

论著 • 临床研究

基于支持向量机算法的重症患者压力性损伤分级预测模型的构建及应用价值*

张晶¹, 王亚玲^{2△}, 梁泽平³, 解浪浪⁴, 简福霞⁵, 艾山木⁶, 商 瑾⁵

(1. 中国人民解放军陆军特色医学中心血液科, 重庆 400042; 2. 中国人民解放军陆军特色医学中心护理部, 重庆 400042; 3. 重庆市九龙坡西区医院重症医学科, 重庆 400052; 4. 陆军军医大学临床护理学教研室, 重庆 400038; 5. 中国人民解放军陆军特色医学中心重症医学科, 重庆 400042; 6. 重庆市急救医疗中心急诊科, 重庆 400015)

[摘要] **目的** 基于支持向量机算法构建并验证重症监护病房(ICU)患者压力性损伤(PI)分级预测模型。**方法** 收集 2020 年 12 月至 2022 年 12 月 157 例在重庆市某三级甲等医院重症医学科住院患者的临床资料, 采用 χ^2 检验和 kruskal-Wallis H 检验筛选 PI 分级的影响因素。再将数据以 7:3 的比例随机分为训练组和验证组, 基于训练组数据利用支持向量机算法建立 ICU 患者 PI 分级预测模型, 并采用五折交叉验证法进行参数优化。训练好的模型在验证组数据集中进行内部验证, 对前后结果进行混淆矩阵分析, 采用准确率、精确率、召回率、F1 值和受试者工作特征曲线的曲线下面积(AUC)评估模型的性能。**结果** 初步确定 10 个影响 PI 分级的因素, 在 $\gamma=0.1$, $\text{cost}=2.2$ 时模型的性能最佳, PI 分级预测模型的准确率为 81.25%, 精确率为 79.70%, 召回率为 80.30%, F1 值为 79.90%, 受试者工作特征曲线的 AUC 为 0.939。**结论** 构建的 PI 分级预测模型预测性能良好, 可为临床医护人员制订 ICU 患者预防 PI 的分级护理干预方案提供参考依据。

[关键词] 压力性损伤; 支持向量机; 高频超声; 分级预测模型

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2024.03.006

中图法分类号:R473.75

文章编号:1009-5519(2024)03-0385-06

文献标识码:A

Construction and application value of the grading prediction model of pressure injury in critically ill patients based on support vector machine algorithm*

ZHANG Jing¹, WANG Yaling^{2△}, LIANG Zeping³, JIE Langlang⁴,
JIAN Fuxia⁵, AI Shanmu⁶, SHANG Cui⁵

(1. Department of Hematology, Amy Medical Center of PLA, Chongqing 400042, China; 2. Department of Nursing, Amy Medical Center of PLA, Chongqing 400042, China; 3. Department of Critical Care Medicine, Chongqing Western Hospital, Chongqing 400052, China; 4. Department of Clinical Nursing, Army Medical University, Chongqing 400038, China; 5. Department of Critical Care Medicine, Amy Medical Center of PLA, Chongqing 400042, China; 6. Department of Emergency, Chongqing Emergency Medical Center, Chongqing 400015, China)

[Abstract] **Objective** To construct and verify the grading prediction model of pressure injury(PI) in intensive care unit(ICU) patients based on support vector machine(SVM) algorithm. **Methods** The clinical data of 157 inpatients in the Department of Critical Care Medicine of a tertiary hospital in Chongqing from December 2020 to December 2022 were collected. The influencing factors of PI grading were screened by the Chi-square test and kruskal-Wallis H test. Then, the data were randomly divided into the training group and the validation group at a ratio of 7:3. Based on the training group data, the support vector machine algorithm was used to establish the PI grading prediction model of ICU patients, and the five-fold cross-validation method was used to optimize the parameters. The trained model was internally validated in the validation group data

* 基金项目:重庆市科卫联合医学科研项目(2020FYYX139)。

作者简介:张晶(1985-), 本科, 副主任护师, 主要从事临床护理管理、重症护理、血液病护理和营养护理的研究。△ 通信作者, E-mail:930706229@qq.com。

set, and the confusion matrix analysis was performed on the results before and after. The performance of the model was evaluated by the accuracy rate, precision rate, recall rate, F1 value and the area under the curve (AUC) of the receiver operating characteristic value. **Results** The 10 factors affecting PI grading were preliminarily determined. The performance of the model was the best when $\gamma=0.1$ and $\text{cost}=2.2$. The accuracy rate of the PI grading prediction model was 81.25%, the accuracy rate was 79.70%, the recall rate was 80.30%, and the F1 value was 79.90%. The AUC of the receiver operating characteristic was 0.939.

