

数字健康技术在肺康复领域的研究热点与前沿 ——基于CiteSpace的知识图谱分析

宋云霞^{1*}, 邓婉²

¹都江堰市人民医院护理部, 四川 成都

²都江堰市人民医院儿科, 四川 成都

收稿日期: 2026年7月6日; 录用日期: 2026年7月29日; 发布日期: 2026年8月12日

摘要

目的: 基于CiteSpace可视化分析国内数字健康技术工具在肺康复中的研究现状与趋势。方法: 系统地检索中国知网数据库自2022年到2026年发表的符合主题的文献, 采用NoteExpressV4.X软件对文献进行管理, 去重、逐条审查相关性后以Reforworks-CiteSpace格式导出全部题录, 通过CiteSpace 6.3.R3软件对关键词、作者及研究机构合作网络进行可视化分析。结果: 共纳入有效文献738篇, 发文整体呈逐年上升趋势, 2020年后进入高速增长阶段; 关键词聚类生成肺功能、影像组学、远程医疗、肺疾病、肺癌、生活质量、机械通气、随机森林、呼吸训练9个聚类模块($Q = 0.5085, S = 0.7967$); 2024年突现关键词有: 生物信息学、肺移植、非小细胞肺癌、风险预测模型、慢性阻塞性肺疾病急性加重; 作者和机构合作网络的网络密度分别为: 0.0064、0.004。结论: 数字健康技术在肺康复中的应用研究已从初步模式探索转向技术深化落地, 但跨机构、跨学科协作网络尚未形成, 技术迭代速度快于行业规范建设; 未来需在创新发展与质量约束间寻求动态平衡, 以临床实际获益为核心推动数智化肺康复的标准化落地与高质量发展。

关键词

肺康复, 数智化工具, 知识图谱, CiteSpace

Research Hotspots and Fronts of Digital Health Technology in Pulmonary Rehabilitation

—A Knowledge Graph Analysis Based on CiteSpace

Yunxia Song^{1*}, Wan Deng²

¹Department of Nursing, Dujiangyan People's Hospital, Chengdu Sichuan

*通讯作者。

文章引用: 宋云霞, 邓婉. 数字健康技术在肺康复领域的研究热点与前沿[J]. 临床医学进展, 2026, 16(8): 771-781.
DOI: 10.12677/acm.2026.1682850

Abstract

Objective: To analyze the research status and trends of domestic digital and intelligent tools in pulmonary rehabilitation based on CiteSpace visualization analysis. **Methods:** Systematically retrieving literature published in the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) database from 2022 to 2026 that aligns with the specified topic. The literature was managed using NoteExpress V4.X software, with deduplication and individual relevance checks performed before exporting all bibliographic records in Reforworks-CiteSpace format. Visual analysis of keywords, authors, and institutional collaboration networks was conducted using CiteSpace 6.3 R3 software. **Results:** A total of 738 valid articles were included, with the number of publications showing a year-by-year upward trend and entering a phase of rapid growth after 2020. Keyword clustering identified nine clusters: pulmonary function, imagingomics, telemedicine, lung diseases, lung cancer, quality of life, mechanical ventilation, random forest, and respiratory training ($Q = 0.5085$, $S = 0.7967$). Emerging keywords in 2024 include bioinformatics, lung transplantation, non-small cell lung cancer, risk prediction models, and acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. The network densities for author and institutional collaboration networks were 0.0064 and 0.004, respectively. **Conclusion:** Research on the application of digital and intelligent tools in pulmonary rehabilitation has progressed from preliminary model exploration to advanced technological implementation. However, cross-institutional and interdisciplinary collaboration networks remain underdeveloped, and technological iteration outpaces the establishment of industry standards. Future efforts must strike a dynamic balance between innovative development and quality constraints, prioritizing clinical benefits to drive standardized implementation and high-quality advancement of digital-intelligent pulmonary rehabilitation.

Keywords

Pulmonary Rehabilitation, Digital and Intelligent Tools, Knowledge Graph, CiteSpace

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

肺康复(Pulmonary Rehabilitation, PR)是基于患者个体化全面评估而量身拟定的系列综合性干预措施,以运动训练为核心,融合营养指导、心理支持、行为干预、健康教育等多维内容。主要宗旨是改善呼吸系统疾病患者功能状态和生活质量,当前已被广泛应用于慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)等常见肺部疾病中[1] [2]。数字健康技术(digital health technology, DHT)是指通过数字技术与信息通信技术优化医疗健康服务[3]。随着人工智能的发展与普及,在医疗健康智能化转型领域中有着重要地位[4]。DHT 与肺康复的深度融合,在优化传统肺康复系列措施的实施路径、智能化评估、个性化方案拟定、远程医疗等方面均有着创新性的研究与发展[5]。本研究通过 CiteSpace 软件实现对 DHT 在 PR 中的研究与应用趋势的可视化呈现,为临床研究与应用提供一定的借鉴。

