



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.07.011  
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.07.011  
China Journal of General Surgery, 2024, 33(7):1122-1132.

· 临床研究 ·

# 基于肌少症联合 POSSUM 评分的胰十二指肠切除术后严重并发症预测模型的构建

阿茹拉<sup>1,2</sup>, 芦建慧<sup>2</sup>, 夏医君<sup>2</sup>, 秦莎娜<sup>2</sup>, 贾广鹏<sup>2</sup>, 胡志伟<sup>2</sup>

(1. 内蒙古医科大学内蒙古临床医学院, 内蒙古 呼和浩特 010017; 2. 内蒙古自治区人民医院肝胆胰外科, 内蒙古 呼和浩特 010017)

## 摘要

**背景与目的:** 胰十二指肠切除术 (PD) 作为治疗胆胰-十二指肠结合部恶性肿瘤等疾病的经典手术方法, 尽管技术日益成熟, 但术后严重并发症的发生率仍居高不下。这些严重并发症不仅影响患者的恢复进程, 还可能危及患者的生命。因此, 预测 PD 术后严重并发症的发生风险, 对于制定针对性的预防和治疗策略至关重要。近年来, 肌少症作为一种与多种术后并发症风险增加相关的疾病状态, 引起了广泛关注。同时, POSSUM 评分系统作为一种广泛应用于外科手术风险评估的工具, 其预测效能已得到初步验证。基于此, 本研究旨在确定 PD 术后发生严重并发症的危险因素, 并构建基于肌少症联合 POSSUM 评分的风险预测模型, 以期提高术后严重并发症的预测准确性, 为临床决策提供科学依据。

**方法:** 回顾性分析内蒙古自治区人民医院肝胆胰外科 2016—2023 年行 PD 术的 79 例患者的临床资料。通过 Slice Omatic 软件获取患者的第三腰椎骨骼肌指数, 并基于该指数进行肌少症的诊断; 同时, 统计患者的术后并发症情况, 并依据 Clavien-Dindo 分级标准对并发症进行分级, 分为严重并发症组 ( $\geq$  IIIa) 和非严重并发症组 ( $<$  IIIa); 采用 POSSUM 评分系统对患者的手术风险进行评估, 绘制受试者工作特征 (ROC) 曲线, 评价 POSSUM 评分对 PD 术后严重并发症的预测效能, 并通过 Youden 指数找出最佳截断点; 利用单因素和二元多因素 Logistic 回归分析, 筛选出术后严重并发症的独立危险因素。随后, 采用 R 语言构建列线图风险预测模型, 并通过 ROC 曲线、校准曲线、Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验以及一致性指数内部验证等方法对模型的预测效能进行全面评估。

**结果:** 79 例患者中, 肌少症患者 41 例, 非肌少症患者 38 例。术后严重并发症的发生率为 27.85%, 严重并发症组与非严重并发症组患者的年龄、肌少症、POSSUM 评分、术中出血量、术前白细胞计数和中性粒细胞计数差异有统计学意义 (均  $P < 0.05$ )。二元多因素 Logistic 回归分析结果显示, 肌少症、POSSUM 评分及术中出血量是 PD 术后严重并发症的独立危险因素 (均  $P < 0.05$ )。基于以上危险因素构建的风险预测模型的 ROC 曲线下面积为 0.895 9。预测模型的校准曲线趋近于理想曲线, 预测精度良好, Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验结果也提示预测模型拟合良好, 一致性指数内部验证证实列线图模型预测能力较好。

**结论:** 肌少症、POSSUM 评分和术中出血量为 PD 术后发生严重并发症的独立危险因素, 基于肌少症联合 POSSUM 评分所构建的 PD 术后严重并发症风险预测模型具有较高的预测效能, 能够为临床医生提供更为准确的风险评估工具, 有助于制定个体化的预防和治疗策略, 降低 PD 术后严重并发症的发生率。

## 关键词

胰十二指肠切除术; 手术后并发症; 肌减少症; POSSUM 评分; 列线图

中图分类号: R657.5

**基金项目:** 内蒙古自治区卫生健康科技计划基金资助项目 (202202009)。

**收稿日期:** 2024-01-25; **修订日期:** 2024-03-25。

**作者简介:** 阿茹拉, 内蒙古医科大学内蒙古临床医学院/内蒙古自治区人民医院硕士研究生, 主要从事肝胆胰肿瘤诊治方面的研究。

**通信作者:** 胡志伟, Email: huzhiwei133494@163.com

# Construction of a prediction model for severe postoperative complications after pancreatoduodenectomy based on sarcopenia combined with POSSUM score

A Rula<sup>1,2</sup>, LU Jianhui<sup>2</sup>, XIA Yijun<sup>2</sup>, QIN Shana<sup>2</sup>, JIA Guangpeng<sup>2</sup>, HU Zhiwei<sup>2</sup>

(1. Inner Mongolia Clinical Medical College of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010017, China; 2. Department of Hepatobiliary and Pancreatic Surgery, Inner Mongolia People's Hospital, Hohhot 010017, China)

## Abstract

**Background and Aims:** Pancreatoduodenectomy (PD) is a classic surgical method for treating malignant tumors at the pancreatoduodenal junction and other related diseases. Despite advancements in surgical techniques, the incidence of severe postoperative complications remains high. These complications not only affect the patient's recovery process but also pose life-threatening risks. Therefore, predicting the risk of severe complications after PD is crucial for developing targeted prevention and treatment strategies. Recently, sarcopenia, a condition associated with an increased risk of various postoperative complications, has garnered significant attention. The POSSUM scoring system, widely used for surgical risk assessment, has shown preliminary validation in its predictive efficacy. This study was conducted to identify risk factors for severe complications following PD and to develop a risk prediction model based on sarcopenia combined with POSSUM score to improve the accuracy of predicting severe postoperative complications and provide a scientific basis for clinical decision-making.