Conclusion The constructed PI grading prediction model has good predictive performance, which can provide reference for clinical medical staff to formulate grading nursing intervention programs for preventing PI in ICU patients.

[Key words] Pressure injury; Support vector machine; High frequency ultrasound; Grading prediction model

压力性损伤(PI)是指皮肤或底层软组织的局部损伤,通常发生在骨隆突处,是医院护理工作质量控制的重要指标之一。重症监护病房(ICU)患者是PI的高风险人群,据不完全统计,PI在重症患者中的发生率为16.9%~23.8%^[1],远高于平均水平的8.4%^[2]。Waterlow、Braden、Norton等量表常被用于评估发生PI的风险,但此类评估工具受实施者及患者主观影响较大,且缺乏对PI分级的预测能力^[3]。据文献报道,1期PI发生率最高,表现为皮肤红斑,压之不变色,但皮肤相对比较完整,因此,对患者的影响较轻^[4]。但在临床工作中部分初期表现为1期PI的患者皮肤情况会逐渐恶化,据统计,在给予适当护理措施的情况下仍有10%、12%的患者会进展为2、3期PI,因此,1期PI患者逐渐成为医院监督和管理的重点对象^[5-6]。

PI分级预测模型的构建具有重要意义。通常认为系统的评估和及时干预是预防PI的关键^[7]。因此,多数研究将目光聚焦在PI的风险预测方面,旨在为制定早期的干预方案提供参考依据。近年来,逐渐有研究发现,对患者给予分级护理可有效降低PI发生风险、降低并发症发生率,以及避免病情进一步发展^[8-9]。但目前缺乏对PI分级预测相关的研究,尤其是对较为严重的PI分级预测,如2期及以上的PI,针对患者分级护理的精准度尚有待于进一步提高。

高频超声(HFUS)在PI风险预测模型的研究中具有广泛应用。HFUS指频率在10 MHz以上的超声,其理论探测深度可达15~25 mm。有研究表明,PI的发生过程中涉及组织病理生理学变化,如皮肤温度^[10]、组织血流灌注^[11]、表皮下水分^[12-13],以及局部组织血氧代谢情况^[14]等对PI的风险预测具有潜在的量化价值,而这些病理生理学变化的初步迹象可被HFUS早期发现^[15]。当HFUS透过病变组织时反射的回声与周围正常组织会有较为明显的差异,可在临床症状出现前显示出是否存在组织损伤或水肿,具有

分辨率高、动态、实时、可重复等特点^[16-17]。在HFUS下早期PI的影像学特征表现为层次结构不清、低回声病变、筋膜不连续、不均匀低回声4种经典类型,可作为早期PI筛查的指标^[18],但对PI分级预测的能力尚有待于进一步研究。

机器学习算法在PI的分级预测中具有潜在价值。随着我国护理信息化平台的不断发展数量庞大的、结构复杂的数据利用与机器学习算法相结合已成为必然趋势^[19]。临床PI管理中同样存在大量多重结构的数据,在机器学习算法的加持下已被广泛用于创面的测量和分析、PI风险预测模型的构建等方面,其中支持向量机(SVM)作为经典的机器学习算法之一,在处理PI管理中的分类任务时较其他算法表现出更高的性能^[20]。PI的分级预测在本质上同样属于分类任务,但目前SVM对PI分级预测的准确率仍缺乏相应的文献报道。本研究采用SVM算法联合HFUS的影像学特征和临床结构化数据构建ICU患者PI分级预测模型,通过模型的内部验证及参数优化得到性能最佳的模型,旨在为PI的分级预测及早期的分级护理提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 资料

