

基于CiteSpace的人工智能在ICU中应用的研究的可视化分析

蔡雪妍¹, 陆昌浩², 宋梦珂³, 熊 灿³, 彭 琳^{2*}

¹徐州医科大学护理学院, 江苏 徐州

²海军军医大学第一附属医院重症医学科, 上海

³郑州大学护理与健康学院, 河南 郑州

收稿日期: 2026年6月24日; 录用日期: 2026年7月21日; 发布日期: 2026年7月30日

摘 要

目的: 对人工智能在ICU中应用领域的研究现况、热点及发展趋势进行可视化分析。方法: 以中国知网(CNKI)、万方数据库(WanFang Database)、维普(VIP)、WOS等为数据源, 检索2000年1月1日~2025年10月31日有关人工智能在ICU中应用研究的文献, 采用CiteSpace软件对文献年发文量、发文机构、关键词等进行可视化分析。结果: 国内外人工智能在ICU中应用的研究呈现持续增长趋势。英文文献的发文量和中心性均高于中文文献, 发文量最多的是哈佛大学(78篇), 中心性指数最高的是哈佛大学医学附属机构(0.20)。中文文献发文量排名前10位的机构发文量均低于10, 中心性指数均为0。国内研究热点集中于预测模型、危险因素、列线图等方面, “machine learning (机器学习)” “intensive care unit (重症监护室)” “mortality (死亡)” 是国外的研究热点。结论: AI作为一门新技术科学, 在ICU中的应用已受到广泛关注。国内外人工智能在ICU中应用的研究呈快速增长趋势, 我国的研究呈现良好态势, 但发文量较少, 仍需加强国际合作, 深入研究。

关键词

人工智能, ICU, 文献计量学, 数据可视化, 研究热点

Visual Analysis of Research on the Application of Artificial Intelligence in ICU Based on CiteSpace

Xueyan Cai¹, Changhao Lu², Mengke Song³, Can Xiong³, Lin Peng^{2*}

¹School of Nursing, Xuzhou Medical University, Xuzhou Jiangsu

²Department of Intensive Care Unit, The First Affiliated Hospital of Naval Military Medical University, Shanghai

*通讯作者。

文章引用: 蔡雪妍, 陆昌浩, 宋梦珂, 熊灿, 彭琳. 基于 CiteSpace 的人工智能在 ICU 中应用的研究的可视化分析[J]. 护理学, 2026, 15(7): 233-246. DOI: 10.12677/ns.2026.157237

Abstract

Objective: This study aims to conduct a visual analysis of the research status hotspots and development trends of artificial intelligence in the field of ICU applications. **Method:** With CNKI, WanFang Database, VIP and WOS as data sources, retrieve the literature on the application and research of artificial intelligence in ICU from January 1, 2000 to October 9, 2025, and use CiteSpace software to visually analyze the annual volume of literature, issuing countries, institutions, authors, keywords, etc. **Results:** The applied research of artificial intelligence in ICU at home and abroad shows a continuous growth trend. The volume and centrality of English literature are higher than those of Chinese literature. Harvard University (78 articles) has the highest number of articles, and the highest centrality index is Harvard Medical Affiliate (0.20). The top 10 institutions in the volume of Chinese literature are all below 10, and the centrality index is 0. Domestic research hotspots focus on predictive models, risk factors, line charts, etc., “machine learning”, “intensive care unit” and “mortality” are foreign research hotspots. **Point. Conclusion:** As a new technology science, the application of AI in ICU has received wide attention. The research on the application of artificial intelligence in ICU at home and abroad is growing rapidly. China’s research is showing a good trend, but the volume of articles is small, and it is still necessary to strengthen international cooperation and in-depth research.

Keywords

Artificial Intelligence, ICU, Bibliometrics, Data Visualization, Research Hotspots

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前, 全球医疗资源需求不断增长, 作为一项新兴技术, 人工智能(artificial intelligence, AI)正在深度融入医疗领域, 成为推动医疗行业变革的核心力量。人工智能是一门研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的新技术科学[1]。重症监护室(intensive care unit, ICU)是医院危重症患者集中救治的场所, 对于提高危重症患者救治水平、保障重大手术开展、应对突发公共事件等具有不可替代的作用[2]。ICU 中许多侵入性诊断程序和繁重的护理工作, 使医护人员处于脆弱和超负荷状态, 难以为患者提供及时的护理。然而人工智能的介入, 使得护理工作中的高强度体力活动在一定程度上得到缓解, 护士们也能减轻负担, 将精力投入到更专业、细致的护理工作中[3]。但目前来看, 人工智能在 ICU 领域中应用的研究, 仍缺乏全面具体的可视化分析与总结。为明确人工智能在 ICU 领域中应用的发展走向与研究热点, 并为后续研究提供有益参考, 本研究借助 CiteSpace 6.3.R1, 对国内外该领域的相关文献实施文献计量学研究与可视化分析。

2. 资料与方法

2.1. 文献检索

选用中国知网(CNKI)、万方(WanFang)、维普(VIP)三大中文数据库进行文献检索, 英文文献纳入 Web

of Science 为主。由于第一篇与人工智能在 ICU 中应用的有关的中文文献发表于 2000 年, 所以检索时限设定为 2000 年 1 月 1 日至 2025 年 10 月 31 日。以中国知网为例, 检索式为: $SU = (\text{人工智能 OR 机器人 OR 预测模型}) \text{ AND } SU = (\text{ICU})$ 。WOS 检索策略为“artificial intelligence” OR “machine learning” OR “prediction model” AND “ICU”。

2.2. 文献纳排标准

文献纳入标准: ① 与人工智能在 ICU 中应用相关的文献; ② 研究类型为论著或综述; 文献排除标准: ① 重复发表的文献; ② 书籍、摘要、新闻、会议论文等非研究性文献。

2.3. 文献分析方法

CiteSpace 是专为科学文献可视化分析设计的软件工具, 它通过可视化的方式揭示研究领域的热点、知识结构和发展趋势[4]。本研究选择 CiteSpace 6.3.R1 软件作为主要分析工具, 应用 NoteExpress 4.1 软件进行文献整理、查重及筛选; 将筛选后的文献记录导入 CiteSpace 软件进行格式转化, 并对发文作者、机构、关键词等进行可视化分析, 并绘制可视化知识图谱。分析时间区间为 2000 年 1 月 1 日至 2025 年 10 月 31 日, 阈值标准设置为 Top 50, g-index $k = 20$, 裁剪方法为 Pathfinder。根据研究内容选择节点类型, 设置节点类型为机构、作者和关键词, 根据所呈现图谱进行合作网络分析该领域的研究热点与演进趋势。

3. 结果

3.1. 人工智能在 ICU 中应用的发文趋势

2000~2017 年, 人工智能在 ICU 中应用研究的中英文文献发文量均较少, 处于初步探索阶段。中英文发文量自 2017 年起, 均呈急速上升趋势, 如图 1、图 2 所示。这表明人工智能在 ICU 中的应用开始广泛得到学者们的关注, 相关研究正在迅猛发展。

