

# 流程挖掘在护理领域的应用进展

李敏烨,罗屹惟,支晨,马慧

(中国人民解放军总医院 护理部,北京 100854)

随着患者需求攀升与医疗体系复杂化,护理职责从直接护理拓展至跨学科协作、资源配置及流程优化等方面。在发生公共卫生事件期间资源受限的情况下,维持护理质量面临严峻挑战<sup>[1]</sup>。为应对这些挑战,全球医疗保健系统开始将人工智能、5G网络和物联网等先进技术融入临床工作流程<sup>[2]</sup>。在此背景下,流程挖掘(process mining)通过分析医院信息系统(hospital information system, HIS)的事件日志与临床运营数据,精准定位流程中的低效环节、发现流程瓶颈及潜在风险,为优化服务流程、精准配置资源和提升服务效能提供了数据驱动的决策依据,是医疗实践的变革性创新技术之一<sup>[3]</sup>。近年来,该技术应用范围持续扩大,已覆盖患者不良反应检测<sup>[4]</sup>、医疗服务成本分析<sup>[5]</sup>等医学诊疗场景。相较于临床医学,流程挖掘在护理领域应用起步较晚<sup>[6]</sup>,为促进其在护理实践中的深化应用,本文介绍了流程挖掘基础步骤、常用工具、主要研究类型,梳理其在护理领域的应用现状、前景及挑战,为优化护理服务提供参考。

## 1 流程挖掘概述

流程挖掘作为一门交叉学科,处于机器学习、数据挖掘与流程建模及分析的交汇领域,亦是业务流程管理(business process management, BPM)与数据挖掘间的重要技术纽带<sup>[7]</sup>。2004年, Van der Aalst等<sup>[8]</sup>提出流程挖掘概念,此后该领域在多个方向持续发展并形成专业体系。该技术能够助力组织管理人员发现、监控、分析、改进及预测真实流程,从而深入洞察组织工作流程细节,如性能表现、瓶颈环节及所涉资源等<sup>[9]</sup>。

1.1 流程挖掘关键步骤与常用工具 流程挖掘通过3个关键步骤揭示业务流程:准备事件日志、发现流程和分析流程。事件日志是基础,需要至少包含事件日志唯一标识号、时间戳和活动这3个基本要素<sup>[10]</sup>,为了深入分析,还可以添加资源使用和成本等额外属性(图1)。在医疗领域,事件日志来源HIS、电子医疗记录(electronic medical record,

EMR)和电子健康记录(electronic health record, EHR)<sup>[11]</sup>。其收集方式主要有系统数据库查询导出<sup>[12]</sup>、自动数据采集<sup>[13]</sup>、通过应用程序编程接口(application programming interface, API)接口访问数据库<sup>[14]</sup>以及观察法<sup>[15]</sup>等。事件日志的质量直接影响后续研究的挖掘分析结果。以Neira等<sup>[12]</sup>研究为例,完整的事件日志准备工作需由医务人员与数据系统开发人员协同完成(图2)。流程发现(process discovery)旨在从事件日志中自动提取业务流程,生成模型,以更好地理解流程运作并提升效率<sup>[16]</sup>。流程分析根据研究目的,从控制流、组织、案例和时间4个角度开展<sup>[17]</sup>。控制流视角关注流程的行为活动和运行顺序;组织视角分析涉及的人员及其协作;案例视角探讨特定属性值对行为活动的影响;时间视角则探究流程延迟的原因。流程挖掘和数据挖掘虽都从数据出发,但数据挖掘不以流程为中心,也不关注事件日志。流程挖掘有专用软件工具,如ProM<sup>[18]</sup>、Celonis<sup>[19]</sup>、Disco<sup>[20]</sup>、Cortado<sup>[21]</sup>等,大多支持电子表格的格式数据。值得注意的是,2023年面向Python的流程挖掘库(process mining for python, PM4Py)的发布<sup>[22]</sup>,能弥合数据挖掘与流程挖掘的技术差距,为流程挖掘提供了功能全面的工具支撑。

