

· 论 著 ·

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2023.15.002

网络首发 <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/50.1097.r.20230506.1707.008.html>(2023-05-06)

非心脏大血管手术术后心力衰竭危险因素分析及 预测模型的构建^{*}

朱易紫婷¹, 易 斌², 魏 珂^{1△}

(1. 重庆医科大学附属第一医院麻醉科, 重庆 400016; 2. 陆军军医大学第一附属医院手术麻醉科, 重庆 400038)

[摘要] **目的** 分析非心脏大血管手术患者发生术后心力衰竭(PHF)的危险因素,并构建预测模型,为临床识别 PHF 风险提供工具。**方法** 从 4 家医院构建的数据库选择行非心脏大血管手术的患者,收集患者人口学特征、基线信息、术前合并症、实验室指标、美国麻醉医师协会(ASA)分级、手术类型及手术时长等变量,以是否发生 PHF 为结局指标,利用单因素及多因素 logistic 回归进行危险因素分析,筛选变量构建预测模型并生成可视化列线图,使用受试者工作特征曲线下面积(AUC)评价模型区分度,使用校准曲线评价模型校准度,并使用 Bootstrap 进行内部验证。**结果** 研究最终纳入 2 354 例患者,PHF 发生率为 2.63%。在多因素 logistic 回归中,年龄增加、手术时间延长、合并缺血性心脏病(IHD)、瓣膜性心脏病(VHD)、慢性阻塞性肺疾病(COPD)、天门冬氨酸氨基转移酶(AST)升高、肌酐(Cr)升高、白细胞计数(WBC)升高为非心脏大血管手术患者 PHF 的危险因素,差异有统计学意义($P < 0.05$)。构建的列线图预测模型 AUC 为 0.924(95%CI:0.905~0.944)。**结论** 年龄增加、术前存在合并症、AST 升高、Cr 升高、WBC 升高及手术时间长会增加非心脏大血管手术患者发生 PHF 的风险,利用列线图进行预测能够在术前识别 PHF 风险,进而辅助医生进行决策。

[关键词] 非心脏大血管手术;术后心力衰竭;危险因素识别;预测模型;列线图**[中图法分类号]** R541.6**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2023)15-2247-08

Analysis of risk factors and nomogram prediction model for postoperative heart failure after non-cardiovascular surgery^{*}

ZHU Yiziting¹, YI Bin², WEI Ke^{1△}

[1. Department of Anesthesiology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China; 2. Department of Anesthesiology, First Affiliated Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing 400038, China]

[Abstract] **Objective** To analyze the risk factors for postoperative heart failure (PHF) in patients undergoing non-cardiovascular surgery, and to construct a nomogram prediction model that can serve as a tool for identifying the risk of PHF in a clinical setting. **Methods** Patients undergoing non-cardiovascular surgery were selected from the database constructed in four hospitals based on the inclusion and exclusion criteria. Variables such as patient demographic characteristics, baseline information, preoperative comorbidities, laboratory indicators, ASA classification, type of operation, and duration of the operation were collected. Taking PHF as the outcome measure, the risk factors were analyzed using univariate and multivariate logistic regression. Variables were then screened to construct a prediction model which finally generated a visual nomogram. Model discrimination was evaluated using the area under the receiver operating characteristic curve (AUC). Model calibration was evaluated using calibration curves. The designed model was internally validated using bootstrap resampling. **Results** A total of 2 354 patients were included in the study, and the incidence of PHF was 2.63%. In multivariate logistic regression, several factors were found to be risk factors for postoperative heart failure in patients undergoing non-cardiovascular surgery. These factors included increased age, prolonged operation time, combined ischemic heart disease (IHD), valvular heart disease (VHD), chronic obstr-

^{*} 基金项目:国家重点研发计划课题(2018YFC0116702)。 作者简介:朱易紫婷(1996—),住院医师,硕士,主要从事机器学习应用于围术期医学相关研究。 △ 通信作者, E-mail: wk202448@hospital-cqmu.com。

active pulmonary disease (COPD), increased aspartate aminotransferase (AST), increased creatinine (Cr), and an increase in white blood cell count (WBC). The differences in these factors were statistically significant ($P < 0.05$). The AUC of the constructed nomogram prediction model was 0.924 (95% CI: 0.905–0.944).

Conclusion Elevated age, preoperative comorbidities, elevated AST, elevated Cr, elevated WBC, and long operation time increase the risk of PHF in patients undergoing non-cardiovascular surgery. Prediction using a nomogram can identify the risk of PHF before surgery and assist doctors in decision-making.