1.1.1 研究对象 本研究为回顾性研究,收集2020年12月至2022年12月157例在重庆市某三级甲等医院重症医学科住院患者的临床资料。本研究经中国人民解放军陆军特色医学中心伦理委员会审批通过[医研伦审(2020)第188号]。

1.1.2 纳入标准 (1)年龄大于或等于18岁;(2)住院期间发生过2期及以上PI;(3)入院24 h内有HFUS图像留存。

1.1.3 排除标准 (1)入院时存在PI;(2)孕妇;(3)HFUS图像质量不佳,难以分辨其特征。

1.2 方法

1.2.1 样本量大小 目前,尚无标准的SVM样本量

计算方法,为保证模型的精准度及稳定性参考 HYUN 等^[21]基于功效分析计算最小样本量的方法。功效分析可在给定置信水平(α)、功效水平($1-\beta$)及效应值的情况下计算该统计方法所需的最小样本量。本研究选取在单因素分析中差异有统计学意义的变量——年龄、血清清蛋白水平、急性生理和慢性健康状况 II 评分(APACH-II)、血糖水平、体重指数(BMI)、Braden 评分、筋膜不连续、不均匀低回声、二便是否失禁和血清总蛋白水平,基于“pwr”包计算各变量在 $\alpha=0.05$ 、功效水平为 90% 时所需的最小样本量,结果显示,所需最小样本量的临界值为 151,即在先验显著性水平为 0.05、不低于 90% 的可能性断言以上变量,在单因素分析中的结果可信所需的最小样本量为 151,低于 157 的实际样本量,因此,本研究纳入的样本量充足。

1.2.2 PI 分级标准 根据美国国家压疮咨询委员会 2019 年更新的指南将 PI 分为 6 期^[22]:(1)1 期患者皮肤变红,按压不褪色,但无皮损;(2)2 期患者部分皮肤受损,通常伴一定的皮损,如水泡等,真皮层也会出现一定的受损;(3)3 期患者出现全层皮肤受损,疼痛情况相对较明显;(4)4 期患者出现全层皮肤和组织缺失;(5)不可分期患者为全层皮肤和组织缺失,损伤程度被掩盖,不能明确判断分期;(6)深部组织损伤患者持续加压不变白,颜色为深红色、栗色或紫色。

1.2.3 调查工具 在文献^[23-24]回顾基础上对重症医学科 1 名主任医师及 2 名副主任护师进行咨询后自行设计 ICU 患者 HFUS PI 调查表,包括 4 部分、20 个指标:(1)一般资料包括性别、年龄、入院时 APACH-II、PI 分期等;(2)营养相关指标为 BMI,以及血清清蛋白、血清前清蛋白、血清总蛋白、血糖水平等;(3)PI 风险评估工具为 Braden 量表总分及 6 个维度得分;(4)HFUS 图像特征为层次结构不清、低回声病变、筋膜不连续、不均匀低回声等。

1.2.4 资料收集 参照文献^[25]的方法对研究小组的 HFUS 图像特征辨识能力进行培训,通过考核的研究者对患者入院 24 h 内采集的 HFUS 图片的特征进行辨别,患者入院 24 h 内的一般资料、营养相关指标、PI 风险评分、住院过程中是否发生 PI 通过医院电子病历系统收集。所有的数据由 2 名研究者独立完成,采用 EpiData3.1 软件进行双人录入,发现数据不一致后由第 3 名研究者核查并修改。

1.3 统计学处理 应用 R4.2.2 软件进行数据分析,采用 K-S 检验进行正态性检验,符合正态分布计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布计量资料以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,计数资料以率或构成比表示,采用 Kruskal-Wallis H 检验、多重 Wilcoxon 检验、 χ^2 检验、Fisher 确切概率法等。采用“pwr”包(version 1.3-0)进行功效分析以估计样本量。将 157 例患者以 7:3 的比例随机分为训练组(109 例)和验证组(48 例),基于训练组数据使用“e1071”包(version 1.7-13)构建 SVM 模型,通过五折交叉验证法进行超参数优化,使模型的预测性能达到最佳。使用训练好的模型对验证组数据进行预测,计算准确率、精确率、召回率、F1 值、受试者工作特征曲线的曲线下面积(AUC),以及构建混淆矩阵评估模型的性能。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料 157 例患者中男 125 例(79.62%),女 32 例(20.38%);年龄 55(42,69)岁;APACH-II 26(20,29)分;PI 分级:2 期组 74 例(47.13%),3 期组 32 例(20.38%),4 期组 51 例(32.48%)。

