doi:10.11659/jjssx.08E025110

·心血管外科专栏·

基于DynNom动态评分构建心脏搭桥术后压力性损伤的风险预测模型

朱鑫玥,徐天宁,司林杰,徐文婷,耿丹丹 (南京医科大学第一附属医院心脏大血管外科监护,江苏 南京 210029)

[摘 要] **目的** 分析心脏搭桥术后压力性损伤的危险因素,建立心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型。**方法** 选取2021年2月至2024年12月我院收治的262例心脏搭桥术患者作为研究对象,根据心脏搭桥术后压力性损伤发生情况将其分为压力性损伤组和无压力性损伤组。比较2组患者的临床资料。采用*LASSO*分析筛选心脏搭桥术后压力性损伤的预测因素,采用*Logistic*回归模型筛选心脏搭桥术后压力性损伤的危险因素,采用R4.2.3软件建立心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型,并对心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型进行验证。**结果** 262例心脏搭桥术患者中,有73例(27.86%)发生压力性损伤。2组患者的体外循环、使用血管活性药物、手术时间、肾功能不全、糖尿病、肥胖等资料比较,差异均有统计学意义($P<0.05$)。*Logistic*回归分析结果显示,体外循环、使用血管活性药物、手术时间≥4 h、肾功能不全、糖尿病、肥胖均是心脏搭桥术后压力性损伤的危险因素($P<0.05$)。心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型的受试者工作特征曲线下面积是0.796(95%*CI*:0.738~0.854);*Hosmer-Lemeshow*检验结果显示$\chi^2=2.128$,$P=0.952$,校正曲线的预测值和实际值基本拟合;决策曲线分析显示阈值概率是5%~100%时,列线图对心脏搭桥术后压力性损伤的预测具有良好的获益值。**结论** 体外循环、使用血管活性药物、手术时间≥4 h、肾功能不全、糖尿病、肥胖均是心脏搭桥术后压力性损伤的危险因素,心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型准确性尚可。

[关键词] 心脏搭桥术;压力性损伤;危险因素;动态列线图模型
[中图分类号] R473.6 [文献标志码] A [收稿日期] 2025-08-28

Construction of a risk prediction model for pressure injuries after coronary artery bypass grafting based on DynNom dynamic score

ZHU Xin-yue, XU Tian-ning, SI Lin-jie, XU Wen-ting, GENG Dan-dan (Cardiovascular Surgery Intensive Care Unit, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing Jiangsu 210029, China)

Abstract: Objective To analyze the risk factors of pressure injuries after coronary artery bypass grafting and establish a nomogram model for pressure injuries after coronary artery bypass grafting. **Methods** A total of 262 patients who underwent coronary artery bypass grafting in our hospital from February 2021 to December 2024 were selected as the research subjects and they were divided into the pressure injury group and the non-pressure injury group based on the occurrence of pressure injuries after coronary artery bypass grafting. The clinical data of patients in the two groups were compared. *LASSO* analysis was used to screen the predictive factors of pressure injuries after coronary artery bypass grafting, *Logistic* regression model was used to screen the risk factors of pressure injuries after coronary artery bypass grafting. A nomogram model for pressure injuries after coronary artery bypass grafting was established by R4.2.3 software, and the nomogram model of pressure injuries after coronary artery bypass grafting was verified. **Results** Among 262 patients who underwent coronary artery bypass grafting, 73 cases (27.86%) developed pressure injuries. There were statistically significant differences in terms of cardiopulmonary bypass, use of vasoactive drugs, operation time, renal insufficiency, diabetes and obesity between the two groups ($P<0.05$). *Logistic* regression analysis showed that cardiopulmonary bypass, use of vasoactive drugs, operation time ≥ 4 hours, renal insufficiency, diabetes and obesity were the risk factors for pressure injuries after coronary artery bypass grafting ($P<0.05$). The *area under the receiver operating characteristic curve* of the nomogram model for pressure injuries after coronary artery bypass grafting was 0.796 (95%*CI*: 0.738 to 0.854); *Hosmer-Lemeshow* test results showed that $\chi^2=2.128$, $P=0.952$, and the predicted value and actual value of the calibration curve were basically fitted; the *decision curve analysis* showed that when the threshold probability was 5% to 100%, the nomogram had good benefit value for predicting pressure injuries after coronary artery bypass grafting. **Conclusion** Cardiopulmonary bypass, use of vasoactive drugs, operation time ≥ 4 hours, renal insufficiency, diabetes, and obesity are the risk factors for pressure injuries after coronary artery bypass grafting, and the nomogram model for pressure injuries after coronary artery bypass grafting has acceptable accuracy.