1.2 流程挖掘研究类型 流程挖掘的类型通常分为3种,分别是流程发现、流程合规性检查(conformance checking)和流程增强(enhancement)<sup>[9]</sup>。后续有研究<sup>[16]</sup>进一步将其拓展为4类(图3),即流程发现、流程合规性检查、流程再造(process reengineering)以及流程运营支持(operational support)。流程发现旨在将规范化处理的事件日志数据输入算法工具,生成流程模型<sup>[16]</sup>,可反映出护理工作潜在问题从而优化护理流程。流程合规性检查旨在将实际运行的工作流程与预先定义的流程模型进行比较,验证实际运行的工作流程是否遵循流程规范<sup>[23]</sup>。通过比较,可以识别出实际护理流程中的偏差和不符合规范的地方,例如护理操作的遗漏或执行顺序的错误等。流程再造与合规性检查均以事件日志和预定义流程模型为输入。不同的是,流程再造可深度分析新增事件日志数据,对现有护理流程模型“修复”或“丰富”,使其反映最新护理实践,进而

【收稿日期】 2024-11-20 【修回日期】 2025-12-22

【作者简介】 李敏烨,博士在读,护士,电话:010-66939157

【通信作者】 马慧,电话:010-66939157

持续改进流程、提升护理质效<sup>[24]</sup>。在护理领域,流程再造基于事件日志分析,对现有护理流程作结构性重设计与优化,强调根本性变革;流程增强则侧重在现有模型上,补充性能数据或规则以局部改进、提升性能。流程运营支持可以警告、预测或建议的形式,为护理工作提供实时的决策辅助,例如用于预测剩余的护理流程时间,预估相关成本支出,或者计算相关工作成功完成的概率等<sup>[25-27]</sup>。

Case ID	Event ID	Timestamp	Activity	Human Resource
100001	42364570	2024-01-01 08:42:07	Registration and Number Taking	Billing Staff
100001	42364571	2024-01-01 08:44:12	Triage	Nurse
100001	42364572	2024-01-01 08:45:01	Waiting for Consultation	Nurse
100001	42364573	2024-01-01 09:17:10	Consultation	Physician
100001	42364574	2024-01-01 09:35:27	Ordering Tests	Physician
100001	42364575	2024-01-01 09:39:16	Payment	Billing Staff
100001	42364576	2024-01-01 09:42:06	Check - in at the Testing Department	Nurse
100001	42364577	2024-01-01 09:42:07	Waiting for Test	Nurse
100001	42364578	2024-01-01 10:30:03	Examination	Medical Technician
100001	42364579	2024-01-01 11:08:12	Dispense Results	Medical Technician
100001	42364580	2024-01-01 11:14:50	Registration	Nurse
100001	42364581	2024-01-01 11:17:21	Waiting for Consultation	Nurse
100001	42364582	2024-01-01 11:39:34	Consultation	Physician
100001	42364583	2024-01-01 11:46:14	Prescribe	Physician
100001	42364584	2024-01-01 11:51:21	Payment	Billing Staff
100001	42364585	2024-01-01 12:02:33	Dispense Medicine	Pharmacist

图1 流程挖掘数据要素(Disco软件界面)

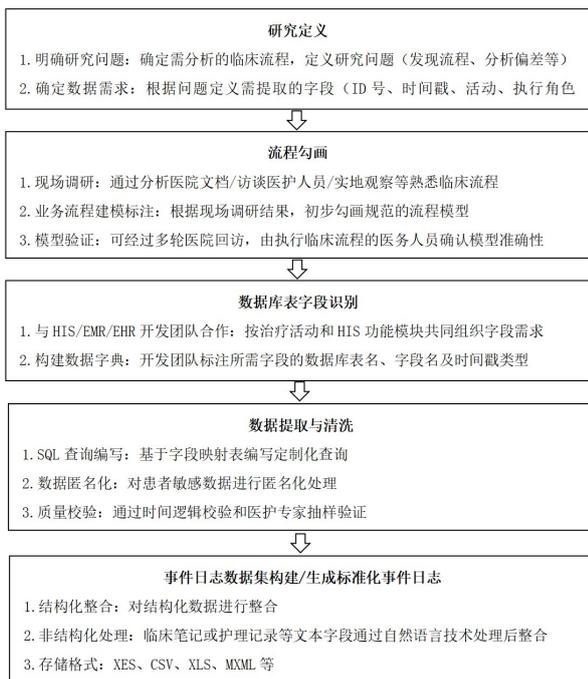


图2 事件日志准备过程

## 2 流程挖掘在护理领域中的应用

2.1 发现护理工作流程 流程挖掘通过分析医疗信息系统中的事件日志数据,能够客观还原实际护理流程并识别关键活动。在护理领域,流程挖掘技术价值多元且深入。它可构建特定患者护理路径模型,明确高频干预举措,精准剖析各护理阶段路径,