2. 资料与方法

2.1. 文献来源

以中国知网(CNKI)数据库作为数据来源,检索式为:SU=(肺康复+呼吸康复+肺功能康复+肺部康复+呼吸训练+呼吸功能锻炼+肺功能锻炼+慢阻肺+COPD+慢性阻塞性肺疾病+肺癌术后+肺移植+间质性肺病+胸部手术+支气管扩张)ANDSU=(数智化+数字化+智能化+智慧医疗+智慧康复+互联网++人工智能+AI+大数据+物联网+可穿戴设备+虚拟现实+VR+增强现实+AR+数字疗法+远程康复+远程监测+远程医疗+移动医疗+手机APP+微信小程序+康复机器人+云平台+机器学习+数字孪生+居家康复+智能管理+康复系统+体感游戏),检索年限为立库至2026年5月31日,中文检索。剔除与主题关联较弱的文献后得到有效文献750篇,将其以“Refworks”格式导出为纯文本文件(“.txt”文件)。

2.2. 研究方法

通过CiteSpace-6.1.R6绘制相关主题知识图谱,软件设置如下:Years per slice为1年分区法,节点类型选择作者、机构、关键词,演算时阈值Top N=50(即选取各时段节点频次由高到低排列的前50条数据),剪切方式(Pruning)采用Pathfinder法。

3. 结果

3.1. 总体发文趋势分析

2002~2016年领域整体发文规模极小,单年发文量长期处于个位数区间,多数年份仅1~6篇,曲线走势平缓,无明显增长。2017年发文量首次出现阶跃式上升,达到17篇;2017~2019年保持稳步增长态势,2019年发文量为29篇。2020年起领域进入高速增长阶段,发文量逐年攀升,从2020年的43篇、2021年的67篇、2022年的72篇,到2023年突破百篇关口至106篇,2024年进一步增长至137篇,2025年达到163篇的历史峰值,整体呈现近似指数型的增长曲线。2026年已统计发文量为52篇,受文献收录时间滞后影响,当前数据尚不完整,曲线表现为阶段性回落。见图1。

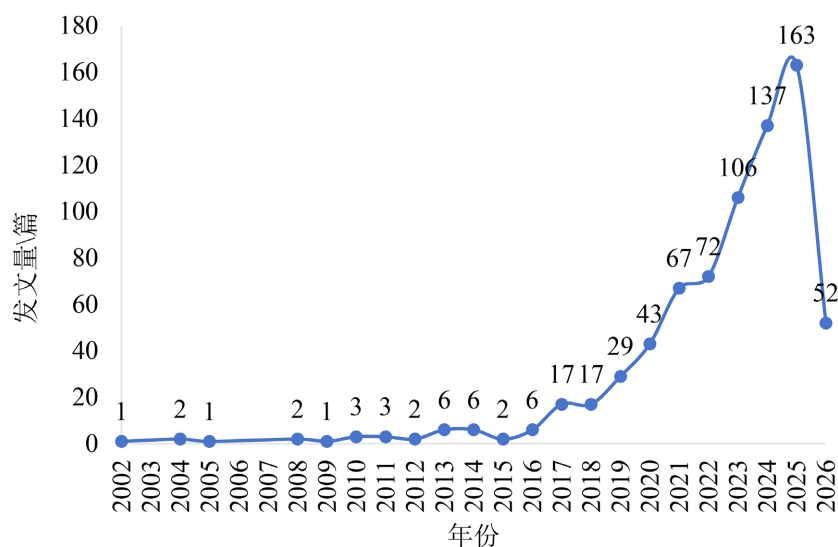


Figure 1. Overall annual publication trend

图 1. 总体年度发文趋势

3.2. 作者分析

以“Author”为节点类型, 节点数 $N = 375$, 连线数 $E = 449$, 网络密度 $Density = 0.0064$, 整体密度极低, 作者间整体合作关联较弱。节点大小对应作者发文总量, 其中陈亚红发文量最高, 为该领域核心高产作者; 周丽娟、许诺、史有奎、马利军等学者发文量位居前列, 构成领域研究的核心作者群体。领域内已形成若干小规模内部合作团队, 但跨团队、跨地域的学术协作较少, 尚未形成覆盖广泛的核心合作网络。见图 2。

