·专题报道——公共卫生信息化建设与人工智能·

人工智能在公共卫生策略优化中的应用与挑战

法卉[1]，吴文烈[2]

1. 复旦大学社会科学高等研究院，上海 200433；
2. 复旦大学上海市重大传染病和生物安全研究院，上海 200032
通信作者：法卉，E-mail：fahui@fudan.edu.cn；吴文烈，E-mail：wuwenlie@fudan.edu.cn

【摘　要】人工智能已成为公共卫生系统创新的驱动力，尤其在疾病风险监测、诊断和治疗等方面，极大地提升了公共卫生服务的效率和准确性。然而，目前人工智能与公共卫生策略的融合仍处于初级阶段，面临众多挑战，只有不断审视可能存在的问题和风险，才能确保人工智能在公共卫生领域的应用既安全又能满足实际需求。本文概述了人工智能在提升公共卫生服务效率、增强疾病监测和响应能力、促进公共卫生领域健康公平方面的现状，并指出了其在数据收集、算法准确性、伦理和隐私等方面所面临的挑战，以期为人工智能助力公共卫生策略的优化提升提供参考。

【关键词】人工智能；公共卫生策略；优化；健康公平

Application and challenges of artificial intelligence in public health strategy optimization

FA Hui[1], WU Wenlie[2] (*1. Fudan Institute of Advanced Study in Social Sciences*, *Fudan University*, *Shanghai* 200433, *China*; *2. Shanghai Institute of Infectious Disease and Biosecurity*, *Fudan University*, *Shanghai* 200032, *China*)
Corresponding authors: FA Hui, E-mail: fahui@fudan.edu.cn; WU Wenlie, E-mail: wuwenlie@fudan.edu.cn

【Abstract】 Artificial intelligence (AI) has become a driving force for innovation in public health systems, significantly enhancing the efficiency and accuracy of public health services, particularly in disease risk monitoring, diagnosis, and treatment. However, the integration of AI with public health strategies is still in its early stages and faces numerous challenges. Continuous examination of potential problems and risks is crucial to ensure that the application of AI in public health is both safe and meets practical needs. This article provides an overview of the current state of AI in improving the efficiency of public health services, enhancing disease surveillance and response capabilities, and promoting health equity in the public health field. It also highlights the challenges faced by AI in data collection, algorithm accuracy, ethics, and privacy. This review aims to provide a reference for optimizing and enhancing public health strategies through the application of AI.

【Keywords】 artificial intelligence; public health strategy; optimization; health equity

公共卫生体系（public health system）是指在一定的权限范围内提供必要的公共卫生服务的各种公共、民营和志愿组织的总体[1]，其常被描述为具有不同作用、关系和相互作用的网络，为整个社区和地区公众健康和福祉服务的各种组织机构[2]。公共卫生策略是为实现特定公共健康目标而制定的具体措施与方法，通常包括政策、计划和干预手段，其通过整合和利用体系内的资源和组织机构，有针对性地推动健康目标的实现。当前，公共卫生策略发展重点可聚焦于三大核心领域：（1）通过精准健康防控手段，提高公共卫生服务质量；（2）有效进行群体风险管理，增强对突发公共卫生事件的应对能力；（3）促进健康资源的平等分配，提升健康公平性。实现这些目标既需要科技创新的助力，也离不开管理策略的优化。

人工智能旨在开发能够模拟人类认知功能的机器或软件系统，涵盖学习、推理、自我调整及解决问题等能力，其应用为公共卫生策略的技术革新与管理效率提升提供了新的可能[3]。因此，探索人工智能与公共卫生策略整合的前景，推动公共卫生体系朝数字化和智能化方向转型，已经成为现代社会亟须解决的重要任务和挑战。本文概述了人工智能在公共卫生策略优化中的应用现状及面临的挑战，并提出人工智能在优化公共卫生策略方面的建议，以期为公共卫生策略的优化提升提供参考。