挖掘操作步骤与决策逻辑,还能对比患者流程定位关键缺陷,助力护理实践优化改进<sup>[28-31]</sup>。

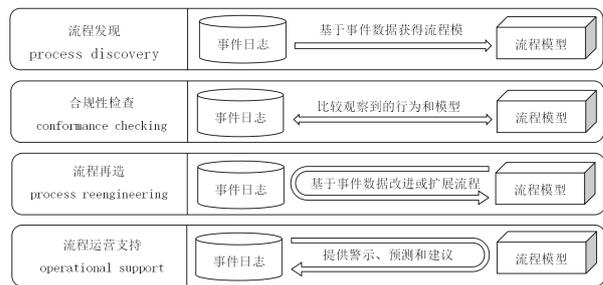


图3 流程挖掘的4种类型

2.2 监测护理行为活动 临床护理中,护理人员常遇不可预见状况,会故意变更既定护理行为或活动,流程挖掘可有效识别偏离标准流程的异常行为活动或运行障碍<sup>[32]</sup>。Beerepoot 等<sup>[15]</sup>通过混合研究发现,流程挖掘可识别出 8 种护理变通行为,如提前完成营养不良筛查、延迟生命体征录入和开具一次性用药处方等,揭示非合规操作模式。Kropp 等<sup>[33]</sup>通过分析患者转运软件系统的事件日志数据,发现患者转运实际流程与计划流程的符合率仅 61%,有 40%的转运任务存在 10 min 以上延迟,午餐时段延迟率最高等。值得关注的是,当前技术对于未被记录的护理行为监测尚存局限,需借助现场观察来补充数据。采用混合监测方法,既有助于发现护理工作中的缺失环节,也能识别出具有创新性的有益行为变更。

2.3 探索医护协作模式 患者就医的诊疗护理过程依赖于各类医务人员协作完成,其中医护人员协作是医疗机构高效运营的核心所在,也是临床协作模式研究的重要方向。Alvarez 等<sup>[34]</sup>通过流程挖掘技术对急诊室医务人员的协作模式进行了分析。研究发现,急诊室中医护互动最为频繁,且在大多数情况下,医生与 2 名护士共同工作,在紧急情况下,则需要增加 1 名护士和 1 名医生的参与。不同医护协作模式对患者临床结果的影响也受到广泛学者关注。Conca 等<sup>[35]</sup>利用流程挖掘技术分析了智利圣地亚哥 3 个初级保健中心的医务人员在治疗 2 型糖尿病患者时的协作模式,发现多学科平等协作的参与模式显著降低患者失代偿风险,而医生过度主导、以自我转诊为核心的模式则与不良临床结局显著相关。此外,Durojaiye 等<sup>[36]</sup>结合流程挖掘技术和社交网络分析方法,探讨了不同学科协作模式对儿童急诊住院时间的影响,结果表明,在所有角色紧密协作下,患儿住院时间最短,而协作程度不一患儿住院时间则会延长。综合研究结果发现,流程挖掘不仅可

揭示医护协作的动态特征,更能建立协作模式与临床结局的量化关系,指导优化医疗团队配置。

**2.4 支持护理管理决策** 对护理管理人员而言,护理工作班次管理颇为复杂。流程挖掘通过深入洞察并精准表征组织工作流程细节,可为管理决策提供有力支持<sup>[37]</sup>。例如,Guastalla等<sup>[38]</sup>利用信息系统中记录的护理人员和卫生员的轮班事件日志,结合优化算法和流程挖掘技术,并纳入多重约束条件,开发了轮班计划决策支持系统。这一系统有助于管理人员在众多限制因素中寻求平衡,制订出最优化的轮班方案。在护理资源配置方面,学者<sup>[6]</sup>利用流程挖掘结果,通过离散事件模拟模型分析患者的就诊时间,评估关键医疗护理资源对就诊时间的影响,为诊所管理提供了改进建议。面对门急诊患者流量不确定或突发激增情况,流程挖掘技术与离散事件模拟模型结合,可有效调整优化医疗资源配置。Beke-laar等<sup>[39]</sup>采用预测流程挖掘算法,预测了患者次日护理需求,为护理工作量的科学分配提供了可靠决策支持。综合来看,流程挖掘可揭示护理工作流程中的资源使用细节,并为护理资源配置提供决策支持。

