

压力性损伤风险预测模型的研究现状及可视化分析

邓小红 周青 兰叶 娄冰倩 李诗羿^{通讯作者}

中山大学附属第三医院 广东 广州 510000

摘要:目的 分析国内压力性损伤风险预测模型的研究现状、热点与趋势。方法 系统检索中国知网(CNKI)及万方数据库 2020 年 1 月至 2026 年 5 月收录的相关文献,共纳入 402 篇。对文献中的目标人群、模型构建方法、危险因素、预测性能及验证情况进行系统梳理和比较,并运用 VOSviewer 软件进行关键词共现与聚类分析。结果 年发文量持续增长,研究主要集中在手术患者(约 48%)和 ICU 患者(约 29%)。模型构建方法以 Logistic 回归及列线图为主,机器学习方法(随机森林、XGBoost 等)在近两年快速增长。约 44%的文献报告了 AUC/C-index,但仅约 4%进行了外部验证。关键词共现分析提取 1679 个关键词,聚类揭示五大核心研究主题。结论 国内压力性损伤风险预测模型研究发展迅速,但外部验证不足和临床转化率低仍是主要瓶颈。

关键词:压力性损伤;风险预测模型;机器学习;文献计量学;可视化分析

1 前言

压力性损伤(Pressure Injury, PI)是临床常见的护理不良事件,不仅延长住院时间、增加医疗成本,更严重影响患者生活质量与预后。传统风险评估工具如 Braden 评分虽广泛应用^[1],但其主观性强、特异性低,难以满足精准护理需求。风险预测模型通过筛选独立危险因素构建个体化评估工具^[2,3,4]。

近年来,随着大数据与人工智能技术的发展,风险预测模型特别是机器学习模型在 PI 管理中展现了巨大潜力^[5]。然而,国内该领域研究仍存在模型类型分散、验证不充分、临床转化率低等问题^[6,7]。为全面描绘 PI 风险预测模型的研究图景,明确当前的方法特征、应用热点与发展趋势,本研究系统检索中国知网及万方数据库 2020-2026 年相关中文文献,运用系统评价与 VOSviewer 可视化分析方法,全面梳理 PI 风险预测模型的研究现状、热点与趋势,为后续研究及临床应用提供参考。

2. 资料与方法

2.1 文献检索策略

以中国知网(CNKI)、万方数据库为数据源,检索词为“压疮/压力性损伤/压力

性溃疡/褥疮”、“预警/预测/筛查/风险/危险”，主题词和自由词结合，检索时间为2020年1月至2026年5月。两名研究者独立进行文献筛选，意见分歧通过协商或第三方仲裁解决。

2.2 纳入与排除标准

纳入标准：研究对象为各类存在PI风险的人群，主题为PI风险预测模型构建、验证、应用及评价；文献类型限定为期刊论文、系统评价及综述。排除标准：报纸、年鉴、新闻报道等非研究类型文献，仅使用Braden等传统量表而未构建新模型的研究，以及重复发表、无法获取全文、与主题无关的文献。

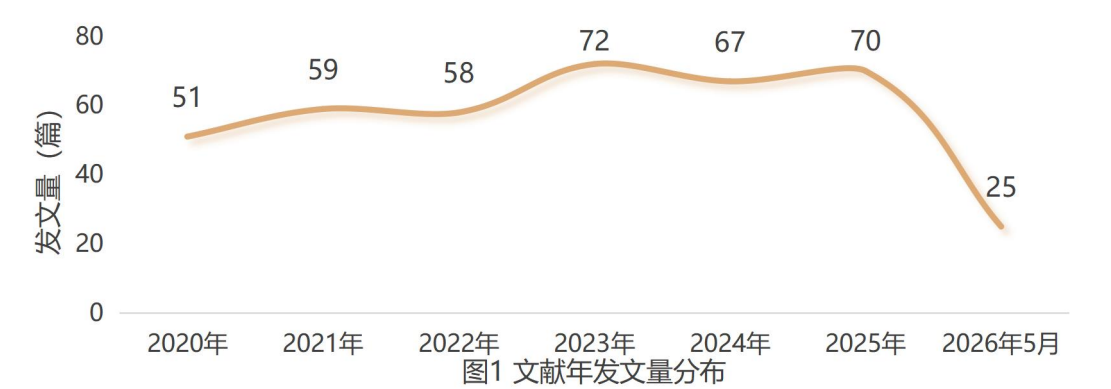
2.3 研究方法

两名研究者提取第一作者、发表年份、研究对象、样本量、模型构建方法、纳入的危险因素、模型预测效能、验证方式等信息，对提取信息进行描述性统计与比较分析。使用VOSviewer进行关键词共现与聚类分析。