Keywords: coronary artery bypass grafting; pressure injury; risk factors; dynamic nomogram model

[基金项目] 国家自然科学基金(82202402);中国社会福利基金会护爱基金(HLCXKT-20230180)
[通信作者] 耿丹丹,E-mail:gengdandan1988@126.com

心脏搭桥术是指当一条或多条冠状动脉严重阻塞时,通过使用人工血管或自身血管绕过狭窄或阻塞的冠状动脉,恢复心肌的血液供应,该手术是目前临床公认的治疗冠心病最有效的方法[1-2]。然而心脏搭桥术属于有创手术,需要全身麻醉和开胸,术后常会发生压力性损伤,表现为局部软组织或皮肤损伤,不仅会影响患者的术后康复进程,还会增加医务人员的工作量和患者的医疗负担[3-4]。目前临床对心脏搭桥术后压力性损伤的风险评估多依赖传统量表,但其存在静态化、个体化适配不足等问题,难以实时动态反映患者病情变化。DynNom动态评分即动态列线图模型,是基于R软件DynNom包开发的动态评估工具,通过整合多维度危险因素,将复杂统计模型转化为可交互的动态列线图,支持临床医护人员根据患者实时临床数据调整参数,快速获取个体化风险预测结果,解决了传统静态模型灵活性不足的缺陷。目前针对心脏搭桥术后压力性损伤的专项预测模型较少,且尚未有研究将动态列线图模型应用于该场景。因此,本研究拟建立心脏搭桥术后压力性损伤的动态列线图模型,以期为临床提供可靠的预测工具,为心脏搭桥术后压力性损伤的预防提供一定参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取2021年2月至2024年12月我院收治的262例心脏搭桥术患者作为研究对象。纳入标准:年龄≥18岁;首次行心脏搭桥术,且顺利完成手术;美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists,ASA)分级Ⅲ~Ⅳ级。排除标准:伴有认知障碍、精神疾病或恶性肿瘤;处于哺乳期或妊娠期;出院1个月内死亡;有心脏手术史;患有烧伤或皮肤病等皮肤损害;术前压力性损伤。本研究经我院伦理委员会审核批准(批准号:2020-SR-157),家属或患者均签署对本研究的知情同意书。

1.2 压力性损伤的判断

参考2016年美国国家压疮咨询委员会压力性损伤管理指南[5]对压力性损伤进行判断。根据心脏搭桥术后压力性损伤发生情况,将纳入的患者分为压力性损伤组和无压力性损伤组。

1.3 资料收集

收集患者的临床资料,包括年龄、性别、体外循环、ASA分级、使用血管活性药物、手术时间、营养不良、肾功能不全、高血压、糖尿病、肥胖(体质量指数≥28.0 kg/m^2)、吸烟史、饮酒史等。以营养风险筛查表2002评估营养状况,分值为0~7分,分值≥3分则为营养不良。

1.4 统计学方法

以SPSS 24.0软件分析数据,选择χ^2检验比较分类变量。采用*LASSO*分析筛选心脏搭桥术后压力性损伤的预测因素,采用*Logistic*回归模型筛选心脏搭桥术后压力性损伤的危险因素,P<0.05为差异有统计学意义。采用R4.2.3软件建立心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型。以Bootstrap法对心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型进行内部验证。采用受试者工作特征(*receiver operating characteristic*,*ROC*)曲线、校正曲线和决策曲线分析评价心脏搭桥术后压力性损伤列线图模型的预测性能。