**2.5 分析人群健康问题** 随着流程挖掘技术在医疗健康领域的深入应用,有研究者开始探索其在不同人群健康问题分析中的潜力。Valero-Ramon等<sup>[40]</sup>通过分析疗养院老年人群不同时期的营养评估数据,发现了不同体重变化路径与老年人营养不良状态的关系。Peck等<sup>[41]</sup>通过收集的医疗卫生数据、社会人口数据以及警务电子记录,分析了澳大利亚某地区青少年对母亲家庭暴力的长期轨迹和模式,发现多数青少年都对母亲实施暴力行为,并揭示了其主要原因。相关研究结果为理解老年人营养不良、青少年家庭暴力等问题提供了新的视角,同时突显了流程挖掘技术在理解复杂健康与社会动态中的价值。

### 3 应用前景

**3.1 优化循证护理实践** 目前基于循证指南的临床路径分析在医学领域已有研究,特别是将流程挖掘中的合规性检查理念应用于临床实践诊疗路径与临床指南的对比分析<sup>[42]</sup>。这对探索临床护理实践中护理证据的应用与转化,分析循证护理实践是一种启示。这种分析不仅能够揭示护理证据在临床转化中的障碍,还有望通过量化患者结局指标验证循证护理措施的有效性<sup>[43]</sup>。未来研究可结合定性方法,探索护理证据的适用性调整策略,为优化护理实践提供科学依据。

**3.2 评估护理服务价值** 流程挖掘在护理价值评估中可展现出独特优势。一方面,通过将护理干预节点与患者结局关联,可量化护理措施的健康效益。

在医学领域,已有学者<sup>[44]</sup>探讨了基于流程挖掘构建的临床路径对患者生存率。另一方面,在疾病诊断相关分组支付模式下,流程挖掘为护理成本核算提供了新方法。通过分析护理路径中的资源消耗<sup>[5]</sup>,可精确计算护理人力成本<sup>[45]</sup>、护理难度系数<sup>[46]</sup>等关键指标,为护理服务定价提供数据支撑。

### 4 应用挑战

**4.1 数据质量待提升** 护理数据的碎片化和不完整性是流程挖掘面临的主要挑战。研究表明,部分护理活动未被系统记录,且记录时间与实际执行时间存在偏差<sup>[47]</sup>。此外,数据不一致性问题突出,如记录数据与执行人员不匹配<sup>[48]</sup>。为解决这些问题,可通过开发智能数据采集系统、实施数据治理、建立标准化录入规范等措施提升数据质量<sup>[49-50]</sup>。此外,流程挖掘技术本身可反向识别数据质量问题,为优化医院信息系统提供参考<sup>[15]</sup>。

**4.2 模型解释待改进** 医疗护理过程复杂多变,受医护人员判断、患者疾病状态、医院环境和资源等多种因素影响<sup>[51]</sup>。使用复杂可变的医疗护理事件日志挖掘流程模型时,易生成难以解释的非结构化模型<sup>[26]</sup>。虽然应用相关技术能减少数据可变性、降低模型复杂度<sup>[52-53]</sup>,但在真实世界的挖掘分析中,这些技术仅能呈现部分流程,还有可能隐藏有价值的非常见行为活动<sup>[54]</sup>。值得注意的是,采用合适的建模语言,如结合多种建模语言将流程模型可视化,有助于提高模型的可理解程度<sup>[55]</sup>。此外,护理决策常依赖患者状态描述、护士主观评估等非结构化数据,当前流程挖掘主要基于结构化事件日志,对非结构化数据的融合分析仍处于探索阶段。未来可通过自然语言处理、文本挖掘技术与流程挖掘结合,提取护理记录中的关键事件与决策依据,将其转化为标准化事件,从而丰富流程上下文,增强模型对护理行为背后逻辑的解释能力。

