

基于 BERTopic 模型的医学人工智能研究主题挖掘及演化特征分析*

牛振东¹ 和晓峰² 刘晓琦¹ 段永恒² 胡德华¹ 吴旭生²

(¹ 中南大学生命科学学院 长沙 410011 ² 深圳市卫生健康发展研究和数据管理中心 深圳 518028)

[摘要] 目的/意义 探究近十年(2014—2023年)医学人工智能领域的研究主题及其发展趋势,为相关研究决策提供参考。方法/过程 从 PubMed 和 Web of Science 数据库中获取 2014—2023 年医学人工智能相关文献题录 152 398 条,使用 BERTopic 模型挖掘文献的研究主题,并依据文献信息逻辑增长规律,划分医学人工智能发展阶段,进而分析研究主题的演化特征。结果/结论 医学人工智能领域包含生物信息分析、外科手术机器人、医学影像分析等 22 个主要研究方向。深度学习技术突破、医疗需求增长以及突发公共卫生事件等多重因素共同推动医学人工智能研究的持续扩展和深化。近年来生成式人工智能为医学人工智能领域研究注入新的活力。

[关键词] 医学人工智能; BERTopic; 主题挖掘; 主题演化; 生成式人工智能

[中图分类号] R-058 **[文献标识码]** A **[DOI]** 10.3969/j.issn.1673-6036.2025.02.009

Topic Mining and Evolutionary Characteristics Analysis of Medical Artificial Intelligence Research Based on BERTopic Model

NIU Zhendong¹, HE Xiaofeng², LIU Xiaoqi¹, DUAN Yongheng², HU Dehua¹, WU Xusheng²

¹ School of Life Sciences, Central South University, Changsha 410011, China; ² Shenzhen Health Development Research and Data Management Center, Shenzhen 518028, China

[Abstract] **Purpose/Significance** To explore the research topics and development trends of medical artificial intelligence (AI) in the past decade (2014—2023), and to provide references for related research decisions. **Method/Process** 152 398 entries of medical AI-related literatures from 2014 to 2023 are retrieved from PubMed and Web of Science databases. The BERTopic model is used to mine the research topics of the literatures. Based on the logical growth pattern of literature information, the development stages of medical AI are divided, and the characteristics of research topic evolution are analyzed. **Result/Conclusion** In terms of research topics, medical AI encompasses 22 research directions, including bioinformatics analysis, surgical robots, medical image analysis, and so on. Regarding the evolutionary characteristics, breakthroughs in deep learning technology, growth in medical demand, and sudden public health events have driven the continuous expansion and deepening of medical AI research. In recent years, the emergence of generative AI has injected new vitality into medical AI research.

[Keywords] medical artificial intelligence (AI); BERTopic; topic mining; topic evolution; generative AI

[修回日期] 2024-09-06

[作者简介] 牛振东, 硕士研究生; 通信作者: 胡德华, 博士, 教授, 博士生导师。

[基金项目] 广东省深圳市卫生健康发展研究和数据管理中心项目(项目编号: 深健研数管 sz20230404 号); 中南大学研究生自主探索创新项目(项目编号: 2024ZZTS0904)。

1 引言

随着我国人口老龄化不断加剧，慢性病患者率持续上升，公众日益增长的就医需求与医疗资源不平衡、不充分之间的矛盾日益突显^[1]。人工智能 (artificial intelligence, AI) 技术凭借其挖掘大量复杂多模态生物学数据的能力，为医学发展提供了革命性的工具和方法^[2]，近年来出现的大语言模型也为提升医疗决策效率开辟了新路径^[3]，医学领域逐渐向精准化与系统化发展。《“健康中国 2030”规划纲要》《“十四五”卫生与健康科技创新专项规划》等多项政策文件陆续发布，均明确指出要加快推动人工智能技术在卫生健康领域的研究与应用^[4-5]。因此，医学人工智能研究不仅是推动医学发展的关键力量，也是保障人民健康的迫切需求，更是建设健康和科技强国的重要内容。

BERTopic 基于双向编码器表征 (bidirectional encoder representations from transformers, BERT) 模型挖掘文档中的主题，已成为学科主题挖掘的有力工具^[6]。鉴于此，本研究从 PubMed 和 Web of Science 数据库检索获得 2014—2023 年医学人工智能领域学术文献，利用 BERTopic 模型挖掘研究主题，并进一步探究研究主题的演化特征，揭示医学人工智能研究热点及发展趋势。

