

· 临床研究 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.02.021

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20241108.0837.002\(2024-11-08\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20241108.0837.002(2024-11-08))

基于机器学习的慢性疼痛患者压力性损伤风险 预测模型的构建*

易维君¹, 罗雯茜¹, 张周琪¹, 刘勇¹, 范碧恬², 张林^{1△}

[1. 陆军军医大学第二附属医院疼痛与康复医学科, 重庆 400037; 2. 中国石油大学(华东), 山东青岛 266580]

[摘要] **目的** 构建基于机器学习的慢性疼痛患者压力性损伤(PI)风险预测模型, 并分析其准确性和合理性, 为临床 PI 的预测评估提供依据。**方法** 回顾性分析 2023 年 3 月至 2024 年 6 月在重庆市某三甲医院住院的 396 例患有慢性疼痛且 Braden 评分表评分为高风险患者的临床病历资料。基于 Python3.10 编程语言, 构建决策树模型、随机森林模型、线性回归模型、朴素贝叶斯模型、K-Means 模型, 并通过准确率、灵敏度、精确度、F1 分数和受试工作者特征(ROC)曲线下面积(AUC)对模型性能进行比较。**结果** 35 例患者发生 PI, 发生率为 8.84%。年龄、数字评分量表(NRS)评分、疼痛部位、疼痛影响睡眠为慢性疼痛患者发生 PI 的影响因素。5 种 PI 风险预测模型中, 随机森林模型的准确率(0.873)、灵敏度(0.874)、精确度(0.848)、F1 分数(0.844)和 ROC AUC(0.81)均高于其他模型。**结论** 随机森林模型对慢性疼痛患者 PI 具有较高的预测性能, 可以用于慢性疼痛患者 PI 高危人群的筛选和管理。

[关键词] 慢性疼痛患者; 压力性损伤; Braden 评分表; 随机森林; 预测模型

[中图分类号] R493 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2025)02-0413-05

Construction of stress injury risk prediction model in patients with chronic pain based on machine learning*

YI Weijun¹, LUO Wenqian¹, ZHANG Zhouqi¹, LIU Yong¹, FAN Bitian², ZHANG Lin^{1△}

[1. Department of Pain and Rehabilitation Medicine, Second Affiliated Hospital of Army Military Medical University, Chongqing 400037, China; 2. China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China]

[Abstract] **Objective** To construct the predictive model of pressure injury (PI) in the patients with chronic pain based on machine learning, and to analyze its accuracy and rationality, so as to provide an evidence for the predictive evaluation of clinical PI. **Methods** The clinical medical records data of 396 patients with chronic pain and high risk Braden scores hospitalized in a class 3A hospital of Chongqing City from March 2023 to June 2024 were retrospectively analyzed. Based on the Python3.10 programming language, the decision tree model, random forest model, linear regression model, naive Bayes model and K-Means model were constructed, and the model performances were compared by accuracy, sensitivity, precision, F1 score and area under the receiver operating characteristic (ROC) curve (AUC). **Results** PI occurred in 35 cases with an incidence rate of 8.84%. Age, NRS score, pain site and pain affected sleep were the independent influencing factors for the PI occurrence in the patients with chronic pain. Among 5 kinds of PI risk predictive model, the accuracy (0.873), sensitivity (0.874), precision (0.848), F1 score (0.844) and ROC AUC (0.81) of the random forest model were all higher than those of other models. **Conclusion** The random forest model has a high predictive performance for PI in the patients with chronic pain, and could be used for the screening and management of high risk groups of PI in the patients with chronic pain.

[Key words] chronic pain patients; pressure injury; Braden score scale; random forest; prediction model

压力性损伤(pressure injury, PI)曾被称为压疮, 是由压力或压力联合剪切力导致的皮肤和/或皮下组织的局部损伤, 通常位于骨隆突处, 但也可能与医疗

器械或其他物体有关, 可表现为红斑、水疱, 可伴有剧烈疼痛, 严重者可导致脓毒血症^[1]。在美国 PI 的发生导致每年 23~36 亿美元的花费, 占国家医疗保健