**Methods:** The clinical data of 79 patients who underwent PD from 2016 to 2023 were retrospectively analyzed. The skeletal muscle index at the third lumbar vertebra was obtained using Slice Omatic software, and sarcopenia was diagnosed based on this index. Postoperative complications were recorded and graded according to the Clavien-Dindo classification, categorizing them into severe complications ( $\geq$ IIIa) and non-severe complications ( $<$ IIIa). The POSSUM scoring system was used to assess surgical risk, and the receiver operating characteristic (ROC) curve was plotted to evaluate the predictive efficacy of the POSSUM score for severe complications after PD, with the optimal cutoff point determined by the Youden index. Univariate and binary multivariate Logistic regression analyses were conducted to identify independent risk factors for severe postoperative complications. Subsequently, a nomogram risk prediction model was constructed using R language, and its predictive efficacy was comprehensively evaluated using the ROC curve, calibration curve, the Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test, and internal validation of the concordance index.

**Results:** Among the 79 patients, 41 had sarcopenia, and 38 did not. The incidence of severe postoperative complications was 27.85%. Significant differences were found between the severe and non-severe complication groups regarding age, sarcopenia, POSSUM score, intraoperative blood loss, preoperative white blood cell count, and preoperative neutrophil count (all  $P < 0.05$ ). Binary Logistic regression analysis showed that sarcopenia, POSSUM score, and intraoperative blood loss were independent risk factors for severe postoperative complications after PD (all  $P < 0.05$ ). The risk prediction model constructed based on these risk factors had an area under the ROC curve (AUC) of 0.895 9. The calibration curve of the prediction model was close to the ideal curve, indicating good predictive accuracy. The Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test also suggested a good fit for the prediction model, and internal validation of the concordance index confirmed the nomogram model's good predictive ability.

**Conclusion:** Sarcopenia, POSSUM score, and intraoperative blood loss are independent risk factors for severe postoperative complications after PD. The risk prediction model based on sarcopenia combined with the POSSUM score has high predictive efficacy, providing clinicians with a more accurate risk assessment tool and can help develop individualized prevention and treatment strategies to reduce the incidence of severe postoperative complications following PD.

**Key words**

Pancreaticoduodenectomy; Postoperative Complications; Sarcopenia; POSSUM Score; Nomograms

**CLC number:** R657.5

目前,胰腺癌、末段胆管癌、十二指肠壶腹部癌等胆胰-十二指肠结合部恶性肿瘤的发病率日渐增高。特别是胰腺癌,具有高侵袭性与恶性程度,且早期诊断非常困难。根据美国癌症协会估计,预计2023年美国将大约有64 050例新诊断的胰腺癌,预计死亡人数为50 550例。胰腺癌5年相对生存率为11%,在所有癌症中是最低的<sup>[1]</sup>。预计到2030年胰腺癌将成为因癌症死亡的第二大死因<sup>[2]</sup>。在中国,胰腺癌发病率和病死率呈明显上升趋势,根据中国国家癌症中心在2022年发布的癌症统计数据<sup>[3-5]</sup>显示,胰腺癌在国内男性恶性肿瘤发病率居第8位,女性居第12位,在恶性肿瘤病死率中居第6位。

胰十二指肠切除术(pancreaticoduodenectomy, PD)是治疗包括胰腺癌在内的胆胰-十二指肠结合部恶性肿瘤的首选方法和标准根治术式,于1935年由美国的Whipple等<sup>[6]</sup>对其进行了优化。尽管近年来PD已成为标准化和相对安全的手术,据荷兰的一项调查<sup>[7]</sup>,PD术后病死率已显著降低,90 d病死率为6.3%,但术后并发症尤其是严重并发症的发生率相对于其他腹部手术仍较高。据研究<sup>[8]</sup>表明术后高级别并发症发生率为22%,低级别并发症发生率为45%。如何降低PD术后并发症的发生率,尤其是严重并发症的发生率,一直是困扰胰腺外科医生的重要问题。

肌少症即肌肉减少症,欧洲老年人肌肉减少症工作组<sup>[9]</sup>对肌少症定义为:一种以骨骼肌面积、力量及功能渐进性的减退为特征的综合征。具有导致躯体残疾的风险,进而导致生活质量降低和更严重的并发症,甚至死亡。目前对于肌少症的评估方法有多种,尚缺乏统一的诊断金标准。近年来基于影像组学技术诊断肌少症并将其应用于恶性肿瘤的生存率、术后并发症和预后的研究成为热点<sup>[10-11]</sup>,第三腰椎骨骼肌指数(skeletal

muscle index at the third lumbar vertebra, L3 SMI)是目前诊断肌少症应用较为广泛的一种方法。

POSSUM评分(physiological and operative severity score for the enumeration of mortality and morbidity)于1991年由Copeland等<sup>[12]</sup>建立,是一种综合评估患者的生理状况与手术情况,从而预测手术风险的评分系统。现已被应用于外科各领域的手术风险预测研究当中。POSSUM评分对老年肝胆胰外科术后并发症的预测具有一定的准确性<sup>[13]</sup>。但是否能够准确预测PD术后严重并发症尚不明确<sup>[14-15]</sup>。目前,尚没有研究结合术前一般临床资料、肌少症以及POSSUM评分等指标来对PD术后严重并发症的发生率进行更全面的评估。基于此,本研究将肌少症及POSSUM评分与一般临床资料进行整合,旨在充分利用肌少症这一反映患者整体营养状况与预后相关的指标,以及POSSUM评分系统涵盖的术前生理状态和手术复杂度信息,筛选出PD术后严重并发症的独立危险因素,以期提高并发症预测的精准度,进而构建风险预测模型并进行验证。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

选取2016—2023年于内蒙古自治区人民医院肝胆胰外科同一治疗组行PD手术的胆胰-十二指肠结合部恶性肿瘤患者作为研究对象。所有手术均由同一治疗组组长主刀施行,以确保手术质量的一致性,手术方式均为开放性PD,所有患者均按Child法行消化道重建,胰肠吻合口内常规放置胰管支撑管,常规实施胰肠吻合后方、胆肠吻合旁预防性引流。所有患者的围手术期管理均由同一手术团队进行。纳入标准:(1)术前影像学及术后病理学检查,均诊断为胆胰-十二指肠结合部恶