3. 结果

3.1 年发文量趋势分析

共纳入402篇文献。年发文量呈现显著增长趋势，从2020年的51篇增长至2025年的70篇，年均增长率超过8%。2023年和2025年是两个发文高峰期，分别为72篇和70篇。2026年数据仅25篇，主要由于数据收集截止至2026年初，只收录了前2-3个月的文献。这表明PI风险预测模型是近年来的研究热点，关注度持续升温。，详见图1。



3.2 目标人群与应用场景

研究对象分布广泛，涵盖多个临床场景。手术患者占比最高，约 48%，包括脊柱、心脏、肝移植、神经外科、骨科等多种手术类型；ICU/危重症患者次之，约 29%，涵盖机械通气、体外膜肺氧合（ECMO）、俯卧位通气、脓毒症等重症类型；老年患者约占 19%^[8,9]，多集中于老年骨折、老年脑卒中、老年 ICU 等亚群；神经科/脑卒中患者约占 11%；儿科/新生儿约 8%^[10,11]；骨科约 13%。此外，器械相关 PI 研究约占 9%，主要关注气管插管、无创面罩、鼻胃管等医疗器械对黏膜及皮肤的损伤风险预测。社区/居家来源患者（约 5%）虽占比不高，但呈逐年上升趋势，提示研究正从院内向院外延伸，居家 PI 智能监测将成为新兴方向。

3.3 模型构建方法比较

根据对以构建并验证风险预测模型为目的的有效文献进行系统梳理和统计，各建模方法的文献数量分布如下：

具体方法	文献数 (篇)	占比
Logistic 回归 + 列线图 (Nomogram)	289	86.01%
神经网络 / 深度学习 / gcForest	23	6.85%
决策树 (Decision Tree)	10	2.98%
随机森林 (Random Forest)	9	2.68%
支持向量机 (SVM)	3	0.89%
XGBoost / LightGBM	2	0.6%

从方法演进特征来看，2020—2022 年期间 Logistic 回归列线图占绝对主导（约 140 篇，>80%）；2023 年起机器学习方法（约 13 篇）开始涌现^[5]；2024—2025 年，以随机森林（约 25 篇）、XGBoost（约 18 篇）为代表的机器学习方法逐渐增多，多篇研究比较了多种机器学习算法与传统回归模型的预测性能，结果显示机器学习模型 AUC 普遍高于 Logistic 回归（平均高 0.05~0.12）。LASSO 回归、Cox 回归等方法的引入，进一步丰富了建模手段。LASSO 回归因其自动特征选择功能，在高维特征筛选中展现出显著优势，成为构建简洁高效模型的重要工具。

3.4 常见危险因素

PI 风险预测模型中的危险因素可归纳为五个维度。①**人口学因素**：年龄(≥ 60 岁)、BMI 异常、糖尿病等基础状况。②**营养与实验室指标**：白蛋白/营养状况是最常纳入的危险因素，血红蛋白、炎症指标(WBC、CRP、PCT)亦被广泛应用。③**治疗相关因素**：手术时间、机械通气、血管活性药物使用、术中出血量等。④**患者状态因素**：Braden 评分作为传统风险评估工具仍被多数研究纳入，活动能力受限、意识障碍/GCS 评分、皮肤状态(潮湿/水肿)、体温异常及体位因素(俯卧位)均为重要预测因子。⑤**器械与环境因素**：医疗器械种类/数量、住院天数延长、ICU 住院时长等。