2 文献综述

目前国内外有关医学人工智能研究主题挖掘的成果较为丰富。研究方法主要包括文献调研、文献计量分析、主题模型 3 类。早期研究主要通过文献调研梳理人工智能在医学领域的应用现状和发展趋势^[7]。例如，Sharma M 等^[8]探讨机器学习、智能机器人等 7 项关键人工智能技术在医学领域的应用现状与前景。然而，文献调研法仅参考少量代表性文献，易受学者主观判断的影响^[9]，难以全面准确地反映医学人工智能研究的总体发展形势。为克服文献调研的局限性，学者们开始探索采用文献计量方法探究医学人工智能领域的研究热点。如邹陆曦等^[10]基于 2001—

2020 年医学人工智能领域的外文文献，构建关键词共现图谱，发现大数据、深度学习和精准医疗等为该领域的研究热点。但文献计量法缺乏对文本语义的深入理解，识别出的研究主题颗粒度较大^[11]；随着自然语言处理技术的不断进步，主题模型逐渐成为学科主题挖掘研究的主流方法。例如，Zhang Y J 等^[12]使用 LDA 模型挖掘 2000—2021 年人工智能与癌症领域的学术论文，发现相关研究主要集中在放射学特征、病理组织和图像分析等领域。然而，LDA 模型未能充分捕捉词语间的深层次语义关系，难以有效处理一词多义和多词一义的问题^[13]。既有研究方法仍存在一定的局限性，未能深入挖掘医学人工智能领域的研究主题及其演化特征。此外，医学人工智能发展日新月异，研究主题不断演变，特别是近年来生成式人工智能迅猛发展，与医学交叉的研究也在不断涌现^[14]，但既有研究均存在一定的滞后性，难以准确反映医学人工智能研究的最新进展。本研究在数据层面纳入生成式人工智能与医学相关文献，以弥补上述不足。同时，创新性地使用 ERNIE - Bot 大模型进行数据筛选，以提升数据准确性。在方法层面，本研究将基于预训练大语言模型的主题挖掘方法 BERTopic 应用于医学人工智能研究主题挖掘，以提高主题识别的精准度。

3 数据与方法

本研究的技术路线，见图 1，包括文献检索、数据处理、主题分析 3 部分。

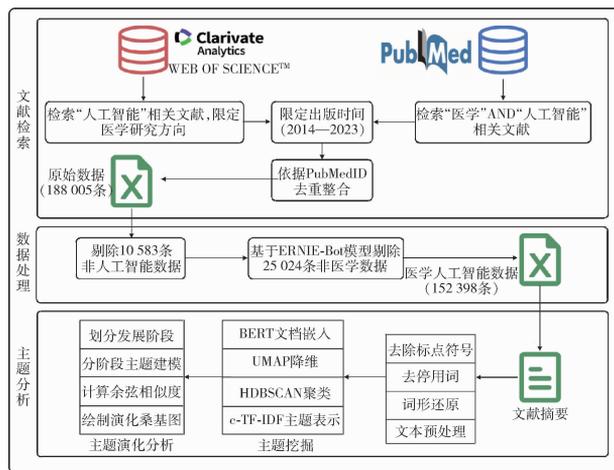


图 1 本研究技术路线

3.1 文献检索策略

数据来源为 PubMed 和 Web of Science 核心合集。在 PubMed 数据库中，分别使用《医学主题词表》(Medical Subject Headings, MeSH) 构建医学相关文献的检索式“#1”和人工智能相关文献的检索式“#2”，由于目前生成式人工智能相关概念尚未纳入 MeSH 词“Artificial Intelligence”的范畴，特别构建生成式人工智能相关文献检索式“#3”。之后构建检索式“#1 AND (#2 OR #3)”检索医学人工智能相关文献，并将出版时间限定为 2014—2023 年，最终导出 124 083 条文献题录。在 Web of Science 数据库中，由于未提供 MeSH 词检索方式，而医学概念的下位词谱系庞大，难以全部纳入检索式。因此，采用不同的检索策略。首先，检索出人工智能相关文献，将出版时间限定为 2014—2023 年，并限定文献类型为论文、综述论文、会议论文 3 类。接着，使用“精炼检索结果”功能进一步筛选研究方向属于医学学科门类的文献，最终导出 107 272 条文献题录。依据 PubMed 文献编号对两份数据去重，剔除 43 350 条重复数据，剩余有效数据为 188 005 条。