性肿瘤;(2)肿瘤无远处转移证据;(3)无其他肿瘤病史;(4)无严重的心、肺、肾、脑等器官功能不全;(5)具有术前腹部增强CT影像资料;(6)患者及委托代理人知情同意,签署知情同意书。排除标准:(1)临床资料不全;(2)术前检查及术中探查不能行根治性切除而仅行姑息性手术。本研究经内蒙古自治区人民医院医学伦理委员会审批同意(审批号:202203503L)。

1.2 临床资料收集

收集患者一般资料:体质量指数(body mass index, BMI)、年龄、性别、吸烟史、饮酒史、糖尿病史、既往腹部手术史、术前化疗史、是否术前减黄等;实验室检查指标(肝功能、肾功能、血常规、肿瘤标记物CA19-9、电解质等)、术前腹部增强CT影像资料、手术记录(手术时间、术中出血量、腹腔污染情况、胰腺质地、胰管直径、肿瘤大小等)、病理诊断、术后并发症种类等。统计患者术后发生的并发症种类及例数,包括胰瘘、术后出血、胆汁漏、腹腔感染、胃排空延迟、切口感染并发症等,并发症严重程度依据Clavien-Dindo并发症分级,其中IIIa级及以上并发症定义为严重并发症,将患者分为严重并发症组(≥IIIa)和非严重并发症组(<IIIa)。上述实验室检查指标及腹部增强CT影像资料以术前最接近手术时

的数据为准。

1.3 基于L3 SMI进行肌少症诊断

影像资料均来源于患者术前30 d内腹部增强CT检查,CT扫描由影像科专业人员按标准操作程序进行,扫描设备为GE 64排螺旋CT。L3 SMI定义为第三腰椎水平横截面下所有骨骼肌(腰大肌、腰方肌、竖脊肌、腹横肌、腹外斜肌、腹内斜肌和腹直肌)的总面积除以身高平方所得到的值。图像依靠专业软件Slice Omatic进行后处理,选取第三腰椎体连续两个可见双侧椎棘的扫描平面进行勾画。设置CT值(Hounsfield unit, HU)阈值为-29 HU~150 HU以排除脂肪组织和脉管系统,所标记的肌肉组织应包含该层面所有的骨骼肌(图1)。软件最终自动计算相关区域面积,即骨骼肌面积。计算连续2个平面的平均面积值。以上图像处理由2名高年资影像专业医师在未知研究对象临床数据的情况下,分别处理及记录,2名影像医师所获得数据的平均值为最终数据。标准化处理得到SMI,即SMI=骨骼肌面积(cm²)/身高²(m²),肌少症诊断标准采用基于L3 SMI诊断肌少症的中国正常参考值研究<sup>[16]</sup>:男性L3 SMI<44.77 cm²/m²,女性L3 SMI<32.50 cm²/m²。根据L3 SMI结果将患者分为肌少症组与非肌少症组。

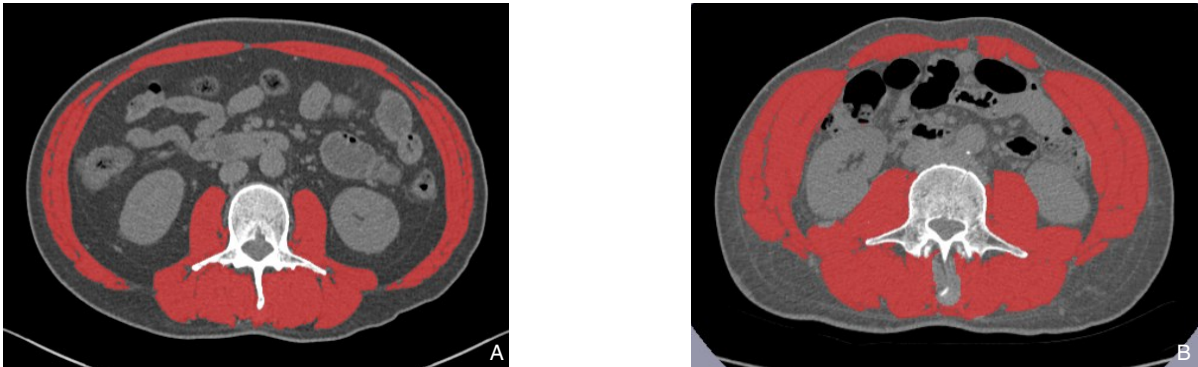


图1 Slice Omatic勾画L3平面骨骼肌面积 A: 肌少症; B: 非肌少症  
Figure 1 Slice Omatic delineation of skeletal muscle area at the L3 level A: Sarcopenia; B: Non-sarcopenia

1.4 进行POSSUM评分及找出最佳截断点

按照POSSUM评分系统对所有患者进行评分,包括12项生理学评分及6项手术严重性评分。生理学评分包括年龄、脉搏、收缩压、心脏功能、呼吸功能、心电图、血红蛋白、白细胞计数、血尿素氮、血钾、血钠及Glasgow评分等变量,手术严重性评分包括手术大小、手术次数、出血量、

腹腔污染情况、手术类别及肿瘤转移情况等变量,形成一个4级分类,分数呈指数增长(1、2、4、8),如果没有数据,则分数为1<sup>[9]</sup>。生理学评分指标以术前最接近手术时的数据为准,手术中指标以手术记录和麻醉记录为依据。指标代入计算方程: $\ln R/(1-R)=-5.91+0.16\times \text{生理学评分}+0.19\times \text{手术严重性评分}$ ,计算POSSUM评分预测的术后并发症

发生率，对比严重并发症组和非严重并发症组的预测值，以个体严重并发症发生率为检验变量，以严重并发症发生与否为状态变量绘制受试者工作特征（ROC）曲线，曲线下面积用 AUC 值表示，评价 POSSUM 评分对 Clavien-Dindo 并发症分级≥IIIa 并发症的预测效能并通过 Youden 指数找出最佳截断点。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 22.0 统计软件进行数据处理。计量资料进行 K-S 拟合优度检验，符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示，组间比较采用方差齐性检验和两独立样本 *t* 检验，对不符合正态分布的计量资料以中位数（四分位间距）[*M* (*IQR*)] 表示，组间比较采用秩和检验。计数资料以例数（百分比）[*n* (%) ] 表示，组间比较采用  $\chi^2$  检验。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。将肌少症、POSSUM 评分及前述多项临床资料进行单因素分析，筛选出 PD 术后发生严重并发症的可能危险因素，将筛选出的具有统计学意义的因素进行二元多因素 Logistic 回归分析，分析出 PD 术后发生严重并发症的独立危险因素。进一步地采用 R 语言（R3.6.3 软件包）和 rms 程序包绘制 PD 术后发生严重并发症的风险预测列线图模型；最后采用 ROC 曲线、校准曲线、一致性指数（C 指数）及 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验评估模型的预测效能（*P* > 0.05 为模型拟合良好）。