1　人工智能在公共卫生策略优化中的应用现状

1.1　提升公共卫生服务质量和效率　随着社会结构和生活方式的演变，公众对健康的认知和观

开放获取：CC BY-NC-ND 4.0　DOI：10.11847/zgggws1144354
基金项目：复旦大学社会科学高等研究院 2023 年年度主题“人工智能的历史、现状和未来”；上海市教育科学研究项目（C2021360）；上海市卫生健康委员会政策研究课题（2021HP74）
第一作者：法卉（1991—），博士后研究员，研究方向：人工智能与社会治理。
收稿日期：2024-03-07　修回日期：2025-01-13　录用日期：2025-02-17
利益冲突：不存在　伦理审查：不需要　出版授权：全体作者已与编辑部签署作者贡献声明及版权转让协议

念正在发生变化，这种变化不仅体现在从传统的治疗导向转变为主动预防的理念上，更在于健康关注领域从单一维度向多元化维度的拓展。随着人口老龄化问题的加剧和年轻人亚健康状态的普遍化，不同社会群体对健康的需求和关注也呈现出更加多元和复杂的图景。因此，移动健康（mobile health）在营养学、身体健康管理和精神健康管理三大场景中显示出巨大的应用潜力，成为了连接公众健康需求和未来健康管理理念的桥梁[4]。通过整合用户的自我报告数据以及从传感器收集的生理数据，智能移动设备能够根据个人的年龄、性别、身高和体重预测最优化的运动和睡眠数据，利用算法为其定制运动和饮食建议[5]。这些由人工智能技术驱动的健康管理服务能够为用户定制个性化的健康档案，并对其潜在健康风险发出预警。移动健康以其低成本和便捷性，主要服务于日常生活中健康状况较为良好的人群。但由于智能设备所能收集到的个体健康数据较为简单和基础，其在预防和诊断癌症、心脏疾患或阿尔茨海默病等复杂疾病上的准确性和效果受限，也无法起到提供健康解决方案的效果[6]。而个性化健康管理（personalized health）则通过拓宽信息来源，实现了在疾病诊断和治疗方面的重大突破，其通过机器学习构建的分析模型整合来自健康系统网络、智能移动设备、物联网和社交媒体等多元数据源，能够精确识别并捕捉患者的异常行为模式和健康状态，如，由医疗设备和高阶玻尔兹曼深度置信网络（higher-order Boltzmann deep belief neural network）共同构成的心脏病检测系统，能够在最短 8.5 s 内，以 99.03% 的高准确率识别异常心脏活动[7-8]。另外，基于人工智能的个性化健康管理服务不仅限于疾病监测，还能为患者提供实时支持，如，通过人工神经网络（artificial neural network）对从身体区域网络（body area network）收集到的生理数据进行分析后，能够在移动设备上即时播放最适宜的音乐类型，为患者提供自动化的音乐治疗[9]。

未来，人工智能与机器人、虚拟现实等尖端技术相结合，有望在重大疾病的分析、诊断以及物理治疗中发挥更大效能，提升患者的生活质量和预期寿命。

1.2 *增强公共卫生监测和响应能力* 预警与监测是公共卫生体系决策的支撑，也是有效管理紧急事件的基础。人工智能在追踪和预测疾病如何随时间和空间扩散方面展现了巨大潜力。由哈佛大学主导、并与世界卫生组织新发疾病检测项目（ProMed）合作共享数据的健康地图（HealthMap），即是一项基于人工智能模型的创新应用，其通过整合全球卫生领域相关信息，利用 Google 地图等工具，对世界各地的健康信息变化进行实时追踪、汇总和筛选[10]。在传染病暴发期间，有限且快速耗竭的医疗资源对公共卫生管理构成了巨大挑战。面对这一挑战，准确预测个体的感染风险和患者病情的严重性显得尤为重要，许多国家已开始利用人工智能技术来辅助风险评估[11-12]。同时，人工智能算法利用从大数据中收集到的公共健康领域相关信息（包括公开新闻媒体、官方报道和地方调查）、社会流动数据（如旅行数据和人员流动信息）以及非传统数据集（如社交媒体和在线平台数据），能够预测传染病向不同地区扩散的概率和可能性[13]，通过追踪传染病早期的流行趋势，算法帮助人们深入理解传染病的传播路径、公众健康意识以及医疗资源的利用情况，从而为制定公共卫生应对措施提供了重要支持。

