

我国人工智能临床应用研究发展 现状及建议

尹军祥¹ 黄鑫¹ 李苏宁¹ 桑晓冬¹ 阮梅花² 卢珊^{*,1} 范玲^{*,*,1}

(1. 中国生物技术发展中心, 北京 100039;

2. 中国科学院上海生命科学信息中心, 中国科学院上海营养与健康研究所, 上海 200031)

摘要:近年来,人工智能临床应用研究进展迅猛,有望为提升疾病防控水平,促进健康中国建设提供重要支撑。本文基于文献研究、专题研讨、专家访谈,从战略布局、研发实力、产品创新、临床应用等方面分析我国人工智能临床应用研究进展。研究发现:我国在该领域研发实力显著增强,学术产出与技术创新水平进入国际第一方阵。其中,申请、公开的专利数分别由 2011 年的 137 项、26 项增长至 2021 年的 2484 项和 2909 项,均跃居全球首位。发表论文数由 2011 年的 43 篇逐年快速增长至 2021 年的 4597 篇,仅次于美国。我国医疗人工智能产品研究不断取得创新突破,相关产品的智能化程度不断提高,正在从研究阶段走向应用层面,支撑临床实践提质增效。我国在人工智能临床研究领域也存在一定的问题和短板,主要包括:1)重大原创成果较少,核心技术、关键设备受制于人;2)产品研发临床驱动不足,临床应用场景单一;3)医疗数据质量不高,数据标准与共享机制不健全;4)评价与监管体系不健全,伦理制度与法律法规待完善。对此,提出建议,包括:1)加强顶层设计,统筹国家科技计划系统布局;2)规范数据标准,培育医疗数据建设与共享新业态;3)完善法律法规,优化认证评估与安全监管体系;4)加强人才培养,打造医学人工智能复合型人才团队。

关键词:人工智能;临床应用;现状;建议

DOI: 10.16507/j.issn.1006-6055.2022.10.004

The Status Quo and Suggestions of Clinical Application Research of Artificial Intelligence in China

YIN Junxiang¹ HUANG Xin¹ LI Suning¹ SANG Xiaodong¹ RUAN Meihua²
LU Shan^{*,1} Fan Ling^{*,*,1}

(1. China National Center for Biotechnology Development, Beijing 100039, China;

2. Shanghai Information Center for Life Sciences, Shanghai Institute of Nutrition and Health, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031, China)

Abstract: The clinical application research of artificial intelligence has been developed rapidly in recent years and is expected to produce a subversive breakthrough for disease elimination and health promotion. This review briefly introduces the status quo of artificial intelligence clinical application research in China, including strategic layout, research and

* E-mail:lushan@cncbd.org.cn

* * E-mail:fanling@cncbd.org.cn

development strength, production innovation, and clinical application. The study found that the research and development strength of this area in China had improved markedly. The number of patent applications had increased to 2484 items in 2021 from 137 items in 2011. The number of published patents had increased to 2909 items from 26 items in 2011. Both of them increased markedly and ranked 1st in the world. The number of papers published had increased markedly to 4597, ranking 2nd in 2021 from 43 in 2011. Meanwhile, product innovation has been accelerating from research to application. On the other hand, there are also some problems: lack of significant original innovation achievements, core technologies, and key equipment; insufficient clinical orientation of product research and development; limited clinical application scenarios; poor quality of medical data, imperfection of data Standard and sharing mechanism; the imperfection of evaluation and supervision system. Based on the above, we put forward four suggestions: strengthening top-level design and coordinating the layout of the National Science and Technology Plan System; regularizing data standards, developing new forms of medical data-sharing; improving the system of laws and regulations, enhancing the level of assessment and supervision; strengthening the cultivation of talents, especially creating multidisciplinary artificial intelligence talent teams.