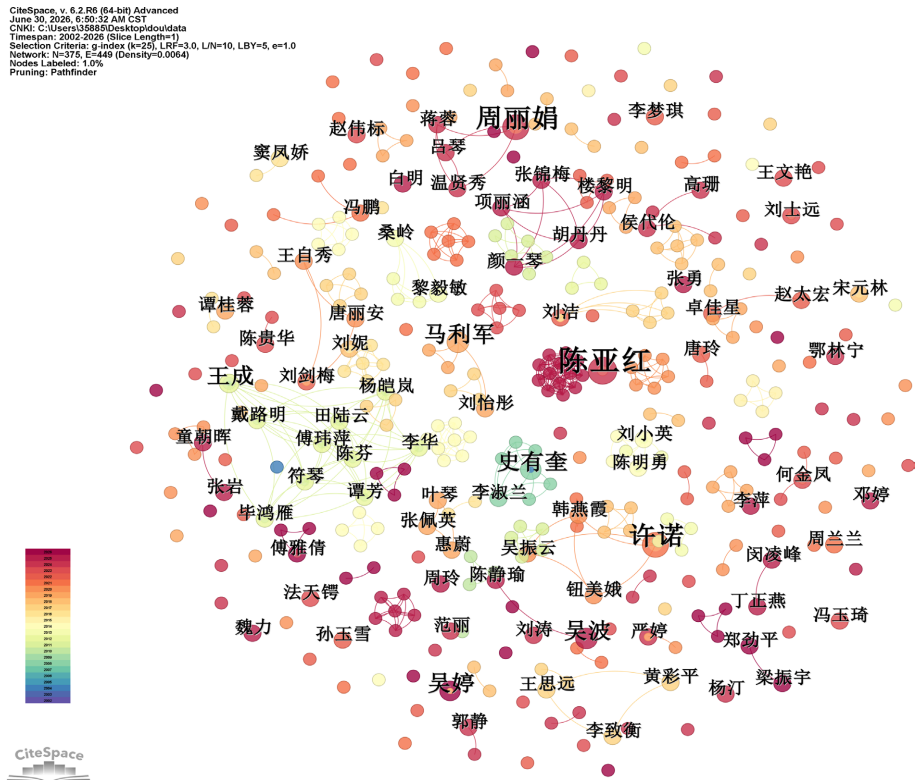


Figure 2. Visualization mapping of author collaboration
图 2. 作者合作可视化图谱

3.3. 机构分析

以“Institution”为节点类型, 节点数 $N = 286$, 连线数 $E = 162$, 网络密度 $Density = 0.004$, 密度极低, 机构间合作程度整体偏低, 研究力量较为分散。发文量排名靠前的机构包括广州医科大学、郑州大学、中南大学、苏州大学等, 以医学院校及其附属医院为核心研究主体。多数机构呈独立研究状态, 仅同校附属医疗体系内存在少量内部合作, 跨区域、跨学科的深度协作不足, 暂未出现中心度突出的核心引领机构。见图 3。

3.4. 关键词分析

3.4.1. 关键词共现

节点数 $N = 385$, 连线数 $E = 573$, 网络密度 $Density = 0.0078$, 主题丰富但关联分散度较高。除检索主题词外, 慢性阻塞性肺疾病出现频次最高, 是领域最核心的研究载体; 肺功能、人工智能、肺康复、机器学习、远程医疗、可穿戴设备等关键词频次次之, 共同构成领域的核心主题框架。中介中心性较高的