人工智能在抗击传染病扩散中的另一个重要作用是探索潜在的治疗方案和疫苗研发。在面对全球健康挑战时，众多研究机构和数据中心宣布利用人工智能技术加快治疗方案研究，希望借此加速新药的研发以及现有药物的再利用，如，谷歌旗下的 DeepMind 公司，借助其在 AlphaGo 算法中展现的人工智能技术，成功预测了新型冠状病毒中蛋白质的结构[14]；也有研究通过机器学习方法发现了适用于新型冠状病毒感染治疗的现有药物[15]。但潜在药物被识别出之后到真正的市场投放还需要通过一系列严格且漫长的医学和科学评审过程，如，一种新型冠状病毒疫苗从研发到市场投放可能需要长达 18 个月的时间[16]。这表明，尽管人工智能在加速识别治疗方法和候选疫苗方面具有优势，但在实际应用中，尤其在传染病暴发早期阶段，其对于药物和疫苗的快速上市并无法起到实质性的加速作用。

与此同时，人口增长、环境污染、气候变化以及传染病传播等因素对于全球公共卫生体系的长期挑战也不容忽视。作为应对，推动数智化城市建设以构建全民健康监测网络，改善老年人、残障人以及边缘化群体的生活质量，快速有效地应对突发公共卫生事件和灾害显得尤为重要。全球多个城市和社区，如芬兰的赫尔辛基、英国的伯明翰和印度的新德里等，已经启动了利用人工智能来优化城市健康与公共卫生系统的创新项目[17-18]。中国上海市推出的“智慧卫监”平台即结合了大数据、云计算、区块链等高新技术，能够有效应对各种新业态、新商业模式带来的公共卫生监管难题，以及新型传染病疫情等突发公共卫生事件带来的新挑战，从而显著提升了公共卫生服务的效率和质量[19]。

1.3 促进公共卫生领域的健康公平　在资源受限的环境中，人工智能的应用显著提升了公共卫生系统的效能。在发达国家，医疗专家系统用以辅助医生进行诊断以及选择治疗计划。通过资源共享，将基于发达国家高质量数据集训练的系统应用于医生短缺、医疗资源紧张的发展中国家，这些系统将有潜力替代人类医疗专家提供基础医疗服务，从而推动健康公平的实现，如，一种基于模糊逻辑的专家系统（fuzzy logic-based expert system）可以通过综合分析母亲的医疗情况、产科状况及新生儿临床特性，预测发展中国家新生儿出生窒息情况[20]。另外，人工智能也已经被应用于疫情的预测、建模和缓解，如有研究团队开发出一套基于机器学习的工具，旨在识别和分析影响登革热传播的环境因素，诸如天气变化和土地使用情况[21]，通过反复迭代学习，这种算法对登革热发生风险的预测能力得到了显著提升。同时，利用自然语言处理技术（natural language processing）分析来自电子病历、网络平台和社交媒体的数据，也已经成为发展中国家进行有效的疫情监控和预测的工具之一[22]。

人工智能还被用于提升发展中国家的基层卫生保健服务质量，如，为优化非洲社区卫生工作者的日程安排，一个由研究人员和社会企业共同组成的团队研究开发出一个人工智能系统，该系统旨在通过优化走访路线来提升社区卫生工作者的工作效率，进而提升包括疫苗接种和医疗转诊在内的各项健康服务的效率[23]。随着移动互联网和数字化医疗技术的发展，人工智能在发展中国家和地区的应用和普及前景正在不断扩大。

除健康管理、流行病监测和促进健康公平外，人工智能在公共卫生策略中的应用还涵盖多个领域，如，人工智能可用于健康行为监测和心理健康支持，通过分析用户行为和情绪数据，提供个性化的心理干预建议[24]；通过分析个体行为特点，提供更精准的健康教育内容，扩大信息覆盖面[25]，在公共卫生教育和信息传播中发挥了重要作用；人工智能系统还可以整合大量公共卫生数据，识别健康影响因素，并通过政策模拟为决策者提供科学依据[26]。因此，合理运用人工智能不仅能增强公共卫生系统的对应能力，还可以提升资源利用效率，优化健康干预措施，推动公共健康目标的实现。