支出的 4%，给患者和国家带来了严重的经济负担^[2-3]。因此，我国曾在 2011 年将预防与减少医院内 PI 的发生作为患者十大安全目标之一，也将其作为衡量我国护理质量的重要指标。慢性疼痛患者由于疼痛导致活动能力受限，长时间卧床或久坐不动，身体局部组织持续受压，血液循环受阻，致使局部组织出现缺氧、营养供给不足，导致 PI 的发生^[4]。早期精准地预测慢性疼痛患者 PI 的发生，及时进行有效的护理干预，是保障患者安全的重要工作，亦是提高护理质量的难点。目前，PI 评估工具中 Braden 评分表使用最广泛，但该量表主观性强，评估耗时长，管理流程复杂，造成了人力、物力的浪费^[5]，而机器学习的方法在一定程度上可以改善以上缺陷。机器学习的方法是通过训练算法让计算机能够从数据中学习并作出预测或决策的技术，已在多个医学领域广泛应用并取得良好的效果^[6-8]。因此，本研究基于机器学习的方法构建慢性疼痛患者 PI 风险预测模型，利用其分类规则筛选慢性疼痛患者 PI 发生的高危因素，并比较 5 种预测模型的预测效果，以期为临床预测慢性疼痛患者 PI 发生风险提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

利用医院信息管理系统和 PI 不良事件上报系统，回顾性分析 2023 年 3 月至 2024 年 7 月在重庆市某三甲医院住院的慢性疼痛患者病历信息。纳入标准：(1) 年龄 ≥ 18 岁；(2) 疼痛持续时间 ≥ 3 个月；(3) 数字评分量表 (numeric rating scale, NRS) 评分 ≥ 1 分；(4) 住院时间 ≥ 24 h；(5) Braden 评分表评分为高风险；(6) 资料完整。排除标准：患有系统性红斑狼疮等影响皮肤观察的疾病。本研究已经获得陆军军医大学附属第二医院伦理委员会审核批准 (审批号：2024-研第 353-01)。

1.2 方法

1.2.1 PI 风险评估及管理

患者入院 8 h 内使用 Braden 评分表评分进行 PI 的风险评估，并根据 Braden 评分表评分结果将其分为极高风险 (≤ 9 分)、高风险 ($> 9 \sim 12$ 分)、中风险 ($> 12 \sim 14$ 分)、低风险 ($> 14 \sim 18$ 分) 和无风险 (≥ 19 分)，并将评估结果为高风险和极高风险的患者在医院信息管理系统进行上报，同时制订 PI 防治护理计划单和执行单，并根据患者病情变化实施动态评价，再根据患者病情对相应护理计划进行修订。另外，责任护士每班对患者皮肤进行检查，并详细记录患者皮肤情况，责任组长和护士长定期检查，直至患者出院或死亡。本研究为回顾性研究，无法对患者全身皮肤情况进行现况评估和分析，故采用护理记录和 PI 不良事件上报系统相结合的方式进行分析，统一由一名慢性疼痛管理专家和一名伤口造口师进行判断，若遇分歧，则请另一名伤口造口师进行评判，并严格按照

世界卫生组织对于 PI 的定义及分期进行评判^[1]。

1.2.2 资料收集

通过查阅国内外文献，参考 Scott Triggers 评估量表及咨询专家，设计本研究的 PI 资料收集表及慢性疼痛患者 PI 预警相关因素资料收集表^[9-10]。PI 资料收集表收集内容包括：一般资料 (性别、年龄、住院时间、文化程度)、入院方式、护理级别、有无糖尿病、血清白蛋白、收缩压、舒张压、有无大小便失禁、体位、自理能力、Braden 评分表评分；慢性疼痛患者 PI 预警相关因素资料收集表收集内容包括：NRS 评分、疼痛部位、疼痛性质、疼痛持续时间、疼痛是否影响睡眠。除年龄、住院时间、收缩压、舒张压和 NRS 评分取实测值外，其余指标按实际情况和临床参考值进行分类编码。

1.3 统计学处理

首先清洗缺失值，先根据缺失情况删除缺失值超过 20% 的数据，对缺失数据 $< 20\%$ 的数据则采用函数法进行插补。符合正态分布的计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示，不符合正态分布的计量资料采用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示，计数资料采用例数或百分比表示。其次，以 Pearson 相关系数筛选出与 PI 相关性高的因素行模型训练，进行模型初始化，采用 Python3.10 中的 PyCaret 开源机器学习库，分别使用决策树、随机森林、线性回归、朴素贝叶斯、K-Means 5 种算法构建预测模型。最后，进行数据集划分，采用随机抽样法按照 7:3 比例进行训练集和测试集的划分，采用准确率、灵敏度、精确度、F1 分数和受试工作者特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线下面积 (area under the curve, AUC) 对模型进行评价。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料比较