关键词为慢性阻塞性肺疾病、肺康复、人工智能, 是连接各研究方向的关键枢纽。见图 4。

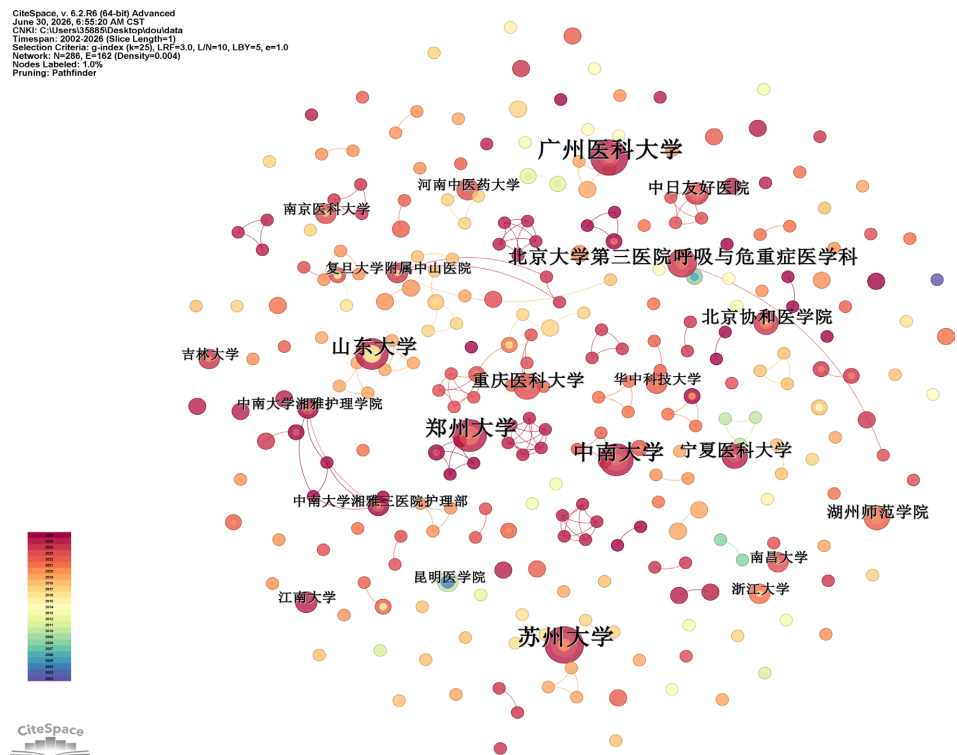


Figure 3. Visualization mapping of institutional collaboration
图 3. 机构合作可视化图谱

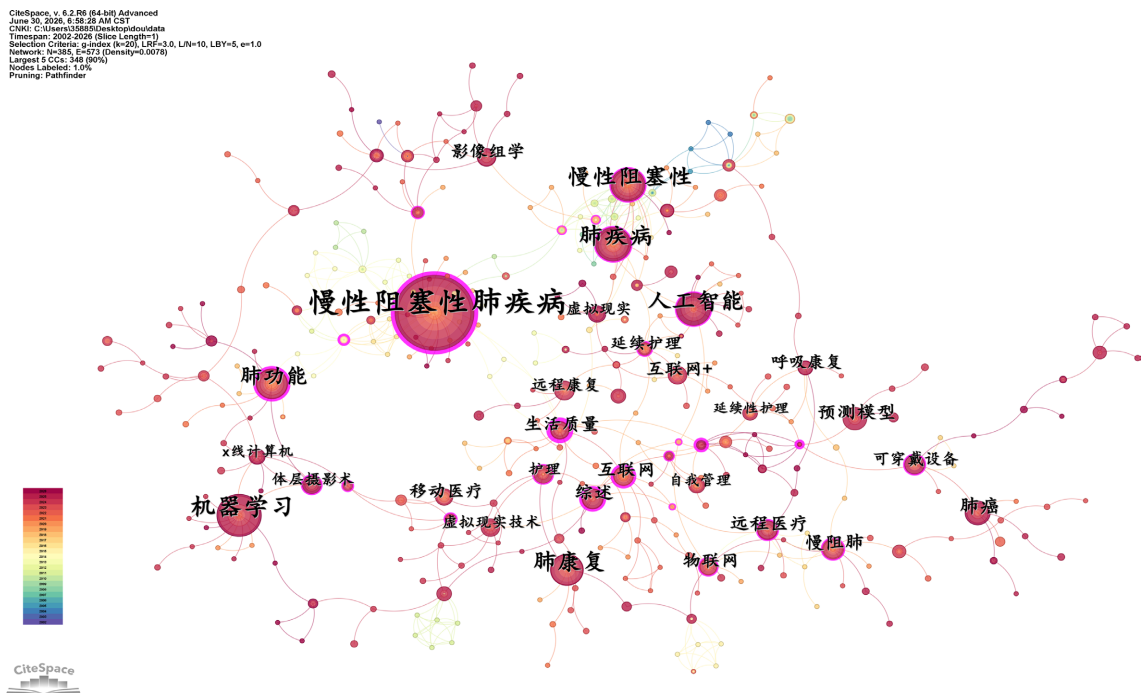


Figure 4. Keyword co-occurrence mapping
图 4. 关键词共现图谱

3.4.2. 关键词聚类

在关键词共现网络基础上,通过对数似然率(LLR)算法对高关联关键词进行聚类划分,每个聚类对应一个独立研究方向;模块化值 $Q > 0.3$ 说明聚类结构显著,平均轮廓值 $S > 0.5$ 说明聚类同质性好、可信度高。 $Q = 0.5085$, $S = 0.7967$, 聚类效果优秀,结构清晰可靠。共形成 9 个核心聚类,分别为肺功能、影像组学、远程医疗、肺疾病、肺癌症、生活质量、机械通气、随机森林、呼吸训练,覆盖疾病评估、技术工具、服务模式、干预手段、结局评价多个维度,形成完整的研究主题体系。见图 5。

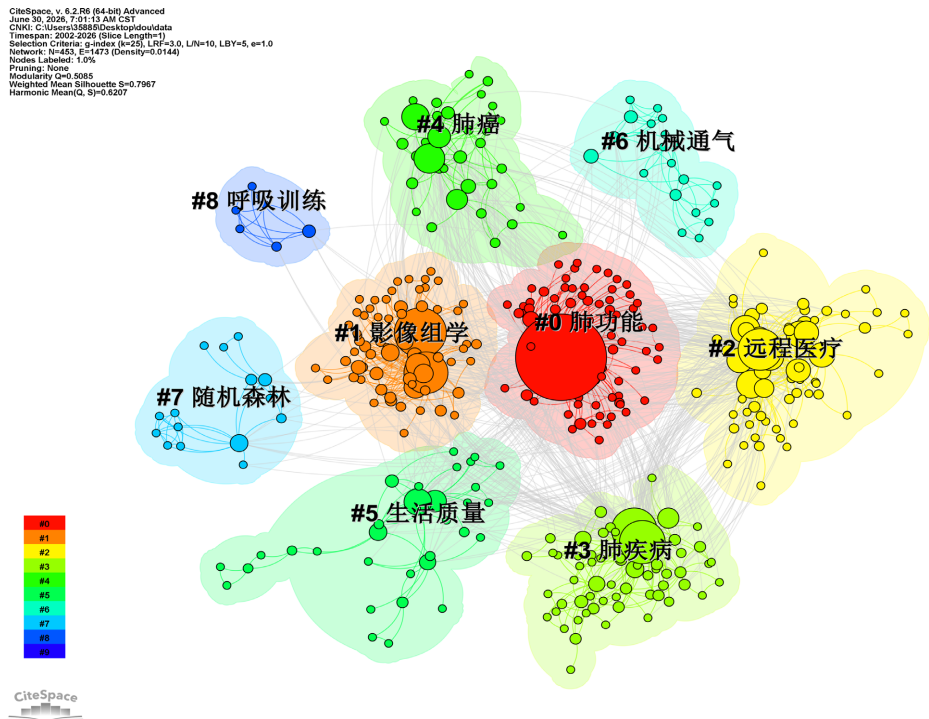


Figure 5. Keyword clustering mapping
图 5. 关键词聚类图谱

3.4.3. 关键词时间线

关键词时间线图:节点数 $N = 453$, 连线数 $E = 1473$, 网络密度 $Density = 0.0144$; 模块化值 $Q = 0.5085$, 加权平均轮廓值 $S = 0.7967$ 。图谱按 9 个研究聚类横向分行排布,每个聚类内的关键词沿 2002~2026 年水平时间轴按首次出现年份依次陈列。其中肺功能、肺疾病、呼吸训练等基础主题贯穿研究全程;远程医疗主题自 2010 年起持续延伸,子主题逐步丰富;影像组学、人工智能、机器学习等技术类主题于 2016 年后集中出现;肺癌、机械通气、风险预测模型等细分方向为近年新增研究内容。见图 6。