### 5 小结

当前,流程挖掘技术主要在国外护理领域得以应用,我国在该方面的探索尚处于起步阶段。相关研究证实,通过对护理常规数据的分析,流程挖掘能够建立护理流程模型,助力识别护理模式、优化护理工作流程。尽管面临数据质量与模型解释等挑战,但仍具有优化护理循证实践、评估护理服务价值等方面的潜力。总体而言,流程挖掘作为一项前沿的数据分析技术,有助于推动循证护理实践的落地实施,进而实现护理工作流的优化改进,提升护理服务的整体效能。

**【关键词】** 流程挖掘;护理信息;护理管理;综述

DOI:10.3969/j.issn.2097-1826.2026.01.005

【中图分类号】 R47-05 【文献标识码】 A

【文章编号】 2097-1826(2026)01-0020-05

### 【参考文献】

- [1] ALFUQAHA O A, ALHALAIQA F N, ALQURNEH M K, et al. Missed nursing care before and during the COVID-19 pandemic: a comparative cross-sectional study[J]. *Int Nurs Rev*, 2023, 70(1): 100-110.
- [2] 吴钰, 陈霞, 张叶, 等. 国内外智慧护理研究热点及发展趋势的可视化分析[J]. *军事护理*, 2024, 41(5): 85-89.
- [3] FAZLA R, DEBAPRIYA B, NIAMAT ULLAH IBNE H, et al. Using process mining algorithms for process improvement in healthcare[J/OL]. [2025-11-09]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772442524000078>. DOI: 10.1016/j.health.2024.100305.
- [4] SUMER M A, CEYLAN C. A process mining model to detect adverse patient safety events: blood products watch[J]. *Patient Saf Risk Managt*, 2024, 29(5): 248-256.
- [5] LEUSDER M, VAN ELTEN H J, AHAUS K, et al. Protocol for improving the costs and outcomes of assistive reproductive technology fertility care pathways: a study using cost measurement and process mining[J/OL]. [2025-11-09]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37280027/>. DOI: 10.1136/bmjopen-2022-067792.
- [6] ZHOU Z, WANG Y, LI L, et al. Process mining based modeling and analysis of workflows in clinical care—a case study in a Chicago outpatient clinic[C/OL]. [2025-11-09]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6819692>.
- [7] VAN DER AALST W. Using process mining to bridge the gap between BI and BPM[J]. *Computer*, 2011, 44(12): 77-80.
- [8] VAN DER AALST W, WEIJTERS A. Process mining: a research agenda[J]. *Comput Ind*, 2004, 53(3): 231-244.
- [9] VAN DER AALST W. Process mining: overview and opportunities[J]. *Acm Trans Manag Inf*, 2012, 3(2): 1-17.
- [10] DIBA K, BATOULIS K, WEIDLICH M, et al. Extraction, correlation, and abstraction of event data for process mining[J/OL]. [2025-11-11]. <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/widm.1346>. DOI: 10.1002/widm.1346.
- [11] GUZZO A, RULLO A, VOCATURO E. Process mining applications in the healthcare domain: a comprehensive review[J/OL]. [2025-11-09]. <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/widm.1442>. DOI: 10.1002/widm.1442.
- [12] NEIRA R A Q, DE VRIES G J, CAFFAREL J, et al. Extraction of data from a hospital information system to perform process mining[J/OL]. [2025-11-09]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29295156/>. DOI: 10.3233/978-1-61499-830-3-554.
- [13] BRZYCHCZY E, RESCH A M, JANSSEN D, et al. Process mining on sensor data: a review of related works[J]. *Knowl Inf Syst*, 2025, 67(6): 1-34.
- [14] EL-GHARIB N M, AMYOT D. Data preprocessing method and API for mining processes from cloud-based application event logs[J/OL]. [2025-11-11]. <https://www.mdpi.com/1999-4893/15/6/180>. DOI: 10.3390/a15060180.