最终纳入 396 例患者，其中男 254 例、女 142 例，年龄 18~95 岁。将发生 PI 的 35 例 (8.84%) 患者设为压疮组，未发生 PI 的设为对照组，两组患者年龄、NRS 评分、疼痛部位及疼痛是否影响睡眠情况比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$)，其余资料比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)，见表 1。

2.2 慢性疼痛患者 PI 影响因素相关性分析

在随机森林模型建立前，对相关数据进行预处理，根据 Pearson 相关系数筛选出与 PI 相关性高的因素进行模型训练。结果显示，年龄、NRS 评分、疼痛部位疼痛影响睡眠与 PI 发生相关，差异有统计学意义 ($|r| > 0.1, P < 0.05$)。

2.3 各模型预测效能比较

基于决策树模型、随机森林模型、线性回归模型、朴素贝叶斯模型、K-Means 模型 5 种模型构建了慢性疼痛患者 PI 风险预测模型，使用测试集进行内部验证得到各模型的预测效能。结果显示，决策树模型、随机森林模型、线性回归模型、朴素贝叶斯模型、K-

Means 模型 ROC AUC 分别为 0.60、0.81、0.77、0.80、0.56,其中随机森林模型的 ROC AUC 最高,朴素贝叶斯模型次之,决策树模型、线性回归模型和 K-

Means 模型相对较低。此外,随机森林模型准确度、灵敏度、精确度、F1 分数均为最高,即整体的预测效能优于其他 4 种模型,具体见表 2,ROC 曲线见图 1。

表 1 对照组与压疮组各项资料比较

项目	对照组 (n=361)	压疮组 (n=35)	P	项目	对照组 (n=361)	压疮组 (n=35)	P
性别(n)			0.347	体位(n)			0.728
女	132	10		自动	251	24	
男	229	25		被动	98	9	
年龄[M(Q ₁ ,Q ₃),岁]	62(18,95)	77(48,95)	<0.001	强迫	12	2	
住院时间[M(Q ₁ ,Q ₃),d]	13.2(1.0,61.0)	13.0(3.0,58.0)	0.965	自理能力(n)			0.766
文化程度(n)			0.287	无须依赖	20	0	
初中及以下	244	21		轻度依赖	113	13	
高中或中专	61	7		中度依赖	113	11	
大专	26	2		重度依赖	115	11	
本科及以上	30	5		Braden 评分[M(Q ₁ ,Q ₃),分]	12.2(7.0,16.0)	12.3(9.0,15.0)	0.766
入院方式(n)			0.825	感知能力	2.8(0,4.0)	2.7(0,4.0)	0.921
步行	80	5		潮湿度	2.7(0,4.0)	2.6(0,4.0)	0.854
扶行	43	7		活动能力	1.5(0,4.0)	1.6(0,4.0)	0.665
轮椅	183	19		营养摄取能力	1.7(0,4.0)	1.6(0,4.0)	0.641
平车	55	4		移动能力	2.1(0,4.0)	2.0(0,4.0)	0.512
护理级别(n)			0.080	摩擦力和剪切力	1.4(0,3.0)	1.4(0,4.0)	0.632
特级	4	0		NRS 评分[M(Q ₁ ,Q ₃),分]	2.9(1.0,9.0)	3.6(1.0,8.0)	<0.001
一级	237	29		疼痛部位(n)			0.029
二级	120	6		头面部	59	5	
有无糖尿病(n)			0.151	躯干	232	17	
有	50	8		四肢	38	6	
无	311	27		多部位	32	7	
血清白蛋白(n)			0.125	疼痛性质(n)			0.787
正常	279	23		钝痛	210	22	
异常	82	12		锐痛	115	9	
收缩压[M(Q ₁ ,Q ₃),mmHg]	120(66,187)	125(85,162)	0.296	其他	36	4	
舒张压[M(Q ₁ ,Q ₃),mmHg]	76(40,130)	74(61,95)	0.488	疼痛持续时间(n)			0.989
有无小便失禁(n)			0.368	≤4 h	32	7	
有	26	4		>4~24 h	41	2	
无	335	31		>24 h	288	26	
有无大便失禁(n)			0.368	疼痛是否影响睡眠(n)			0.019
有	26	4		是	218	14	
无	335	31		否			