3.4.4. 关键词时区

关键词时区图:节点数 $N = 306$, 连线数 $E = 1064$, 网络密度 $Density = 0.0228$; 模块化值与轮廓值与聚类分析结果一致。图谱以垂直年份条带划分时区,所有关键词节点按首次出现年份归入对应时区,从左至右呈现领域主题的时序涌现规律。2002~2008 年以疾病基础、病理机制类主题为主;2010~2016 年远程医疗、肺康复、慢病管理等应用主题逐步兴起;2018 年后人工智能、可穿戴设备、虚拟现实、互联网+等数智化相关主题集中爆发;2022 年之后预测模型、生物信息学、急性加重预警等前沿主题持续新增,整体研究方向随时间推移不断向技术深化、场景细化拓展。见图 7。

CiteSpace, v. 6.2.R6 (64-bit) Advanced
 June 30, 2026, 7:01:13 AM CST
 CNKI: C:\Users\35885\Desktop\data
 Timespan: 2002-2026 (Slice Length=1)
 Selection Criteria: g-index (k=25), LRF=3.0, L/N=10, LBY=5, $\alpha=1.0$
 Network: N=453, E=1473 (Density=0.0144)
 Nodes Labeled: 1.0%
 Pruning: None
 Modularity Q=0.5085
 Weighted Mean Silhouette S=0.7967
 Harmonic Mean(Q, S)=0.6207

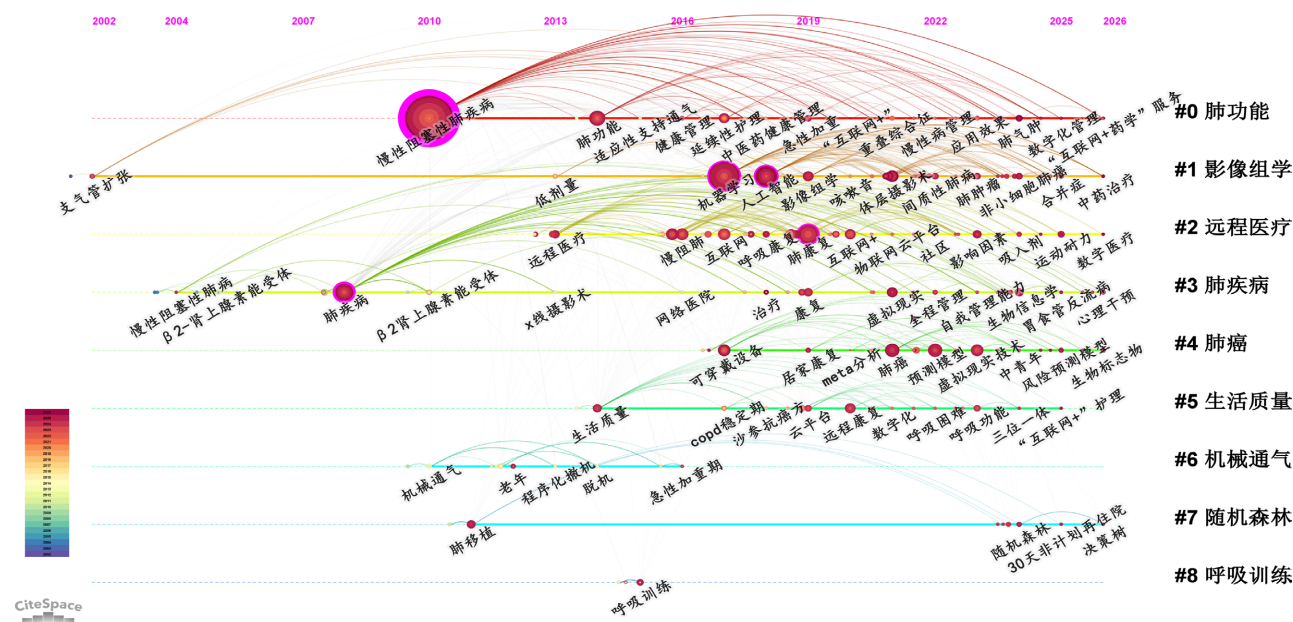


Figure 6. Keyword timeline mapping
 图 6. 关键词时间线图谱

CiteSpace, v. 6.2.R6 (64-bit) Advanced
 June 30, 2026, 7:06:05 AM CST
 CNKI: C:\Users\35885\Desktop\data
 Timespan: 2002-2026 (Slice Length=1)
 Selection Criteria: g-index (k=15), LRF=3.0, L/N=10, LBY=5, $\alpha=1.0$
 Network: N=206, E=1054 (Density=0.0228)
 Largest S CCs: 283 (92%)
 Nodes Labeled: 1.0%
 Pruning: None
 Modularity Q=0.5085
 Weighted Mean Silhouette S=0.7967
 Harmonic Mean(Q, S)=0.6207