2 结 果

2.1 术后严重并发症发生情况

本研究共纳入 79 例患者，其中男性 48 例，女性 31 例，年龄 24~73 岁，平均（65.7 ± 6.45）岁。患者术后发生并发症 52 例次（65.82%），其中≥IIIa 的严重并发症 22 例次（27.85%）。具体严重并发症发生种类及例次见表 1。

2.2 肌少症情况及其与严重并发症的关系

肌少症患者 41 例（51.90%），其中男性 25 例，女性 16 例。肌少症组严重并发症发生率为 43.90%（18/41）。绘制 ROC 曲线评估肌少症预测严重并发症的准确性，AUC 为 0.707（图 2）。

2.3 POSSUM 评分的预测效能

POSSUM 评分在严重并发症组和非严重并发症组的预测值分别为 56.64%、48.27%，差异无统计学意义（*P* = 0.567）。绘制 ROC 曲线，AUC 为 0.817。根据

ROC 曲线 Youden 指数判断最佳截断点，并求出截断点的敏感度及特异度，Youden 指数最大值为 0.583，对应截断点为 0.502 5，可作为发生严重并发症的临界值，其敏感度为 0.864，特异度为 0.719（图 3）。

表 1 术后严重并发症发生种类及例次[n(%)]  
Table 1 Types and cases of postoperative severe complications [n(%)]

并发症	数值
胰瘘	10(12.66)
胆汁漏	3(3.80)
腹腔出血	3(3.80)
消化道出血	2(2.53)
切口感染	2(2.53)
腹腔脓肿	1(1.27)
肺部感染	1(1.27)

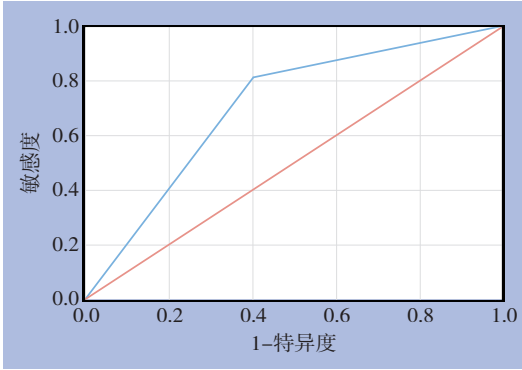


图 2 肌少症预测严重并发症的 ROC 曲线  
Figure 2 ROC curve of sarcopenia for predicting severe complications

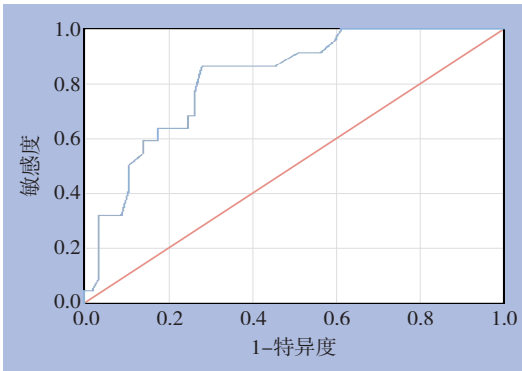


图 3 POSSUM 评分预测严重并发症的 ROC 曲线  
Figure 3 ROC curve of POSSUM score for predicting severe complications

2.4 术后发生严重并发症的单因素分析

将肌少症、POSSUM 评分及前述各项临床资料进行单因素分析，结果显示，严重并发症组与非

严重并发症组患者在年龄、是否患有肌少症、POSSUM 评分、术中出血量、术前白细胞水平及中性粒细胞计数等指标差异有统计学意义(均  $P<0.05$ ), 两组患者其余临床指标差异无统计学意义(均  $P>0.05$ ) (表 2)。

表 2 PD 术后严重并发症的单因素分析  
Table 2 Univariate analysis of serious postoperative complications after PD

项目	非严重并发症组(n=57)	严重并发症组(n=22)	$\chi^2/t/Z$	P
性别[n(%)]				
男	31(54.39)	17(77.27)	3.487	0.062
女	26(45.61)	5(22.73)		
年龄[岁,n(%)]				
≤65	45(78.95)	12(54.55)	4.704	0.030
>65	12(21.05)	10(45.45)		
BMI [kg/m <sup>2</sup> ,n(%)]				
<24	38(66.67)	17(77.27)	0.844	0.358
≥24	19(33.33)	5(22.73)		
饮酒史[n(%)]				
否	43(75.44)	17(77.27)	0.029	0.864
是	14(24.56)	5(22.73)		
腹部手术史[n(%)]				
无	43(75.44)	14(63.64)	1.100	0.294
有	14(24.56)	8(36.36)		
术前化疗史[n(%)]				
无	53(92.98)	17(77.27)	2.481	0.115
有	4(7.02)	5(22.73)		
糖尿病[n(%)]				
否	50(87.72)	20(90.91)	0.000	0.996
是	7(12.28)	2(9.09)		
高血压[n(%)]				
否	44(77.19)	18(81.82)	0.020	0.886
是	13(22.81)	4(18.18)		
高脂血症[n(%)]				
否	44(77.19)	21(95.45)	2.486	0.115
是	13(22.81)	1(4.55)		
术前白蛋白[g/L,n(%)]				
<35	13(22.81)	1(4.55)	2.486	0.115
≥35	44(77.19)	21(95.45)		
术前减黄[n(%)]				
否	43(75.44)	15(68.18)	0.428	0.513
是	14(24.56)	7(31.82)		
胰腺质地[n(%)]				
软	13(22.81)	4(18.18)	3.165	0.205
硬	6(10.52)	6(27.27)		
中等	38(66.67)	12(54.55)		
胰管直径[mm,n(%)]				
≤3	27(47.37)	13(59.09)	0.873	0.350
>3	30(52.63)	9(40.91)		
肿瘤性质[n(%)]				
恶性	53(92.98)	17(77.27)	2.481	0.115
良性	4(7.02)	5(22.73)		