2 结果

2.1 2组患者临床资料比较

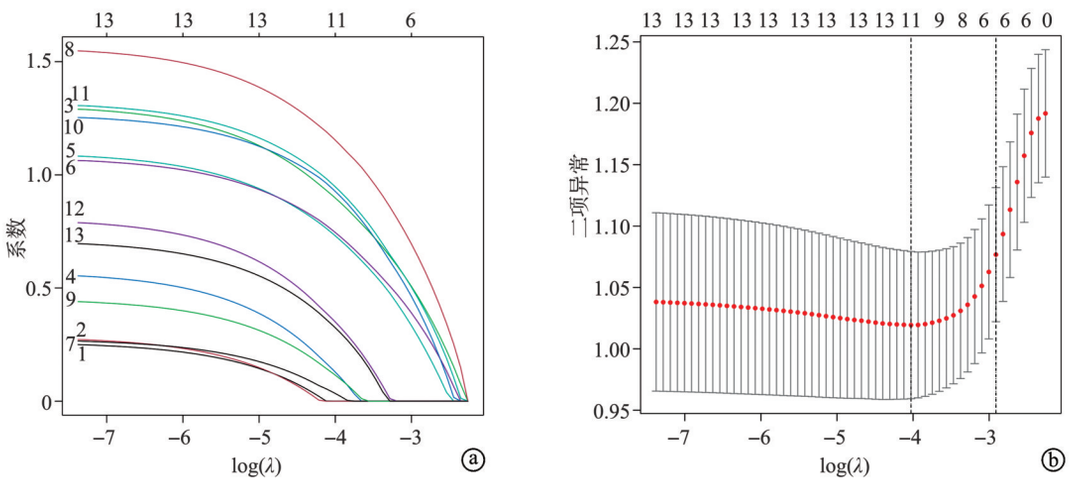
262例心脏搭桥术患者中,有73例发生压力性损伤,发生率为27.86%。2组患者的年龄、性别、ASA分级、营养不良、高血压、吸烟史、饮酒史等资料比较,差异均无统计学意义(P>0.05),而2组患者的体外循环、使用血管活性药物、手术时间、肾功能不全、糖尿病、肥胖等资料比较,差异均有统计学意义(P<0.05),见表1。

表1 2组患者临床资料比较[例(%)]

项目		压力性损伤组(n=73)	无压力性损伤组(n=189)	χ^2	P
年龄	≥60岁	21(28.77)	43(22.75)	1.032	0.310
	<60岁	52(71.23)	146(77.25)		
性别	男	34(46.58)	77(40.74)	0.734	0.392
	女	39(53.42)	112(59.26)		
体外循环	是	34(46.58)	44(23.28)	13.668	<0.001
	否	39(53.42)	145(76.72)		
ASA分级	Ⅲ级	14(19.18)	28(14.81)	0.745	0.388
	Ⅳ级	59(80.82)	161(85.19)		
使用血管活性药物	是	54(73.97)	101(53.44)	9.190	0.002
	否	19(26.03)	88(46.56)		
手术时间	≥4 h	38(52.05)	56(29.63)	11.511	0.001
	<4 h	35(47.95)	133(70.37)		
营养不良	是	25(34.25)	54(28.57)	0.805	0.370
	否	48(65.75)	135(71.43)		
肾功能不全	是	15(20.55)	10(5.29)	14.201	<0.001
	否	58(79.45)	179(94.71)		
高血压	是	19(26.03)	37(19.58)	1.304	0.254
	否	54(73.97)	152(80.42)		
糖尿病	是	22(30.14)	25(13.23)	10.228	0.001
	否	51(69.86)	164(86.77)		
肥胖	是	20(27.40)	19(10.05)	12.504	<0.001
	否	53(72.60)	170(89.95)		
吸烟史	有	17(23.29)	32(16.93)	1.399	0.237
	无	56(76.71)	157(83.07)		
饮酒史	有	14(19.18)	25(13.23)	1.472	0.225
	无	59(80.82)	164(86.77)		