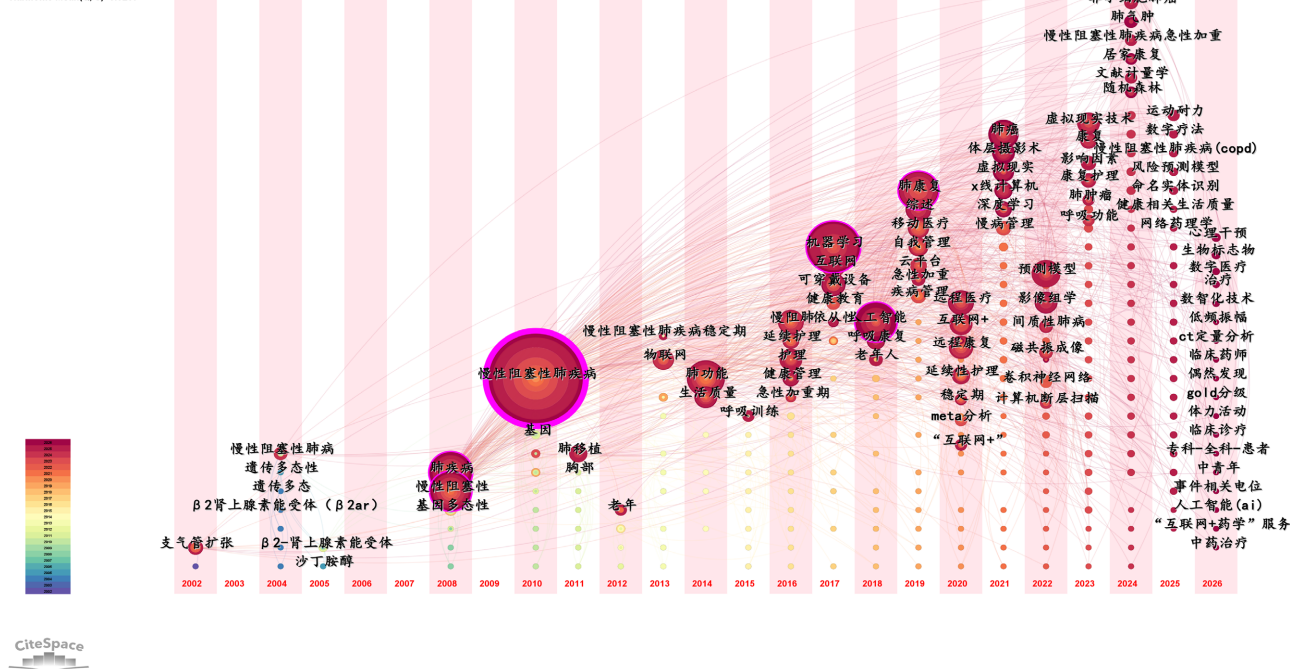


Figure 7. Keyword timezone mapping
 图 7. 关键词时区图谱

3.4.5. 关键词突现

突现词指某一段时间内出现/被引频次突然激增的关键词，代表该时段的研究前沿与热点转向；红色线段为突现持续区间，强度(Strength)越高代表该主题热度越高、关注度爆发越显著；突现结束年份延伸至 2026 年的主题，为当前持续活跃的前沿方向。见图 8。