2.2 单因素分析 3 组患者二便是否失禁、年龄、APACH-II、BMI、Braden 评分、筋膜不连续及不均匀低回声,以及血清清蛋白、血清总蛋白、血糖水平比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表 1。

表 1 单因素分析

项目	2 期组($n=74$)	3 期组($n=32$)	4 期组($n=51$)	χ^2/H	P
性别[$n(\%)$]				0.10	0.953
男	59(79.73)	26(81.25)	40(78.43)		
女	15(20.27)	6(18.75)	11(21.57)		
二便是否失禁[$n(\%)$]				17.64	<0.001
是	24(32.43)	16(50.00)	36(70.59)		
否	50(67.57)	16(50.00)	15(29.41)		
年龄[$M(P_{25}, P_{75})$, 岁]	51(36,61)	55(44,69)	65(53,81)	18.32	<0.001
APACH-II[$M(P_{25}, P_{75})$, 分]	21(17,26)	25(20,27)	29(28,31)	56.20	<0.001
BMI[$M(P_{25}, P_{75})$, kg/m^2]	22(20,23)	21(20,22)	16(15,17)	97.91	<0.001
清蛋白[$M(P_{25}, P_{75})$, g/L]	38(35,41)	35(32,42)	30(27,33)	50.43	<0.001

续表 1 单因素分析

项目	2 期组(n=74)	3 期组(n=32)	4 期组(n=51)	χ^2/H	P
前清蛋白[M(P ₂₅ ,P ₇₅),mg/L]	103(69,139)	98(74,134)	102(79,133)	0.12	0.944
总蛋白[M(P ₂₅ ,P ₇₅),g/L]	65(62,68)	58(55,61)	51(50,52)	115.66	<0.001
血糖[M(P ₂₅ ,P ₇₅),mmol/L]	8(7,10)	9(7,10)	12(11,14)	56.25	<0.001
Braden 评分[M(P ₂₅ ,P ₇₅),分]	9(9,10)	9(8,9)	9(8,9)	9.13	0.010
潮湿度[M(P ₂₅ ,P ₇₅),分]	2(2,3)	2(2,2)	2(2,2)	0.67	0.716
活动度[M(P ₂₅ ,P ₇₅),分]	1(1,1)	1(1,1)	1(1,1)	3.09	0.213
感觉[M(P ₂₅ ,P ₇₅),分]	2(1,2)	1(1,2)	1(1,2)	3.13	0.209
移动能力[M(P ₂₅ ,P ₇₅),分]	1(1,1)	1(1,1)	1(1,1)	2.55	0.280
营养摄入[M(P ₂₅ ,P ₇₅),分]	2(2,2)	2(2,2)	2(2,2)	3.72	0.155
摩擦力和剪切力[M(P ₂₅ ,P ₇₅),分]	1(1,1)	1(1,1)	1(1,1)	5.40	0.066
影像学表现[n(%)]					
层次结构不清				—	0.099
—	11(14.86)	3(9.38)	2(3.92)		
+	42(56.76)	16(50.00)	19(37.26)		
++	21(28.38)	13(40.62)	30(58.82)		
低回声病变				8.20	0.084
—	29(39.19)	10(31.25)	13(25.49)		
+	34(45.95)	16(50.00)	20(39.22)		
++	11(14.86)	6(18.75)	18(35.29)		
筋膜不连续				—	<0.001
—	55(74.32)	25(78.12)	20(39.22)		
+	17(22.98)	4(12.50)	14(27.45)		
++	2(2.70)	3(9.38)	17(33.33)		
不均匀低回声				—	0.007
—	49(66.22)	17(53.12)	23(45.10)		
+	22(29.73)	7(21.88)	18(36.29)		
++	3(4.05)	8(25.00)	10(19.61)		