2.2 心脏搭桥术后压力性损伤的预测因素筛选

LASSO 回归分析结果显示,体外循环、ASA分级、使用血管活性药物、手术时间、营养不良、肾功能不全、高血压、糖尿病、肥胖、吸烟史、饮酒史是系数不为零的预测因素,经过十折交叉验证后,保留体外循环、使用血管活性药物、手术时间、肾功能不全、糖尿病、肥胖等6个变量进入模型,见图1。



a:系数分布图,每个变量均对应一条曲线,随着λ值的增大,曲线代表的变量系数变化轨迹也出现相应变化,模型的压缩程度增大,进入模型的变量个数减少;b:十折交叉验证图,根据十折交叉验证法筛选λ值,在λ.1se=0.050时获得具备优良性能且是自变量个数最少的模型,最终保留体外循环、使用血管活性药物、手术时间、肾功能不全、糖尿病、肥胖等6个变量进入模型

图1 *LASSO* 回归分析结果

2.3 心脏搭桥术后压力性损伤的危险因素

以心脏搭桥术后压力性损伤为因变量,以体外循环、使用血管活性药物、手术时间、肾功能不全、糖尿病、肥胖为自变量进行 *Logistic* 回归分析,赋值见表2。结果显示,体外循环、使用血管活性药物、手术时间≥4 h、肾功能不全、糖尿病、肥胖均是心脏搭桥术后压力性损伤的危险因素(P<0.05),见表3。

表2 变量赋值表

变量	赋值方式
压力性损伤	无压力性损伤组=0,压力性损伤组=1
体外循环	否=0,是=1
使用血管活性药物	否=0,是=1
手术时间	<4 h=0,≥4 h=1
肾功能不全	否=0,是=1
糖尿病	否=0,是=1
肥胖	否=0,是=1

表3 心脏搭桥术后压力性损伤的 *Logistic* 回归分析

因素	回归系数	*SE*	Wald χ^2	*P*	*OR*	95%*CI*	
						下限	上限
体外循环	1.192	0.337	12.551	<0.001	3.295	1.704	6.373
使用血管活性药物	1.070	0.351	9.299	0.002	2.916	1.466	5.800
手术时间	0.980	0.323	9.194	0.002	2.665	1.414	5.020
肾功能不全	1.515	0.480	9.949	0.002	4.551	1.775	11.667
糖尿病	1.208	0.383	9.939	0.002	3.345	1.579	7.087
肥胖	1.201	0.406	8.754	0.003	3.324	1.500	7.366

2.4 心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型

构建心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型(图2),总分为0~400分,对应心脏搭桥术后压力性损伤的概率是0.05~0.95,并构建了心脏搭桥术后压力性损伤的动态列线图模型(https://cooldongtai.shinyapps.io/dynnomapp-1/),见图3。心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型的 *ROC* 曲线下面积(*area under the curve*, *AUC*)是0.796(95%*CI*:0.738~0.854),见图4;*Hosmer-Lemeshow* 检验结果显示 χ^2=2.128,P=0.952,校正曲线的预测概率和实际概率基本拟合,见图5;决策曲线分析显示阈值概率为5%~100%时,列线图模型对心脏搭桥术后压力性损伤的预测具有良好的获益值,见图6。

3 讨论

心脏搭桥术是治疗冠心病的有效方法,能够恢复心肌的血液供应,提高患者的长期生存率,改善生活质量[6-7]。压力性损伤为心脏搭桥术后常见的并发症,会增加感染风险,延长住院时间,影响伤口愈合,增加医疗费用等[8-9]。本研究262例心脏搭桥术患者中,有73例患者发生压力性损伤,发生率为27.86%;压力性损伤组与无压力性损伤组患者的年龄、性别、ASA分级、营养不良、高血压、吸烟史、饮酒史等资料比较,差异均无统计学意义,而2组患者的体外循环、使用血管活性药物、手术时间、肾功能不全、糖尿病、肥胖等资料比较,差异均有统计学意义,提示体外循环、使用血