3.2 数据处理流程

检查发现数据中存在部分与医学人工智能无关的误检结果。为提高数据准确性，进一步筛选。误检出与人工智能无关文献的主要原因是“AI”等人工智能相关概念英文缩写存在歧义。人工检查剔除 10 583 条因英文缩写歧义误检出的文献。误检出非医学文献的原因较为复杂，因此使用文心一言(ERNIE - Bot)^[15]大模型剔除此类数据。为验证该方法的有效性，随机抽取 1 000 条数据进行测试，由两名医药信息管理专业研究生标注其是否属于医学领域。其中 932 条为医学相关文献，准确率为 93.2%。ERNIE - Bot 模型在不同提示词(prompt)下筛选数据的性能，见表 1，其中，prompt1 仅基于标题进行筛选，prompt2 综合考虑了标题与摘要，而 prompt3 则强调依据研究内容进行判断。结果显示，prompt2 的准确率(99.6%)与召回率

(97.9%) 均最高。相较于筛选前，准确率提升 6.4 个百分点。最终，剔除 25 024 条与医学无关的数据，形成包含 152 398 条题录的医学人工智能文献数据集。

表 1 ERNIE - Bot 模型筛选医学文献性能 (%)

序号	提示词	准确率	召回率	F1
1	题目：{题目} 以上是一篇英文论文的题目，请判断这篇论文是否属于医学领域。如果属于医学领域请输出：[Medical]，否则请输出：[Others]	99.00	96.40	97.68
2	题目：{题目} 摘要：{摘要} 以上是一篇英文论文的题目和摘要，请判断这篇论文是否属于医学领域。如果属于医学领域请输出：[Medical]，否则请输出：[Others]	99.60	97.90	98.74
3	题目：{题目} 摘要：{摘要} 请阅读以上英文论文的题目和摘要，并判断这篇论文是否属于医学领域。请确保你的判断基于论文的研究内容。如果论文研究内容属于医学领域，请输出：[Medical]，否则请输出：[Others]	99.50	97.60	98.54

3.3 主题分析方法

3.3.1 文本预处理 使用 Spacy 自然语言处理工具包^[16]进行文本预处理。第 1 步，去除摘要文本中的数字、标点符号以及特殊字符；第 2 步，剔除“the”“of”等无实际意义的停用词；第 3 步，将单词的变形形式还原为其基本形式，以减少时态、单复数等单词变形所带来的噪音干扰。

3.3.2 主题挖掘 基于 BERTopic 模型进行主题挖掘，包括以下 4 个基本步骤。第 1 步，基于预训练的 BERT 模型^[17]为文本中的每个单词生成一个上下文相关的嵌入向量；第 2 步，采用非线性

降维算法 UMAP^[18]对嵌入向量进行降维处理，旨在保留原始数据局部结构的同时减小全局误差；第 3 步，运用密度聚类算法 HDBSCAN 对低维词向量进行聚类，得到各主题簇；第 4 步，针对每个主题簇，使用 c - TF - IDF 算法计算主题簇中各词汇的重要性，最终确定每个主题簇的特征词^[19]。

3.3.3 主题演化分析 基于文献信息逻辑增长规律^[20]，将医学人工智能研究文献按年度发文数量和增长率划分为若干发展阶段。随后，使用 BERTopic 模型对每阶段的文献摘要分别进行主题建模，并计算相邻两阶段各主题之间的余弦相似度。最后绘制主题演化桑基图，分析医学人工智能研究主题的演化特征。

4 结果与讨论

4.1 研究主题挖掘

使用 Python 的第三方库 bertopic 构建 BERTopic 模型，将 nr_topics 参数的值设置为“auto”，模型会自动迭代寻找最优主题数^[21]。对 152 398 篇医学人工智能论文的摘要文本进行主题建模，根据主题的特征词及其权重，对其所代表的意义进行合理解释。识别出癌症与人工智能、基因分析与蛋白质结构预测、生成式人工智能等 22 个医学人工智能研究主题，见图 2。另有 7 个主题，其特征词大多是“编辑”（editorial）、“作者”（author）等学术论文中通用的词汇，因此认定这些主题与医学人工智能研究无关。