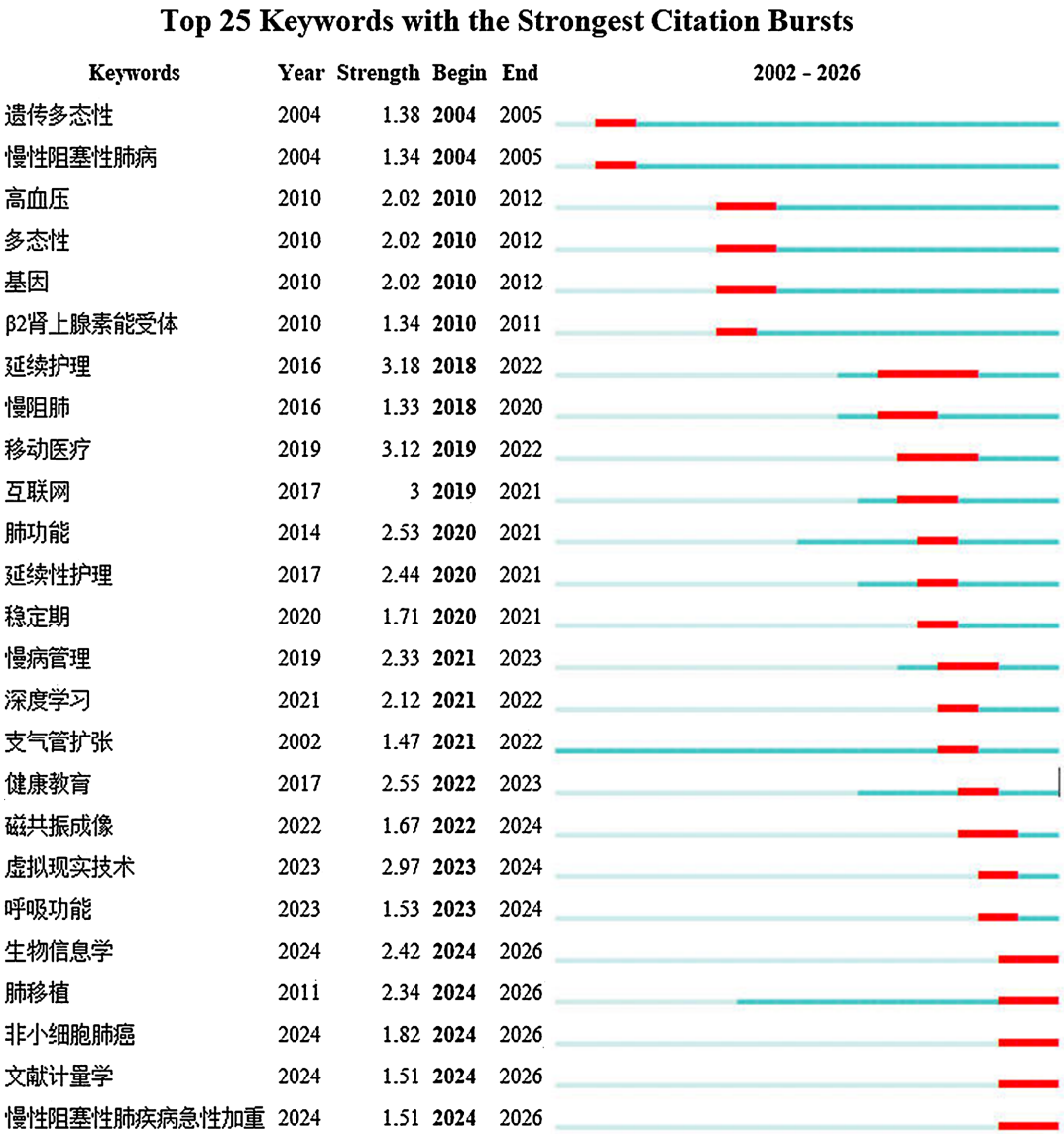


Figure 8. Keyword burst mapping
图 8. 关键词突现图谱

4. 讨论

4.1. 发文趋势

整体而言，数智化在肺康复中的交叉融合领域，前期研究产出积累缓慢，近十年增长动能持续增强，研究热度整体呈持续上升态势。数智化肺康复领域的年度发文走势，始终与国内医疗信息化进程、宏观产业政策及临床需求变化高度同频。2002~2016 年，国内整体医疗信息化尚处于基础网络与系统搭建阶

段,肺康复本身在临床的普及度有限,数智化工具的应用探索仅停留在极个别机构的零散尝试,十余年间年发文量长期徘徊在个位数,领域尚未形成独立的研究方向。随着 2015 年国家“互联网+”行动计划正式提出,医疗数字化产业逐步升温,2018 年《互联网诊疗管理办法(试行)》等系列文件落地[6],远程医疗、延续性护理的合规路径逐步清晰,叠加移动医疗赛道的资本与产业热度传导,2017 年起该领域发文量首次实现量级突破,进入稳步增长的起步阶段。2020 年之后,居家慢病管理、远程康复指导的刚性临床需求显著,同时数字经济、智慧医疗在此期间发展迅猛[7],人工智能、可穿戴设备、虚拟现实等技术的成熟度与落地成本持续优化,数字疗法、慢病智慧管理等产业赛道快速扩容[8],2020~2025 年领域发文量进入指数级增长通道,五年间发文规模翻了近四倍,2025 年达到 163 篇的历史峰值;2026 年数据出现的回落并非领域热度下行,而是受数据库收录时滞、年度数据尚未完整入库影响。整体来看,该领域的研究热度始终紧跟国家医疗数字化的政策节奏。

4.2. 作者合作格局

从本次文献计量学研究中可以直观看到数智化肺康复的研究作者呈现“小团队内部协作紧密、跨团队跨地域关联薄弱”的典型特征。领域内已形成以陈亚红、周丽娟等为代表的核心高产作者群,且各自依托所属机构构建了稳定的小型研究团队,但尚未出现具有高中心度的学术领军人物,也未形成覆盖全国的协作网络。其中,陈亚红的研究从 COPD 相关指南解读到临床评估,再到结合数字化管理应用于 COPD 患者[9]-[11],可以清晰看到临床关于慢性病管理的循证-应用-智能化管理的研究链条的缩影。周丽娟的研究则聚焦于机器学习算法在 COPD 临床中的场景化落地[12][13],预测模型作为“精准医学”中经济成本低廉且可以提供更加个性化预测价值的智能化工具,近年来被广泛应用于临床各场景。数智化肺康复融合呼吸病学、康复医学、护理学、生物医学工程等多学科背景,现有团队多依托单一临床机构组建,学科边界与行政归属存在一定等到协作壁垒;同时国内相关研究多为单中心小样本探索,缺乏国家级多中心研究项目的牵引,难以推动跨地域研究者的深度联动。合作网络的碎片化既容易导致研究内容低水平重复,也限制了高质量循证证据的产出,不利于数智化康复方案的行业共识形成。未来可依托专科分会搭建协作平台,以多中心临床研究为纽带凝聚研究力量,推动医工交叉团队的常态化合作。

4.3. 机构研发生态

机构合作网络图谱提示合作关联度低于作者网络,整体较为分散。从产出力量分布看,广州医科大学、中南大学、郑州大学等医学院校及其附属医院是研究主力,优质研究资源高度集中于头部专科机构,基层医疗机构与工科院校的参与度偏低,暂未出现中心度突出的引领性机构。肺康复临床研究高度依赖呼吸专科资源,国内优质呼吸学科资源分布不均衡,头部院校附属医院具备临床病例与研究能力的双重优势[14]。其次,数智化康复的落地需要临床需求与技术研发深度对接,多数临床机构缺乏稳定的工科技术合作方,跨机构合作又面临数据标准不统一、成果权益分配机制模糊等现实障碍,协作成本较高[15]。建议推动构建区域数智康复协作联盟,鼓励医科院校与工科院校、科技企业建立长效合作机制,统一数据采集与评估标准,通过资源互补加速研究成果转化。