表 2 PD 术后严重并发症的单因素分析 (续)

Table 2 Univariate analysis of serious postoperative complications after PD (continued)

项目	非严重并发症组(n=57)	严重并发症组(n=22)	$\chi^2/t/Z$	P
肿瘤大小[cm,n(%)]				
<3	31(54.39)	8(36.36)	2.063	0.151
≥3	26(45.61)	14(63.64)		
淋巴结转移[n(%)]				
无	42(73.68)	17(77.27)	0.108	0.742
有	115(26.32)	5(22.73)		
肌少症[n(%)]				
无	34(59.65)	4(18.18)	10.934	0.001
有	23(40.35)	18(81.82)		
POSSUM 评分[n(%)]				
≤0.502 5	42(73.68)	3(13.64)	23.347	0.000
>0.502 5	15(26.32)	19(86.36)		
术中出血量[mL,n(%)]				
≤400	41(71.93)	5(22.73)	15.799	0.000
>400	16(28.07)	17(77.27)		
手术时间(min, $\bar{x} \pm s$ )	422.54±118.03	455.45±128.05	1.085	0.281
术前总胆红素[μmol/L,M(IQR)]	138.1(74.55~245.80)	143.35(13.08~250.90)	-0.580	0.562
术前血红蛋白(g/L, $\bar{x} \pm s$ )	132.32±15.76	129.00±19.18	-0.788	0.433
术前白细胞水平[10 <sup>9</sup> /L,M(IQR)]	6.86(5.64~8.53)	13.18(5.69~19.80)	-2.095	0.036
中性粒细胞计数[10 <sup>9</sup> /L,M(IQR)]	4.56(3.47~5.93)	9.31(3.58,11.64)	-2.647	0.008
淋巴细胞比值[10 <sup>9</sup> /L,M(IQR)]	1.46(1.005~1.81)	1.52(1.03~3.02)	-0.596	0.551
CA19-9 水平[kU/L,M(IQR)]	150.3(86.09~322.04)	134.85(38.22~440.39)	-0.623	0.533

2.5 术后严重并发症的二元多因素 Logistic 回归分析

将单因素分析筛选出的年龄、肌少症、POSSUM 评分、术中出血量、术前白细胞水平及中性粒细胞计数作为自变量，进行赋值，纳入二元多因素 Logistic 回归分析。结果显示，肌少症、

POSSUM 评分与术中出血量为 PD 术后严重并发症的独立危险因素（均  $P<0.05$ ）（表 3）。其中，肌少症及 POSSUM 评分的 ROC 曲线如前述，同时绘制术中出血量预测严重并发症的 ROC 曲线，AUC 为 0.780（图 4）。

表 3 PD 术后严重并发症二元多因素 Logistic 回归分析结果

Table 3 Results of binary multivariate Logistic regression analysis of serious postoperative complications after PD

变量	回归系数	标准误	Wald/ $\chi^2$	P	OR(95% CI)
年龄	0.375	0.882	0.208	0.648	1.455(0.290~7.286)
肌少症	-1.863	0.849	4.809	0.028	0.155(0.029~0.820)
POSSUM 评分	-1.890	0.882	4.595	0.032	0.151(0.027~0.850)
术中出血量	-1.844	0.809	5.199	0.023	0.158(0.032~0.772)
术前白细胞水平	0.100	0.086	1.362	0.243	1.106(0.934~1.308)
中性粒细胞计数	-0.039	0.127	0.097	0.756	0.961(0.750~1.233)
常数项	0.429	1.224	0.123	0.726	1.536

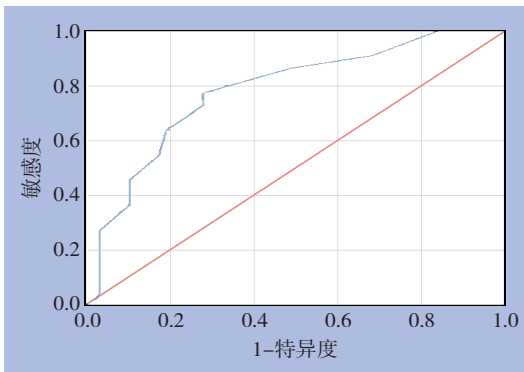


图4 术中出血量预测严重并发症的ROC曲线  
Figure 4 ROC curve of intraoperative bleeding volume for predicting severe complications

2.6 列线图模型建立及验证

采用R语言(R3.6.3软件包)和rms程序包构建预测PD术后发生严重并发症的列线图模型(图5)。其中肌少症、POSSUM评分、术中出血量是用于预测模型的变量,所有变量取值后对应分数相加即Total Points。Total Points具体值做垂直线,得到的发生概率即为患者PD术后发生严重并发症的风险值。

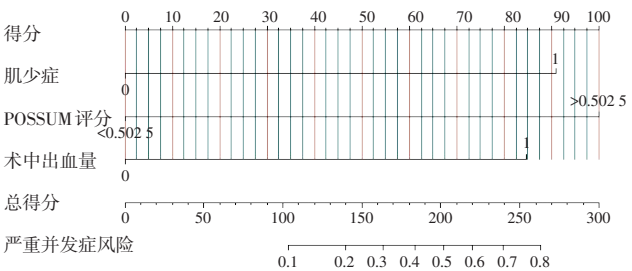


图5 PD术后严重并发症的列线图预测模型  
Figure 5 Nomogram prediction model for severe postoperative complications after PD