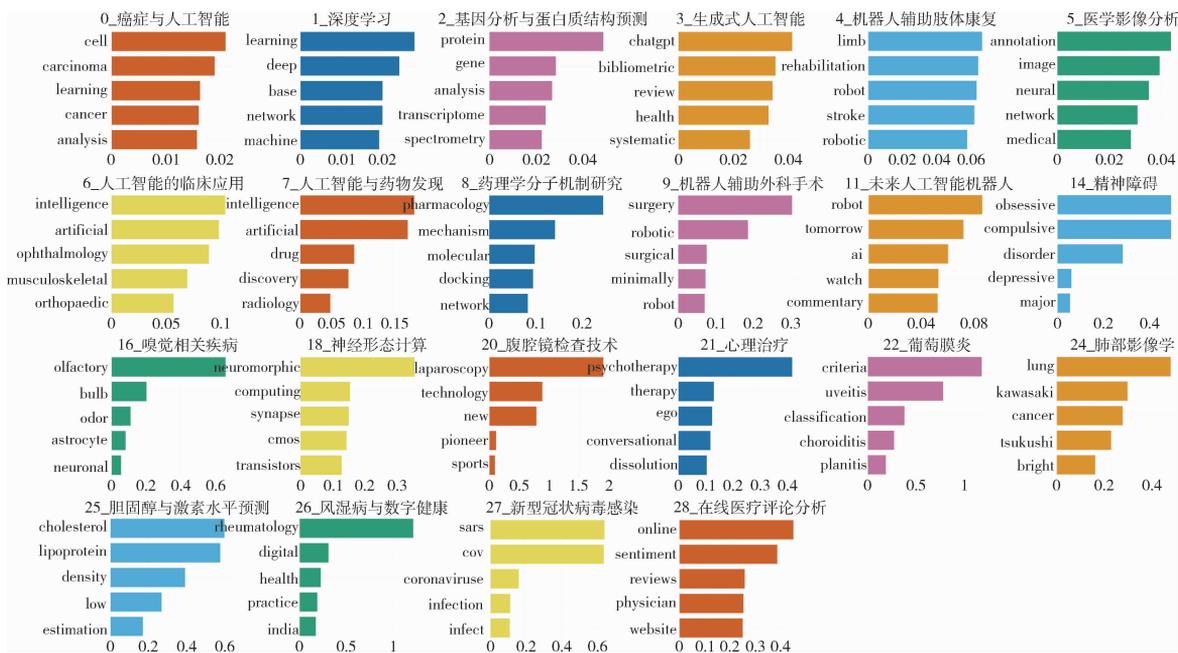


图 2 主题特征词分布

4.2 主题分布态势

为分析各医学人工智能研究主题的力量和分布态势，绘制主题分布图谱，见图 3，每种颜色的簇代表一个主题下的文献。橙色代表的 Topic0（癌症与人工智能）是力量最高的主题，遍布图中的大半区域，与绿色代表的 Topic1（深度学习）高度融合，与红色代表的 Topic2（基因分析与蛋白质结构

预测）、蓝色代表的 Topic9（机器人辅助外科手术）等主题联系密切。癌症研究一直是医学领域的重点^[22]，癌症的发生发展与基因变异、蛋白质功能异常息息相关，通过基因和蛋白质分析可以揭示癌症的致病机制^[23]。医学影像分析和外科手术机器人在辅助癌症的诊断和治疗中发挥重要作用^[24]。且以上研究均属于数据密集型，深度学习技术能从海量数据中挖掘出关键信息，为这些研究提供有力

支持^[25]。紫色代表的 Topic3 (生成式人工智能) 与 Topic5 (医学影像分析)、Topic7 (人工智能与药物发现)、Topic21 (心理治疗)、Topic28 (在线医疗评论分析) 等主题联系紧密。生成式人工智能在医学影像分析中可应用于图像合成、转换、降噪与重建等任务^[26]。在药物研发中可以生成药物分子结构, 加速新药的发现和优化^[27]。大语言模型可以为心理障碍患者提供咨询服务, 也可以嵌入在线健康社区提供健康知识问答等服务^[28]。棕色代表的 Topic4 (机器人辅助肢体康复) 和蓝色代表的 Topic9 (机器人辅助外科手术) 也是主题强度较高的主题, 这表明医疗机器人也是医学人工智能领域重要的研究主题。两个主题紧密关联说明不同类型的医疗机器人研究中也有一定的共性技术^[29]。Topic14 (精神障碍)、Topic25 (胆固醇与激素水平预测)、Topic27 (新型冠状病毒感染) 等主题强度不高, 说明人工智能在精神疾病、内分泌、公共卫生等医学领域的研究尚处于起步阶段^[30-31]。