2 人工智能在公共卫生策略优化中面临的挑战

2.1 数据的收集与储存　人工智能发展和进步的核心在于数据集，是训练算法的基石。尽管大数据和算法技术的普及和应用使“解放数据”的益处被频频提及，但如何有效地收集符合要求的数据并进行规范化的数据标注仍然面临挑战。如在医疗保健领域，电子病历虽然蕴含了丰富且宝贵的数据，但却面临数据录入完整性和标注质量参差不齐的问题[27]。这种互操作性的缺乏导致不同医院与系统间无法实现数据的无缝共享和有效利用，其局面不仅消耗了医疗专业人员的时间和精力，同时也制约了充分挖掘数据潜力的可能性。在发展中国家和地区，由于其健康状况和疾病谱的特殊性以及数据收集的复杂性，使关键数据集的构建既困难又耗时；在一些贫穷地区，人们可能依然在用当地语言手写健康记录，这些无疑给数据的数字化和后续的分析带来了额外的挑战[28]。

此外，数据基础设施的匮乏也是一个显著问题。高昂的硬件和软件成本是数据储存和处理必需的，但不是所有的医疗机构都有能力支持高级算法训练所需的先进设备。因此，这将会限制技术的广泛应用，并导致算法在不同患者群体中执行的一致性降低，进而对模型预测的准确度产生负面影响[29]。

2.2 算法准确性与应用可能性　尽管人工智能与算法的应用受到高度评价，但这些技术仍然处于发展的初期阶段，存在许多局限，所有的问题也并非都能通过算法找到解决方案。高效算法的构建往往需要通过反复吸收大规模、高质量的数据以进行自身的迭代完善，而这一点在现实中往往难以实现。在面对新型传染病暴发时，许多专家就面临着一个共同难题，即缺乏足够的历史数据来开发能够准确进行预测的人工智能模型。可用的数据样本通常规模有限、存在偏见且大多来自特定区域，这些因素局限了模型的泛化能力和普适性[30]。同时，数据清洗和有效性识别是人工智能算法准确性面临的另一个重要挑战，若数据中充斥大量噪声和误导信息，可能就会严重影响算法的准确性。谷歌流感趋势（Google Flu Trends）项目曾试图通过分析搜索引擎数据来预测流感趋势，但其预测结果却与实际情况大不相同[31]。这一失败提醒人们不应盲目依赖大数据，必须认真对待样本偏差、过度拟合以及算法的动态变化等因素，考虑其可能对预测模型的稳定性和准确性产生的负面影响。

另外，如何将算法有效整合到临床实践中去仍面临着重大挑战，其主要问题是许多创新算法尚未能顺利与医疗行业的现有工作流程和实践模式相兼容，导致人工智能难以在现实的医疗环境中发挥作用。公共卫生服务的提供受到由经济、政治、医疗实践规范以及社会价值等多种因

素交织而成的复杂体系的影响。因此，仅在一个碎片化的系统中简单地投入人工智能，而不考虑其与整个系统的融合和互动，往往难以达成预期的效果[32]。

2.3 伦理、隐私和社会影响 在公共卫生领域，人工智能的应用还引发了针对伦理、隐私以及公正性等社会议题的广泛讨论[27, 33–34]。算法的透明度和可解释性是医疗伦理领域中的一个核心问题。尽管人工智能在提出治疗建议、推荐治疗方案方面具备优势，但在缺乏对算法决策逻辑深入理解的情况下，医疗从业者对这些推荐方案的可靠性往往持谨慎态度；而当采纳人工智能的治疗建议后出现问题时，责任的界定也颇为困难。因此，将人工智能引入公共卫生实践时，必须严格遵守“安全无害原则”，并认真考虑其伦理影响[35]。同时，在应用人工智能与大数据技术于健康风险监测的过程中，如何确保个人数据的安全并维护公众对医疗系统的信任也尤为重要。构建信任的基础在于建立相应的法律和伦理框架，以确保在个人数据隐私得到保护的前提下，能够将这些数据应用于公共健康的提升[36]。