- [15] BEEREPOOT I, LU X, VAN DE WEERD I, et al. Seeing the signs of workarounds: a mixed-methods approach to the detection of nurses' process deviations[C/OL]. [2025-11-11]. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/items/6225d719-d9e4-4be3-9c10-22887adecb33>.
- [16] VAN DER AALST W. Process discovery from event data: relating models and logs through abstractions[J/OL]. [2025-11-11]. <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/widm.1244>. DOI: 10.1002/widm.1244.
- [17] URREA-CONTRERAS S J, FLORES-RIOS B L, ASTORGA-VARGAS M A, et al. Process mining perspectives in software engineering: a systematic literature review[C/OL]. [2025-11-12]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9534824>.
- [18] CLAES J, POELS G. Process mining and the ProM framework: an exploratory survey[C/OL]. [2025-11-12]. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-36285-9\\_19](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-36285-9_19).
- [19] LOYOLA-GONZALEZ O. Process mining: software comparison, trends, and challenges[J]. *Int J Data Sci Anal*, 2023, 15(4): 407-420.
- [20] PALANGSANTIKUL P, KUNGCHAROEN K, NARKSARP W, et al. Process mining techniques utilizing ChatGPT: a comparative analysis with Disco software on call center log data[C/OL]. [2025-11-12]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10787195>.
- [21] SCHUSTER D, VAN ZELST S J, VAN DER AALST W. Cortado: a dedicated process mining tool for interactive process discovery[J/OL]. [2025-11-12]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352711023000699>. DOI: 10.1016/j.softx.2023.101373.
- [22] BERTI A, VAN ZELST S, SCHUSTER D. PM4Py: a process mining library for Python[J/OL]. [2025-11-12]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665963823000933>. DOI: 10.1016/j.simpa.2023.100556.
- [23] VAN DER AALST W. Business alignment: using process mining as a tool for Delta analysis and conformance testing[J]. *Requir Eng*, 2005, 10(3): 198-211.
- [24] PETIT M, LATOUR T, VAN DER AALST W, et al. Using process mining to analyze and improve process flexibility—position paper[C/OL]. [2025-11-12]. <https://research.utwente.nl/en/publications/using-process-mining-to-analyze-and-improve-process-flexibility-p/>.
- [25] VAN DER AALST W. Data science in action[M]. Heidelberg: Springer, 2016: 3-23.
- [26] FRANCESCO MARINO C D, DUMAS M, MAGGI F M, et al. Clustering-based predictive process monitoring[J]. *IEEE T Serv Comput*, 2019, 12(6): 896-909.
- [27] TU T B H, SONG M. Analysis and prediction cost of manufacturing process based on process mining[C/OL]. [2025-11-09]. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7503993>.
- [28] JONK J, SCHALLER M, NETZER M, et al. Process mining of nursing routine data: cool, but also useful? [J/OL]. [2025-11-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35592973/>. DOI: 10.3233/SHTI220360.
- [29] TSUMOTO S, HIRANO S, IWATA H, et al. Towards data-oriented schedule management in hospital[C/OL]. [2025-11-12]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6879680>.
- [30] BERKHOUT M, SMIT K, VERSENDAAL J. Decision discovery