Keywords: Artificial Intelligence; Clinical Application; Status Quo; Suggestions

人工智能临床应用研究是将人工智能与临床需求相结合,通过完善临床诊疗技术、构建智能医护模式、优化健康管理体系等方式多方位提升疾病防控和健康保障水平的相关研究,有望为消除疾病、促进健康带来引领性、颠覆性突破,为保障和改善民生提供重要支撑。近年来,随着移动互联网、大数据、脑科学等新理论新技术的不断创新突破与交叉融合,人工智能进入新的发展阶段,加速融入临床实践各环节,人工智能临床应用研究已成为医学研究的重点方向和国际竞争热点,主要发达国家均出台相关规划和政策,力图在新一轮科技竞争中抢占主导权。我国高度重视人工智能,将其作为新一轮科技革命和产业变革的核心驱动力强化战略布局,通过国家科技计划持续支持,人工智能临床应用研究进展良好,科技实力不断增强^[1]。随着深度学习、神经网络等技术的不断革新和医疗健康信息化建设的迭代升级,人工智能学术研究逐步向医学影像、药物研发、疾病预测等临床应用研究转化,为拓展智能化疾病诊治模式、优化医疗服务资源、提升健康保障水平带来了新的希望。本文基于文献计量和专家咨询等方法,同时从定量和定性的角度对我国人工智能在临床应用方面的重要进展进行分析,进一步对标

国际前沿和临床应用需求,剖析了目前存在的局限性与挑战,就下一步科技工作提出几点建议,可为人工智能临床应用领域的政策制定及研究、管理工作提供参考。

1 研究数据与方法

本文利用 Web of Science、incoPat 和药智网等数据库定量分析了我国人工智能临床应用领域的论文、专利和产品审批等方面情况,限定时间范围为 2011—2021 年,共检索我国专利申请量 10661 件,我国论文发表 10152 篇。检索时间为 2022 年 8 月 2 日。并结合专家访谈与咨询、专题研讨等定性方法,全面梳理了我国人工智能在临床应用方面的重要研究进展。

1) 专利检索式

tiabc= (“intelligent medical robot*” or “Medical artificial intelligence” or (“artificial intelligence” or “Deep learning” or “reinforcement learning” or “Machine learning” or “Convolutional neural network*” or “Deep Neural Network*” or “Recurrent neural network*” or “Spiking Neural Network*” or “Synergetic Neural Network” or “Cognitive computing” or robot*) same (clinical or diagnostic* or treatment or therapy or therapies or prognosis or prognostic)

or 人工智能 and(临床 or 诊断 or 治疗 or 预后))。

2) 论文检索式

Ts= (“intelligent medical robot*” or “Medical artificial intelligence” or (“artificial intelligence” or “Deep learning” or “reinforcement learning” or “Machine learning” or “Convolutional neural network*” or “Deep Neural Network*” or “Recurrent neural network*” or “Spiking Neural Network*” or “Synergetic Neural Network” or “Cognitive computing” or robot*) same (clinical or diagnostic* or treatment or therapy or therapies or prognosis or prognostic))。文献类型为 Article+ Review。

2 我国人工智能临床应用研究进展

近年来,我国人工智能研究不断深入拓展,在机器学习、计算机视觉、人机交互、自然语言处理、生物特征识别、人工神经网络等关键技术方向不断取得创新突破,并逐步与临床需求相融合,促进人工智能临床应用研究稳步推进,学术水平快速提升,新发现、新技术、新产品不断涌现,为相关疾病的智能诊断、治疗和康复构建了重要基础和

支撑。

2.1 相关政策战略布局

自 2016 年以来,我国先后发布《“十三五”国家科技创新规划》《“十三五”卫生与健康科技创新专项规划》《新一代人工智能发展规划》等战略规划,从国家层面对人工智能临床应用研究进行顶层设计^[1-3];制定了《“互联网+”人工智能三年行动实施方案》《智能硬件产业创新发展专项行动(2016—2018年)》《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018—2020年)》《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》等实施方案和行动计划,从管理部门和行业层面对人工智能创新发展进行系统布局^[4-7];通过科技创新 2030—“新一代人工智能”重大项目、“数字诊疗装备研发”重点专项、“生物与信息融合”重点专项等国家科技计划,安排国拨经费数十亿元,聚焦人工智能医学知识图谱、影像分析、辅助诊断、危重监护、手术规划等研究领域开展科技攻关,引领、推进我国人工智能临床应用研究向更宽领域、更深层次发展(表 1)。

表 1 2016 年以来我国发布的人工智能临床应用研究相关政策文件

Tab.1 Policy Documents List of Clinical Application Research of Artificial Intelligence Released since 2016 in China