另一方面，研究者们对人工智能的开发和应用可能会加剧种族、社会经济以及性别不平等的担忧日益加深，认为文化偏见可能会在数据收集、算法开发和人工智能系统设计的每个层面上显现[37]。由于系统数据集的资源主要来自发达国家，大多数医疗机构在训练算法时缺少多样化的数据来源，往往聚焦于某一特定人群，忽视了不同群体间生物学和环境因素的差异。如，主要基于白人数据构建的算法在应用于少数族裔患者时，会因未考虑这些群体特有的健康特征而导致诊断和治疗建议准确性的降低[38]。此外，数据偏见和算法不公平也可能涉及社会经济状态和性别差异，对贫困、少数族裔和女性群体的负面影响尤为明显[39]，这些群体因为在数据中的代表性不足而面临被系统性边缘化的风险，这意味着人工智能的应用可能不仅无法帮助这些群体，反而可能加剧他们所遭受的不公平待遇。

3 建 议

3.1 强化数据基础建设与人才培养 数据建设基础的构建是一个多维度的任务，既包括物理硬件的部署，也涉及软件层面的优化。在硬件方面，关键在于如何有效降低计算机基础设施的成本，同时确保互联网和通信网络的高效率和高可用性，为数据的采集、存储和传输提供可靠支持。在软件方面，主要在于如何提升数据的共享性和互操作性，通过打破数据孤岛，实现医疗保健、社会经济、网络媒体等众多领域间的数据整合与跨部门协作，从而丰富训练数据集，提升模型的准确性和可靠性[40]。软硬件的结合对技术发展至关重要。如，云计算和边缘技术的发展既依赖于强大的硬件基础设施，又需要配合虚拟化技术和分布式计算框架等软件优化，才能显著提升数据处理流程的效率，加强系统的响应速度与处理能力。软硬件与技术的协同作用能够激发创新潜力，推动人工智能的快速发展与广泛应用。此外，跨学科人才的培养对于构建高效数据集至关重要。当前市场对于具备医学知识背景，并能够精通数据收集、分析及应用技能的人才需求正在迅速增长[1]。因此，高等教育机构和培训机构应当更新课程设置，进行系统化培训，并加强与行业的协作，为学生提供更多的实践机会，从而培养出既有深厚理论基础，又有丰富实践经验的专业人才。

3.2 加强专家参与，优化算法设计 在融合人工智能技术与公共卫生领域的过程中，将智能技术与人类智慧相结合是实现其最佳效用的关键。尽管人工智能算法具备快速处理和分析庞大数据集的能力，但在对紧急事件的发展趋势和严重性进行评估时，仍需依靠人类专家基于具体情景的深度分析；即使在人工智能技术高度发展的今日，人类专家在模型解读和政策制定过程中仍然发挥着不可替代的作用。人类专家的专业知识和经验不仅能够为人工智能技术的发展方向“掌舵”，同时也能识别并纠正由“算法黑箱”引发的误判和结构性偏见，从而确保应用结果更加精确、可靠且符合公共卫生的实际需求[41]。因此，加强专家参与以优化算法设计，不仅是提升人工智能在公共卫生领域应用效果的必要条件，也是确保技术发展与人类福祉相协调的基石。

3.3 促进政策制定与伦理监管 人工智能技术的迅速发展引发了对数据使用隐私和安全的关注。尽管我国出台的《中华人民共和国网络安全法》[42]、《中华人民共和国数据安全法》[43]、《中华人民共和国个人信息保护法》[44] 等法律，为生成式人工智能产品的数据训练提供了个人信息收集和使用的基本原则，但在公共卫生领域的具体应用方面，仍需进一步细化指导和规范。法规的滞后会带来监管挑战，相关部门应当尽快完善公共卫生领域的人工智能法规，确保其安全有效服务于民众，合理的政策和监管策略能够解决健康数据归属、责任和使用权问题。同时，在人工智能设计和应用中注入多元化视角和公平原则，是确保人工智能公正服务于公共卫生领域的根本。在设计过程中有意识地促进和鼓励不同性别、种

族和社会群体的广泛参与，不仅可以提升算法的预测准确性，还能推进人工智能在健康领域中公平、公正地发展[45]。此外加强公众对于人工智能原理和应用的教育普及，也是提升公众对数据隐私保护和人工智能应用信心的重要途径。

参考文献

[1] 王坤, 毛阿燕, 孟月莉, 等. 我国公共卫生体系建设发展历程、现状、问题与策略 [J]. 中国公共卫生, 2019, 35(7): 801-805.