3.5 模型预测性能与验证情况

PI 风险预测模型的性能与验证情况呈现“内部表现优异、外部验证薄弱”的显著特征。在区分度方面，约 44%的模型报告了受试者工作特征曲线下面积(AUC)或一致性指数(C-index)，整体得分在 0.70 至 0.98 之间，中位数约 0.87。其中，传统 Logistic 回归模型的 AUC 集中在 0.70—0.89，而机器学习模型(如随机森林、XGBoost、gcForest 等)的 AUC 普遍达到 0.85—0.98，比传统方法提升约 0.05~0.12。多项研究中，机器学习模型在灵敏度、特异度方面均优于单一量表评估。

在校准度方面，约 17%的模型通过校准曲线或 Hosmer-Lemeshow 检验评估了预测概率与实际发生率的一致性，多数表现尚可。然而，验证方式严重不均衡：仅约 7%的模型进行了内部验证(如交叉验证或 Bootstrap 重抽样)，且仅约 17 篇文献(约 4.2%)开展了外部验证，包括时间外部验证(不同时期数据)、空间外部验证(不同医疗机构数据)或人群外部验证。这表明，绝大多数模型仍停留在“单中心、单次构建”阶段，模型泛化能力证据不足，制约了研究成果的临床推广应用。

3.6 高频关键词与主题聚类

3.6.1 高频关键词

纳入的文献共提取有效关键词 1679 个(去重后 634 个)。其中频次 ≥ 10 次的高频关键词 21 个，累计频次占比 41.6%，呈明显幂律集中分布。核心关键词中，第一梯队(频次 ≥ 30 次)包括“压力性损伤”、“危险因素”、“预测模

型”、“影响因素”和“护理”，构成该领域的研究基石；第二梯队（15—29次）涵盖“风险评估”、“重症监护病房”、“列线图”、“术中获得性压力性损伤”、“Braden 量表”等，反映了主流研究方法和应用场景。

年度变化显示，2020—2021 年以“Logistic 回归”和“Braden 量表”为主；2022—2023 年“列线图”成为最突出关键词，“危险因素”“预测模型”出现频次显著增加；2024—2025 年“机器学习”“随机森林”“XGBoost”等算法类关键词占比上升；2026 年“外部验证”“SHAP”“多中心”等词逐渐出现，提示研究正从模型构建向验证与临床转化过渡。

3.6.2 核心研究主题聚类

通过聚类分析，形成 5 个核心研究主题：

聚类 1：ICU 患者 PI 风险预测。该聚类包含 ICU、机械通气、呼吸机相关肺炎、镇静药物、APACHEII 评分等关键词。这类患者病情危重、长期卧床且医疗器械使用频繁，其 PI 发生风险显著高于普通人群，成为预测模型研究的重点对象。代表性研究如吕文佳等（2026）基于 XGBoost 算法构建危重症患者压力性损伤预测模型，AUC 达 0.896。

聚类 2：手术患者术中获得性 PI。该聚类包含术中获得性 PI、手术时间、手术体位、麻醉时间、术中失血量、俯卧位等关键词。研究主要围绕不同专科手术患者，开展危险因素分析与列线图预测模型构建。如屈虹等（2023）构建的脑肿瘤切除手术患儿术中 PI 预测模型，C-index 达 0.956^[10]。

聚类 3：机器学习算法应用。该聚类包含机器学习、随机森林、决策树、支持向量机等关键词。随着人工智能技术的发展，越来越多研究采用机器学习方法构建 PI 预测模型。

聚类 4：器械相关 PI 与特殊部位损伤。该聚类包含器械相关 PI、口腔/鼻黏膜损伤、经口气管插管、无创通气、俯卧位通气等关键词。主要研究气管插管、鼻胃管、无创面罩等器械所致黏膜或皮肤损伤的风险预测。

聚类 5：特殊人群 PI 预测。该聚类包含老年患者、儿童/新生儿、神经重症、颅脑损伤、脑卒中、脊髓损伤等关键词。针对 PI 风险特异性，研究者针对这些特殊人群构建了专项预测模型。

4. 讨论

4.1 研究现状总结

近六年国内 PI 风险预测模型研究持续增长，研究总量显著扩大。模型性能良好，中位 AUC 约 0.87。机器学习已从初步探索进入实际应用阶段，但 Logistic 回归因结果易解读、临床可接受度高，仍被广泛使用。目标人群覆盖手术、ICU、老年、儿科、神经科等多个领域，但社区、居家及动态连续监测场景研究仍薄弱，