ROC曲线分析结果显示,列线图模型预测患者PD术后发生严重并发症的AUC为0.895 9(95% CI=0.819 9~0.972 0),较前述肌少症、POSSUM评分及术中出血量的单独AUC值高,表示该模型具有良好的区分度与预测效能(图6)。校准曲线图显示,列线图模型的风险拟合曲线与理想曲线较为接近,表示列线图模型具有较好的校准度(图7)。采用Hosmer-Lemeshow拟合优度检验结果显示,列线图模型预测PD术后发生严重并发症的一致性良好( $\chi^2=0.434$ ,  $P=0.805$ ;自由度为2)。内部验证:一致性的高低用C指数计算,计算得

出,原始C指数为0.895 933,校正C指数为0.881 251,列线图模型的预测值与实际发生的实际值具有较高的一致性,内部验证证实列线图模型预测能力较好。

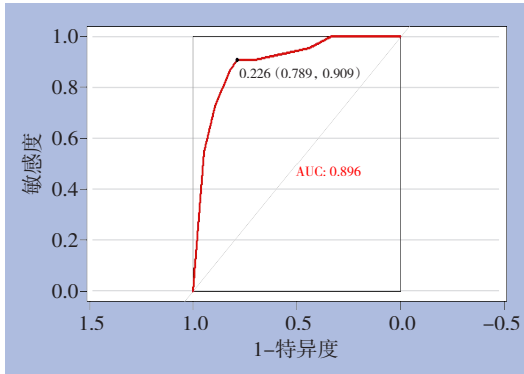


图6 PD术后严重并发症预测模型的ROC曲线  
Figure 6 ROC curve of the prediction model for severe postoperative complications after PD

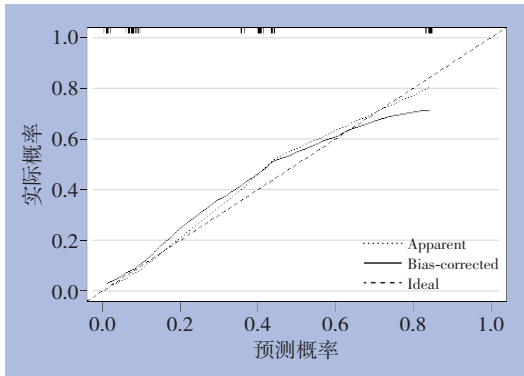


图7 PD术后严重并发症预测模型的校准曲线  
Figure 7 Calibration curve of the prediction model for severe postoperative complications after PD

3 讨论

PD术后并发症的发生率较高,需采取相应的预防和干预措施。目前PD术后的常见并发症主要包括术后出血、感染、吻合口漏、胰瘘、胆汁漏及术后胃排空延迟等。据Pugalthi等<sup>[8]</sup>于2016年对596例胰腺癌手术患者分析发现PD术后Clavien-Dindo并发症分级≥IIIa并发症发生率为38.5%。既往多项研究<sup>[17-21]</sup>表明,术前营养治疗、术前胆道引流、合理的胰肠吻合方式、恰当的围手术期处理等措施可以减少术后相关并发症。针对PD,如果能有良好的风险预测模型,可通过模型更准确地评估患者的术后风险,从而制定相应的预防和治



疗计划,以降低术后严重并发症的发生率。

Nauheim等<sup>[22]</sup>表明,肌少症与胰腺癌患者的预后有一定关系,马金栋等<sup>[23]</sup>认为,合并肌少症会使PD术后并发症发生率和病死率增加,La Vaccara等<sup>[24]</sup>将肌少症确定为PD术后并发症,尤其是胰瘘发生的重要影响因素,Joglekar等<sup>[25]</sup>发现,肌少症是胰腺癌术后并发症的独立危险因素。基于影像组学技术来诊断肌少症被认为是一种准确可靠的方法,而CT和MRI则被认为是诊断肌少症的金标准<sup>[26]</sup>。有研究<sup>[27]</sup>表明,通过CT评估术前肌少症是胰腺癌患者术后生存率的关键因素。目前,L3 SMI在诊断肌少症中最为常用<sup>[28-29]</sup>,但目前尚无适合亚洲人的统一标准,由于种族差异,欧美地区的肌少症诊断标准不一定适用于国人,本研究采用由上海东方医院联合多中心报道的一项基于L3 SMI诊断肌少症的中国正常参考值研究<sup>[16]</sup>作为标准。本研究通过L3水平的CT图像扫描诊断肌少症并使用单因素分析与二元多因素Logistic回归分析研究后同样发现肌少症是PD术后严重并发症的独立危险因素。目前,利用影像组学技术提取影像特征来进行术后风险预测逐步成为研究热点,本研究虽然使用了影像软件Slice Omatic,但并未过多涉及影像组学技术,这也是未来进一步的研究方向。

目前POSSUM评分在结直肠等领域研究较多,并大多认为预测结果较准确<sup>[30-31]</sup>。而Khan等<sup>[32]</sup>认为,POSSUM评分高估了PD术后并发症的发生率与病死率,有的研究认为可能是因为不同研究对术后并发症的定义不同导致<sup>[33]</sup>。在国内,姚华雄等<sup>[34]</sup>表明,采用POSSUM评分系统能够较准确评估高龄患者行PD手术的手术风险。以往的研究<sup>[13]</sup>提示,POSSUM评分在预测老年肝胆胰外科术后并发症时其准确性较高(AUC=0.76)。本研究中,POSSUM评分在严重并发症组和非严重并发症组的预测值差异无统计学意义,ROC曲线说明预测具有一定准确性,并确定POSSUM评分为PD术后严重并发症的独立危险因素,表明POSSUM评分在一定程度上能够预测严重并发症的发生率。

以往的研究<sup>[35-36]</sup>中发现,BMI、基础呼吸系统疾病、白细胞、血清钠、胰腺质地与胰管直径是PD术后并发症的独立危险因素。也有研究<sup>[37]</sup>表明,动脉pH、血清钠、术后24 h尿量、白细胞水平是PD术后并发症的独立危险因素。曹昕彤等<sup>[38]</sup>表明,