3.2. 人工智能在 ICU 中应用研究的机构分布

2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用研究的相关中英文文献发文国家和机构情况: 研究结果显示, 中文文献发文量排名前 3 名的研究机构为华南理工大学(8 篇)、四川大学华西医院(6 篇)、南方医科大学(6 篇)和中国人民解放军总医院(6 篇), 如表 1 所示。英文文献发文量排名前 3 名的机构为哈佛大学(78 篇)、哈佛大学医学附属机构(68 篇)和阿姆斯特丹大学(47 篇), 如表 2 所示。

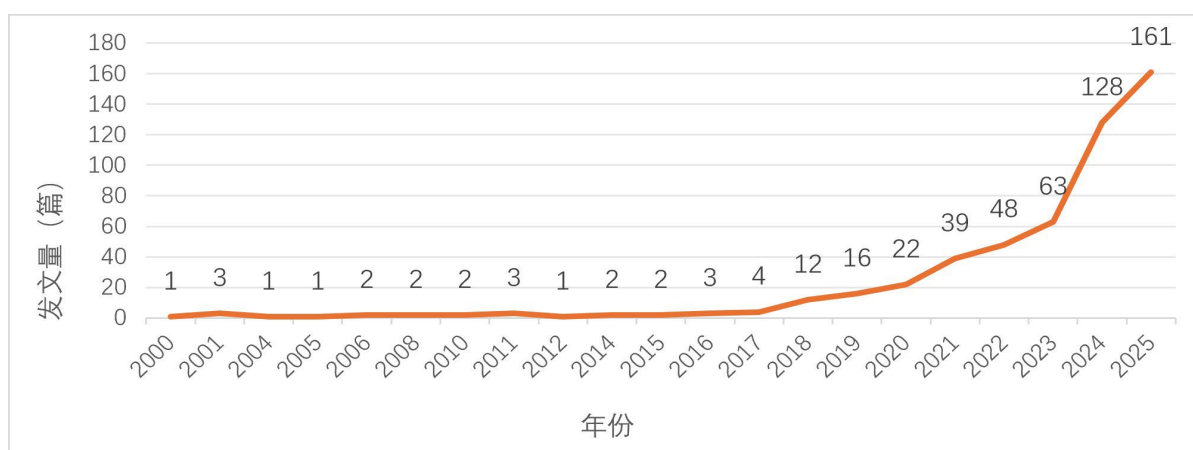


Figure 1. Trend chart of Chinese literature on the application of artificial intelligence in ICU from 2000 to 2025

图 1. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用的研究的中文文献发文量趋势图

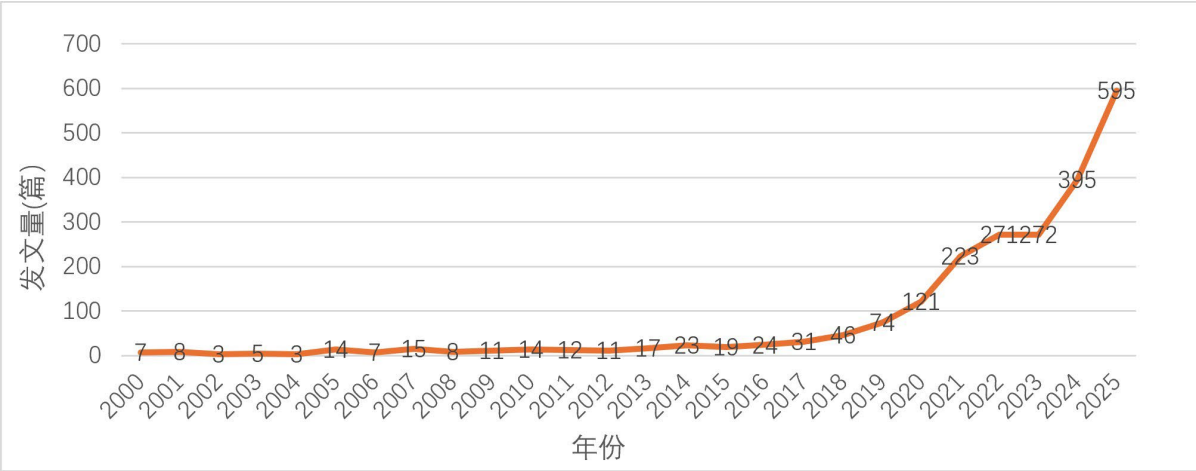


Figure 2. Trend chart of English literature on the application of artificial intelligence in ICU from 2000 to 2025
图 2. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用的研究的英文文献发文量趋势图

Table 1. The top 10 Chinese literature articles on the application of artificial intelligence in ICU from 2000 to 2025
表 1. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用的研究的中文文献发文量排名前 10 名的发文机构

序号	发文量	中心性	发表年份	机构
1	6	0.00	2018	四川大学华西医院
2	6	0.00	2025	南方医科大学
3	6	0.00	2004	华南理工大学
4	6	0.00	2012	中国人民解放军总医院
5	5	0.00	2018	上海交通大学
6	5	0.00	2019	中国人民解放军海军军医大学
7	5	0.00	2019	南京大学医学院附属金陵医院
8	5	0.00	2024	电子科技大学
9	5	0.00	2025	扬州大学
10	4	0.00	2023	山西医科大学

Table 2. The top 10 English literature articles on the research on the application of artificial intelligence in ICU from 2000 to 2025
表 2. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用的研究的英文文献发文量排名前 10 名的发文机构

序号	发文量	中心性	发表年份	机构
1	78	0.15	2003	Harvard University
2	68	0.20	2003	Harvard University Medical Affiliates
3	47	0.18	2007	University of Amsterdam
4	33	0.03	2019	Capital Medical University
5	31	0.03	2016	Harvard Medical School
6	30	0.03	2021	Central South University
7	27	0.06	2019	Emory University
8	25	0.03	2021	Chinese Academy of Medical Sciences-Peking Union Medical College
9	24	0.10	2019	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
10	24	0.12	2018	University of California System

3.3. 人工智能在 ICU 中应用研究的关键词共现分析

关键词是描述文章核心内容的术语，高频关键词则一定程度上代表着该领域的研究热点[5]。对纳入的中英文文献进行可视化分析，得到关键词共现图。中文文献关键词共现图谱有 296 个节点、501 条连线，密度为 0.0115，如图 3。英文文献关键词共现图谱有 280 个节点、2007 条连线，密度为 0.0514，如图 4。越大的节点说明使用率越高，节点之间距离越近、连线越多说明研究关系越近[6]。频次排名前 10 的中英文文献关键词见表 3 和表 4，中文文献中“预测模型”“危险因素”“列线图”以及英文文献中的“machine learning (机器学习)”，“intensive care unit (重症监护室)”，“mortality (死亡)”等中心性较高，反映该领域 2000~2025 年的热点研究方向。