[Key words] noncardiovascular surgery; postoperative heart failure; risk factor identification; prediction model; nomogram

在世界范围内,每年有超过 2 亿成年人接受非心脏手术(NCS),NCS 的平均总并发症发生率为 7%~11%,死亡率为 0.8%~1.5%^[1]。其中高达 42% 的死亡是由心脏并发症引起的^[2]。关于围手术期心脏事件发生率,主要心脏不良事件在无特殊疾病限制人群中发生率为 2%,在高危人群中发生率可高达 34%^[3-4]。对于 NCS,心脏不良事件是造成患者不良预后的重要原因,有研究表明术后发生心脏并发症会延长手术患者的住院时间,增加死亡率^[5-9],因此,在 NCS 术前评估心脏不良事件的风险是非常重要的。出现术后心脏并发症的危险因素包括年龄、缺血性心脏病(ischemic heart disease, IHD)史、高血压病史、瓣膜性心脏病(valvular heart disease, VHD)、心律失常、术前贫血、手术类型等^[4, 10-13]。分类系统和风险评分可以帮助估计风险,目前已有术前心脏风险评分被广泛应用,包括修正心脏危险指数(RCRI)评分^[4],美国外科医师学会国家手术质量改进计划(NSQIP)心肌梗死和心脏骤停(MICA)指数计算器^[14],美国外科医师学院(ACS) NSQIP 外科风险计算器^[15]。但这些评分存在一定的局限性,因缺乏鉴别能力或者需借助计算器而不方便应用于术前快速评估,最终预测结果多为通过评分进行分层,缺乏预测模型进行概率计算。目前存在的预测模型则多研究围手术期主要不良心脏事件集合的发生,其中包括术后心肌梗死、心力衰竭、心律失常等^[16-17],对于单一并发症的危险因素分析及预测尚缺乏,而临床对于并发症的预防及处理需要准确识别其类型。心力衰竭作为心脏并发症之一,与患者基础疾病、手术类型、实验室检查指标相关,术前进行风险预测,可在围手术期识别和治疗该不良事件,改善患者术后康复。

本研究旨在识别非心脏大血管手术发生后心力衰竭(postoperative heart failure, PHF)的危险因素,以及构建预测模型并生成可视化列线图,从而辅助临床医生在术前筛查 PHF 高危患者,从而实施心脏保护策略最小化并发症。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究数据来源于陆军军医大学第一附属医院、首都医科大学宣武医院、四川大学华西医院、中山大学附属第一医院构建的数据库(数据库纳入 2019 年 1 月至 2020 年 1 月手术患者资料)。本研究为回顾性研究,数据收集及分析不涉及患者隐私及个人身份,对患者没有任何潜在伤害,无须知情同意书,已获中国人民解放军军医大学第一附属医院伦理委员会批准通过(KY201936)。本研究已在中国临床试验注册中心网站完成注册(注册号:ChiCTR1900023927)。

1.2 纳入排除标准

纳入标准:(1)年龄 ≥ 18 岁;(2)接受非心脏大血管手术;(3)美国麻醉医师协会(ASA)分级 1~4 级。排除标准:(1)术前合并急性或慢性心力衰竭;(2)缺失数据;(3)术中发生急性心力衰竭、心脏停搏等抢救事件。

1.3 方法

在以往研究的基础上,从数据库中提取潜在的相关变量进行分析,包括人口统计学信息、病史和实验室检查,具体为:性别、年龄、ASA 分级、体重指数(BMI)、术前心率、术前合并症[高血压、IHD、VHD、心律失常、慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)、哮喘、脑血管疾病、糖尿病]、白细胞计数(white blood cell count, WBC)、血红蛋白(hemoglobin, Hb)、血小板计数(platelet, PLT)、白蛋白(albumin, Alb)、天门冬氨酸氨基转移酶(aspartic transaminase, AST)、丙氨酸氨基转移酶(alanine aminotransferase, ALT)、血钾、肌酐(creatinine, Cr)、手术时间、手术类型(胸腔手术、腹部手术、泌尿外科手术、妇产科手术、神经外科手术、骨科手术、主动脉以外血管手术、脊柱手术、耳鼻喉科手术、甲乳外科手术、烧伤整形科手术、其他科室包括口腔和眼科等)。选择是否发生 PHF 事件为结局指标。PHF 定义为术后新发心力衰竭,来自数据库中的术后诊断。