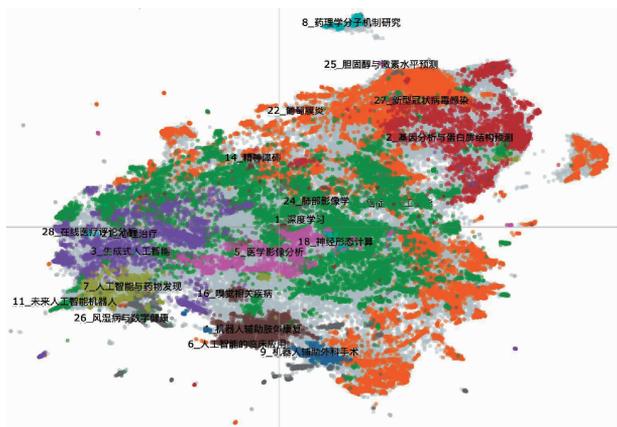


图3 主题分布图谱

4.3 主题演化特征

4.3.1 发展阶段划分 2014—2023 年全球医学人工智能领域文献发表数量增长趋势, 见图 4, 整体趋势符合文献信息逻辑增长规律。2014—2017 年发表的文献数量相对较少, 且增长缓慢, 为医学人工智能研究的起步期; 2018—2021 年文献发表数量迅速增长, 表明医学人工智能研究取得重大突破, 进入快速发展期; 2022—2023 年发文数

量较之前仍有增长, 但增长幅度开始降低, 表明医学人工智能研究在取得重大进展后, 进入高质量发展期。

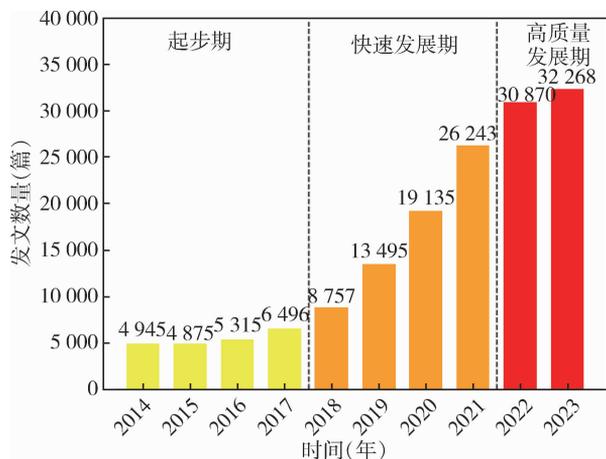


图4 2014—2023 年国际医学人工智能研究发文数量增长趋势

4.3.2 演化特征分析 2014—2023 年医学人工智能研究主题演化过程, 见图 5。其主题演化呈现出以下特点。(1) 深度学习技术进步推动医学人工智能实现跨越式发展^[32]。如医疗机器人方向, 起步期的研究围绕传统手术机器人, 特别是有关“1-2 腹腔镜检查机器人”和“1-5 前列腺切除机器人”的研究较多。快速发展期各医疗机器人主题均汇入“2-3 深度学习与未来机器人”主题, 融合深度学习技术的医疗机器人可以帮助医生进行精准的术前规划和术中智能导航^[33]。生物信息分析方向, “1-1 基因分析”研究在起步期就已经出现, 展现出较大潜力。然而, 在快速发展期, 受数据和算法能力限制, 生物信息分析研究并不突出^[34]。随着生物数据的积累和深度学习技术的突破, 高质量发展期“3-5 基因分析”再次成为核心研究主题之一, 并出现“3-6 蛋白质结构预测与药物发现”等新的研究主题, 通过解析生物大分子的结构与功能, 揭示疾病的复杂机制^[35]。由此可见, 深度学习技术是推动医学人工智能发展的重要因素。(2) 公众健康需求推动医学人工智能研究向多元化演变。早期研究以医疗机器人、生物信息分析等为主, 随着临床诊疗对决策效率质量要求的提高以及公众健康意识的增强^[36], 医学人工智能研究领域不断扩展。如在快