3.4. 人工智能在 ICU 中应用的关键词聚类分析

关键词聚类是将研究领域内具有相同或相似研究主题的关键词分组和聚类，可以反映研究领域内每个研究主题的组成。采用模块值(Q 值)和平均轮廓值(S 值)反映聚类节点的同质性和一致性。Q 值(聚类模块值) >0.3 表示聚类结构显著，S 值(聚类平均轮廓值) >0.5 表示聚类合理，S 值 >0.7 表明聚类结构高度可信[7]。本研究的中文关键词聚类 Q 值 0.54，S 值 0.85。英文关键词聚类 Q 值 0.37，S 值 0.73。这意味着聚类图谱得到的划分是可靠的，内部主题有明确指向。如图 5 所示，国内相关研究的关键词形成了#0 列线图、#1 人工智能、#2 护理、#3 机器人、#4 机器学习、#5 预测等聚类。如图 6 所示，国外相关研究的关键词形成了#0 machine learning、#1 intensive care、#2 mimic-iv database、#3 length of stay、#4 delirium、#5 triage 等聚类。

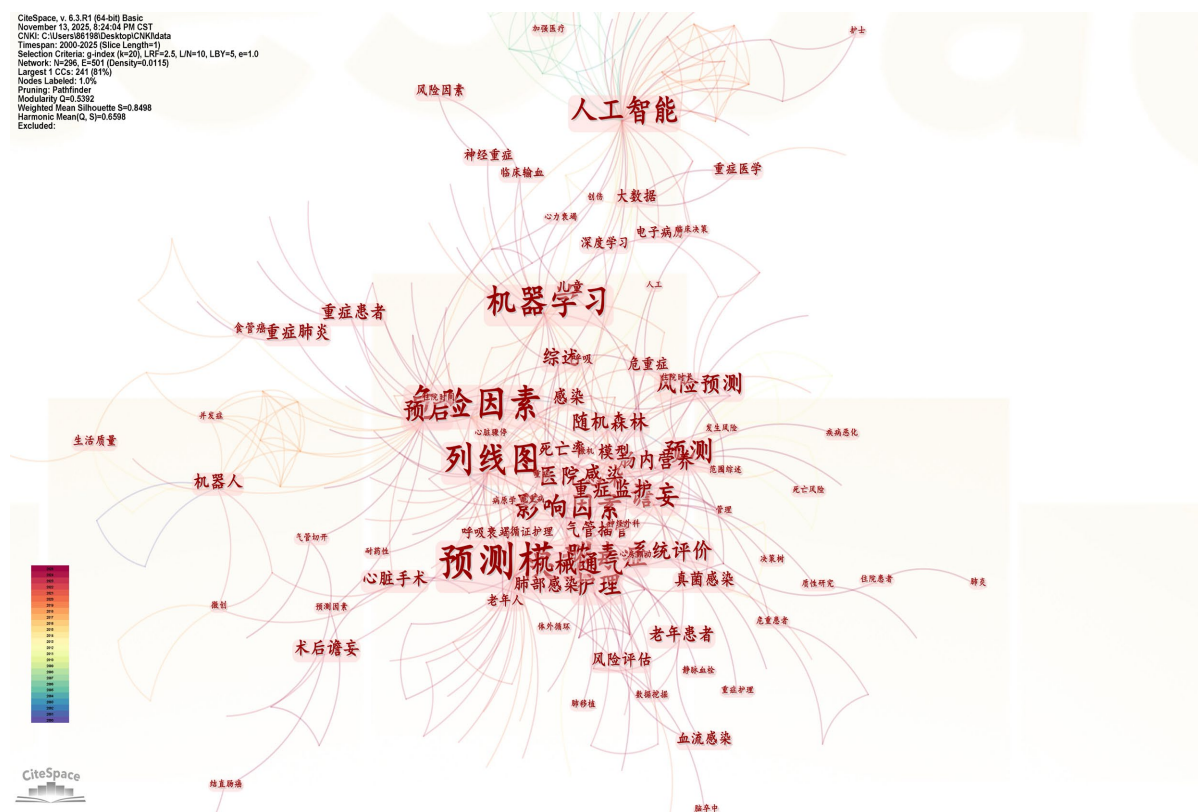


Figure 3. The Chinese keywords applied by artificial intelligence in ICU from 2000 to 2025 appear together
图 3. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用的中文关键词共现