1.4 统计学处理

采用 SPSS25.0 及 R4.2.1 进行统计分析,用 $\bar{x} \pm s$ 表达正态分布的定量资料,用 $M(IQR)$ 表达呈偏态分布的定量资料,计数资料使用例数(百分比)表示。使用单因素及多因素 logistic 回归对危险因素进

行分析,构建预测模型并生成列线图,通过计算受试者工作特征(ROC)曲线下面积(AUC)评价模型区分度,使用校准曲线评价列线图的校准度,利用 Bootstrap(重复抽样 1 000 次)进行内部验证。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 研究人群特征和 PHF 的危险因素

根据纳入排除标准,本文最终纳入 2 354 例患者,PHF 发生率为 2.63%(62/2 354)。在单因素 logistic 回归分析中,年龄、手术时间及心率的增加,术前合并高血压、IHD、VHD、心律失常、COPD、脑血管疾病、糖尿病,术前 AST、Cr、WBC 及 ASA 的升高,行腹部手术及主动脉以外血管手术会增加 PHF 的风险($OR > 1, P < 0.05$)。Alb、Hb 及 PLT 升高能降低 PHF 的风险($OR < 1, P < 0.05$),见表 1。

2.2 PHF 的多因素分析

对单因素 logistic 回归所筛选出来的 19 个指标进行多因素分析,结果见表 2。在多因素 logistic 回归

分析中,年龄($OR = 1.040, 95\%CI: 1.009 \sim 1.072$)、手术时间($OR = 1.630, 95\%CI: 1.106 \sim 2.402$)、IHD($OR = 3.515, 95\%CI: 1.496 \sim 8.262$)、VHD($OR = 3.668, 95\%CI: 1.260 \sim 10.676$)、COPD($OR = 6.106, 95\%CI: 1.576 \sim 23.650$)、AST($OR = 1.006, 95\%CI: 1.001 \sim 1.012$)、Cr($OR = 1.014, 95\%CI: 1.008 \sim 1.021$)、WBC($OR = 1.114, 95\%CI: 1.039 \sim 1.195$)是 PHF 的影响因素($P < 0.05$)。Hb 差异无统计学意义($P > 0.05$),对结局的影响处于临界值($OR = 0.986, 95\%CI: 0.972 \sim 1.001$),见表 2。

2.3 列线图预测

结合多因素 logistic 回归结果及临床实际,纳入年龄、手术时间、IHD、VHD、COPD、AST、Cr、WBC、Hb 构建模型并生成列线图,见图 1。

2.4 模型评价

构建的预测模型 AUC 为 0.924(95%CI: 0.905~0.944),见图 2。使用 Bootstrap 内部验证 AUC 为 0.907,该模型校准曲线见图 3。

表 1 人群特征及 PHF 的单因素 logistic 分析

项目	术后心力衰竭		OR(95%CI)	P
	否($n=2\ 292$)	是($n=62$)		
性别[$n(\%)$]			0.790(0.471~1.326)	0.373
男	1 274(55.6)	38(61.3)		
女	1 018(44.4)	24(38.7)		
年龄($\bar{x} \pm s$,岁)	57.07 $\pm$ 16.64	72.31 $\pm$ 11.23	1.081(1.507~1.106)	<0.001
手术时间[$n(\%)$]			1.597(1.174~2.173)	0.003
<2 h	972(42.1)	17(27.4)		
2~4 h	683(29.8)	17(27.4)		
>4 h	637(27.8)	28(45.2)		
BMI($\bar{x} \pm s$,kg/m ²)	22.99 $\pm$ 3.41	22.59 $\pm$ 3.00	0.965(0.895~1.041)	0.362
心率($\bar{x} \pm s$,次/min)	69.30 $\pm$ 15.94	79.21 $\pm$ 16.65	1.032(1.019~1.046)	<0.001
高血压[$n(\%)$]			5.472(3.277~9.136)	<0.001
否	1 853(80.8)	17(43.5)		
是	439(19.2)	35(56.5)		
IHD[$n(\%)$]			5.846(2.857~11.959)	<0.001
否	2 219(96.8)	52(83.9)		
是	73(3.2)	10(16.1)		
VHD[$n(\%)$]			7.567(3.042~18.824)	<0.001
否	2 260(98.6)	56(90.3)		
是	32(1.4)	6(9.7)		
心律失常[$n(\%)$]			3.607(1.253~10.382)	0.017
否	2 249(98.1)	58(93.5)		
是	43(1.9)	4(6.5)		
COPD[$n(\%)$]			15.378(5.305~44.580)	<0.001

