数据平台, 在用药分析、病因分析、移动医疗、基因组学、疾病预防、可穿戴医疗等用途实现多场景数据流通。在社区, 通过高速通信诊断机器、图像识别异常检测、生命体征传感器, 运动传感器、红外摄像头等设备构建先进的医疗信息共享平台, 实现街区护理、远程诊疗, 以及健康、医疗、护理数据的整理、联通, 帮助医生诊断、监护病人。在医院, 建立统一的电子病历标准并推广、统一临床用语, 推进医疗数据电子化、标准化进程, 形成规

范可用的医疗健康大数据; 在多元化数据检测的基础上构建重大突发事件预警和应急响应体系, 同时探索开展个性化健康管理服务, 推动医疗决策的路径从经验即决策向数据辅助决策、数据即决策改变。健康医疗大数据不可避免地会涉及人群的隐私信息, 包括个人信息、病史、身体状况等, 大数据的收集、存储、维护及使用还会牵涉公众利益甚至国家安全, 安全是数据开放共享的前提, 对涉及国家利益、公共安全等重要信息要加强安全监测和预警。

5.4 以立法促发展, 加强伦理道德风险管控

人工智能的监管体制需要得到公众认可, 即立法上的承认。从程序的正当性和普遍的代表性看, 立法机关作为监管机构有着无可替代的作用, 立法机关的代议性使其成为建立监管体制和树立基本原则的起点, 进而可以明确监管的目标和建立相应的监管机制。但立法者相对缺乏专业性, 尤其在新兴科技领域, 又会限制其作用的发挥。医疗卫生机器人作为迅速发展的新事物, 相关法律法规的滞后性较明显^[30]。国内监管法制体系下审批医疗人工智能产品的路径尚不明朗, 国家食品药品监督管理局更趋向于按照新药或新医疗器械进行审批, 比较谨慎; 而美国食品与药品管理局在人工智能医疗器械方面有全新的加速审批通道, 顺应机器人更新换代快的发展特点。此外, 中国虽然在政策层面对人工智能作出一些响应, 但是尚未有专门致力于数字化医疗和人工智能技术审评的新部门; 而美国已开始着手成立相关部门。因此, 国家在立法时应最大化考虑医疗卫生机器人发展的客观趋势和现实情况, 用专业化的立法技术和手段规制科技问题, 力求所立之法能够前瞻性地考虑与应对医疗卫生机器人深入、广泛应用后所出现的新问题。

参考文献:

- [1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发全国医疗卫生服务体系规划纲要(2015—2020年)的通知[EB/OL]. (2015-03-06) [2020-09-24]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-03/30/content_9560.htm.
- [2] 工业和信息化部. 充分发挥人工智能赋能效用 协力抗击新型冠状病毒感染的肺炎疫情 倡议书[EB/OL]. (2020-02-04) [2020-09-24]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/kjs/jsex/gjsfz/art/2020/art_1782cd08c7ef45b6bd7224d340f5dadbd.html.
- [3] 吴瑜, 袁野, 龚振伟. 人工智能背景下中美科技政策比较研究: 基于文本挖掘与可视化分析的视角[J]. 中国电子科学研究院学报, 2019, 14(8): 891-896.
- [4] 罗连发, 储梦洁, 刘俊俊. 机器人的发展: 中国与国际的比较[J]. 宏观质量研究, 2019(3): 38-50.
- [5] 毛子骏, 梅宏. 政策工具视角下的国内外人工智能政策比较分析[J]. 情报杂志, 2020, 39(4): 74-81, 59.
- [6] 中国信通院. 疫情防控中的数据与智能应用研究报告: 1.0版