4.4. 研究热点与演化

关键词图谱结果显示,领域已形成“临床场景为核心、技术工具为支撑、服务模式为延伸、结局评价为标尺”的完整知识结构,研究热点与前沿方向呈现清晰的演进逻辑。

从核心热点结构看,9 大聚类覆盖疾病评估、技术工具、服务模式、临床场景、结局评价全维度,慢性阻塞性肺疾病是最核心的研究载体,肺功能是贯穿全程的金标准评价指标,远程医疗、人工智能、可

穿戴设备、虚拟现实是数智化落地的核心路径。这一结构反映出该领域研究始终紧扣临床康复需求, 数智化技术作为赋能工具, 始终服务于慢病管理、功能改善的核心目标, 未脱离临床应用的本质。

从前沿趋势看, 生物信息学、肺癌围术期康复、慢阻肺急性加重预警、风险预测模型等成为近年突现前沿, 标志着领域正从“模式创新”向“精准赋能”升级——研究场景从稳定期慢病管理, 向围术期、重症期、急性加重期全周期延伸; 研究目标从普适性康复指导, 向个体化风险预测、精准方案生成深化。但同时也应注意到, 当前多数研究仍集中于技术可行性验证与短期效果评价, 关于数智化康复的长期成本效益、数据安全伦理、数字疗法标准化规范等深层问题的研究仍较为薄弱, 是未来需要重点突破的方向。

5. 小结

本研究采用 CiteSpace 软件对 2002~2026 年国内数智化肺康复领域中文文献进行可视化分析, 系统梳理其研究格局与演化趋势。结果显示, 领域发文量整体呈指数增长态势, 受政策引导与临床需求双轮驱动, 近年进入高速发展阶段; 作者与机构合作网络整体密度偏低, 以单机构内部小团队协作为主, 跨地域、跨学科协同明显不足。研究核心围绕慢阻肺肺功能康复展开, 热点从传统慢病管理逐步向远程医疗、人工智能、虚拟现实等数智化应用延伸, 前沿方向持续向精准预测、围术期康复、急性加重预警深化。该领域发展潜力充足, 后续需强化学术协作网络建设, 推动技术落地与行业标准完善。

基金项目

四川省护理学会护理科研课题计划(编号: H24055)。

参考文献

- [1] Schraufnagel, D.E., Blasi, F., Kraft, M., Gaga, M., Finn, P.W. and Rabe, K.F. (2013) An Official American Thoracic Society/European Respiratory Society Policy Statement: Disparities in Respiratory Health. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **188**, 865-871. <https://doi.org/10.1164/rccm.201308-1509st>
- [2] 中华医学会呼吸病学分会慢性阻塞性肺疾病学组, 中国医师协会呼吸医师分会慢性阻塞性肺疾病工作委员会. 慢性阻塞性肺疾病诊治指南(2021 年修订版) [J]. 中华结核和呼吸杂志, 2021, 44(3): 170-205.
- [3] Mariano, B. (2020) Towards a Global Strategy on Digital Health. *Bulletin of the World Health Organization*, **98**, 231-231A. <https://doi.org/10.2471/blt.20.253955>
- [4] 俞利华, 朱建俊, 姚芳. 数字健康技术在慢性阻塞性肺疾病患者肺康复中的应用研究进展[J]. 浙江医学, 2025, 47(17): 1900-1904.
- [5] 赵恒娣, 张富康, 孙克娟, 等. 数字健康技术与护理学科交叉融合的研究进展[J]. 中国护理管理, 2025, 25(2): 171-174.
- [6] 卫生健康委 中医药局关于印发互联网诊疗管理办法(试行)等 3 个文件的通知[EB/OL]. 2018-07-17. https://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5358684.htm, 2026-06-30.
- [7] 关于印发“十四五”全民健康信息化规划的通知[EB/OL]. 2022-11-09. <https://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/c100133/202211/fae867435fea479c828cb50047526a69.shtml>, 2026-06-30.
- [8] 李冲, 朱思忆, 何成奇. 人工智能在康复中的研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2025, 40(10): 1596-1603.
- [9] 陈亚红. 2022 年 GOLD 慢性阻塞性肺疾病诊断、治疗、管理及预防全球策略更新要点解读[J]. 中国全科医学, 2022, 25(11): 1294-1304+1308.
- [10] 潘子涵, 李姝润, 陈亚红. 物联网技术在慢性阻塞性肺疾病管理中的研究进展与展望[J]. 中国全科医学, 2024, 27(35): 4446-4454.
- [11] 隆寰宇, 张钰, 褚红玲, 等. 基于物联网的慢性阻塞性肺疾病管理[J]. 上海医学, 2024, 47(10): 598-602.
- [12] 周丽娟, 温贤秀, 吴海燕, 等. 基于机器学习算法构建慢性阻塞性肺疾病吸入剂治疗患者不良吸入风险预警模型[J]. 医药导报, 2024, 43(9): 1509-1518.
- [13] 周丽娟, 温贤秀, 吕琴, 等. 使用机器学习建立慢性阻塞性肺疾病患者重度气流受限风险预警模型研究[J]. 中国

全科医学, 2022, 25(2): 217-226.

- [14] 李树军, 赖玉田, 车国卫. 肺癌肺康复的临床现状与展望[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2026, 33(2): 300-310.
- [15] 吴颖, 宋继彬, 员荣平. 医工交叉学科建设与人才培养的挑战与对策[J]. 化工管理, 2024(34): 26-29.