续表 1 人群特征及 PHF 的单因素 logistic 分析

项目	术后心力衰竭		OR(95%CI)	P
	否	是		
否	2 279(99.4)	57(91.9)	1.122(0.151~8.339)	0.910
是	13(0.6)	5(8.1)		
哮喘[n(%)]				
否	2 259(98.6)	61(98.4)	3.786(1.313~10.921)	0.014
是	33(1.4)	1(1.6)		
脑血管疾病[n(%)]				
否	2 251(98.2)	58(93.5)	2.341(1.169~4.687)	0.016
是	41(1.8)	4(6.5)		
糖尿病[n(%)]				
否	2 118(92.4)	52(83.9)	0.936(0.896~0.978)	0.003
是	174(7.6)	10(16.1)		
Alb($\bar{x}\pm s$,g/L)	39.29 $\pm$ 4.92	37.44 $\pm$ 4.94	1.006(1.003~1.010)	0.001
AST(IU/L)	19.00(15.00)	20.00(18.25)	1.004(1.000~1.008)	0.057
ALT(IU/L)	20.00(10.00)	16.00(21.50)	0.955(0.491~1.858)	0.893
血钾($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	4.02 $\pm$ 0.38	4.01 $\pm$ 0.44	1.024(1.018~1.029)	<0.001
Cr[M(IQR), μ mol/L]	5.30(4.60)	74.50(42.00)	1.095(1.037~1.157)	0.001
WBC($\bar{x}\pm s$, $\times 10^9$ /L)	6.70 $\pm$ 2.77	7.93 $\pm$ 3.93	0.974(0.963~0.985)	<0.001
Hb($\bar{x}\pm s$,g/L)	129.25 $\pm$ 20.10	116.70 $\pm$ 22.37	0.995(0.991~0.998)	0.004
PLT($\bar{x}\pm s$, $\times 10^9$ /L)	231.59 $\pm$ 85.64	201.74 $\pm$ 74.45	3.900(2.687~5.660)	<0.001
ASA[n(%)]				
I	317(13.8)	0	0.532(0.192~1.477)	0.226
II	1 437(62.7)	23(37.1)		
III	503(22.0)	33(53.2)		
IV	35(1.5)	6(9.7)		
胸腔手术[n(%)]				
否	2 029(88.5)	58(93.5)	2.026(1.216~3.375)	0.007
是	263(11.5)	4(6.5)		
腹部手术[n(%)]				
否	1 660(72.4)	35(56.5)	0.646(0.276~1.512)	0.314
是	632(27.6)	27(43.5)		
泌尿外科手术[n(%)]				
否	1 966(85.8)	56(90.3)	0.006(1.096 $\times 10^{-25}$ ~3.782 $\times 10^{20}$)	0.850
是	326(14.2)	6(9.7)		
妇产科手术[n(%)]				
否	2 284(99.7)	62(100)	0.615(0.245~1.548)	0.302
是	8(0.3)	0		
神经外科手术[n(%)]				
否	2 006(87.5)	57(91.9)	1.820(0.957~3.462)	0.068
是	286(12.5)	5(8.1)		
骨科手术[n(%)]				
否	2 025(88.4)	50(80.6)		
是	267(11.6)	12(19.4)		

续表 1 人群特征及 PHF 的单因素 logistic 分析

项目	术后心力衰竭		OR (95%CI)	P
	否	是		
主动脉以外血管手术[n(%)]			3.481(1.038~11.671)	0.043
否	2 259(98.6)	59(95.2)		
是	33(1.4)	3(4.8)		
脊柱手术[n(%)]			1.036(0.371~2.895)	0.946
否	2 149(93.8)	58(93.5)		
是	143(6.2)	4(6.5)		
耳鼻喉科[n(%)]			0.006(2.938×10 ⁻²⁷ ~1.412×10 ²²)	0.860
否	2 285(99.7)	62(100)		
是	7(0.3)	0		
甲乳外科手术[n(%)]			0.000 2(1.469×10 ⁻²² ~5.589×10 ¹⁴)	0.704
否	2 043(89.1)	62(100)		
是	249(10.9)	0		
烧伤整形[n(%)]			0.610(0.083~4.473)	0.627
否	2 232(97.4)	61(98.4)		
是	60(2.6)	1(1.6)		
其他科室[n(%)]			0.002(2.222×10 ⁻²⁸ ~2.502×10 ²²)	0.837
否	2 274(99.2)	62(100)		
是	18(0.8)	0		