2.4 随机森林模型与 Braden 评分表评分预测效果比较

采用 Python3.10 软件绘制 ROC 曲线,通过随机森林模型与 Braden 评分表评分 ROC AUC 以比较其预测慢性疼痛患者 PI 风险的效能。结果显示,随机森林模型 ROC AUC 为 0.81,高于 Braden 评分表的 0.68,随机森林模型综合预测效果更佳,见图 2。

表 2 5 种模型预测性能评价

模型	准确率	灵敏度	精确度	F1 分数	AUC
决策树	0.857	0.857	0.831	0.839	0.60
随机森林	0.873	0.874	0.848	0.844	0.81
线性回归	0.865	0.866	0.749	0.803	0.77
朴素贝叶斯	0.823	0.824	0.769	0.793	0.80
K-Means	0.563	0.563	0.795	0.632	0.56

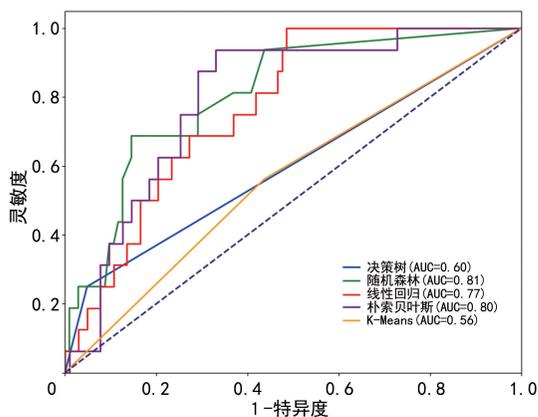


图1 5种预测模型ROC曲线图

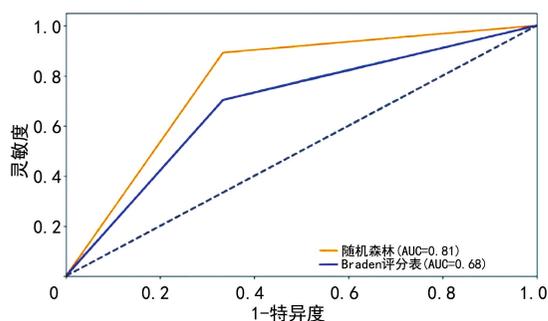


图2 Braden评分表和随机森林模型ROC曲线图

3 讨论

3.1 随机森林模型在慢性疼痛患者PI风险预测中的优势

随机森林模型是一种用于分类和回归任务的集成学习方法,此种模型由多个决策树组成,通过集成这些决策树的预测结果来提高模型的准确性和稳定性,具有高准确性、高解释性及易于实现等特点,被广泛应用于医疗诊断、图像识别等多个领域^[11-12]。这种高解释性有助于临床医护人员更好地理解模型,并根据其重要影响因素制订有效的预防和治疗措施。通过对历史数据的训练,随机森林模型学习慢性疼痛患者发生PI的关键因素,并基于这些因素对更多的患者进行精准的预测^[13]。本研究中,随机森林模型在慢性疼痛患者PI风险预测中的准确率、灵敏度、精确度和F1分数、ROC AUC均表现优异,可见随机森林模型在慢性疼痛患者PI风险预测中具有较高优势。曲超然^[14]对418例心血管疾病患者术中发生PI的相关预测模型进行分析发现,术中PI的发生率为19.9%,随机森林模型预测准确率为90.91%。吕虹蕾等^[15]对基于机器学习算法的PI风险预测研究热点的可视化分析发现,虽然列线图是应用最广泛的预测模型,但随机森林模型是预测性能最稳定的模型。由此可见,随机森林模型在慢性疼痛患者PI预测方面具有较高的准确率。随机森林模型可以通过一系列分层规则,集成多个决策树的预测结果,将自变量内容对因变量作用无统计学差异的合并为一类进行精准分类和预测,从而为临床快速识别慢性疼痛患者PI的