基于术后第1天腹腔引流液淀粉酶水平、腹腔引流液细菌培养结果和血清白蛋白水平这三项指标建立的风险预测模型可以预测术后胰瘘的发生。Li等<sup>[39]</sup>认为,改良衰弱指数可以识别PD术后发生并发症的高风险患者。目前对于PD术后并发症的风险预测研究较多,对于PD术后发生严重并发症的风险预测研究较少,且主要集中于对患者的一般临床资料的评估上。基于此,本研究建立了新的风险预测模型,该模型的优势在于建立了一个包括肌少症和POSSUM评分在内的多项风险因素的PD术后严重并发症预测模型,模型充分利用肌少症这一与预后相关的营养状况指标,以及POSSUM评分包含的术前生理状态和手术复杂度信息,能更灵敏、准确地预测PD术后严重并发症,并可帮助临床进行更充分的术前评估、制定个性化治疗方案以及优化围手术期管理,具备较强的临床指导意义。对于腹腔镜胰十二指肠切除术(laparoscopic pancreaticoduodenectomy, LPD),因其微创特点,出血量可能有所不同,出血量在两种术式下作为独立危险因素的重要性及其量化标准可能会有所变化。鉴于此,本研究所构建的风险预测模型在未经专门针对LPD的验证之前,其适用性尚未知。若要将该模型应用于LPD,需要额外的研究来评估出血量以及其他风险因素,以确保预测模型的有效性。

综上所述,肌少症、POSSUM评分和术中出血量为PD术后发生严重并发症的独立危险因素,基于上述因素构建的风险预测模型具有较高的预测效能和临床应用价值。本研究为单中心回顾性研究,样本量有限,结论可能存在偏倚,同时构建的列线图模型的预测稳定性及外推性未知。进行大样本、多中心的外部验证研究以进一步说明预测模型的临床价值将是接下来的研究方向。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献声明:阿茹拉、贾广鹏负责实验设计、统计分析、文章撰写;芦建慧、秦莎娜负责数据采集、分析;夏医君负责手术质量控制;胡志伟负责研究指导、文章审阅、经费支持。

## 参考文献

[1] Siegel RL, Miller KD, Wagle NS, et al. Cancer statistics, 2023[J].

- CA Cancer J Clin, 2023, 73(1):17–48. doi:10.3322/caac.21763.
- [2] Rahib L, Smith BD, Aizenberg R, et al. Projecting cancer incidence and deaths to 2030: the unexpected burden of thyroid, liver, and pancreas cancers in the United States[J]. Cancer Res, 2014, 74(11): 2913–2921. doi:10.1158/0008-5472.CAN-14-0155.
- [3] Zheng RS, Zhang SW, Zeng HM, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2016[J]. J Natl Cancer Cent, 2022, 2(1): 1–9. doi:10.1016/j.jncc.2022.02.002.
- [4] 蔡会龙, 原伟光, 安静, 等. 1990年和2019年中国胰腺癌疾病负担及危险因素研究[J]. 中华全科医学, 2023, 21(2):337–340. doi: 10.16766/j.cnki.issn.1674-4152.002877.
- Cai HL, Yuan WG, An J, et al. Disease burden and risk factors of pancreatic cancer in China in 1990 and 2019[J]. Chinese Journal of General Practice, 2023, 21(2): 337–340. doi: 10.16766/j.cnki.issn.1674-4152.002877.
- [5] 冯程程, 彭青兰, 焦学洋, 等. 1990—2019年中国胰腺癌发病和死亡情况及其变化趋势分析[J]. 中国肿瘤, 2022, 31(5):321–326. doi:10.11735/j.issn.1004-0242.2022.05.A001.
- Feng CC, Peng QL, Jiao XY, et al. Trends of pancreatic cancer incidence and mortality in China from 1990 to 2019[J]. China Cancer, 2022, 31(5): 321–326. doi: 10.11735/j.issn.1004-0242.2022.05.A001.
- [6] Whipple AO, Parsons WB, Mullins CR. Treatment of carcinoma of the ampulla of vater[J]. Ann Surg, 1935, 102(4): 763–779. doi: 10.1097/0000658-193510000-00023.
- [7] Gooiker GA, Lemmens VE, Besselink MG, et al. Impact of centralization of pancreatic cancer surgery on resection rates and survival[J]. Br J Surg, 2014, 101(8): 1000–1005. doi: 10.1002/bjs.9468.
- [8] Pugalenth A, Protic M, Gonen M, et al. Postoperative complications and overall survival after pancreaticoduodenectomy for pancreatic ductal adenocarcinoma[J]. J Surg Oncol, 2016, 113(2):188–193. doi:10.1002/jso.24125.
- [9] Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People[J]. Age Ageing, 2010, 39(4):412–423. doi:10.1093/ageing/afq034.
- [10] Gan H, Lan J, Bei H, et al. The impact of sarcopenia on prognosis of patients with pancreatic cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. Scott Med J, 2023, 68(4): 133–148. doi: 10.1177/00369330231187655.
- [11] Rom H, Tamir S, Van Vugt JLA, et al. Sarcopenia as a predictor of survival in patients with pancreatic adenocarcinoma after pancreatectomy[J]. Ann Surg Oncol, 2022, 29(3):1553–1563. doi: 10.1245/s10434-021-10995-y.
- [12] Copeland GP, Jones D, Walters M. POSSUM: a scoring system for surgical audit[J]. Br J Surg, 1991, 78(3): 355–360. doi: 10.1002/bjs.1800780327.
- [13] Hu ZW, Xin RQ, Xia YJ, et al. Application of POSSUM and P-POSSUM in surgical risk assessment of elderly patients undergoing hepatobiliary and pancreatic surgery[J]. Clin Interv Aging, 2020, 15:1121–1128. doi:10.2147/CIA.S258659.
- [14] Rückert F, Kuhn M, Scharm R, et al. Evaluation of POSSUM for patients undergoing pancreatoduodenectomy[J]. J Invest Surg, 2014, 27(6):338–348. doi:10.3109/08941939.2014.932475.
- [15] Dutton J, Zardab M, De Braal VJF, et al. The accuracy of pre-operative (P) -POSSUM scoring and cardiopulmonary exercise testing in predicting morbidity and mortality after pancreatic and liver surgery: a systematic review[J]. Ann Med Surg (Lond), 2021, 62:1–9. doi:10.1016/j.amsu.2020.12.016.
- [16] Zeng X, Shi ZW, Yu JJ, et al. Sarcopenia as a prognostic predictor of liver cirrhosis: a multicentre study in China[J]. J Cachexia Sarcopenia Muscle, 2021, 12(6): 1948–1958. doi: 10.1002/jcsm.12797.
- [17] Jabłońska B, Mrowiec S. The role of immunonutrition in patients undergoing pancreaticoduodenectomy[J]. Nutrients, 2020, 12(9): 2547. doi:10.3390/nu12092547.
- [18] El Nakeeb A, Salem A, Mahdy Y, et al. Value of preoperative biliary drainage on postoperative outcome after pancreaticoduodenectomy: a case-control study[J]. Asian J Surg, 2018, 41(2):155–162. doi:10.1016/j.asjsur.2016.10.004.
- [19] 吴晓勇, 陈启龙. 胰十二指肠切除术后早期并发症危险因素分析及对策[J]. 中国普通外科杂志, 2009, 18(9): 904–908. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2009.09.004.
- Wu XY, Chen QL. Risk factors and treatment of early complications after pancreaticoduodenectomy[J]. China Journal of General Surgery, 2009, 18(9): 904–908. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2009.09.004.
- [20] 任学群, 李宜雄, 陈善正, 等. 胰十二指肠切除术后胰瘘的危险因素[J]. 中国普通外科杂志, 2006, 15(10):772–776. doi:10.3969/j.issn.1005-6947.2006.10.014.
- Ren XQ, Li YX, Chen SZ, et al. Risk factors of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. China Journal of General Surgery, 2006, 15(10): 772–776. doi: 10.3969/j.issn.1005-6947.2006.10.014.
- [21] 丁会民, 秦锡虎, 朱峰, 等. 胰十二指肠切除术后并发症分析[J]. 中国普通外科杂志, 2008, 17(3): 256–260. doi: 10.3969/j.issn.1005-6947.2008.03.014.
- Ding HM, Qin XH, Zhu F, et al. Analysis of postoperative complications of pancreaticoduodenectomy[J]. China Journal of General Surgery, 2008, 17(3): 256–260. doi: 10.3969/j.issn.1005-6947.2008.03.014.
- [22] Nauheim DO, Hackbart H, Papai E, et al. Preoperative sarcopenia is a negative predictor for enhanced postoperative recovery after