表 2 PHF 的多因素 logistic 回归

项目	B	SE	Wald	P	OR (95%CI)
年龄	0.039	0.016	6.432	0.011	1.040(1.009~1.072)
手术时间	0.489	0.198	6.106	0.013	1.630(1.106~2.402)
心率	0.005	0.009	0.269	0.604	1.005(0.987~1.024)
高血压	0.578	0.323	3.210	0.073	1.783(0.947~3.357)
IHD	1.257	0.436	8.315	0.004	3.515(1.496~8.262)
VHD	1.300	0.545	5.686	0.017	3.668(1.260~10.676)
心律失常	-0.679	0.752	0.815	0.367	0.507(0.116~2.216)
COPD	1.809	0.691	6.858	0.009	6.106(1.576~23.650)
脑血管疾病	0.727	0.654	1.234	0.267	2.069(0.574~7.459)
糖尿病	0.125	0.413	0.091	0.762	1.133(0.504~2.548)
Alb	-0.004	0.031	0.019	0.889	0.996(0.937~1.058)
AST	0.006	0.003	4.966	0.026	1.006(1.001~1.012)
Cr	0.014	0.003	21.515	<0.001	1.014(1.008~1.021)
WBC	0.108	0.036	9.292	0.002	1.114(1.039~1.195)
Hb	-0.014	0.007	3.515	0.061	0.986(0.972~1.001)
PLT	-0.002	0.002	1.630	0.202	0.998(0.994~1.001)
ASA	-0.173	0.308	0.316	0.574	0.841(0.459~1.539)
腹部手术	0.097	0.318	0.093	0.761	1.102(0.591~2.053)
主动脉以外血管手术	0.081	1.188	0.005	0.945	1.085(0.106~11.139)