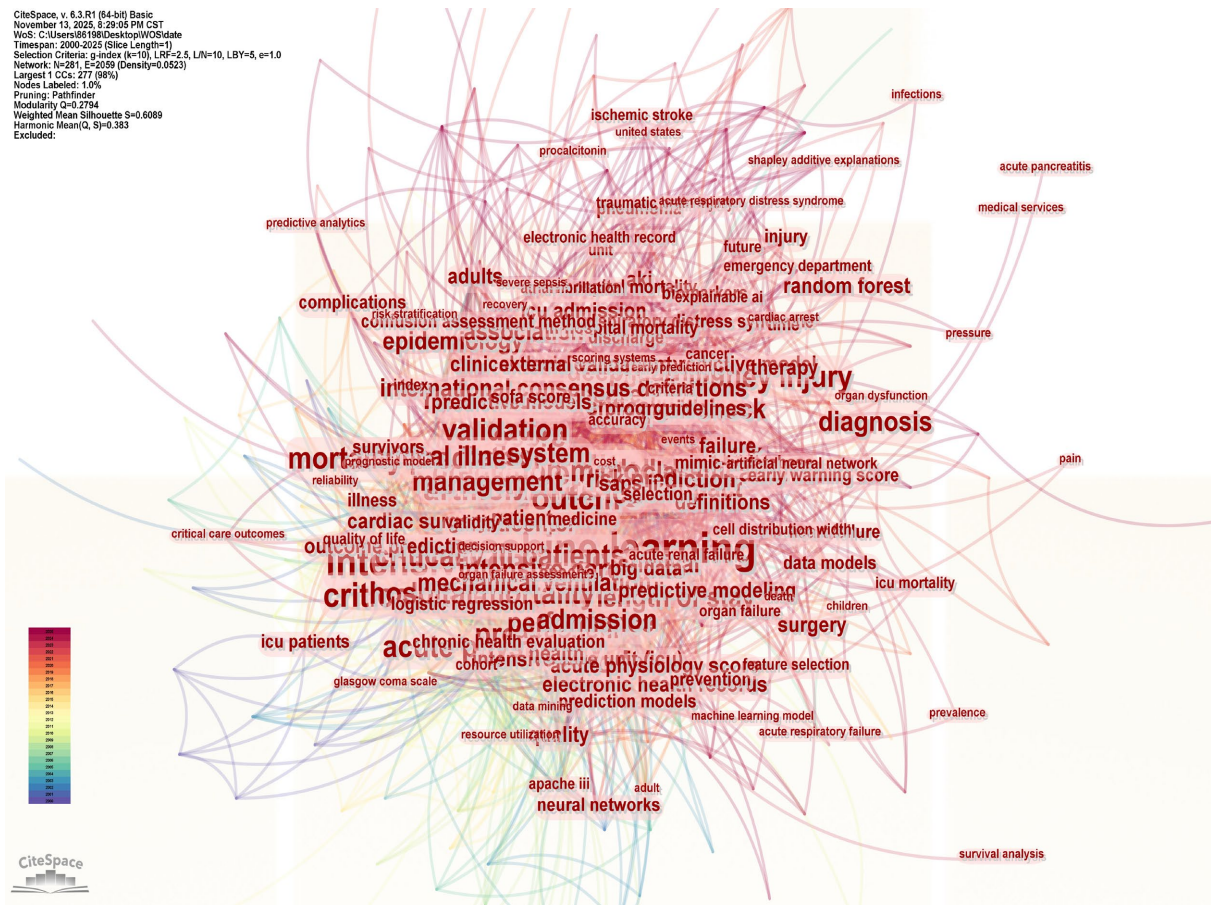


Figure 4. English keywords applied by artificial intelligence in ICU from 2000 to 2025 appear together
图 4. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用的英文关键词共现

Table 3. The top 10 keywords ranked in the frequency of Chinese literature related to the application of artificial intelligence in ICU from 2000 to 2025
表 3. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用相关中文文献频次排名前 10 位的关键词

序号	关键词	频次	中心性
1	预测模型	221	0.25
2	危险因素	105	0.17
3	列线图	85	0.23
4	机器学习	62	0.20
5	人工智能	40	0.46
6	影响因素	38	0.09
7	脓毒症	34	0.06
8	预测	30	0.19
9	预后	27	0.30
10	护理	25	0.08

Table 4. The top 10 keywords ranked in the frequency of English literature related to the application of artificial intelligence in ICU from 2000 to 2025
表 4. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用相关英文文献频次排名前 10 位的关键词

序号	关键词	频次	中心性
1	machine learning	669	0.04
2	intensive care unit	461	0.22
3	mortality	317	0.12
4	artificial intelligence	218	0.01
5	outcome	172	0.05
6	critical care	170	0.08
7	intensive care	159	0.05
8	risk	158	0.05
9	hospital mortality	144	0.08
10	score	136	0.03

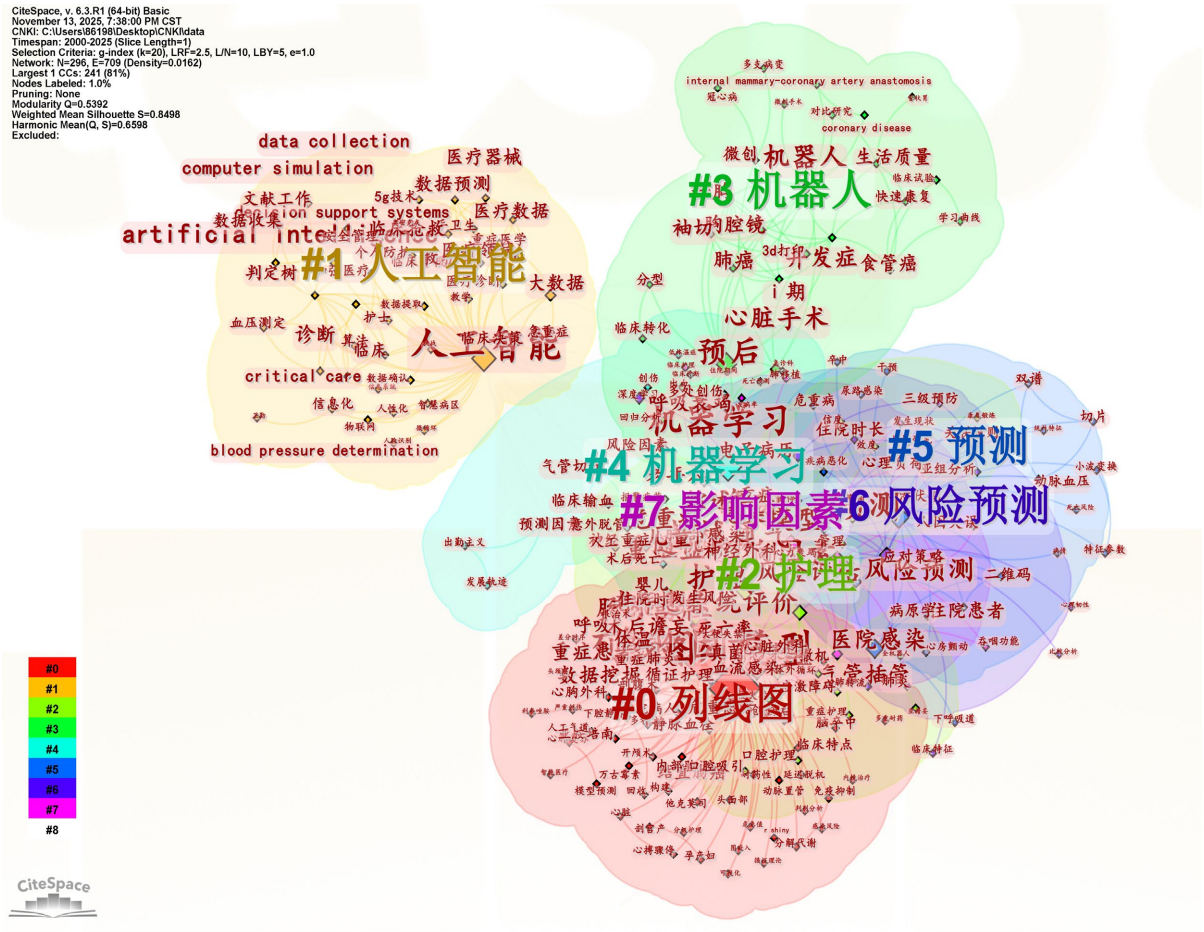


Figure 5. Chinese keyword clustering applied by artificial intelligence in ICU from 2000 to 2025
图 5. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用的中文关键词聚类

CiteSpace, v. 5.3.R1 (64-bit) Basic
November 13, 2025, 7:59:49 PM CST
WoS: C:\Users\986198\Desktop\WOS\data
Timespan: 2000-2025 (Slice Length=1)
Selection Criteria: g-index (k=10), LRF=2.5, L/N=10, LBY=5, $\phi=1.0$
Network: N=251, E=2059 (Density=0.0523)
Largest 1 CCs: 277 (98%)
Nodes Labeled: 1.0%
Pruning: None
Modularity Q=0.2794
Weighted Mean Silhouette S=0.6089
Harmonic Mean(Q, S)=0.383
Excluded:

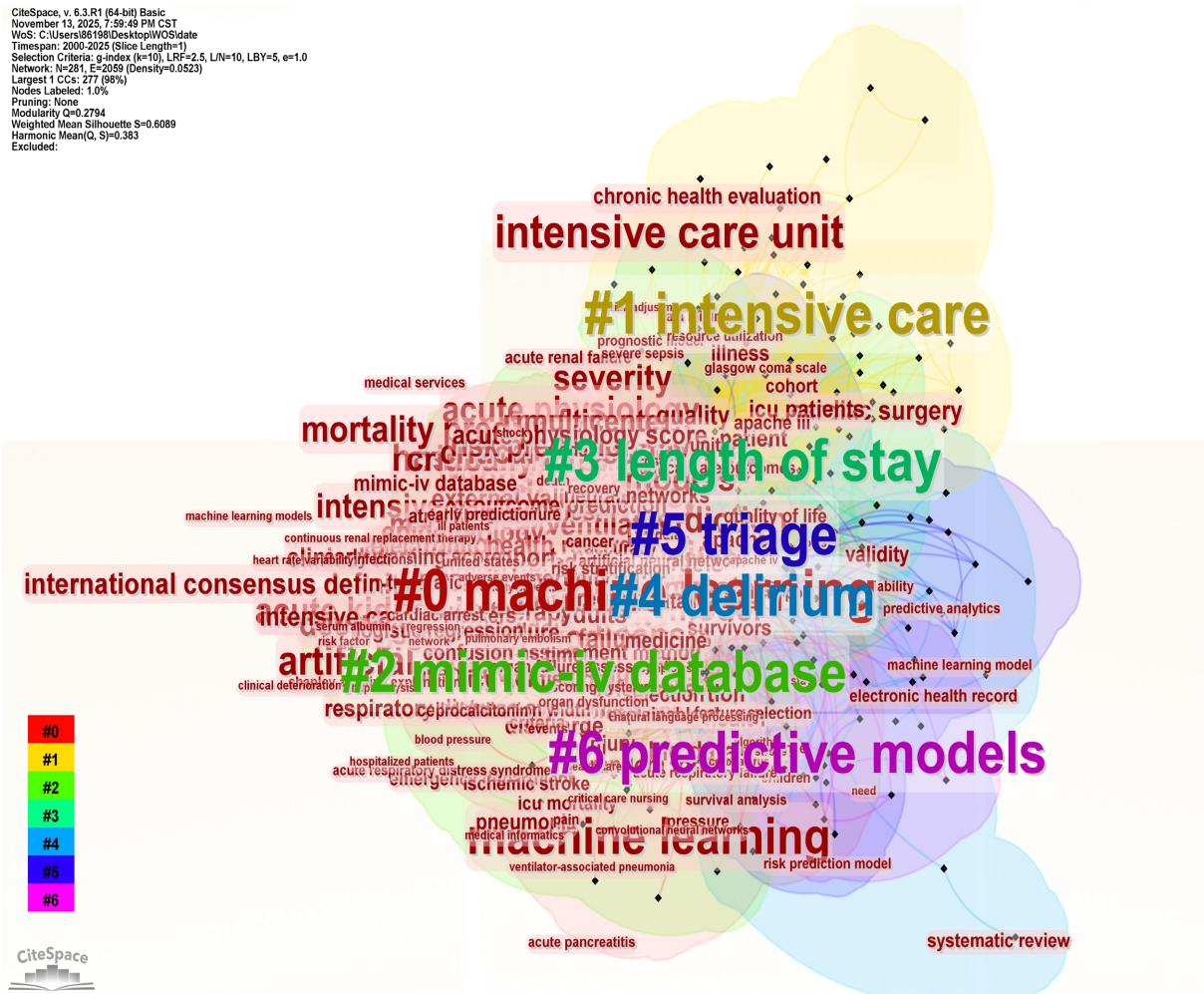


Figure 6. English keyword clustering applied by artificial intelligence in ICU from 2000 to 2025

图 6. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用的英文关键词聚类

Table 5. Application of artificial intelligence in ICU in 2000~2025 Keyword cluster analysis of relevant Chinese literature

表 5. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用相关中文文献关键词聚类分析

聚类 ID	文献数量(篇)	聚类紧密度	聚类标签	年份
0	61	0.77	列线图	2021
1	45	0.99	人工智能	2015
2	30	0.83	护理	2020
3	28	0.93	机器人	2016
4	23	0.80	机器学习	2022
5	21	0.79	预测	2017
6	15	0.89	风险预测	2021
7	15	0.76	影响因素	2023

Table 6. Application of artificial intelligence in ICU in 2000~2025 Keyword cluster analysis of relevant English literature
表 6. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用相关英文文献关键词聚类分析

聚类 ID	文献数量(篇)	聚类紧密度	聚类标签	年份
0	75	0.49	machine learning	2020
1	70	0.70	intensive care	2005
2	39	0.53	mimic-iv database	2020
3	29	0.73	length of stay	2012
4	25	0.54	delirium	2020
5	21	0.63	triage	2011
6	18	0.81	Predictive models	2014

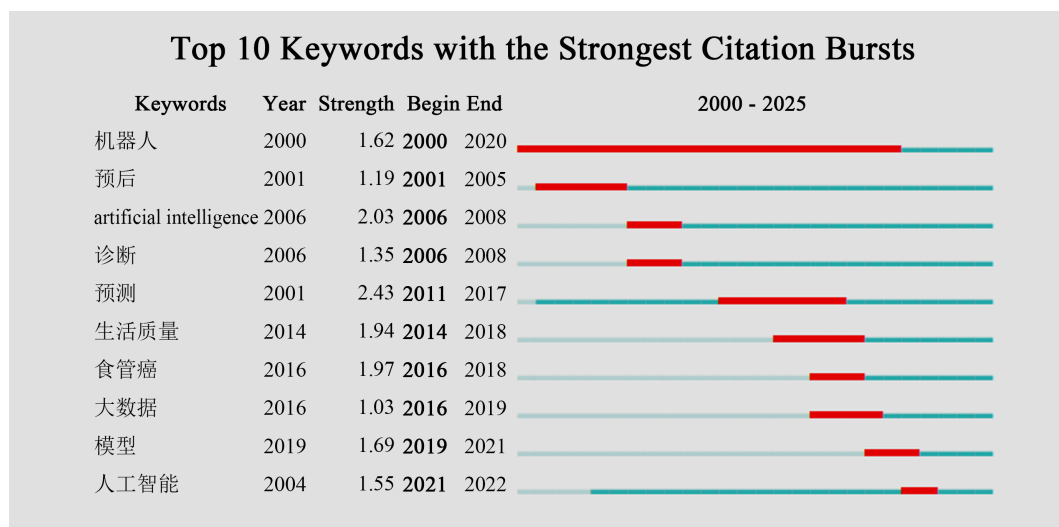


Figure 7. Chinese keyword emergence atlas of artificial intelligence applied in ICU from 2000 to 2025