发生提供理论依据。

3.2 随机森林模型为慢性疼痛患者PI预测提供依据

本研究纳入的396例慢性疼痛患者中有35例发生PI,发生率为8.84%。通过随机森林模型发现年龄、NRS评分、疼痛部位、疼痛是否影响睡眠是发生PI的重要影响因素。国内外多项研究已经证实年龄、性别、舒张压及大便失禁是PI发生的重要影响因素^[16-19],但本研究中性别、舒张压及大便失禁这3项未进入随机森林模型。分析其原因,可能与本研究纳入影响因素及患者疾病类型有关。本研究也证实了年龄是患者发生PI的重要影响因素,随着年龄的增加,皮肤逐渐失去水分和弹性,对外界压力的抵抗力下降,增加了皮肤受损的风险,从而增加PI发生风险^[5]。另外,由于慢性疼痛患者其疼痛长期存在,患者活动能力普遍下降,甚至轻微的活动即增加患者疼痛,从而导致患者无法自主变换体位、翻身能力下降、皮肤循环下降,进而增加PI发生风险^[20]。疼痛是PI患者主要症状之一,本研究显示疼痛程度越高,PI发生风险越高,这与蒲丽辉等^[21]研究结果一致,PI的严重程度与疼痛程度明显相关。也有研究指出,有PI的患者较无PI的患者每天多承受60%的疼痛^[22]。由于疼痛影响,导致患者无法得到充分的休息,进而降低患者身体抵抗能力,从而影响患者疾病恢复。还有研究发现疼痛位于躯干的患者更易发生PI,躯干中骶尾部、肩胛部、髂嵴等是PI的好发部位^[23],这些部位由于肌肉层较薄或缺乏脂肪组织的保护,长期受压最易发生PI。另外,慢性疼痛患者因疼痛或治疗需要保持固定体位,如仰卧位、俯卧位等,这些体位使躯干特定部位长时间受压,增加了躯干部位PI发生风险。因此,临床护理工作中应重视以上4个因素对慢性疼痛患者PI风险的影响,尤其应注重患者的疼痛管理。

3.3 随机森林模型与Braden评分表预测慢性疼痛患者PI效果比较

Braden评分表已被广泛应用于住院患者PI的评估,但其存在主观性强、评分标准局限、特异性不高等缺陷^[24]。Braden评分表感知能力维度主要评估患者对疼痛刺激的反应能力,而慢性疼痛患者对疼痛的感知往往存在痛觉过敏或痛觉减退现象,这可能影响评估结果^[25]。另外,慢性疼痛本身可能严重干扰患者日常生活活动,包括体位改变、翻身等,进而影响患者移动能力和活动能力的评估,使得评估结果低于患者实际发生PI的风险。美国梅奥诊所对12 556例患者行回顾性分析发现,Braden评分表只具有中度预测效能^[26]。我国一项单中心回顾性分析中纳入了303例>80岁老年人,Braden评分表预测PI的ROC AUC仅为0.61,且研究认为此量表不适宜>80岁老年人^[27]。本研究中Braden评分表预测PI的ROC AUC也仅有0.68,而随机森林模型的ROC AUC高

于 Braden 评分表,说明随机森林模型在预测慢性疼痛的效能优于 Braden 评分表,在一定程度上解决了 Braden 评分表对慢性疼痛患者 PI 预测效能低的问题,也避免了过度预测,减少医疗资源浪费,提高了医务人员工作效率。

本研究以随机森林模型对慢性疼痛患者 PI 风险进行预测,提取了 4 个影响因素,有效提升了慢性疼痛患者 PI 发生风险的预测效能,为慢性疼痛患者 PI 的预测和管理提供了依据。但本研究也存在一定局限,首先,慢性疼痛患者 PI 发生的影响因素众多,本研究仅对其中部分因素进行了探讨;其次,本研究为回顾性研究,不同的医护人员接受的 PI 评估知识不同,在对患者进行评估时,可能会出现偏差;最后,本研究的是单中心小样本量研究,结果的稳定性和可推广性还有待进一步验证。