速发展期出现“2-1 AI 模型辅助临床诊断”主题，高质量发展期进一步扩展到“3-3 脑科学”“3-7 人工智能与健康保健”等更多医学领域。医疗机器人领域也从单一的外科手术机器人研究逐步演化为外科手术机器人为主，“3-9 康复辅助机器人”“3-10 软体机器人”“3-13 社交互动机器人”共同发展的多元化格局^[37-38]。(3) 重大突发公共卫生事件推动人工智能在公共卫生领域的应用。新型冠状病毒感染是被世界卫生组织认定的国际关注的重大突发公共卫生事件^[39]。人工智能在病毒分析、疫苗研发与疫情监测等方面得到广泛应用^[40]。因而在高质量发展期出现“3-16 新型冠状病毒感染”研究主题。(4) 由人工智能助力医学发展向医学与人工智能深度融合演化。早期研究大多为人工智能助力医学发展，而深度学习算法处理海量生物医学数据需要大量的计算资源^[41]。到了高质量发展期，出现“3-3 脑科学”研究主题，通过揭示生物神经网络的结构，模拟人脑的工作机制来实现更高效的计算方式^[42]。推动医学与人工智能迈向深度融合。

布态势来看，癌症是与人工智能结合最为紧密的医学领域，生物信息分析、医学影像分析和医疗机器人分别为癌症的致病机制研究、诊断和治疗提供支持，因而也是核心研究主题；生成式人工智能当前迅速发展，在心理治疗、医学影像分析以及药物研发等领域有较大的应用潜力；人工智能在精神疾病、内分泌、公共卫生等领域的研究尚处于起步阶段。三是从研究主题的演化特征来看，深度学习技术的突破是推动医学人工智能实现跨越式发展的重要因素；公众健康需求推动人工智能逐渐应用到更多医学领域；重大突发公共卫生事件推动人工智能在公共卫生领域的应用；医学人工智能研究由人工智能助力医学发展，向医学与人工智能深度融合演化。

5.2 研究展望

基于医学人工智能的研究主题与演化特征推演，未来研究热点可能更多聚焦于以下 4 个方面。一是深度学习推动医学人工智能实现跨越发展，而生成式人工智能的迅速发展有望推动医学人工智能研究再次取得突破。从主题关联来看，生成式人工智能与影像分析、药物发现、心理治疗相关的研究可能最快成为研究热点。二是外科手术机器人曾是主要研究方向，但近期研究热度已呈现下降趋势。康复辅助机器人、软体机器人等新兴研究主题可能成为研究热点。三是人工智能在心理健康、内分泌、健康保健、公共卫生等医学领域的研究尚处于起步阶段。随着公众健康需求的日益增长，以及当前公共卫生环境日益复杂，这些研究方向有望成为热点。四是深度学习算法需要消耗大量算力资源，而近年兴起的脑科学研究有望助力实现更高效的算法。

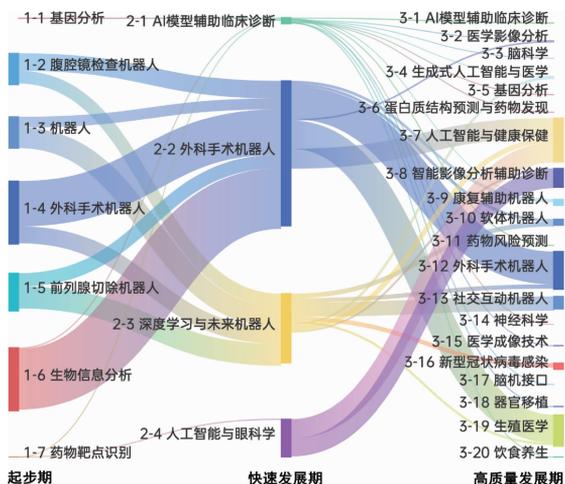


图 5 主题演化桑基图

5 结论与展望

5.1 研究结论

一是从总体趋势来看，医学人工智能研究规模持续增长，研究内容不断深化。未来医学人工智能研究将向更深层次、更广领域迈进。二是从研究主题的分

6 结语

本研究使用 BERTopic 模型从 2014—2023 年医学人工智能文献中挖掘出研究主题，分析主题分布态势和演化特征，并推演出未来可能的研究热点。后续可以进一步融合中国知网、SinoMed 等中文文献数据源，以期对国内外医学人工智能研究主题和

发展趋势进行更为深刻和全面的探讨。

作者贡献: 牛振东负责模型构建、结果分析、论文撰写; 和晓峰负责检索策略设计; 刘晓琦负责数据标注、参与论文撰写; 段永恒负责数据处理; 胡德华负责研究设计; 吴旭生负责文献调研、论文指导。