图 7. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用的中文关键词突现图谱

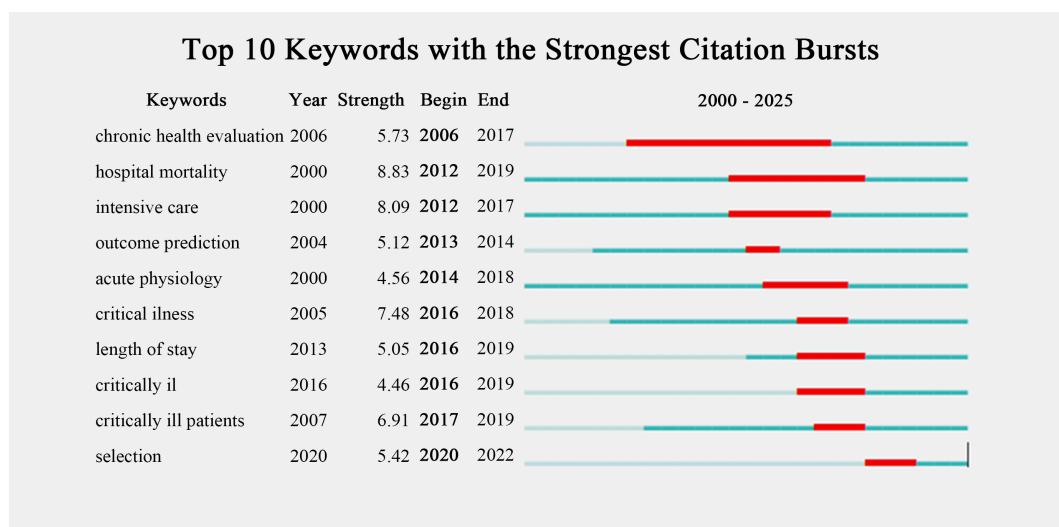


Figure 8. English keyword emergence atlas of artificial intelligence applied in ICU from 2000 to 2025

图 8. 2000~2025 年人工智能在 ICU 中应用的英文关键词突现图谱

3.5. 人工智能在 ICU 中应用的突现词分析

突现词是在短时间内使用频率较高的关键词,可预测该领域的研究趋势[8]。对中英文文献中的关键词进行突现分析,各得到 10 个突现词。图右侧呈条形状的年份趋势发展路径,红色代表热度高,是研究的热点,青色代表热度低。如图 7 所示,中文关键词突现分析结果中活跃度较高的为预测(2.43)、人工智能(2.03)、食管癌(1.97)、生活质量(1.94)和模型(1.69)等,机器人是持续时间最久的关键词(2000~2020 年)。如图 8 所示,英文关键词突现分析结果中活跃度较高的是“hospital mortality (医院死亡率)”(8.83)、“intensive care (重症监护)”(8.09)、“critical illness (危重疾病)”(7.48)和“critically ill patients (危重病人)”(6.91)等。

4. 讨论

4.1. 人工智能在 ICU 中应用的研究现状

2000~2025 年,ICU 中人工智能的应用研究总体呈增长趋势,可见人工智能在 ICU 中的应用正在越来越受到各方学者的关注,已由早期探索阶段逐步进入加速发展阶段,但尚未完全迈入临床验证应用的成熟阶段。发文趋势显示,英文文献发文量高于中文文献,这可能与国外对人工智能的研究开展较早起步、深入有关。国外发文机构的分布情况表明,哈佛大学与哈佛大学医学院不仅发文量可观,中心性也处于较高水平。我国的四川大学华西医院、南方医科大学等机构虽在国际发文方面有一定贡献,但中心性指标尚未表现出明显优势。

4.2. 人工智能在 ICU 中应用相关中英文文献的研究热点和发展趋势分析

4.2.1. 预测模型是国内的研究热点

临床预测模型作为一种量化工具,能够综合考虑患者的多项生理指标、疾病特征等因素,为医护人员提供客观、准确的病情评估和预后预测[9]。一个经过充分开发和验证的临床预测模型,有助于医生识别出康复预后不佳风险较高的患者[10]。从关键词共现与聚类结果来看,国内人工智能在 ICU 中的应用主要集中于临床预测模型的构建与应用,研究对象多为具体、明确的临床结局,如危险因素、死亡风险、并发症、预后不良风险等。国内研究多强调预测模型在临床问题中的实用价值,形成可直接辅助临床决策的风险评估工具,有较强的临床应用导向。例如,ZHU [11]等构建机械通气患者预后预测模型,通过多模型比较确定 XGBoost 模型具有最佳预测性能。张铜[12]等基于 MIMIC-IV 数据库,联合 LASSO 回归与多种机器学习算法,构建并验证了乳腺癌患者入住 ICU 期间发生急性肾损伤(AKI)风险预测模型,并通过 SHAP 技术提升模型可解释性,为临床早期预防提供参考。王敏[13]等基于 LASSO 回归与多种机器学习方法构建 ICU 患者多重耐药菌(MDRO)感染风险预测模型,并结合列线图实现风险可视化,为临床早期识别与干预提供支持。而传统的预测模型在变量筛选阶段多基于经验或文献,容易遗漏变量,并且通常只构建一个回归模型,很少比较不同算法的预测性能,在模型评价阶段,多依赖 P 值、OR 值。由此可见,与传统的预测模型相比,人工智能构建的预测模型对变量筛选、模型构建、模型评价全过程进行了优化,为临床早期预警与精准防控提供参考。

4.2.2. 机器学习是国外的研究热点

机器学习(machine learning, ML)作为人工智能领域的核心,与临床决策支持系统结合,形成机器学习临床决策支持系统,并在重症监护室中应用广泛[14]。国外人工智能在 ICU 中的应用更强调机器学习方法在复杂临床场景中的应用,研究内容涵盖死亡率、谵妄、住院时间、分诊、评分等多维度问题,呈现出明显的技术导向和全流程管理特征。依托 MIMIC 等大型数据库,国外学者能够对患者生命体征、实验室

指标及治疗过程进行时序分析, 从而实现对死亡率、谵妄及住院时间等精准预测。机器学习临床决策支持系统为重症监护室病人的疾病诊断、风险预测提供了新模式, 并展现出优于传统评估模式的多方面特点[15]。例如, Wang D [16]等采用机器学习方法, 评估与脓毒症相关的预测性临床指标及生物标志物, 并构建脓毒症早期预测的模型, 可加深对脓毒症的认知、助力其临床管理。而传统的脓毒症诊断依赖多个生物标志物的实验室检测, 耗时长, 使治疗延迟。