注：—表示无此项。

2.3 分级预测模型的建立 当 $\gamma=0.1$ 、 $\text{cost}=2.2$ 时模型的性能最佳,此时准确率为 95.41%,精确率为 94.57%,召回率为 93.69%,F1 值为 94.11%,AUC 为 0.996。

2.4 分级预测模型的内部验证结果 验证组患者在模型中被正确分类 39 例,包括 2 期 19 例,3 期 7 例,4 期 13 例,准确率为 81.25%,精确率为 79.70%,召回率为 80.30%,F1 值为 79.90%,AUC 为 0.939。分级预测模型对 2 期 PI 预测能力的精确率、召回率、F1 值、AUC 分别为 82.61%、82.61%、82.61% 和 0.946;对 3 期 PI 预测能力的精确率、召回率、F1 值、AUC 分别为 63.64%、58.33%、60.87% 和 0.927;对 4 期 PI 预测能力的精确率、召回率、F1 值、AUC 分别为 92.86%、100.00%、96.30% 和 0.953。见表 2、图 1。

表 2 基于验证组数据模型的性能评估

指标	2 期	3 期	4 期	总体
精确率(%)	82.61	63.64	92.86	79.70
召回率(%)	82.61	58.33	100.00	80.30

续表 2 基于验证组数据模型的性能评估

指标	2 期	3 期	4 期	总体
F1 值(%)	82.61	60.87	96.30	79.90
AUC	0.946	0.927	0.953	0.939

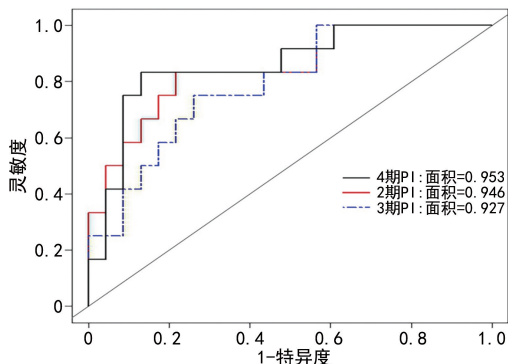


图 1 验证组 ICU 患者分级预测模型的多分类受试者工作特征曲线

3 讨论

3.1 ICU 患者 PI 分级的影响因素 本研究单因素分析结果显示,入院时存在二便失禁、高龄、高 APACH-II、低 BMI、低清蛋白、低蛋白、高血糖、低

Braden 评分、筋膜不连续和不均匀低回声是导致 PI 分级较高的因素。有研究表明,二便失禁、高龄、低蛋白、高血糖、低 Braden 评分是 PI 的独立危险因素^[26]。崔丽丽等^[27]研究表明,BMI 偏高是骨科俯卧位患者术中发生 PI 的独立危险因素,与本研究结论相反。本研究经多重 Wilcoxon 检验结果显示,2、3 期 PI 患者 BMI 无差异,而二者与 4 期 PI 患者 BMI 比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。既往研究表明,老年慢性阻塞性肺疾病患者入院时营养状态与 PI 分期呈明显负相关^[28]。结合本研究结果表明,通常情况下肥胖(高 BMI)会加重患者的受压面积及翻身的频率,导致增加 PI 发生的风险,但在一定范围内的低 BMI 会导致营养状态差,反而增加 PI 的发生风险及严重程度。一项回顾性对比研究发现,PI 患者入院时 APACH-II 明显高于未发生过 PI 者,差异有统计学意义($P < 0.05$)^[29]。本研究结果显示,3 组患者 APACH-II 比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),表明高 APACH-II 既是发生 PI 的危险因素,同时与 PI 严重程度有关。

3.2 分级预测模型性能较好 本研究采用准确率、精确率、召回率、F1 值、AUC 评估分级预测模型的预测性能。准确率即所有预测样本中预测准确的占比;精确率体现真正例在预测为正例的实例中的占比,即真阳性;召回率反映预测正确的例在正例总体中的比例,评估所有实际正例是否被预测出来的覆盖率占比多少,通常精确率和召回率呈负相关;F1 值是精确率和召回率的加权调和平均数,准确率、精确率、召回率、F1 值越大表示模型的性能越好^[30]。AUC 被广泛用于分类器的量化评估,AUC >0.900 提示模型的准确率较高^[31]。本研究构建的分级预测模型的精确率、召回率、F1 值、AUC 分别为 79.70%、80.30%、79.90%、0.939,提示其性能较好。混淆矩阵结果显示,该模型预测准确率为 81.25%,表示在验证组中预测对象中被该模型正确分类的例数占总例数的 81.25%,说明模型正确率良好^[32]。