利益声明: 所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- 1 张文娟, 陈露. 2000—2020 年中国人口老龄化及其区域不平衡性的演变 [J]. 人口与社会, 2023, 39 (4): 1-16.
- 2 吴家睿. 21 世纪生物医学的三个主要发展趋势 [J]. 生命科学, 2022, 34 (11): 1327-1335.
- 3 钱英, 孙小磊. 人工智能与大数据在临床工程中的应用与挑战 [J]. 华西医学, 2019, 34 (6): 607-611.
- 4 “健康中国 2030” 规划纲要 [EB/OL]. [2024-04-25]. https://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_5124174.htm.
- 5 “十四五” 卫生与健康科技创新专项规划 [EB/OL]. [2024-04-25]. https://www.most.gov.cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdgnr/fgzc/gfxwj/gfxwj2022/202301/t20230116_184248.html.
- 6 WANG Z Y, CHEN J, CHEN J P, et al. Identifying interdisciplinary topics and their evolution based on bertopic [EB/OL]. [2024-08-29]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-023-04776-5>.
- 7 BHATTAD P B, JAIN V. Artificial intelligence in modern medicine - the evolving necessity of the present and role in transforming the future of medical care [EB/OL]. [2024-08-29]. <https://www.cureus.com/articles/30942#!/>.
- 8 SHARMA M, CHAUDHARY P R, MUDGAL A, et al. Review on artificial intelligence in medicine [J]. Journal of young pharmacists, 2023, 15 (1): 1-6.
- 9 杨思洛, 吴丽娟. 基于 BERTopic 模型的国外信息资源管理研究进展分析 [J]. 情报理论与实践, 2024, 47 (2): 189-197.
- 10 邹陆曦, 孙玲. 基于 WOS 的医学人工智能研究的可视化分析 [J]. 医疗卫生装备, 2021, 42 (12): 68-72.
- 11 金心怡. 基于 LDA 和 Word2Vec 的主题演化研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2020.
- 12 ZHANG Y J, YU C R, ZHAO F, et al. Landscape of artificial intelligence in breast cancer (2000—2021): a bibliometric analysis [EB/OL]. [2024-08-29]. <https://www.imrpess.com/>

<journal/FBL/27/8/10.31083/j.fbl2708224>.

- 13 于诗睿, 李爱花, 林紫洛, 等. 基于主题模型的科技文献主题演化及优化方法研究综述 [J]. 医学信息学杂志, 2023, 44 (8): 31-36.
- 14 袁天蔚, 李丹丹, 张学博, 等. 2022 年临床医学发展态势 [J]. 生命科学, 2023, 35 (1): 55-62.
- 15 北京百度网讯科技有限公司. 文心一言 [EB/OL]. [2024-01-20]. <https://yiyan.baidu.com/>.
- 16 SPRING R, JOHNSON M. The possibility of improving automated calculation of measures of lexical richness for efl writing: a comparison of the lea, nltk and spacy tools [EB/OL]. [2024-08-29]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0346251X22000513?via%3Dihub>.
- 17 DEVLIN J, CHANG M, LEE K, et al. Bert: pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding [EB/OL]. [2024-03-10]. <https://www.arxiv.org/abs/1810.04805v2>.
- 18 聂亚青, 吴庭璋, 王若佳, 等. 基于 BERTopic 模型的健康信息学主题挖掘与发展演化研究 [J]. 情报科学, 2024, 42 (4): 98-110.
- 19 刘洋, 柳卓心, 金昊, 等. 基于 BERTopic 模型的用户层次化需求及动机分析——以抖音平台为例 [J]. 情报杂志, 2023, 42 (12): 159-167.
- 20 邱均平. 信息计量学 (二) 第二讲文献信息增长规律与应用 [J]. 情报理论与实践, 2000, 23 (2): 153-157.
- 21 曹树金, 曹茹焯. 基于研究主题和引文分析的信息资源管理学科发展探究 [J]. 信息资源管理学报, 2023, 13 (2): 12-29.
- 22 SIEGEL R L, MILLER K D, FUCHS H E, et al. Cancer statistics, 2021 [J]. CA - A cancer journal for clinicians, 2021, 71 (1): 7-33.
- 23 CHEN H W, RONG Z R, GE L F, et al. Leader gene identification for digestive system cancers based on human sub-cellular location and cancer-related characteristics in protein-protein interaction networks [EB/OL]. [2024-08-29]. <https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2022.919210/full>.
- 24 AL-KADI O S, DIAZ O. Editorial: reviews in cancer imaging and image-directed interventions [EB/OL]. [2024-08-29]. <https://www.frontiersin.org/journals/oncology/articles/10.3389/fonc.2023.1183302/full>.
- 25 SHI Q, CHEN W Y, HUANG S Q, et al. Deep learning for mining protein data [J]. Briefings in bioinformatics, 2021,

