

• 综 述 •

知识图谱在重症监护领域中应用的研究进展

刘璐, 张山

(首都医科大学 护理学院, 北京 100069)

重症监护室(intensive care unit, ICU)因患者的病情危急复杂、变化迅速,具有数据密集性、决策紧迫性以及工作负荷大的特点^[1]。信息化技术能够整合多源实时数据,提升医护人员对患者病情变化的响应速度,降低人为错误,是促进 ICU 护理模式现代化、科学化、精细化发展的必要途径^[1-2]。目前,我国医院信息化建设正处于以智能化技术转型推进医疗服务模式创新的关键窗口期^[3]。知识图谱(knowledge graph, KG)是新一代人工智能(artificial intelligence, AI)的奠基性技术之一,其基本原理是利用图的结构储存数据,识别和推理事物之间的复杂关系以及沉淀领域知识,为提升医疗 AI 系统学习事实知识的能力提供了基础^[4]。目前,知识图谱在慢病管理、健康教育、护理教学等领域已有初步应用^[5-7],但在危重症护理领域中的应用尚有限。因此,本文对知识图谱在 ICU 中的应用进行综述,为探索智能化危重症护理管理新方向提供参考。

1 知识图谱概述

1.1 基本概念 知识图谱是一种结构化的语义网络,通过节点(实体)和边(关系)的形式表达实体间的复杂关系及其属性,为大数据和 AI 提供可解释性知识基础^[8]。数据治理和共享问题是我国 ICU 从信息化到智慧化发展过程中面临的难题^[9]。知识图谱能够整合多源异构数据,从而解决 ICU 信息过载及碎片化的问题,提升临床决策效率。

1.2 医学知识图谱构建的关键技术 基础的知识图谱构建流程如图 1 所示,主要包括知识建模(knowledge modeling)、知识抽取(knowledge extraction)、知识表示(knowledge representation)、知识融合(knowledge fusion)和知识推理(knowledge inference)5 部分。知识建模为医学知识的组织方式和逻辑关系的表达提供了设计蓝图,包括自顶向下和自底向上两种方式^[10]。医学知识建模多采取自顶向下的方式,即先通过人工专家定义医学本体或

数据模式,再逐层细化并补充相关数据^[11]。医疗知识抽取和表示常从医学文献、临床电子病历、专业书籍、网站信息等医学资料中获取原始数据,通过人工专家标注、机器学习[如条件随机场模型(conditional random fields, CRF)]、深度学习[如生物医学语言表示模型(bidirectional encoder representations from transformers for biomedical text mining, BioBERT)]等方法转化为符号化的知识表示[如产生式规则(if and then)]或分布式向量表示[如基于 TransE 模型(translating embedding, TransE)的向量嵌入]^[5,10]。不同来源、不同格式的知识需要经知识融合,形成语义一致、无冗余的知识库以支持知识推理^[10]。知识推理是基于符号或统计原理模拟人类专家进行推理的过程,是实现智能搜索、医疗问答、临床决策支持的基础^[10]。

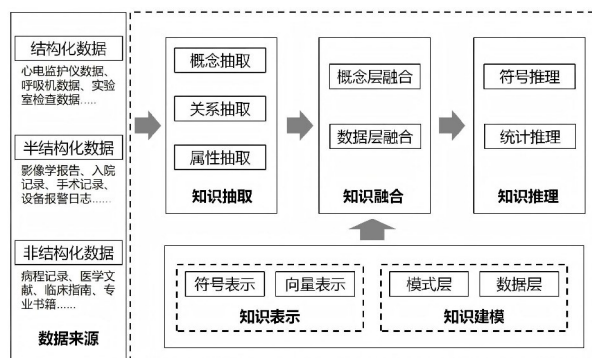


图 1 医学知识图谱构建流程示意图

2 知识图谱在重症医疗护理领域的应用

2.1 赋能急危重症智能监测,重塑重症医疗护理的精准视野 机器学习在 ICU 患者并发症风险预测中的应用研究已较为广泛,但因多模态数据融合能力不足和推理路径的可解释性不足,预测性能及预测结果的可信度受限^[12-13]。近年来,知识图谱成为优化疾病风险预测模型的重要方法。Shung^[14]利用知识图谱将电子病历中的消化道出血症状结构化,结合图嵌入聚类算法,提高了预测模型对 ICU 消化道出血低风险人群的鉴别能力,对未来改善 ICU 报警疲劳具有一定借鉴意义。Ma 等^[15]通过知识图谱