4.3. 人工智能在 ICU 中应用国内国外的研究类型存在差异

国内以“预测模型”“列线图”等为核心, 研究方向偏向用人工智能构建临床工具, 注重实用型临床辅助工具的开发与应用。国外主要聚焦于机器学习、住院死亡率、谵妄等具体临床问题, 涵盖营养支持、重症患者全流程管理等更广泛的 ICU 临床场景, 研究主题更具体细节、多元。国内国外研究差异产生的原因可能包括: 1) 科研基础有差异, 国外对人工智能的研究起步早, 机器学习等核心技术储备深厚, 2003 年国外联合开发的去标识化的 MIMIC 数据库, 是全球 ICU 人工智能研究的核心基准数据库, 而 2002 年, 中国政府开始实施“科学数据共享工程”[17], 开展全国临床数据资源首次调研, 为医学人工智能的数据共享打下基础。这说明国外 ICU 长期建立高质量结构化数据库, 而国内数据标准化和共享程度相对不足。2) 研究导向有差异, 国内更侧重临床实用工具开发, 贴合国内的需求, 例如 2024 年底, 国内首个重症大模型“启元重症大模型”落地应用, 实时融合数据, 直接服务于床旁决策、医护减负; Berkhout WEM [18]等人分析 2020~2024 年 1263 项研究, 发现国内研究 62%聚焦于临床工具开发, 国外 48%侧重算法优化、多模态融合, 这证明国外聚焦多元临床问题, 更注重算法性能与方法学创新。3) 资源与环境有差异, 不同国家和地区在医疗数据积累、数据共享及技术条件上存在差异, 这在一定程度上会影响研究的深度与广度。我国在数据整合、共享机制及技术应用方面仍处于持续完善阶段, 不同医院的信息系统不一致, 电子病历系统和重症监护信息系统之间数据接口不统一, 数据格式、编码体系和采集频率差异较大, 导致跨机构数据难以直接整合。我国医院科研体系仍以临床学科为主导, 复合型人才相对不足, 临床专家与算法工程师之间协作难度较大。同时受人口规模和医疗资源配置等现实因素影响, 开展多中心和复杂的研究会面临一定挑战。

4.4. 人工智能在 ICU 中应用相关国内国外研究局限

尽管人工智能在 ICU 场景中应用前景广阔, 但其研究和实践仍面临多方面局限。目前国内的机构发文量少, 研究类型较单一且与国际的合作不够紧密, 国外的研究多数依赖数据的回顾性分析, 缺乏前瞻性验证, 难以让医疗界信任。例如 Suresh V [19]等人的文献明确指出, 国外 AI 在 ICU 的应用研究多基于如 MIMIC 等现有数据库, 开展回顾性数据分析, 极少通过前瞻性临床试验来验证模型在真实临床场景中的有效性。同时, 国外的研究多集中于发达国家, 这种“人工智能鸿沟”会将拥有高度人工智能可及性的人与有限或完全无人接触的人分开, 加剧了社会和经济上的不平等[20]。人工智能在 ICU 中应用也面临着投资、伦理、安全以及法律责任等方面的挑战。机器学习临床决策支持系统的引入需要大量投资, 使用机器学习临床决策支持系统的医疗机构表示面临巨大的财务压力[21]。伦理困境不可避免会出现, 尤其是围绕隐私、信任、透明度和问责制[22]。医疗数据一旦泄露可能造成身份盗窃、虚假索赔、保险欺诈、个人隐私侵犯等问题[23]。虽然机器学习临床决策支持系统可以参与部分医疗环节, 但无法从法律、道德层面对其约束, 参与医疗的责任范围难以界定[24]。机器人错误决策所产生的责任, 可能带来重大法律难题[25]。

4.5. 人工智能在 ICU 中应用相关研究的未来展望

由发文量趋势图可见, 自 2017 年起, 中英文相关发文量均呈急速上升趋势, 这可能与当时段人工智能突破性发展相关。2016 年 3 月, 谷歌 AlphaGo 击败世界围棋冠军李世石, 引发了全球对人工智能的关

注。2017 年 7 月,国务院发布《新一代人工智能发展规划》,提出“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”[26],为中国人工智能发展提供了明确的时间表和路线图。自 2017 起,国际人工智能伦理与安全议题受到重视。2023 年 2 月由国家卫生健康委等发布的《涉及人的生命科学和医学研究伦理审查办法》[27]强调了伦理审查的重要性。在基于 AI 的临床决策支持系统的开发和应用中需要始终坚持“伦理先于技术”的原则,避免隐私数据泄露[28]。建议未来深化人工智能伦理研究,政府部门加快法律与监管体系的构建,降低医疗安全隐患、隐私泄露等问题,但需始终坚持医护的主体地位,避免对技术的过度依赖。未来,国内机构可以深化与国际顶尖团队的合作,提升研究成果的国际影响力,同时推动多中心、跨区域的临床数据共享,提高研究类型的多样性。未来,国外机构的研究可以多结合真实 ICU 场景,开展 AI 工具的前瞻性临床试验,验证其在病情预警等场景的实际效果。例如,现代 ICU 警报系统能够支持毫秒级数据记录,完成数据的自动分类存储与汇总,自动记录和更新实验室结果[29]。同时,有必要加强不同国家和地区之间的协作,可由国家级重症医学中心牵头,与国际顶尖机构共同建立多中心、标准化的 ICU 数据库,形成涵盖人口学信息、生理指标及预后的高质量数据库,实现与国际数据库的互联互通。未来,建议研究机构多开展跨学科合作。重症医学科是多个学科的交叉,而跨学科临床预测模型能够整合多个学科的信息,提供更全面、准确的病情评估[30]。例如,可以联合工程学科,针对 ICU 患者活动受限的问题,研发“可穿戴式 AI 监护设备”;可以联合流行病学,基于 ICU 的感染数据,构建精准感染防控模型。近年来,我国在医疗人工智能领域逐步形成具有中国特色的发展路径。以“启元重症大模型”为代表的医疗大模型,能够融合电子病历、生命体征监测、影像数据及检验结果等信息,实现实时动态分析与床旁决策支持,标志着我国人工智能应用正由单一预测模型向综合智能系统转变。未来,我国可以重点探索基于大模型的个体诊疗方案提出、智能医嘱生成及护理决策支持等方向。

5. 结语

本研究利用 CiteSpace 软件对人工智能在 ICU 中应用的中英文文献进行可视化分析,总结了该领域的发展现状与研究热点。目前,人工智能在 ICU 中应用逐步受到更多关注,国外相关应用较为先进、成熟,值得国内借鉴其研究方法和研究内容。国内有关研究总体呈现起步追赶阶段,未来可以深化国际协作,提高研究类型的多样性,形成具有中国特色的人工智能应用方案,最终能为患者提供更精准、高效的医疗服务。本研究仅检索了中国知网、万方、维普数据库和 Web of Science 数据库,结果存在一定局限性,未来应需要纳入更多文献开展更深层次的研究。

作者贡献

蔡雪妍负责研究方案设计、实施研究、采集数据、分析并解释数据、起草文章;陆昌浩负责指导数据分析、对文章内容作部分审阅;宋梦珂负责采集数据;熊灿负责采集数据;彭琳负责指导研究方案设计、研究方向,指导文章起草,对文章内容作批评性审阅。

基金项目

上海市护理学会优秀青年人才育苗计划([2023]35);海军军医大学第一附属医院长风人才工程([2024]1)。

利益冲突

所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] 陈妞, 陈莹, 郭瑾, 等. 人工智能在危重症护理中的应用现状及挑战[J]. 中华急危重症护理杂志, 2022, 3(3): 276-279.