参考文献

- [1] GOULD L J, ALDERDEN J, ASLAM R, et al. WHS guidelines for the treatment of pressure ulcers:2023 update[J]. *Wound Repair Regen*, 2024,32(1):6-33.
- [2] MACHADO A, OLIVEIRA B F, ALVES I M, et al. Prevalence and incidence of pressure ulcers/injuries in emergency services:a systematic review protocol[J]. *J Tissue Viability*, 2022, 31(1):58-61.
- [3] CHUNG M L, WIDDEL M, KIRCHHOFF J, et al. Risk factors for pressure ulcers in adult patients:a meta-analysis on sociodemographic factors and the Braden scale[J]. *J Clin Nurs*, 2023, 32(9/10):1979-1992.
- [4] WOO K, GONZALEZ C, AMDIE F Z, et al. Exploring the effect of wound related pain on psychological stress, inflammatory response, and wound healing[J]. *Int Wound J*, 2024, 21(7):e14942.
- [5] 蒋琪霞,周济宏,陈可塑,等.中国 46 所三级医院成年住院患者压力性损伤流行病学特征及 Braden 量表预测作用研究[J]. *中国全科医学*, 2023,26(18):2195-2202.
- [6] 龚利平,李建,陈忠英,等.基于决策树法构建深静脉置管并发导管相关性感染的风险预测模型及防控策略分析[J]. *军事护理*, 2024,41(6):52-54.
- [7] 张生雯,杨少伦,陈永聪.基于决策树模型的脑梗死患者疾病诊断相关分组研究[J]. *中国慢性病预防与控制*, 2024,32(7):481-485.
- [8] 赵俊娟,李菲.普惠型商业医疗保险参保意愿影响因素分析:基于 logistic 回归和 CHAID 决策树模型[J]. *中国卫生事业管理*, 2024, 41(5):523-528.
- [9] 史桂蓉,王晓慧,刘萍,等. Scott Triggers 评分表与 Munro 量表评估手术患者压力性损伤的效果比较[J]. *护理学杂志*, 2020,35(7):43-46.
- [10] CHEN Y, WANG W, QIAN Q, et al. Comparison of four risk assessment scales in predicting the risk of intraoperative acquired pressure injury in adult surgical patients: a prospective study [J]. *J Int Med Res*, 2023, 51(10):655698838.
- [11] 刘宜婷,白煜,许怀悦,等.基于随机森林模型的北京市五环内噪声地图模拟[J]. *中国环境监测*, 2024,40(4):241-250.
- [12] 夏修,黄睿,邓春燕,等.基于随机森林算法的云南女性产后抑郁风险预测模型构建[J]. *现代预防医学*, 2024,51(16):2929-2934.
- [13] CHEN X, TANG S, QIN Y, et al. A predictive model of pressure injury in children undergoing living donor liver transplantation based on machine learning algorithm[J/OL]. *J Adv Nurs*, [2024-07-30]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39253783/>.
- [14] 曲超然.基于机器学习的心血管疾病患者术中压力性损伤预测模型构建[D].兰州:兰州大学,2021.
- [15] 吕虹蕾,岳晨琪,陈金,等.基于机器学习算法的压力性损伤风险预测研究热点的可视化分析[J]. *天津护理*, 2023,31(4):432-437.
- [16] 李宁,张栩彰,王祎雅,等.骨科患者术中获得性压力性损伤影响因素的 meta 分析[J]. *中国医学工程*, 2023,31(7):35-41.
- [17] 杨靖,秦晓燕.住院患者压疮发生情况调查及 logistic 回归分析[J]. *黑龙江中医药*, 2023,52(4):108-111.
- [18] KIM J Y, SHIN Y K, SEOL G H. Incidence and risk factors for pressure injury in hospitalized non-small cell lung cancer patients:a retrospective observational study[J]. *J Tissue Viability*, 2023,32(3):377-382.
- [19] SEO Y, OH H, NA Y, et al. A prospective study of pressure injury healing rate and time and influencing factors in an acute care setting[J]. *Adv Skin Wound Care*, 2022,35(12):1-9.
- [20] 张留馨,张茹,钟玉玲,等.压力性损伤相关性疼痛概念分析[J]. *中华现代护理杂志*, 2020, 26(31):4428-4431.
- [21] 蒲丽辉,胡秀英,刘祚燕.老年患者压疮风险现状调查与影响因素分析[J]. *中国护理管理*, 2015,15(5):540-544. (下转第 424 页)