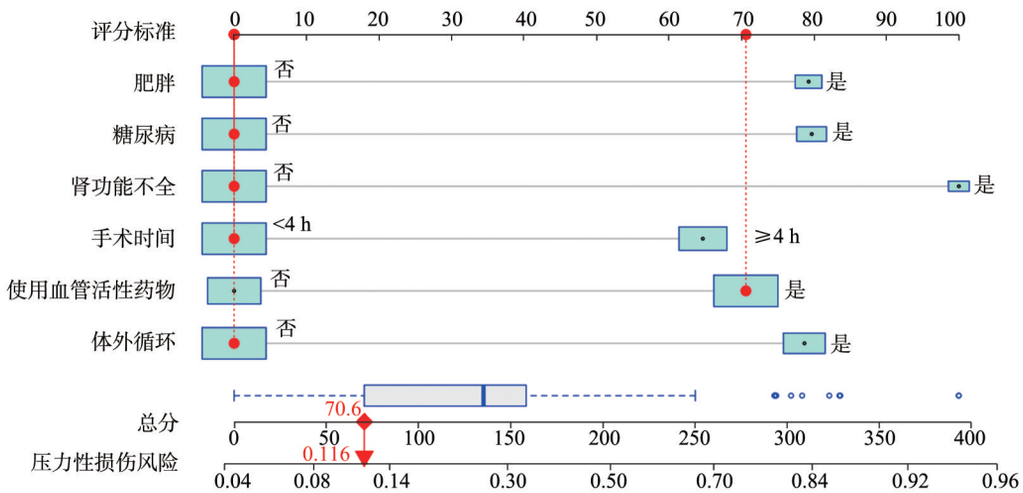


图2 心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型

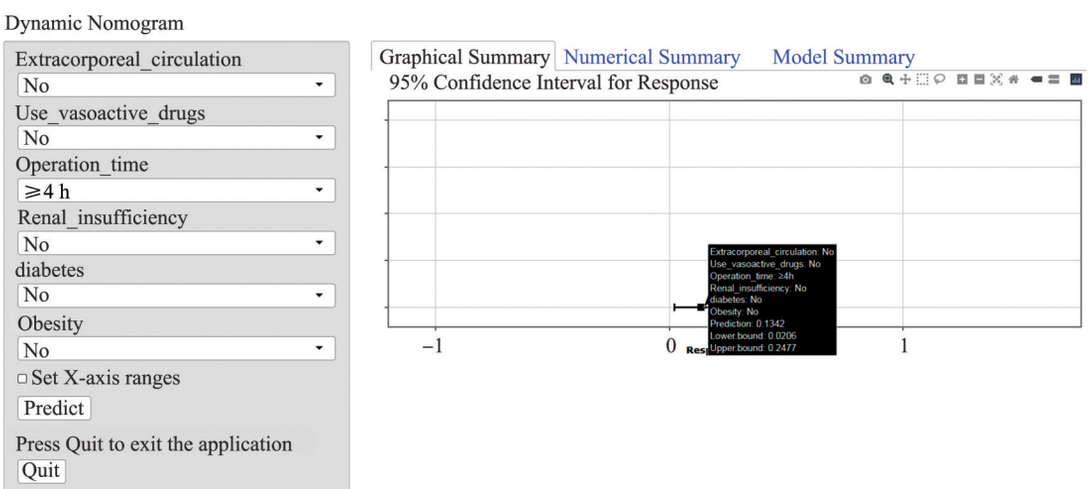


图3 心脏搭桥术后压力性损伤的动态列线图模型

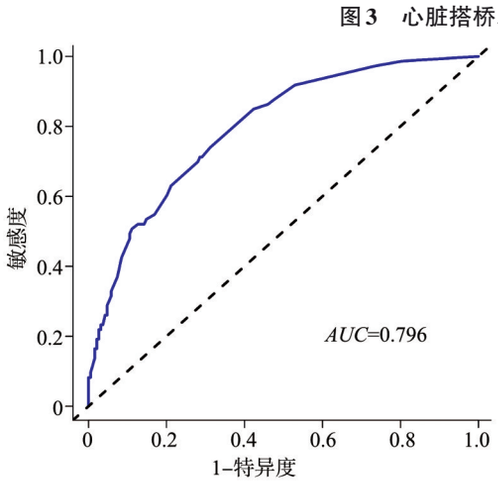


图4 心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型的*ROC*曲线

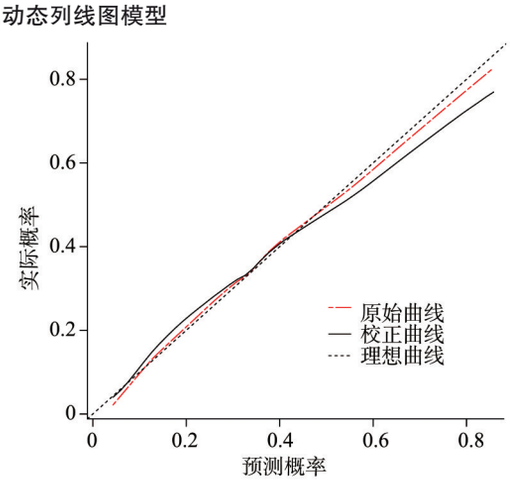


图5 心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型的校正曲线

管活性药物、手术时间、肾功能不全、糖尿病、肥胖可能与心脏搭桥术后压力性损伤有关。进一步多因素*Logistic*回归分析结果显示,体外循环、使用血管活性药物、手术时间≥4 h、肾功能不全、糖尿病、肥胖均是心脏搭桥术后压力性损伤的危险因素。