【收稿日期】 2025-01-11 【修回日期】 2025-06-04
【基金项目】 国家自然科学基金青年项目(72304196)
【作者简介】 刘璐,硕士在读,电话:010-83916504
【通信作者】 张山,电话:010-83916504

建模临床特征间的语义关系(如疾病-症状-药物的关联),利用其图嵌入特征将实时序贯器官衰竭评分模型的预测精确度提升至 0.860,阴性结果预测的准确率提升至 0.984。该方法未来可用于识别医学逻辑驱动而非单纯统计运算的疾病危险因素。然而,该研究的知识来源依赖单一医学本体(如统一医学语言系统),知识的丰富度不足及更新滞后可能影响模型的实用性和稳定性。Chu 等^[16]整合临床实践指南、多中心电子病历记录等多源数据,构建包含临床中心特定属性(如为“机械通气”节点标注“ICU”)的知识图谱,结合对抗学习模块开发急性肾损伤预测模型。模型的预测性能在两个迁移学习任务中分别提升了 7.0% 和 8.4%。该方法有助于增强 AI 系统在不同医疗机构中的泛化能力。目前,重症领域中知识图谱与疾病风险预测模型融合的研究尚在技术研发阶段,未来还需进一步探索及验证适用于临床实践的有效机制。此外,还可以基于护理程序的推理逻辑构建 ICU 综合管理知识图谱,在此基础上,开发护理敏感指标预警模块以监测早期病情变化,并通过标准化护理措施库的智能匹配,实现风险分层管理与个性化护理;依托知识图谱的关系网追溯异常数据的来源,建立精准化护理质量持续改进机制。

2.2 推动急危重症延续性护理体系构建:强化重症护理的连贯性 重症医学的不断发展提高了危重症患者的存活率,然而,患者从 ICU 转出后常面临着 ICU 后综合征(post-intensive care syndrome, PICS)的问题,增加患者的再入院风险,加重医疗系统的负担^[17]。Lu 等^[18]设计了一种 UMLS 知识图谱增强的多视图图神经网络模型,用于挖掘出院小结的文本信息来预测 ICU 再入院风险,改进了纯文本识别模型的性能,为充分利用 ICU 护理小结中的潜在信息带来启发。Carvalho 等^[19]利用电子健康记录数据构建知识图谱,结合机器学习算法在患者住院过程中的不同时间节点分别构建预测模型,用于动态预测 ICU 患者出院后 30 d 内再入院的概率。Yin 等^[20]设计了一种规则推理和知识图谱推理双驱动的重症卒中患者智能康复决策支持系统(rehabilitation decision support system, RDSS),通过语义推理生成核心康复方案,知识图谱进一步补充建议并支持患者并发症风险识别,形成综合康复方案。研究^[20]结果显示, RDSS 生成的推荐方案与金标准康复方案重合率高达 73.3%, 高于大多数康复医师的平均水平(59.4%)。陈雅楠等^[21]采用自动机多模式匹配算法,基于肠造口知识本体构建了造口并发症知识图谱,并将该知识图谱集成到智能问答系统,为

患者提供自诊自查的“虚拟造口师”;该研究为 ICU 患者院外延续护理提供新思路。未来可以基于知识图谱研发过渡期护理信息模块,整合患者 ICU 监测数据与普通病房的住院数据,促进 ICU 病房与普通病房之间的协作。除此之外,还可以利用知识图谱结合大语言模型开发远程线上护理康复门诊,为患者及家属提供居家护理信息检索、智能咨询、远程指导等服务,改善患者疾病的远期预后。