序号	发布时间	发文机关、部门	发文标题	发文字号
1	2016-05-23	国家发展改革委、科技部、工业和信息化部、中央网信办	关于印发《“互联网+”人工智能三年行动实施方案》的通知	发改高技[2016]1078号
2	2016-08-08	国务院	国务院关于印发“十三五”国家科技创新规划的通知	国发[2016]43号
3	2016-09-21	工业和信息化部、国家发展和改革委员会	工业和信息化部国家发展和改革委员会关于印发《智能硬件产业创新发展专项行动(2016-2018年)》的通知	工信部联电子[2016]302号
4	2017-06-13	科技部、国家卫生计生委、国家体育总局、国家食品药品监管总局、国家中医药管理局、中央军委后勤保障部	关于印发《“十三五”卫生与健康科技创新专项规划》的通知	国科发社[2017]147号
5	2017-07-20	国务院	国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知	国发[2017]35号
6	2017-12-14	工业和信息化部	工业和信息化部发布《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018-2020年)》	工信部科[2017]315号
7	2022-08-12	科技部、教育部、工业和信息化部、交通运输部、农业农村部、国家卫生健康委	科技部等六部门关于印发《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》的通知	国科发规[2022]199号

2.2 学术成果产出

近年来,我国人工智能临床应用研究进展迅猛,科技创新持续发力,主要学术指标进入世界前列,技术研发水平加速迈向国际一流(图1)。



图1 2011—2021年我国人工智能临床研究领域论文与专利趋势

Fig.1 Trends of Papers and Patents of Clinical Application Research of Artificial Intelligence from 2011 to 2021 in China

1) 专利申请与公开量稳步增加,跃居全球首位。据 Incopat 专利数据库检索结果,我国申请、公开的人工智能临床应用相关专利数分别由2011年的137项、26项增长至2021年的2484项和2909项,2021年专利申请与公开量均居全球首位。

2) 论文数量快速增长,位居全球第二。据 Web of Science 数据库检索结果,我国人工智能临床应用研究领域发表论文数由2011年的43篇逐年快速增长至2021年的4597篇,仅次于美国5022篇。同时,论文质量也迅速提升,其中,基本科学指标数据库(Essential Science Indicators, ESI)高水平论文(包括领域内被引频次排名前1%的ESI高被引论文和过去2年内发表的被引频次前0.1%的热点论文)指标由2011年的0篇,上升到2020年的71篇、2021年的63篇。

3) 部分领域核心技术实现重要突破。语音识别、视觉识别技术世界领先,自适应自主学习、混

合智能等技术具备跨越发展能力,智能监控、生物特征识别等技术向临床应用转化。

2.3 产品研究及临床实践分析

2.3.1 产品创新加力提速,从研究走向应用

近5年来,我国医疗人工智能产品研究不断取得创新突破。根据药智网数据库显示,2018年首款产品获批上市,2020年、2021年我国获批医疗人工智能产品数量分别为11项、14项,总数达26项,涉及肺部疾病、心血管疾病、眼科疾病、骨骼与皮肤疾病等(图2)。相关产品的智能化程度不断提高,正在从专用人工智能向通用人工智能过渡,由单一的数据处理向集成噪声过滤、成像优化等多元化功能模式转变。随着互联网技术群(数据、算法、算力)和临床应用场景加速融合,X线、CT等智能影像辅助诊断产品不断迭代升级并在医疗系统广泛使用;智能心电图机、心电分析软件等产品性能不断优化,人性化程度不断提升,临床应用渐趋成熟;智能门、急诊辅助诊疗系统可实现

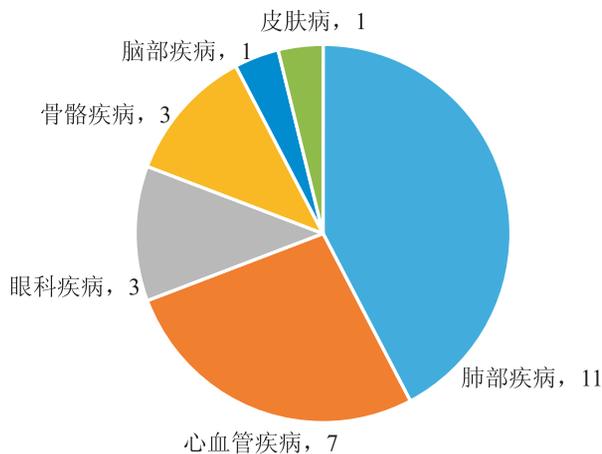


图2 2018—2021年我国国家药监局批准的人工智能医疗器械的疾病领域分布

Fig.2 The Disease Field Distribution of Medical Devices of Artificial Intelligence Approved by the National Medical Products Administration from 2018 to 2021 in China