分析其原因为:体外循环期间,患者体温通常会降低,以保护器官和降低代谢需求,而低体温会导致血管收缩,使得局部血流减少,导致组织缺氧和缺血,影响皮肤的修复能力和正常代谢,进而引发压力性损伤[10]。在使用血管活性药物方面,陈慧慧等[11]指出,使

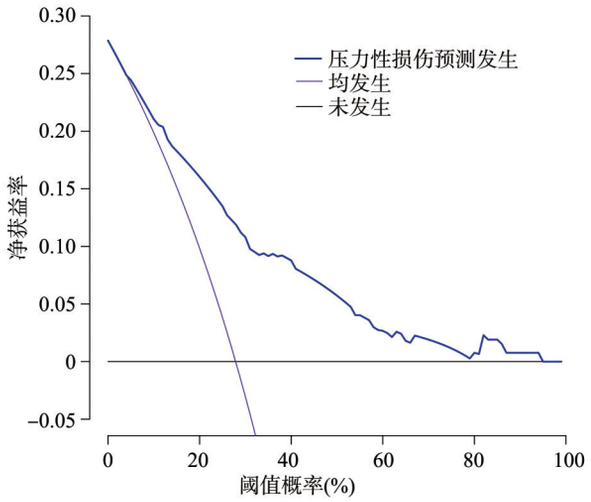


图6　心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型的决策曲线分析

用血管活性药物可增加心脏瓣膜置换术后压力性损伤的发生风险，本研究结果与之相似。这是因为血管活性药物通过调节血管舒张和收缩来控制血压，血压波动可能会导致血流灌注不稳定，进而导致皮肤更加容易因摩擦和压力出现损伤。对于手术时间≥4 h的患者，长时间处于固定体位，会导致组织局部血液循环减少，组织缺氧和缺血，皮肤更容易受到摩擦和压力的影响，进而导致压力性损伤[12]。而肾功能不全会导致毒素和炎症介质积累，毛细血管的通透性增加，液体渗出到组织间隙，引起水肿，导致局部血流减少，从而导致压力性损伤。对于合并糖尿病的患者，糖尿病会导致内皮细胞功能障碍和毛细血管基底膜增厚，影响微血管的正常功能，减少皮肤和皮下组织的血流，从而增加压力性损伤的风险。对于肥胖患者，其脂肪组织较多，会压迫血管，影响血液流动，减少局部组织的血液供应，影响皮肤的修复能力和正常代谢，进而引发压力性损伤。