2.3 识别急危重症护理学演进路径:揭示重症护理发展趋势 由于知识图谱具有整合不同来源的数据、识别突现词、挖掘文本间关联以及可视化的能力,基于知识图谱的研究热点和趋势分析在医学文献计量学分析中应用广泛^[22]。有研究^[23]对 ICU 跨学科团队护理模式研究热点与前沿进行挖掘,发现早期研究更侧重于基础生命支持方向,而近些年研究更关注患者生存质量且呈现出信息化、规范化趋势。另有研究^[24]描绘了 ICU 警报疲劳热点研究时区分布图,从时间维度上展现了该领域内文献主题的更新与研究热点的迁移。知识图谱通过节点(如作者、关键词、机构等)所连边的数量衡量该节点在知识网络中的影响力(即度中心性),反映领域内作者或机构的学术影响力,以及核心研究主题;通过时间轴排列共被引文献,揭示重症医疗护理领域研究的演进路径,反映学科的发展趋势^[25]。

2.4 强化急危重症护理技能培训:引领专业技能精准提升 重症监护病房护理工作繁重复杂,面临的突发情况多,对护士的知识储备和技能胜任力有更高的要求,完善且充分的岗前培训是引导新护士快速胜任 ICU 工作,改善护士工作压力适应性的重要措施^[26]。张山等^[27]构建了基于知识图谱的急危重症护理学教学平台,帮助护理研究生形成完整的知识体系。荣欣雯等^[28]基于知识图谱设计了急危重症护理学高仿真模拟教学,研究结果显示,知识图谱的运用有助于培养护生的临床思维,提升综合实践能力。知识图谱可以连接不同学科间的知识点,合并重复知识,形成系统化知识网,有助于提高学习者的学习效率^[7]。尽管目前研究多集中于护生的教育教学,但为急危重症专科护士培训同质化、系统化、循证化发展提供了借鉴。除此之外,知识图谱还可以与虚拟仿真教学系统结合,增强虚拟患者的互动性,使虚拟病房具有更沉浸、真实的体验感,如 Song 等^[29]构建了针对口腔疾病场景的虚拟标准患者系统,为医学生口腔诊疗训练提供安全、更真实、可重复的教学工具。未来可以借鉴此类研究,开发虚拟仿真系统来提高 ICU 新护士的工作准备度。

3 现存问题分析

尽管知识图谱是一种计算机能够识别、存储和处理,同时人类能理解的高效知识表示方式,但在重症医学护理领域构建和实际应用过程中仍面临诸多挑战。首先,ICU 电子病历记录存在记录不完整、记录偏倚、术语不统一等问题,并且由于患者病情急剧变化可能导致较多数据缺失,增加了知识图谱构建的复杂度^[30]。建议整合统一医学语言(unified medical language system, UMLS)、系统化临床术语集(systematized nomenclature of medicine-clinical terms, SNOMED CT)、护理诊断分类系统(North American nursing diagnosis association-international, NANDA-I)及护理措施分类系统(nursing interventions classification, NIC)等医疗护理术语分类体系,构建标准化术语知识图谱,可对临床自由文本进行统一映射,并通过语义网改善数据稀疏性。随着大语言模型技术的快速发展,其强大的语义理解与上下文推理能力可应用于缺失信息的推断与补全,丰富知识图谱的内容^[31]。其次,ICU 护理领域的本体构建尚不完善,影响图谱中护理知识的完整表达,可能导致 AI 系统无法满足护理实践的需求。未来可以在知识建模阶段基于护理程序、融合护理理论构建专科本体,整合护理敏感指标、护理措施与效果评价体系,形成符合 ICU 护理实践路径的领域知识图谱^[32]。建议在护理教学中设置数智护理课程,开展跨学科合作交流讲座,鼓励 ICU 护理人员了解前沿的信息科学技术,促进与计算机专业人员的良好合作,保证知识图谱构建的专业性。此外,当前研究普遍存在外部验证不足的问题,并且大部分研究都聚焦于技术的改进,缺乏与护理实践融合的机制研究。未来需要开展多中心、大样本的随机对照试验或前瞻性队列研究,进一步探索实际的临床应用效果。最后,人工智能领域目前普遍存在患者隐私保护、数据伦理与安全、数据市场治理等问题,是未来研究中亟待解决的重要课题。

4 小结

作为 AI 知识工程的核心技术之一,知识图谱可以通过对本体对医学事实知识进行结构化建模,从而构建机器可理解的医学知识网络。在 ICU 精准化护理、ICU 延续性护理体系构建、重症学科发展及专科人才培养等领域具有重要的应用价值。未来需要促进医疗护理文书规范化与标准化、改进数据处理方式、构建 ICU 护理知识本体,以及开展临床实证研究进一步推动技术在 ICU 智慧化管理中的应用。