3.3 基于 HFUS 和 SVM 的 PI 分级预测模型对临床的意义和价值 HFUS 在 PI 风险预测模型的研究中具有广泛的应用,在 PI 分级预测模型中的性能尚有待于进一步揭示。本研究结果显示,超声特征显示为筋膜不连续和不均匀低回声为 2 期 PI 向 3、4 期 PI 发展的危险因素,提示筋膜不连续和不均匀低回声是 PI 恶化的可量化指标,将其作为参数纳入基于机器学习的 PI 分期预测模型中内部验证的预测准确率达到 81.25%,总模型的 AUC 为 0.939,高于传统的机器学习算法,表明 HFUS 联合机器学习算法能更精准地预测 ICU 患者在住院期间发生 PI 的分期情况。此外

将分级预测模型与电子病历系统相结合能更精准、及时地发现 PI 恶化倾向的高危人群,避免传统 PI 评估耗时长、主观性强等缺点,减少临床护士工作压力,提高工作效率。

综上所述,基于 HFUS 的影像学特征和临床结构化数据、采用 SVM 算法构建 ICU 患者 PI 分级模型,通过五折交叉验证法进行模型参数优化,最终模型在内部验证中表现出良好的性能和准确率,可为临床医护人员制订 ICU 患者预防 PI 的分级护理干预方案提供参考依据。

参考文献

- [1] CHABOYER W P, THALIB L, HARBECK E L, et al. Incidence and prevalence of pressure injuries in adult intensive care patients: A systematic review and meta-analysis[J]. Crit Care Med, 2018, 46(11): e1074-1081.
- [2] LI Z, LIN F, THALIB L, et al. Global prevalence and incidence of pressure injuries in hospitalised adult patients: A systematic review and meta-analysis[J]. Int J Nurs Stud, 2020, 105: 103546.
- [3] 高萌, 东梅. 压力性损伤风险预测客观指标与客观评估工具的应用概述[J]. 护理实践与研究, 2022, 19(13): 1940-1945.
- [4] 梁娟, 韩莲英, 程英, 等. 新型翻身枕的设计及在 1 期压力性损伤患者中的应用[J]. 当代医学, 2018, 24(9): 142-144.
- [5] DONNELLY J, National Pressure Ulcer Advisory Panel. Should we include deep tissue injury in pressure ulcer staging systems? The NPUAP debate[J]. J Wound Care, 2005, 14(5): 207-210.
- [6] AOI N, YOSHIMURA K, KADONO T, et al. Ultrasound assessment of deep tissue injury in pressure ulcers: Possible prediction of pressure ulcer progression [J]. Plast Reconstr Surg, 2009, 124(2): 540-550.
- [7] ANRYS C, VAN TIGGELEN H, VERHAEGHE S, et al. Independent risk factors for pressure ulcer development in a high-risk nursing home population receiving evidence-based pressure ulcer prevention: Results from a study in 26 nursing homes in Belgium[J]. Int Wound J, 2019, 16(2): 325-333.
- [8] 罗晓花, 张凌峰, 陈月梅, 等. 压力性损伤分期阶