本研究构建了心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型，该模型的*ROC*曲线下面积是0.796(95%*CI*：0.738~0.854)，*Hosmer-Lemeshow*检验结果显示χ^2=2.128，*P*=0.952，校正曲线的预测概率和实际概率基本拟合，提示心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型的准确性尚可；决策曲线分析显示阈值概率是5%~100%时，列线图模型对心脏搭桥术后压力性损伤的预测具有良好的获益值，提示心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型的临床适用性尚可。并且本研究构建了心脏搭桥术后压力性损伤的动态列线图模型，医护人员可根据患者病情变化实时调整输入参数，动态更新风险评估结果，避免一次评估定终身的局限，而且动态界面通过图形化展示风险概率，不需要复杂计算，基层医护人员容易掌握。

医务人员可结合心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型制定相关的干预策略：①针对体外循环患者，术前保持皮肤适度湿润和干净整洁，避免使用刺激性清洁剂，使用保温毯等保温设备维持患者体温，避免低体温引起的微循环障碍和血管收缩。②针对使用血管活性药物的患者，及时调整血管活性药物的种类和剂量，避免血压剧烈波动。③针对手术时间≥4 h的患者，术中注意体位摆放，使用凝胶垫或减压垫等减压设备，避免局部组织长期受压。④针对肾功能不全患者，及时纠正肾功能不全，合理控制血容量和液体潴留，避免过度液体负荷和脱水。⑤针对糖尿病患者，合理控制血糖，避免高血糖对微循环和皮肤的影响。⑥针对肥胖患者，适度运动和调整饮食，适当减轻体重，注意皮肤褶皱部位的管理，保持皮肤的干净整洁。

综上所述，体外循环、使用血管活性药物、手术时间≥4 h、肾功能不全、糖尿病、肥胖均是心脏搭桥术后压力性损伤的危险因素，列线图模型有助于预测心脏搭桥术后压力性损伤的发生风险。但本研究是单中心回顾性研究，未进行外部验证，结果可能存在一定偏倚，因此，有待今后纳入更多的病例，进行多中心的研究，以进一步评估心脏搭桥术后压力性损伤的列线图模型的稳定性。

[参考文献]

[1] Gökçe E, Alptekin D, Gezer D, et al. Outcomes of incentive spirometry for patients undergoing coronary artery bypass surgery: a randomised controlled trial [J]. Int J Nurs Pract, 2025, 31(2): e70011. doi: 10.1111/ijn.70011.

[2] Ishrat M, Zaidi S. Postoperative posterior reversible encephalopathy syndrome after coronary artery bypass surgery [J]. J Coll Physicians Surg Pak, 2023, 33(12): 1467-1468. doi: 10.29271/jcpsp.2023.12.1467.

[3] Fähndrich C, Gemperli A, Baumberger M, et al. Risk factors of major complications after flap surgery in the treatment of stage Ⅲ and Ⅳ pressure injury in people with spinal cord injury/disorder: a retrospective cohort study [J]. Spinal Cord, 2024, 62(1): 34-41. doi: 10.1038/s41393-023-00944-9.

[4] Sahay A, Willis E, Yu S. Pressure injury education for older adults and carers living in community settings: a scoping review [J]. Int Wound J, 2024, 21(5): e14894. doi: 10.1111/iwj.14894.

[5] 褚万立，郝岱峰. 美国国家压疮咨询委员会2016年压力性损伤的定义和分期解读[J]. 中华损伤与修复杂志(电子版)，2018，13(1)：64-68. doi：10.3877/cma.j.issn.1673-9450.2018.01.014.

[6] Taner T, Pala AA, Camci S, et al. The value of atrial electromechanical delay in predicting atrial fibrillation development after coronary artery bypass surgery [J]. Echocardiography, 2022, 39(1): 28-36. doi: 10.1111/echo.15237.