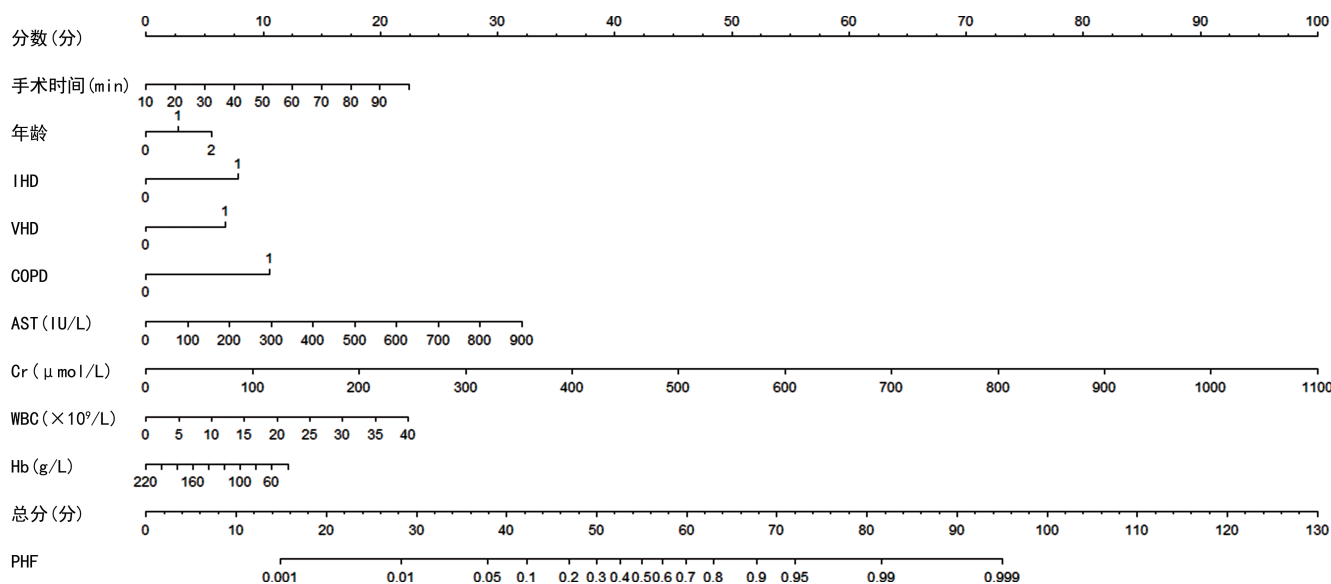


图 1 PHF 的预测列线图

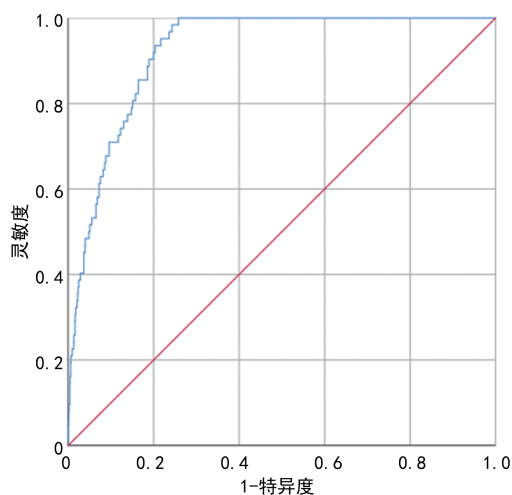


图 2 预测模型的 ROC

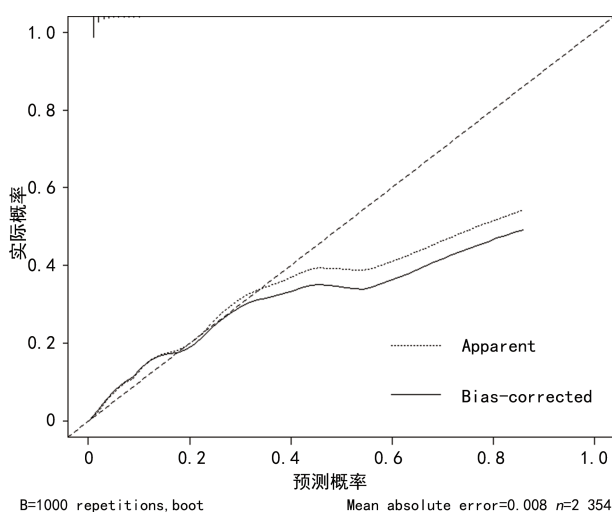


图 3 列线图预测模型的校准曲线

3 讨论

在非心脏非大血管手术中,心力衰竭作为术后并发症会延长患者住院时间,增加死亡率,临床医师在术前评估时识别出患者发生 PHF 的风险对制订手术及麻醉方案有重大意义。本文对于 4 家医院的非心

脏大血管手术患者进行分析,发现术前未合并慢性心力衰竭患者 PHF 发病率为 2.63%。利用 logistic 回归筛选变量构建了预测模型,可在术前对患者进行评估,识别潜在可能发生的 PHF,以辅助后续决策执行,减少 PHF 的发生。

心力衰竭是由于心脏结构和/或功能异常,而导致静息和/或运动时心内压力升高和/或心排量不足,IHD、VHD、心律失常等是常见病因^[18]。本研究经多因素 logistic 回归分析,识别出年龄增加、术前合并 IHD、VHD 及 COPD、AST 升高、Cr 升高、WBC 升高及手术时间长为发生 PHF 的危险因素。对于术前合并心肺疾病患者,经历麻醉、手术应激后,可能造成患者心脏负荷增加,从而导致发生 PHF 的风险增加。另外,肾功能与心力衰竭的相互作用复杂,有研究提示肾功能的改变与心力衰竭的预后相关^[19-20],且既往研究表明肾功能受损患者有发生心力衰竭的危险^[21-22],而本研究识别出术前 Cr 升高为 PHF 的危险因素,与上述研究一致。早期研究描述了急性和慢性心力衰竭患者的肝功能检查结果,并且与临床结果存在不同的相关性,因此,对于心力衰竭的预测,AST 升高可作为预测因素^[23-25]。EISEN 等^[26]研究结果提示 WBC 升高与稳定型冠状动脉疾病患者心力衰竭的发生率相关,而本文的研究结局为非心脏大血管手术患者 PHF 的发生,发现 WBC 也可作为术前评估 PHF 发生风险的预测因素之一。

ASA 分级作为麻醉医师常用风险评估手段,能有效评估围手术期风险^[27-28],在本研究中对结局无明显影响,可能因本研究纳入指标包含基础疾病及实验室指标等,与 ASA 分级有部分重叠,导致变量间有相互作用,从而表现为差异无统计学意义。而 ASA 分级为临床广泛使用的评价标准,因此未来可对患者进行其余变量的匹配从而对 ASA 分级进行单独的研究。