- 22 (1): 194 – 218.
- 26 KOOHI – MOGHADAM M, BAE K T. Generative ai in medical imaging: applications, challenges, and ethics [EB/OL]. [2024 – 08 – 29]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-023-01987-4>.
- 27 BORDUKOVA M, MAKAROV N, RODRIGUEZ – ESTEBAN R, et al. Generative artificial intelligence empowers digital twins in drug discovery and clinical trials [J]. Expert opinion on drug discovery, 2024, 19 (1): 33 – 42.
- 28 BANERJEE S, DUNN P, CONARD S, et al. Mental health applications of generative AI and large language modeling in the United States [EB/OL]. [2024 – 08 – 29]. <https://www.mdpi.com/1660-4601/21/7/910>.
- 29 GARCIA – GONZALEZ A, FUENTES – AGUILAR R Q, SALGADO I, et al. A review on the application of autonomous and intelligent robotic devices in medical rehabilitation [EB/OL]. [2024 – 08 – 29]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40430-022-03692-8>.
- 30 ZHANG H, KAHLERT U D, SHI W J. Editorial: machine learning – assisted diagnosis and treatment of endocrine – related diseases [EB/OL]. [2024 – 08 – 29]. <https://www.frontiersin.org/journals/endocrinology/articles/10.3389/fendo.2023.1305897/full>.
- 31 WEEKS W B, TALIESIN B, LAVISTA J M. Using artificial intelligence to advance public health [EB/OL]. [2024 – 08 – 29]. <https://www.ssph-journal.org/journals/international-journal-of-public-health/articles/10.3389/ijph.2023.1606716/full>.
- 32 NAKATA N. Recent technical development of artificial intelligence for diagnostic medical imaging [J]. Japanese journal of radiology, 2019, 37 (2): 103 – 108.
- 33 SUN D M, ZHAO H H, SONG T, et al. Learning hierarchical face representation to enhance hci among medical robots [EB/OL]. [2024 – 08 – 29]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X20330314?via%3Dihub>.
- 34 BLUEGGEL M, CHAMRAD D, MEYER H E. Bioinformatics in proteomics [J]. Current pharmaceutical biotechnology, 2004, 5 (1): 79 – 88.
- 35 LIN P, YAN Y M, HUANG S Y. Deephom2.0: improved protein – protein contact prediction of homodimers by transformer – enhanced deep learning [EB/OL]. [2024 – 08 – 29]. <https://academic.oup.com/bib/article/24/1/bbac499/6849483>.
- 36 石震, 赵向东. 我国居民健康意识的变化及影响因素研究——基于 CSS2021 数据的实证分析 [J]. 健康研究, 2024, 44 (2): 126 – 132.
- 37 GUO Y W, YANG Y J, LIU Y, et al. Development status and multilevel classification strategy of medical robots [EB/OL]. [2024 – 08 – 29]. <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/11/1278>.
- 38 KAUR S. How medical robots are going to affect our lives [J]. IETE technical review, 2012, 29 (3): 184 – 187.
- 39 YANG L, FANG X, ZHU J Q. Knowledge mapping analysis of public health emergency management research based on web of science [EB/OL]. [2024 – 08 – 29]. <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2022.755201/full>.
- 40 徐辉. 人工智能与重大突发公共卫生事件智治耦合模型 [J]. 科学管理研究, 2023, 41 (6): 90 – 97.
- 41 BOTVINICK M, RITTER S, WANG J X, et al. Reinforcement learning, fast and slow [J]. Trends in cognitive sciences, 2019, 23 (5): 408 – 422.
- 42 PARK H, KIM T. Speeding – up neuromorphic computation for neural networks: structure optimization approach [EB/OL]. [2024 – 08 – 29]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167926021001061?via%3Dihub>.

《医学信息学杂志》开通微信公众号

《医学信息学杂志》微信公众号现已开通，作者可通过该平台查阅稿件状态；读者可浏览当期最新内容、过刊等；同时提供国内外最新医学信息研究动态、发展前沿等，搭建编者、作者、读者之间沟通、交流的平台。可在微信添加中找到公众号，输入“医学信息学杂志”进行确认，也可扫描右侧二维码添加，敬请关注！



《医学信息学杂志》编辑部