4.2 热点方向分析

近年来，该领域呈现三大趋势：一是预测方法迭代升级，从 Logistic 回归到列线图，再到随机森林、XGBoost 等机器学习算法，模型性能持续提升。二是目标人群不断细化，从普通住院患者聚焦至手术（约 48%）、ICU 重症（约 29%）、老年（约 19%）等高风险亚群，并构建专项工具；三是可解释性受到重视，SHAP 等技术为机器学习“黑箱”提供了临床解读路径，增强了模型落地应用的信任基础。

4.3 存在的问题与挑战

尽管发展迅速，该领域仍面临诸多现实问题。多数研究为单中心、回顾性设计，在样本量估算、缺失值处理等方面规范性不足。PROBAST 工具评估显示，多数研究偏倚风险较高，方法学质量有待提升^[6]。在验证方面，仅约 7% 的模型做了内部验证，仅约 17 篇文献使用了独立外部数据集进行检验。

4.4 未来展望

基于对 402 篇文献的系统分析，未来五年该领域将朝着更务实、智能和精细化的方向发展。开展多中心、大样本外部验证是推动模型从“论文走向临床”的关键一步。在此基础上，动态预测模型与电子健康档案的深度融合将成为重要突破口——通过实时抓取生命体征、检验结果及护理记录等动态数据，有望实现风险的连续监测与实时预警。

5. 结论

国内 PI 风险预测模型研究持续增长，2020—2026 年间累计发表 402 篇文献，模型构建方法从 Logistic 回归为主逐步拓展到随机森林、XGBoost 等机器学习方法，预测性能不断提升（整体中位 AUC 约 0.87）。研究覆盖手术、ICU、老年、

神经科等多个高风险人群,但外部验证率低,临床转化严重不足是当前主要瓶颈。未来研究应着力推动多中心外部验证、动态智能预警系统的开发与落地,促进研究成果向临床护理实践转化,实现精准、连续、智能的压力性损伤预警管理。

基金项目: 广东省医学科学技术研究基金

项目编号: A2024724

参考文献

- [1]宋思平,汤雨佳,蒋琪霞,等. Braden 量表预测 ICU 患者压疮发生风险有效性的系统评价[J]. 东南国防医药, 2020, 22(4):420-424.
- [2]宋思平,刘晓晴,蒋琪霞. 压力性损伤风险预测模型的研究进展[J]. 中华护理杂志, 2020, 55(4):628-631.
- [3]郭莉,高兴莲,赵诗雨,等. 手术患者术中获得性压力性损伤发生特征及危险因素的多中心研究[J]. 护理学杂志, 2021, 36(22):31-34.
- [4]庄秋枫,肖世极,周秀花,等. 重症监护病房患者院内获得压力性损伤的危险因素分析[J]. 护理学杂志, 2021, 36(3):53-56.
- [5]曲超然,王青,韩琳,等. 机器学习算法在压力性损伤管理中的应用进展[J]. 中华护理杂志, 2021, 56(2):212-217.
- [6]王园园,蒋建萍,朱志超,等. 压力性损伤风险预测机器学习模型的系统评价[J]. 中国护理管理, 2023, 23(3):417-424.
- [7]贾盈盈,张红燕,马媛媛,等. ICU 患者压力性损伤风险预测模型的系统评价[J]. 中华护理杂志, 2021, 56(8):1242-1248.
- [8]杨怡,陈卫平,张黎. 老年病人医院获得性压力性损伤风险因素的多中心调查[J]. 护理研究, 2025, 39(11):1836-1841.
- [9]姜淑伟,马良,康保絮,等. FRAIL 量表在老年关节置换术后压力性损伤风险预测中的应用[J]. 山东大学学报(医学版), 2024, 62(11):54-66.
- [10]屈虹,唐绪容,周蓉,等. 脑肿瘤切除手术患儿术中压力性损伤风险预测模型的构建[J]. 军事护理, 2023, 40(4):19-23.
- [11]韩姗姗,秦永平,屈虹,等. 神经外科患儿术中获得性压力性损伤风险预测模型的构建及验证[J]. 中华护理杂志, 2025, 60(8):928-933.