智能分诊、分级、会诊,以及辅助临床决策和电子病历书写;智能健康与疾病管理系统可实时监控健康信息,全面评估患病风险,及时发现急危患者并上报等。人工智能产品的临床适应症已从肺部疾病扩展至心血管、眼底、骨骼、脑部、皮肤疾病等众多疾病领域,其应用场景已从疾病诊断扩展至临床防诊治及管理各环节^[8]。

2.3.2 支撑临床实践提质增效,推动医疗服务公平可及

我国人口众多,地域广阔,优质医疗资源集中,与主要发达国家相比,人均可获得的医疗资源严重不足,医疗资源不均衡问题突出。人工智能加速进入临床应用,在提升基层专科诊断水平、提高远程医疗质量,促进医疗质量均质化方面展现出巨大潜力。

1) 在诊断方面,糖尿病视网膜病变眼底图像智能辅助诊断、肺部影像智能辅助检测等人工智能诊疗系统显著提升疾病诊断效率和准确性,为相关疾病的快速筛查、精准诊断,以及改善基层医院专科医生缺乏问题提供了重要支撑。如利用人工智能辅助肺结节(磨玻璃结节)诊断,只需4.5秒便可完成医生23.6秒的单样本检测工作,且结节检出率(约87.2%)明显高于医生(约68.8%)^[9,10]。

2) 在治疗方面,智能手术机器人、智能精准放射治疗等通过智能规划手术路径、自动规划治疗靶区等,有效提高手术治疗精确度,同时减少并发症、缩短治疗时间、支撑远程医疗,显著提升了治疗效率和质量,可用于癌症、骨科、普通外科、泌尿、妇科等多个疾病领域和临床专科,为提升临床治疗水平、优化临床服务体验构建了重要基础^[11]。

3) 在康复方面,用于老年痴呆患者的智能康复产品,带动了医院从纸笔、卡片式人工评估训

练、传统单机医疗设备模式向基于互联网、云平台、虚拟现实、脑机接口的专业化、系统化智能康复全面升级。相关技术已应用于数百家医院的临床实践中,显著提升了康复的效率和可及性,有效促进基层康复医疗与省级、国家级优质医疗机构同步、同质化^[12]。

3 存在的问题

人工智能临床应用涉及科技研发、应用推广和产业发展等多环节,需攻克一系列前沿、交叉理论和技术,需应对信息安全和伦理等多方面问题。经过多年科技攻关和持续积累,我国在人工智能临床研究领域取得重要进展,但整体发展水平同美国、日本等主要发达国家相比仍然存在差距,智能化程度离临床应用实际需求仍存在较大距离,主要短板为缺少重大原创成果,研究机构和企业尚未形成具有国际影响力的生态圈和产业链,尖端人才缺乏,政策法规、标准体系等亟待完善^[13]。

3.1 重大原创成果较少,核心技术、关键设备受制于人

我国人工智能临床应用研究起步相对较晚,总体实力相比主要发达国家处于跟跑到并跑阶段,在基础理论、元器件、软件与接口等方面存在较大差距,缺少引领国际、改写临床指南的重磅创新成果,产品种类较为单一,第一款创新产品获批时间比美国晚了21年,获批上市产品总数不到美国(343项)的1/13,且以影像辅助诊断类为主^[14]。在核心算法及半导体、高性能芯片等重要技术和设备研发方面依赖国外,目前硬件市场基本由美国谷歌、美国高通、日本ARM公司等占据^[13,15]。

3.2 产品研发临床驱动不足,临床应用场景单一

人工智能临床应用涉及医学、人工智能、大数据等多领域,其关键在于解决临床需求,需要从临

床问题出发,最终为临床实践提供支撑。目前我国人工智能临床应用研究主要由工程技术类专家和企业主导,临床医生参与不足,缺乏既懂人工智能、又懂临床医学的复合型高端人才,产品开发往往距离临床需求差距较大,造成进一步开发、应用推广困难。如胸部CT能够同时检查肺部、心脏、大血管等多系统、多疾病领域病变情况,但肺部影像智能检测只能识别单一的肺部结节病灶,且部分检测结果的临床意义不大或仍需临床医生进行人工判断,尚未实现与其他检查的快速关联与智能化判断。