另外,术前的实验室检查中 Hb 的 OR 值为 0.986,处于临界,提示差异无统计学意义。但既往有研究显示术前的 Hb 会影响术后心血管并发症发生风险及死亡率^[12,29],结合临床,本研究仍选择将其纳入预测模型。最终根据纳入指标构建的模型 AUC 为 0.924,内部验证 AUC 为 0.907,有较好的预测效果。

目前存在的评分系统主要问题是有的评分复杂且需借助构建者开发的计算器^[14],或简单但辨识力不足^[4],缺少能够计算概率且大量应用于术前访视阶段的预测模型。本研究根据 logistic 回归筛选变量,从而构建列线图,相较于既往风险计算器及 logistic 回归危险因素分析,列线图将模型可视化,根据得分计算出 PHF 发生概率,方便临床医生术前评估使用。

本研究也存在局限性,由于数据来源于回顾性数据库,心力衰竭实验室指标如 B 型利钠肽、氨基末端 B 型利钠肽前体等,以及心脏彩超相关数据暂未纳入,未来对于心脏事件高危人群需进一步完善相关指标的采集,以进一步完善模型。另外,本模型使用 Bootstrap 进行内部验证,未进行外部验证,限制了结果的证据水平。另外,对于术前未合并心力衰竭患者,发生 PHF 的风险较低^[30],且本数据集中阳性数据较少,导致列线图校准曲线稍有偏离。未来可继续扩大数据集,纳入更全面的指标行进一步研究。

综上所述,年龄增加、术前存在合并症(IHD、VHD、COPD)、AST 升高、Cr 升高、WBC 升高及手术时间长会增加非心脏大血管手术患者发生 PHF 的风险,而利用列线图进行预测能够在术前识别心力衰竭的发生风险,进而辅助临床医生进行决策。

参考文献

- [1] HAYNES A B,WEISER T G,BERRY W R,et al. A surgical safety checklist to reduce morbidity and mortality in a global population[J]. *N Engl J Med*, 2009,360(5):491-499.
- [2] DEVEREAUX P J,CHAN M T,ALONSO COELLO P,et al. Association between postoperative troponin levels and 30-day mortality among patients undergoing noncardiac surgery[J]. *JAMA*, 2012,307(21):2295-2304.
- [3] ARORA V,VELANOVICH V FAU-ALARCON W,ALARCON W. Preoperative assessment of cardiac risk and perioperative cardiac management in noncardiac surgery[J]. *Int J Surg*, 2011,9(1):23-28.
- [4] LEE T H,MARCANTONIO E R,MANGIONE C M,et al. Derivation and prospective validation of a simple index for prediction of cardiac risk of major noncardiac surgery[J]. *Circulation*, 1999,100(10):1043-1049.
- [5] OH A R,PARK J,LEE J H,et al. Association between perioperative adverse cardiac events and mortality during one-year follow-up after noncardiac surgery[J]. *J Am Heart Assoc*, 2022,11(8):e024325.
- [6] HOWES T E,COOK T M,CORRIGAN L J,et al. Postoperative morbidity survey, mortality and length of stay following emergency laparotomy[J]. *Anaesthesia*, 2015,70(9):1020-1027.
- [7] KESHAVA H B,BOFFA D J. Cardiovascular complications following thoracic surgery[J]. *Thorac Surg Clin*, 2015,25(4):371-392.
- [8] HU W,CHEN Y,ZHAO K,et al. Association of perioperative myocardial injury with 30-day and long-term mortality in older adult patients undergoing orthopedic surgery in China[J]. *Med Sci Monit*, 2021,27:e932036.
- [9] BOTTO F,ALONSO-COELLO P,CHAN M T,et al. Myocardial injury after noncardiac surgery: a large, international, prospective cohort study establishing diagnostic criteria, characteristics, predictors, and 30-day outcomes[J]. *Anesthesiology*, 2014,120(3):564-578.
- [10] BROWNER W S,LI J,MANGANO D T. In-hospital and long-term mortality in male veterans following noncardiac surgery. The Study of Perioperative Ischemia Research Group[J]. *JAMA*, 1992,268(2):228-232.
- [11] PRASADA S,DESAI M Y,SAAD M,et al. Preoperative atrial fibrillation and cardiovascular outcomes after noncardiac surgery[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2022,79(25):2471-2485.
- [12] VIOLA J,GOMEZ M M,RESTREPO C,et al. Preoperative anemia increases postoperative complications and mortality following total joint arthroplasty[J]. *J Arthroplasty*, 2015,30(5):846-848.
- [13] WU X,HU M,ZHANG J,et al. A new predictive model for in-hospital major adverse cardiac and cerebrovascular events in chinese patients after major noncardiac surgery[J]. *Am J Cardiol*, 2023,186:196-202.
- [14] GUPTA P K,GUPTA H,SUNDARAM A,et al. Development and validation of a risk calculator for prediction of cardiac risk after surgery[J]. *Circulation*, 2011,124(4):381-387.