- [2] 张茂. 未来智慧 ICU 的建设[J]. 中华医学信息导报, 2022, 37(6): 16.
- [3] Li, Y., Wang, M., Wang, L., Cao, Y., Liu, Y., Zhao, Y., *et al.* (2024) Advances in the Application of AI Robots in Critical Care: Scoping Review. *Journal of Medical Internet Research*, **26**, e54095. <https://doi.org/10.2196/54095>
- [4] Liu, J.W. and Huang, L.C. (2008). Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Fuel Cell Scientific Literature. 2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Dalian, 12-17 October 2008, 11435-11438. <https://doi.org/10.1109/wicom.2008.2660>
- [5] 邓一, 宋珊珊, 董丽. 基于 CiteSpace 的我国脑瘫儿童康复护理的可视化分析[J]. 中华现代护理杂志, 2024, 30(7): 943-949.
- [6] 汪卓剑, 张岚. 基于 CiteSpace 的 ICU 患者疼痛管理研究可视化分析[J]. 中华疼痛学杂志, 2024, 20(6): 905-912.
- [7] 唐淑慧, 肖瑛, 席惠君, 等. 基于 CiteSpace 的军队岛礁医院相关研究热点的可视化分析[J]. 军事护理, 2024, 41(10): 74-77.
- [8] 高成菲, 陆小英, 马倩云, 等. 基于 CiteSpace 的专科护理门诊研究现状与热点的可视化分析[J]. 中华现代护理杂志, 2025, 31(18): 2435-2441.
- [9] 郑铭柯, 徐昉. 重症医学临床预测模型的应用研究进展[J]. 现代医药卫生, 2025, 41(12): 2870-2873+2878.
- [10] van Beek, S., Nieboer, D., Klimek, M., Stolker, R.J. and Mijderwijk, H. (2024) Development and External Validation of a Clinical Prediction Model for Predicting Quality of Recovery Up to 1 Week after Surgery. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 387. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50518-1>
- [11] Zhu, Y., Zhang, J., Wang, G., Yao, R., Ren, C., Chen, G., *et al.* (2021) Machine Learning Prediction Models for Mechanically Ventilated Patients: Analyses of the MIMIC-III Database. *Frontiers in Medicine*, **8**, Article ID: 662340. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.662340>
- [12] 张铜, 张于, 白静, 等. 基于机器学习与 SHAP 的 ICU 乳腺癌患者急性肾损伤风险预测[J]. 中国煤炭工业医学杂志, 2025, 28(6): 525-538.
- [13] 王敏, 查君敬, 方秀花, 等. 基于机器学习的 ICU 患者多重耐药菌感染风险预测模型构建[J]. 成都医学院学报, 2026, 21(1): 127-131.
- [14] 严慧娜, 刘瑞云, 李颖, 等. 机器学习临床决策支持系统在 ICU 中应用的研究进展[J]. 护理研究, 2025, 39(7): 1199-1205.
- [15] Moazemi, S., Vahdati, S., Li, J., Kalkhoff, S., Castano, L.J.V., Dewitz, B., *et al.* (2023) Artificial Intelligence for Clinical Decision Support for Monitoring Patients in Cardiovascular ICUs: A Systematic Review. *Frontiers in Medicine*, **10**, Article ID: 1109411. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1109411>
- [16] Wang, D., Li, J., Sun, Y., Ding, X., Zhang, X., Liu, S., *et al.* (2021) A Machine Learning Model for Accurate Prediction of Sepsis in ICU Patients. *Frontiers in Public Health*, **9**, Article ID: 754348. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.754348>
- [17] 柏永青, 杨雅萍, 孙九林. 国内外科学数据管理办法研究进展[J]. 农业大数据学报, 2019, 1(3): 4-20.
- [18] Berkhout, W.E.M., van Wijngaarden, J.J., Workum, J.D., van de Sande, D., Hilling, D.E., Jung, C., *et al.* (2025) Operationalization of Artificial Intelligence Applications in the Intensive Care Unit: A Systematic Review. *JAMA Network Open*, **8**, e2522866. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2025.22866>
- [19] Suresh, V., Singh, K.K., Vaish, E., Gurjar, M., Am, A., Khulbe, Y., *et al.* (2024) Artificial Intelligence in the Intensive Care Unit: Current Evidence on an Inevitable Future Tool. *Cureus (Palo Alto, CA)*, **16**, e59797. <https://doi.org/10.7759/cureus.59797>
- [20] Cecconi, M., Greco, M., Shickel, B., Angus, D.C., Bailey, H., Bignami, E., *et al.* (2025) Implementing Artificial Intelligence in Critical Care Medicine: A Consensus of 22. *Critical Care*, **29**, Article No. 290. <https://doi.org/10.1186/s13054-025-05532-2>
- [21] 郑锐, 季梦婷, 冯雨萱, 等. 诊断类智能化临床决策支持系统应用现状与思考[J]. 上海医药, 2024, 45(9): 3-9+18.
- [22] Ahmed, M.I., Spooner, B., Isherwood, J., Lane, M., Orrock, E. and Dennison, A. (2023) A Systematic Review of the Barriers to the Implementation of Artificial Intelligence in Healthcare. *Cureus*, **15**, e46454. <https://doi.org/10.7759/cureus.46454>
- [23] 徐天宇, 余松轩, 侯冷晨, 等. 数智融合背景下重症医学科发展的机遇、挑战与对策[J]. 海军军医大学学报, 2025, 46(1): 118-122.
- [24] 崔芳芳, 李中琳, 何贤英, 等. 医疗人工智能临床应用的伦理思考[J]. 中国医学伦理学, 2025, 38(2): 159-165.
- [25] 刘旭东, 李敏香, 徐百超, 等. 人工智能在心脏骤停急救应用中的伦理挑战与对策[J]. 中国急救医学, 2024, 44(11): 985-990.
- [26] 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.

- https://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm, 2026-01-09.
- [27] 关于印发涉及人的生命科学和医学研究伦理审查办法的通知[EB/OL]. 2023-02-28.
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-02/28/content_5743658.htm, 2025-12-07.
- [28] 雷芳, 杜亮, 董敏, 等. 基于人工智能的临床决策支持系统早期临床评估的透明化报告[J]. 中国全科医学, 2024, 27(10): 1267-1270.
- [29] 翁成杰, 潘向滢, 王金宁, 等. ICU 警报管理数字化与智能化的研究进展[J]. 中华急危重症护理杂志, 2025, 6(3): 380-384.
- [30] 朱曼晨, 胡春英, 贺银燕, 等. 基于机器学习的重症监护病房脓毒症患者住院病死率预测模型的构建[J]. 中华危重病急救医学, 2023, 35(7): 696-701.