- using clinical decision support system decision log data for supporting the nurse decision-making process[J/OL]. [2025-11-11]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38637792/>. DOI: 10.1186/s12911-024-02486-3.
- [31] TAYLOR N J, LEDERMAN R, BOSUA R, et al. Capturing rich person-centred discharge information: exploring the challenges in developing a new model[J]. *Inform Technol Peopl*, 2021, 34(6): 1664-1693.
- [32] ANDREWS R, GOEL K, CORRY P, et al. Process data analytics for hospital case-mix planning[J/OL]. [2025-11-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35337944/>. DOI: 10.1016/j.jbi.2022.104056.
- [33] KROPP T, FAEGHI S, LENNERTS K. Evaluation of patient transport service in hospitals using process mining methods: patients' perspective[J]. *Int J Health Plan M*, 2023, 38(2): 430-456.
- [34] ALVAREZ C, ROJAS E, ARIAS M, et al. Discovering role interaction models in the emergency room using process mining[J/OL]. [2025-11-11]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29289628/>. DOI: 10.1016/j.jbi.2017.12.015.
- [35] CONCA T, SAINT-PIERRE C, HERSKOVIC V, et al. Multidisciplinary collaboration in the treatment of patients with type 2 diabetes in primary care: analysis using process mining[J/OL]. [2025-11-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29636315/>. DOI: 10.2196/jmir.8884.
- [36] DUROJAIYE A B, LEVIN S, TOERPER M, et al. Evaluation of multidisciplinary collaboration in pediatric trauma care using EHR data[J]. *J Am Med Inform Assn*, 2019, 26(6): 506-515.
- [37] BERGS J, VANDIJCK D, HOOGMARTENS O, et al. Emergency department crowding: time to shift the paradigm from predicting and controlling to analysing and managing[J/OL]. [2025-11-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27170954/>. DOI: 10.1016/j.ienj.2015.05.004.
- [38] GUASTALLA A, SULIS E, ARINGHERI R, et al. Workshift scheduling using optimization and process mining techniques: an application in healthcare[C/OL]. [2025-11-09]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10015405>.
- [39] BEKELAAR J W R, LUIME J J, DE CARVALHO R M. Predicting patient care acuity: an LSTM approach for days-to-day prediction[C/OL]. [2025-11-09]. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-27815-0\\_28](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-27815-0_28).
- [40] VALERO-RAMON Z, FERNANDEZ-LLATAS C, MARTINEZ-MILLANA A, et al. A dynamic behavioral approach to nutritional assessment using process mining[C/OL]. [2025-11-08]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8787400>.
- [41] PECK A, PROVOST S, EAST L, et al. Process mining the trajectories for adolescent-to-mother violence from longitudinal police and health service data[J]. *J Adv Nur*, 2023, 79(4): 1540-1552.
- [42] SAVINO M, CHILOIRO G, MASCIOCCHI C, et al. A process mining approach for clinical guidelines compliance: real-world application in rectal cancer[J/OL]. [2025-11-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37265796/>. DOI: 10.3389/fonc.2023.1090076.
- [43] MARTIN N, DE WEERDT J, FERNANDEZ-LLATAS C, et al. Recommendations for enhancing the usability and understandability of process mining in healthcare[J/OL]. [2025-11-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34756220/>. DOI: 10.1016/j.artmed.2020.101962.
- [44] CHIUDINELLI L, DAGLIATI A, TIBOLLO V, et al. Mining post-surgical care processes in breast cancer patients[J/OL]. [2025-11-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32505422/>. DOI: 10.1016/j.artmed.2020.101855.
- [45] ATALAN A. A cost analysis with the discrete-event simulation application in nurse and doctor employment management[J]. *J Nurs Manag*, 2022, 30(3): 733-741.
- [46] 常荣, 程艳爽, 周静, 等. 基于疾病诊断相关分组的普通外科住院患者护理难度分析[J]. *中国护理管理*, 2024, 24(5): 731-736.
- [47] VANBRABANT L, MARTIN N, RAMAEKERS K, et al. Quality of input data in emergency department simulations: framework and assessment techniques[J/OL]. [2025-11-10]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1569190X18301837>. DOI: 10.1016/j.simpat.2018.12.002.
- [48] MARTIN N, FISCHER D A, KERPEZDZHEV G D, et al. Opportunities and challenges for process mining in organizations: results of a Delphi study[J]. *Bus Inform Syst Eng*, 2021, 63(5): 511-527.
- [49] MARTIN N, MARTINEZ-MILLANA A, VALDIVIESO B, et al. Interactive data cleaning for process mining: a case study of an outpatient clinic's appointment system[C/OL]. [2025-11-09]. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-37453-2\\_43](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-37453-2_43).
- [50] HELM E, LIN A M, BAUMGARTNER D, et al. Towards the use of standardized terms in clinical case studies for process mining in healthcare[J/OL]. [2025-11-09]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32093073/>. DOI: 10.3390/ijerph17041348.
- [51] MUNOZ-GAMA J, MARTIN N, FERNANDEZ-LLATAS C, et al. Process mining for healthcare: characteristics and challenges[J/OL]. [2025-11-09]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35104641/>. DOI: 10.1016/j.jbi.2022.103994.
- [52] LEONARDI G, STRIANI M, QUAGLINI S, et al. Leveraging semantic labels for multi-level abstraction in medical process mining and trace comparison[J/OL]. [2025-11-09]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29793072/>. DOI: 10.1016/j.jbi.2018.05.012.
- [53] LU X, TABATABAEI S A, HOOGENDOORN M, et al. Trace clustering on very large event data in healthcare using frequent sequence patterns[C/OL]. [2025-11-10]. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-26619-6\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-26619-6_14).
- [54] PIJNENBORG P, VERHOEVEN R, FIRAT M, et al. Towards evidence-based analysis of palliative treatments for stomach and esophageal cancer patients: a process mining approach[C/OL]. [2025-11-16]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9576880>.
- [55] GRÜGER J, BERGMANN R. Enhancing clinical insights: knowledge-intensive and context-sensitive process instance visualization in health care[C/OL]. [2025-11-11]. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-56107-8\\_20](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-56107-8_20).