3.3 医疗数据质量不高,数据标准与共享机制不健全

高质量的临床数据是人工智能进行学习和准确判断的基础,我国虽已建设三万余家医院,拥有规模巨大的医疗健康数据,但缺乏大规模高质量标注训练数据集,已成为现阶段制约我国人工智能临床应用研究发展的关键因素。一方面,相关医疗数据缺少规范化标注、标准化程度不高、标注质量参差不齐,研发机构获取、使用不顺畅。另一方面,各机构间缺乏数据共建共享机制,存在数据壁垒、格式不统一以及数据安全风险等问题,导致数据无法互通互享,严重阻碍了数据的有效利用与产品开发^[16]。

3.4 评价与监管体系不健全,伦理制度与法律法规待完善

人工智能临床应用研究涉及面广、流程长,需要规范化的评价标准和专业化的监管体系。目前我国人工智能市场一方面缺少具体的评估标准、市场准入/退出和收费机制等,导致相关产品很难评价并按照标准化流程在临床上推广应用;另一方面,缺少健全的监管体系,难以及时对潜在的问题进行监督和反馈,不利于长远发展。此外,人

工智能临床应用研究直接关系人类生命健康,数量庞大的医疗数据涉及患者遗传信息和个人隐私等,面临诸多伦理和法律方面挑战,而我国在相关方面建设发展尚不成熟,存在较大风险隐患^[17]。

4 建议

我国人工智能临床应用研究进展迅猛,前景可期,但目前总体创新实力和应用规模与主要发达国家相比还存在差距,多数研究成果不能大规模用于临床,面对新发展阶段人民日益增长的医疗卫生健康需求对人工智能临床应用提出的新要求,须进一步增强机遇意识和风险意识,聚焦临床实践和健康保障需求,主动谋划、统筹布局,着力突破关键核心技术瓶颈,加快补齐数据标准建设等方面短板问题,多措并举,形成人工智能临床应用研究持续创新能力,积极推进相关领域和产业高质量发展。

4.1 加强顶层设计,统筹国家科技计划系统布局

进一步统筹人工智能、脑科学与类脑研究等重大项目,以及常见多发病等重点专项中对于人工智能临床应用研究的系统布局。针对核心算法及关键设备、高端芯片等短板问题和临床实践重点需求,创新项目组织实施机制,积极探索、完善“揭榜挂帅”、项目专员等制度,组织遴选多学科优势团队协同攻关。针对语音识别、视觉识别、智能监控等国际领先的核心技术和优势领域,以公开择优、滚动支持等方式,遴选核心团队,持续推进重点攻关,力争形成重大创新突破,不断巩固扩大领先优势。

4.2 规范数据标准,培育医疗数据建设与共享新业态

依托重大研发任务,引导人工智能优势企业与科研院所、医疗机构深度合作,推动理工科与医

科等学科交叉,组建医工结合的医疗数据标注团队,优化医疗数据解读规范,形成一套完整、精准,具备科学性和实操性的标注规范。围绕生命科学与生物医药领域全国重点实验室、国家临床医学研究中心建设需求,组建协同创新网络和团队,探索机构与部门间数据采集、流通、使用、收费等规范和标准,构建数据共建共享机制并进行示范推广,促进医疗数据标准化建设与使用。

4.3 完善法律法规,优化认证评估与安全监管体系

加强人工智能临床应用相关法律、伦理和社会问题研究,建立健全符合国际标准、适合我国需求的法律法规、伦理与制度体系,多方位保障人工智能临床应用研究健康、高效发展。构建科学规范的人工智能测试平台和公开透明的监督管理体系,推动人工智能临床应用相关产品和系统的科学认证与评估,实现对人工智能算法设计、产品开发和成果应用等的全流程科学、规范监管,确保人工智能技术、产品在安全、可靠、可控前提下服务临床诊疗需求。

4.4 加强人才培养,打造医学人工智能复合型人才团队

鼓励高校、科研院所和医疗机构加强合作,探索人工智能、计算机、大数据、统计学、医学等学科专业交叉的特色人才培养模式,培育一批跨学科复合型专业人才。完善高端人才的引进、流动与激励机制,逐步集聚一批具备创新潜力的医学人工智能领军人才。建立规范、专业化培训体系,结合实际需求提供复合型人才继续教育服务,持续为领域和行业发展提供源头创新。

参考文献

[1] 国务院. 国务院关于印发“十三五”国家科技创新规划的通知[EB/OL]. (2016-08-08) [2022-

08-19]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-08/08/content_5098072.htm.