- [15] BILIMORIA K Y, LIU Y, PARUCH J L, et al. Development and evaluation of the universal ACS NSQIP surgical risk calculator: a decision aid and informed consent tool for patients and surgeons[J]. *J Am Coll Surg*, 2013, 217(5): 833-842.
- [16] NAVATHE A S, LEI V J, FLEISHER L A, et al. Improving identification of patients at low risk for major cardiac events after noncardiac surgery using intraoperative data[J]. *J Hosp Med*, 2020, 15(10): 581-587.
- [17] ONISHCHENKO D, RUBIN D S, VAN HORNE J R, et al. Cardiac comorbidity risk score: zero-burden machine learning to improve prediction of postoperative major adverse cardiac events in hip and knee arthroplasty[J]. *J Am Heart Assoc*, 2022, 11(15): e023745.
- [18] MCDONAGH T A, METRA M, ADAMO M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure[J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(36): 3599-3726.
- [19] LLAUGER L, JACOB J, MIRÓ Ò. Renal function and acute heart failure outcome[J]. *Med Clin (Barc)*, 2018, 151(7): 281-290.
- [20] MULLENS W, DAMMAN K, TESTANI J M, et al. Evaluation of kidney function throughout the heart failure trajectory: a position statement from the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology[J]. *Eur J Heart Fail*, 2020, 22(4): 584-603.
- [21] GOTTDIENER J S, ARNOLD A M, AURIG EMMA G P, et al. Predictors of congestive heart failure in the elderly: the Cardiovascular Health Study[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2000, 35(6): 1628-1637.
- [22] CHAE C U, ALBERT C M, GLYNN R J, et al. Mild renal insufficiency and risk of congestive heart failure in men and women $\geq$ 70 years of age[J]. *Am J Cardiol*, 2003, 92(6): 682-686.
- [23] ALLEN L A, FELKER G M, POCOCK S, et al. Liver function abnormalities and outcome in patients with chronic heart failure: data from the Candesartan in Heart Failure: Assessment of Reduction in Mortality and Morbidity (CHARM) program[J]. *Eur J Heart Fail*, 2009, 11(2): 170-177.
- [24] NIKOLAOU M, PARISSIS J, YILMAZ M B, et al. Liver function abnormalities, clinical profile, and outcome in acute decompensated heart failure[J]. *Eur Heart J*, 2013, 34(10): 742-749.
- [25] AMBROSY A P, VADUGANATHAN M, HUFFMAN M D, et al. Clinical course and predictive value of liver function tests in patients hospitalized for worsening heart failure with reduced ejection fraction: an analysis of the EVEREST trial[J]. *Eur J Heart Fail*, 2012, 14(3): 302-311.
- [26] EISEN A, BENDERLY M, BEHAR S, et al. Inflammation and future risk of symptomatic heart failure in patients with stable coronary artery disease[J]. *Am Heart J*, 2014, 167(5): 707-714.
- [27] SANKAR A, JOHNSON S R, BEATTIE W S, et al. Reliability of the American Society of Anesthesiologists physical status scale in clinical practice[J]. *Br J Anaesth*, 2014, 113(3): 424-432.
- [28] FU K M, SMITH J S, POLLY D W, et al. Correlation of higher preoperative American Society of Anesthesiology grade and increased morbidity and mortality rates in patients undergoing spine surgery[J]. *J Neurosurg Spine*, 2011, 14(4): 470-474.
- [29] SOUGAWA H, INO Y, KITABATA H, et al. Impact of left ventricular ejection fraction and preoperative hemoglobin level on perioperative adverse cardiovascular events in noncardiac surgery[J]. *Heart Vessels*, 2021, 36(9): 1317-1326.
- [30] SELLERS D, SRINIVAS C, DJAIANI G. Cardiovascular complications after non-cardiac surgery[J]. *Anaesthesia*, 2018, 73 (Suppl. 1): 34-42.

(收稿日期: 2023-01-08 修回日期: 2023-06-03)

(编辑: 石芸)