[2] 王鸿春, 解树江, 盛继洪. 中国健康城市建设研究报告 (2016)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2016: 1-3.

[3] Gunasekeran D V, Tseng R M W W, Tham Y C, et al. Applications of digital health for public health responses to COVID-19: a systematic scoping review of artificial intelligence, telehealth and related technologies[J]. npj Digital Medicine, 2021, 4(1): 40.

[4] Kosaraju R. How mobile devices are transforming healthcare[J]. Academia Letters, 2021, 18: 1-3.

[5] Khan Z F, Alotaibi S R. Applications of artificial intelligence and big data analytics in m-health: a healthcare system perspective[J]. Journal of Healthcare Engineering, 2020, 2020: 8894694.

[6] Supriya M, Chattu V K. A review of artificial intelligence, big data, and blockchain technology applications in medicine and global health[J]. Big Data and Cognitive Computing, 2021, 5(3): 41.

[7] Johnson K B, Wei W Q, Weeraratne D, et al. Precision medicine, AI, and the future of personalized health care[J]. Clinical and Translational Science, 2021, 14(1): 86-93.

[8] Al-Makhadmeh Z, Tolba A. Utilizing IoT wearable medical device for heart disease prediction using higher order Boltzmann model: a classification approach[J]. Measurement, 2019, 147: 106815.

[9] Siddiqui S, Nesbitt R, Shakir M Z, et al. Artificial neural network (ANN) enabled internet of things (IoT) architecture for music therapy[J]. Electronics, 2020, 9(12): 2019.

[10] Bahk C Y, Scales D A, Mekaru S R, et al. Comparing timeliness, content, and disease severity of formal and informal source outbreak reporting[J]. BMC Infectious Diseases, 2015, 15(1): 135.

[11] Chintala S K. AI in public health: modeling disease spread and management strategies[J]. NeuroQuantology, 2022, 20(8): 10830-10838.

[12] Rao A S R S, Vazquez J A. Identification of COVID-19 can be quicker through artificial intelligence framework using a mobile phone-based survey when cities and towns are under quarantine[J]. Infection Control and Hospital Epidemiology, 2020, 41(7): 826-830.

[13] Wang L L, Zhou Y W, He J, et al. An epidemiological forecast model and software assessing interventions on the COVID-19 epidemic in China[J]. Journal of Data Science, 2020, 18(3): 409-432.

[14] Naudé W. Artificial intelligence vs COVID-19: limitations, constraints and pitfalls[J]. AI and Society, 2020, 35(3): 761-765.

[15] Beck B R, Shin B, Choi Y, et al. Predicting commercially available antiviral drugs that may act on the novel coronavirus (SARS-CoV-2) through a drug-target interaction deep learning model[J]. Computational and Structural Biotechnology Journal, 2020, 18: 784-790.

[16] Padron-Regalado E. Vaccines for SARS-CoV-2: lessons from other coronavirus strains[J]. Infectious Diseases and Therapy, 2020, 9(2): 255-274.

[17] Nikitas A, Michalakopoulou K, Njoya E T, et al. Artificial intelligence, transport and the smart city: definitions and dimensions of a new mobility era[J]. Sustainability, 2020, 12(7): 2789.

[18] Chatterjee S, Kar A K, Gupta M P. Success of IoT in smart cities of India: an empirical analysis[J]. Government Information Quarterly, 2018, 35(3): 349-361.

[19] 秦晓东, 王懿霖, 王磊, 等. 基于"智慧卫监"平台的卫生监督事件处置流程探索 [J]. 中国卫生监督杂志, 2022, 29(2): 158-163.

[20] Barbounaki S G, Sarantaki A, Gourounti K. Fuzzy logic intelligent systems and methods in midwifery and obstetrics[J]. Acta Informatica Medica, 2021, 29(3): 210-215.

[21] Wahl B, Cossy-Gantner A, Germann S, et al. Artificial intelligence (AI) and global health: how can AI contribute to health in resource-poor settings?[J]. BMJ Global Health, 2018, 3(4): e000798.

[22] Carrell D S, Schoen R E, Leffler D A, et al. Challenges in adapting existing clinical natural language processing systems to multiple, diverse health care settings[J]. Journal of the American Medical Informatics Association, 2017, 24(5): 986-991.