[2] 科技部,国家卫生计生委,体育总局. 关于印发《“十三五”卫生与健康科技创新专项规划》的通知[EB/OL]. (2017-06-13) [2022-08-19]. https://www.most.gov.cn/tztg/201706/t20170613_133484.html.

[3] 国务院. 国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知[EB/OL]. (2017-07-20) [2022-08-19]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm.

[4] 国家发展改革委,科技部,工业和信息化部,等. 关于印发《“互联网+”人工智能三年行动实施方案》的通知[EB/OL]. (2016-05-23) [2022-08-19]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201605/t20160523_963069.html?code=&state=123.

[5] 工业和信息化部,国家发展和改革委员会. 关于印发《智能硬件产业创新发展专项行动(2016—2018年)》的通知[EB/OL]. (2016-09-21) [2022-08-17]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/dzs/wjfb/art/2020/art_b979cfefc239458294ff3b2fb07cba47.html.

[6] 工业和信息化部. 工业和信息化部发布《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018—2020年)》[EB/OL]. (2017-12-14) [2022-08-17]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/kjs/jscx/gjsfz/art/2020/art_291b5e6bc13f415494e84a0e9eac78f1.html.

[7] 科技部,教育部,工业和信息化部,等. 科技部等六部门关于印发《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》的通知[EB/OL]. (2022-08-12) [2022-08-19]. https://www.most.gov.cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdgnr/fgzc/gfxwj/gfxwj2022/202208/t20220812_181851.html.

[8] 张戎,刘洪臣. 人工智能技术在临床医疗中的应用概述[J]. 中华老年口腔医学杂志,2021,19

- (1):40-44.
- [9] 卢杰伦,王慧贤,刘天柱,等. 智能识别辅助工具在肺部磨玻璃结节诊断中的应用研究[J]. 中国医学装备,2021,18(10):19-23.
- [10] 李甜,李晓东,刘敬禹. 人工智能辅助诊断肺结节的临床价值研究[J]. 中国全科医学,2020,23(7):828-831.
- [11] 孙岳川,高键东,吴及. 临床医学人工智能:典型应用与挑战[J]. 中国卒中杂志,2021,16(7):643-648.
- [12] 李雨,孙淑瑞,郭金磊,等. 人工智能在康复医学领域中的发展应用[J]. 中国科技信息,2021,13:59-60.
- [13] 王志刚. 人民网-人民日报. 形成人工智能健康发展有效路径[EB/OL]. (2019-07-25) [2022-08-19]. <http://opinion.people.com.cn/GB/n1/2019/0725/c1003-31254434.html>.
- [14] U. S. Food & Drug Administration. Artificial Intelligence and Machine Learning (AI/ML)-Enabled Medical Devices [EB/OL]. (2021-09-21) [2022-08-19]. <https://www.fda.gov/medical-devices/software-medical-device-samd/artificial-intelligence-and-machine-learning-aiml-enabled-medical-devices#resources>.
- [15] 凤凰科技. 人工智能面临三大挑战发展时应避免短板效应[EB/OL]. (2017-09-07) [2022-08-19]. https://tech.ifeng.com/a/20170907/44675771_0.shtml.
- [16] 吴琼,杨宝晨,郭娜,等. 人工智能大数据时代医学数据保护的思考[J]. 人工智能,2022,1:56-61.

- [17] 潘志玉. 人工智能应用的伦理风险及法治应对[J]. 学习与探索,2022,7(324):61-67.

作者贡献说明

尹军祥:设计文章框架、收集、整理资料,撰写文章初稿,核改;

黄鑫:收集、整理资料、核改;

李苏宁:收集、整理资料、核改;

桑晓冬:收集、整理资料、核改;

阮梅花:收集、整理资料、核改;

卢 珊:设计文章框架、指导文章撰写、核改;

范 玲:设计文章框架、指导文章撰写、核改。

作者简介



卢 珊:研究员;主要研究方向:生命科学与生物医药领域科技创新及产业发展战略、科技项目管理。



范 玲:高级工程师;中国生物技术发展中心副主任;主要研究方向:生命科学与生物医药领域科技创新战略、产业发展规划、科技项目管理及国际合作。