【关键词】 重症监护病房;知识图谱;人工智能;护理信息学;研究进展

doi:10.3969/j.issn.2097-1826.2025.07.024

【中图分类号】 R473 【文献标识码】 A

【文章编号】 2097-1826(2025)07-0099-04

【参考文献】

- [1] FLINT A R, SCHALLER S J, BALZER F. How AI can help in error detection and prevention in the ICU? [J]. *Intens Care Med*, 2025, 51(3): 590-592.
- [2] 全国护理事业发展规划(2021—2025 年)[J]. *中国护理管理*, 2022, 22(06): 801-804.
- [3] 姚涵, 孟晓阳, 卢涛, 等. 智能化技术趋势下医院信息化建设研究[J]. *中国医院管理*, 2023, 43(12): 60-63.
- [4] YANG L, CHEN H, LI Z, et al. Give us the facts: enhancing large language models with knowledge graphs for fact-aware language modeling[J]. *IEEE Trans Knowl Data Eng*, 2024, 36(7): 3091-3110.
- [5] LYU K, TIAN Y, SHANG Y, et al. Causal knowledge graph construction and evaluation for clinical decision support of diabetic nephropathy [J/OL]. [2025-01-08]. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=Abstract&list_uids=36731730&query_hl=1. DOI: 10.1016/j.jbi.2023.104298.
- [6] 王丽敏, 陈泓伯, 王琦, 等. 以公众健康教育与非药物干预为主的膝关节骨性关节炎疾病知识图谱的构建[J]. *中华护理杂志*, 2022, 57(10): 1172-1177.
- [7] 张山, 高丽, 王艳玲, 等. 基于知识图谱的“四维”《内科护理学》智慧服务体系的构建[J]. *护士进修杂志*, 2024, 39(15): 1644-1649.
- [8] YANG J, XIANG F, LI R, et al. Intelligent bridge management via big data knowledge engineering[J/OL]. [2025-01-08]. <https://go.exlibris.link/yvx5lj33>. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104118.
- [9] 潘盼, 解立新. 智慧重症监护病房助力重症医疗可及性[J]. *中华医学杂志*, 2023, 103(26): 1966-1969.
- [10] 中国电子技术标准化研究院. 知识图谱标准化白皮书(2019 版) [EB/OL]. [2024-09-11]. <https://www.cesi.cn/201909/5589.html>.
- [11] 贾辛洪, 宋文爱, 李伟岩, 等. 慢阻肺知识图谱的构建研究与实现[J]. *小型微型计算机系统*, 2020, 41(7): 1371-1374.
- [12] BOUSSINA A, SHASHIKUMAR S P, MALHOTRA A, et al. Impact of a deep learning sepsis prediction model on quality of care and survival[J]. *NPJ Digit Med*, 2024, 7(1): 14-19.
- [13] 张山, 刘璐, 吴瑛. 基于 Logistic 回归和随机森林算法的重症监护室患者谵妄预测模型构建研究[J]. *护士进修杂志*, 2024: 1-14.
- [14] SHUNG D L. Deep risk prediction and embedding of patient data: application to acute gastrointestinal bleeding[D]. New Haven: Yale University, 2022.
- [15] MA X, WANG M, LIN S, et al. Knowledge and data-driven prediction of organ failure in critical care patients[J/OL]. [2025-01-08]. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=Abstract&list_uids=36703901&query_hl=1. DOI: 10.1007/s13755-023-00210-5.
- [16] CHU J, CHEN J, CHEN X, et al. Knowledge-aware multi-center clinical dataset adaptation: problem, method, and application[J/OL]. [2025-05-08]. <https://go.exlibris.link/m04pMMN6>. DOI: 10.1016/j.jbi.2021.103710.
- [17] GRAVANTE F, TROTTA F, LATINA S, et al. Quality of life in ICU survivors and their relatives with post-intensive care syndrome: a systematic review[J]. *Nurs Crit Care*, 2024, 29(4): 807-823.

(下转第 107 页)