- [EB/OL].(2020-03-03) [2020-09-24].http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202003/t20200303_275553.html.
- [7] 周欣月. 人工智能各国战略解读：美国国家创新战略 [J]. 电信网技术, 2017(2):29-31.
- [8] BURNSTEIN J. 美国机器人产业的发展及展望 [J]. 机器人产业, 2018, 22(5):21-26.
- [9] 李宁, 朱晓暄. 美国 2018 年科技行动和成果回顾及 2019 年科技政策新动向 [J]. 科技中国, 2019(3):50-51.
- [10] THE WHITE HOUSE. The national artificial intelligence research and development strategic plan: 2019 update [EB/OL]. (2019-06-21) [2020-09-24]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2019/06/National-AI-Research-and-Development-Strategic-Plan-2019-Update-June-2019.pdf>.
- [11] 江丰光, 熊博龙, 张超. 我国人工智能如何实现战略突破：基于中美 4 份人工智能发展报告的比较与解读 [J]. 现代远程教育研究, 2020, 32(1):3-11.
- [12] THE WHITE HOUSE. Emerging technologies to support an aging population [EB/OL]. (2019-03-05) [2020-09-24]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2019/03/Emerging-Tech-to-Support-Aging-2019.pdf>.
- [13] 机器人网. 日本 2014 机器人发展白皮书介绍 [EB/OL]. (2013-11-03) [2020-09-24]. <http://www.robot-china.com/news/201411/03/15330.html>.
- [14] 王喜文. 日本机器人新战略 [J]. 中国工业评论, 2015(6):71-76.
- [15] 日本经济再生部. 日本再兴战略 2016: 第 4 次产业革命に向けて - [EB/OL]. (2016-04-19) [2020-09-24]. http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/2016_zentaihombun.pdf.
- [16] 国家信息中心. 电子政务发展前沿：人工智能的研究开发目标和产业化路图 [EB/OL]. (2017-12-05) [2020-09-24]. <http://www.sic.gov.cn/archiver/SIC/UpFile/Files/Default/20171205133524733260.pdf>.
- [17] BAJART A. Robotics in the healthcare domain/DIH status and future [EB/OL]. (2018-01-10) [2020-09-24]. https://www.eu-robotics.net/sparc/upload/Newsroom/Press/2017/EC_presentation_Healthcare_DIHs_workshop_Brussels_10012018_final.pdf.
- [18] 刘金国, 张学宾, 曲艳丽. 欧盟“SPARC”机器人研发计划解析 [J]. 机器人技术与应用, 2015(2):24-29.
- [19] THE EU-ROBOTICS. Healthcare robotics digital innovation hub [EB/OL]. (2018-08-22) [2020-09-24]. <https://www.eu-robotics.net/sparc/newsroom/press/healthcare-robotics-digital-innovation-hub-briefing-document.html?changelang=2>.
- [20] THE EU-ROBOTICS. RockEU: robotics coordination action for Europe [EB/OL]. (2016-07-28) [2020-09-24]. <https://www.eu-robotics.net/eurobotics/about/projects/2013-2016-rockeu.html>.
- [21] 上海交大人工智能研究院. 人工智能医疗白皮书 [EB/OL]. (2019-01-09) [2020-09-24]. http://www.cbdio.com/BigData/2019-03/06/content_6037231.htm.
- [22] 刘凤朝, 孙玉涛. 我国科技政策向创新政策演变的过程、趋势与建议：基于我国 289 项创新政策的实证分析 [J]. 中国软科学, 2007(5):40-48.
- [23] 刘姣姣, 黄膺旭, 徐晓林. 日本人工智能战略：机构、路线及生态系统 [J]. 科技管理研究, 2020, 40(12):39-45.
- [24] NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. National robotics initiative 2.0: ubiquitous collaborative robots (NRI-2.0) [EB/OL]. (2018-11-23) [2020-09-24]. https://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503641&org=CISE.
- [25] 中国科学院科技战略咨询研究院. 日本“战略性创新项目”计划着力开辟新领域 [EB/OL]. (2015-05-30) [2020-09-24]. http://www.casisd.cn/zkcg/ydkb/kjczyzskb/2014/201401/201703/t20170330_4767553.html.
- [26] 中国科学院科技战略咨询研究院. 日本发布第 2 期战略性创新推进计划 [EB/OL]. (2018-10-11) [2020-09-24]. http://www.casisd.cn/zkcg/ydkb/kjczyzskb/2018/kjczyzskb20181011/201810/t20181011_5141098.html.
- [27] 科技部. 科技部关于发布国家重点研发计划智能机器人等重点专项 2017 年度项目申报指南的通知 [EB/OL]. (2017-07-31) [2020-09-24]. http://most.gov.cn/mostinfo/xinxifenlei/fgzc/gfxwj/gfxwj2017/201707/t20170731_134320.htm.
- [28] 舒婷, 梁铭会. 美国联邦政府医疗信息化战略规划 (2015—2020) 内容简析 [J]. 中国数字医学, 2015, 10(2):2-4.
- [29] EUROPEAN COMMISSION. Shaping Europe's digital future POLICY artificial intelligence [EB/OL]. (2020-04-16) [2020-09-24]. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/artificial-intelligence>.
- [30] 汤可桢, 黄格, 陶金婷, 等. 人工智能在我国卫生健康领域的应用和法律挑战 [J]. 医学信息学杂志, 2019, 40(5):10-14.

作者简介：毛子骏（1982—），男，湖北武汉人，教授，博士后，主要研究方向为电子政务、非传统安全；刘子灵（1996—），通信作者，女，江西赣州人，硕士研究生，主要研究方向为非传统安全、人工智能政策；周光勇（1973—），男，湖北安陆人，副院长，主要研究方向为科技政策。