[23] Brunskill E, Lesh N. Routing for rural health: optimizing community health worker visit schedules[C]//2010 AAAI Spring Symposium Series. Stanford: AAAI, 2010: 118-119.

[24] Graham S, Depp C, Lee E E, et al. Artificial intelligence for mental health and mental illnesses: an overview[J]. Current Psychiatry Reports, 2019, 21(11): 116.

[25] Kye B, Han N, Kim E, et al. Educational applications of metaverse: possibilities and limitations[J]. Journal of Educational Evaluation for Health Professions, 2021, 18: 32.

[26] Nasseef O A, Baabdullah A M, Alalwan A A, et al. Artificial intelligence-based public healthcare systems: G2G knowledge-based exchange to enhance the decision-making process[J]. Government Information Quarterly, 2022, 39(4): 101618.

[27] Panch T, Mattie H, Celi L A. The "inconvenient truth" about AI in healthcare[J]. npj Digital Medicine, 2019, 2(1): 77.

[28] Al-Worafi Y M. Electronic patient records in developing countries: achievements and challenges[M]//Al-Worafi Y M. Handbook of Medical and Health Sciences in Developing Countries: Education, Practice, and Research. Cham: Springer, 2023: 1-21.

[29] Dash S, Shakyawar S K, Sharma M, et al. Big data in healthcare: management, analysis and future prospects[J]. Journal of Big Data, 2019, 6(1): 54.

[30] Ienca M, Vayena E. On the responsible use of digital data to tackle the COVID-19 pandemic[J]. Nature Medicine, 2020, 26(4): 463-464.

[31] Butler D. When Google got flu wrong[J]. Nature, 2013, 494(7436): 155-156.

[32] Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine learning in medicine[J]. The New England Journal of Medicine, 2019, 380(14): 1347-1358.

[33] Morley J, Machado C C V, Burr C, et al. The ethics of AI in health care: a mapping review[J]. Social Science and Medicine, 2020, 260: 113172.

[34] Mhasawade V, Zhao Y, Chunara R. Machine learning and algorithmic fairness in public and population health[J]. Nature Machine Intelligence, 2021, 3(8): 659-666.

[35] Murphy K, Di Ruggiero E, Upshur R, et al. Artificial intelligence for good health: a scoping review of the ethics literature[J]. BMC Medical Ethics, 2021, 22(1): 14.

[36] Murdoch B. Privacy and artificial intelligence: challenges for protecting health information in a new era[J]. BMC Medical Ethics, 2021, 22(1): 122.

[37] Gupta M, Parra C M, Dennehy D. Questioning racial and gender bias in AI-based recommendations: do espoused national cultural values matter?[J]. Information Systems Frontiers, 2022, 24(5): 1465-1481.

[38] Narayanan D, Nagpal M, McGuire J, et al. Fairness perceptions of artificial intelligence: a review and path forward[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2024, 40(1): 4-23.

[39] Chen R J, Wang J J, Williamson D F K, et al. Algorithmic fairness in artificial intelligence for medicine and healthcare[J]. Nature Biomedical Engineering, 2023, 7(6): 719-742.

[40] 王宏. 人工智能时代政府数据开放中的预算信息公开 [J]. 上海师范大学学报 (哲学社会科学版), 2021, 50(4): 89-98.

[41] Fisher S, Rosella L C. Priorities for successful use of artificial intelligence by public health organizations: a literature review[J]. BMC Public Health, 2022, 22(1): 2146.

[42] 新华社. 中华人民共和国网络安全法 [EB/OL]. (2016-11-07)[2024-03-07]. https://www.cac.gov.cn/2016-11/07/c_1119867116.htm.

[43] 新华社. 中华人民共和国数据安全法 [EB/OL]. (2021-06-11)[2024-03-07].https://www.gov.cn/xinwen/2021-06/11/content_5616919.htm.

[44] 新华社. 中华人民共和国个人信息保护法 [EB/OL]. (2021-08-20)[2024-03-07].https://www.gov.cn/xinwen/2021-08/20/content_5632486.htm.

[45] Tubadji A, Huang H R, Webber D J. Cultural proximity bias in AI-acceptability: the importance of being human[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 173: 121100.