- 段护理在压力性损伤患者中的应用[J]. 齐鲁护理杂志, 2022, 28(21): 62-65.
- [9] 阎蕾蕾, 刘林莉, 荆婵. 分级监控管理联合精细化护理在老年重症患者压力性损伤预防中的应用效果[J]. 河南医学研究, 2022, 31(20): 3812-3814.
- [10] 江小琼, 蔡福满, 侯祥庆, 等. 皮肤温度监测在压力性损伤风险预警中的应用研究[J]. 中华护理杂志, 2020, 55(1): 32-38.
- [11] 周妹, 陈红菊, 许广亮. 血流灌注指标与 Braden 量表预测在 ICU 患者压力性损伤预防中的应用[J]. 齐鲁护理杂志, 2020, 26(11): 126-128.
- [12] ROSS G, GEFEN A. Assessment of sub-epidermal moisture by direct measurement of tissue biocapacitance[J]. Med Eng Phys, 2019, 73: 92-99.
- [13] SMITH G. Improved clinical outcomes in pressure ulcer prevention using the SEM scanner[J]. J Wound Care, 2019, 28(5): 278-282.
- [14] KOHARA H T, IKEDA M, OKAWA M. Relationship between pressure ulcers in elderly people and physiological indices of the skin[J]. Acta Med Okayama, 2021, 75(5): 557-565.
- [15] LUCAS V S, BURK R S, CREEHAN S, et al. Utility of high-frequency ultrasound: Moving beyond the surface to detect changes in skin integrity[J]. Plast Surg Nurs, 2014, 34(1): 34-38.
- [16] 孙延玲, 李立新, 尹建. 超声早期诊断深部组织损伤及预测压疮预后应用[J]. 影像技术, 2020, 32(4): 53-55.
- [17] 刘琴芳, 李琳洁, 纪李慧, 等. 病房医护人员应用高频超声进行压疮管理的可行性研究[J]. 护理研究, 2019, 33(1): 166-169.
- [18] 刘欢, 丁乾容, 尹万红, 等. 床旁超声用于压力性损伤评估的研究进展[J]. 护理学杂志, 2022, 37(1): 95-99.
- [19] 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.
- [20] VEREDAS F J, LUQUE-BAENA R M, MARTIN-SANTOS F J, et al. Wound image evaluation with machine learning[J]. Neurocomputing, 2015, 164: 112-122.
- [21] HYUN S, MOFFATT-BRUCE S, COOPER C, et al. Prediction model for hospital-acquired pressure ulcer development: Retrospective cohort study[J]. JMIR Med Inform, 2019, 7(3): e13785.
- [22] KOTTNER J, CUDDIGAN J, CARVILLE K, et al. Prevention and treatment of pressure ulcers/injuries: The protocol for the second update of the international clinical practice guideline 2019[J]. J Tissue Viability, 2019, 28(2): 51-58.
- [23] 顾梦倩, 赵燕燕, 陈圣枝, 等. 2019 年版国际《压力性损伤的预防与治疗: 临床实践指南》解读[J]. 河北医科大学学报, 2021, 42(5): 497-500.
- [24] 罗晓花, 刘娟, 陈月梅, 等. II 期及以上压力性损伤患者创面恢复的影响因素分析及护理对策[J]. 齐鲁护理杂志, 2023, 29(2): 76-79.
- [25] 刘琴芳, 李琳洁, 纪李慧, 等. 病房医护人员应用高频超声进行压疮管理的可行性研究[J]. 护理研究, 2019, 33(1): 166-169.
- [26] 陈恋. 住院患者压力性损伤危险因素分析及风险预测模型构建研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2022.
- [27] 崔丽丽, 任震晴, 窦红梅, 等. 骨科俯卧位患者术中压力性损伤风险预测模型的构建[J]. 川北医学院学报, 2023, 38(2): 253-256.
- [28] 杨桃, 胡雯, 程懿, 等. 老年慢性阻塞性肺疾病患者入院营养标志物与压力性损伤的相关性研究[J]. 华西医学, 2023, 38(1): 28-33.
- [29] PITTMAN J, BEESON T, DILLON J, et al. Hospital-acquired pressure injuries and acute skin failure in critical care: A case-control study[J]. J Wound Ostomy Continence Nurs, 2021, 48(1): 20-30.
- [30] 于爽. 面向实例的分类性能评估与可信任分类器研究[D]. 长春: 吉林大学, 2021.
- [31] 荆晨晨, 孙淑青, 秦德春. 急性呼吸窘迫综合征患者早期风险预测模型的建立[J]. 中华护理杂志, 2020, 55(9): 1285-1291.
- [32] 谢文亮, 王淑芳, 李旭光, 等. ICU 患者肠内营养相关性腹泻风险预测模型的构建及验证[J]. 中华护理杂志, 2022, 57(19): 2324-2332.

(收稿日期: 2023-06-10 修回日期: 2023-08-22)