- pancreaticoduodenectomy[J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2022, 407(6):2355–2362. doi:10.1007/s00423-022-02558-w.
- [23] 马金栋, 焦向飞, 蔡婷婷, 等. 肌肉减少症对胰十二指肠切除术后临床结局影响的Meta分析[J]. *中国普通外科杂志*, 2022, 31(9): 1135–1144. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2022.09.002.
- Ma JD, Jiao XF, Cai TT, et al. Meta-analysis of influence of sarcopenia on clinical outcomes after pancreaticoduodenectomy[J]. *China Journal of General Surgery*, 2022, 31(9): 1135–1144. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2022.09.002.
- [24] La Vaccara V, Cascone C, Coppola A, et al. Role of preoperative sarcopenia in predicting postoperative complications and survival after pancreatoduodenectomy for pancreatic cancer[J]. *Ann Ital Chir*, 2023, 94:45–51.
- [25] Joglekar S, Asghar A, Mott SL, et al. Sarcopenia is an independent predictor of complications following pancreatectomy for adenocarcinoma[J]. *J Surg Oncol*, 2015, 111(6): 771–775. doi: 10.1002/jso.23862.
- [26] Lee K, Shin Y, Huh J, et al. Recent issues on body composition imaging for sarcopenia evaluation[J]. *Korean J Radiol*, 2019, 20(2): 205–217. doi:10.3348/kjr.2018.0479.
- [27] Peng YC, Wu CH, Tien YW, et al. Preoperative sarcopenia is associated with poor overall survival in pancreatic cancer patients following pancreaticoduodenectomy[J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(4): 2472–2481. doi:10.1007/s00330-020-07294-7.
- [28] Schweitzer L, Geisler C, Pourhassan M, et al. What is the best reference site for a single MRI slice to assess whole-body skeletal muscle and adipose tissue volumes in healthy adults?[J]. *Am J Clin Nutr*, 2015, 102(1):58–65. doi:10.3945/ajcn.115.111203.
- [29] Prado CM, Lieffers JR, McCargar LJ, et al. Prevalence and clinical implications of sarcopenic obesity in patients with solid tumours of the respiratory and gastrointestinal tracts: a population-based study[J]. *Lancet Oncol*, 2008, 9(7): 629–635. doi: 10.1016/S1470-2045(08)70153-0.
- [30] Teeuwen PH, Bremers AJ, Groenewoud JM, et al. Predictive value of POSSUM and ACPGBI scoring in mortality and morbidity of colorectal resection: a case-control study[J]. *J Gastrointest Surg*, 2011, 15(2):294–303. doi:10.1007/s11605-010-1354-0.
- [31] Pacilli M, Fersini A, Pavone G, et al. Emergency surgery for colon diseases in elderly patients-analysis of complications, and postoperative course[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2022, 58(8):1062. doi: 10.3390/medicina58081062.
- [32] Khan AW, Shah SR, Agarwal AK, et al. Evaluation of the POSSUM scoring system for comparative audit in pancreatic surgery[J]. *Dig Surg*, 2003, 20(6):539–545. doi:10.1159/000073701.
- [33] de Castro SM, Houwert JT, Lagarde SM, et al. Evaluation of POSSUM for patients undergoing pancreatoduodenectomy[J]. *World J Surg*, 2009, 33(7): 1481–1487. doi: 10.1007/s00268-009-0037-z.
- [34] 姚华雄, 王超, 李崇健. POSSUM评分系统预测高龄患者胰十二指肠切除术后风险的价值[J]. *中国普通外科杂志*, 2013, 22(9): 1122–1125. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2013.09.003.
- Yao HX, Wang C, Li DJ. Value of POSSUM scoring system for risk estimation in elderly patients undergoing pancreaticoduodenectomy[J]. *China Journal of General Surgery*, 2013, 22(9): 1122–1125. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2013.09.003.
- [35] Chen L, Peng L, Wang C, et al. New score for prediction of morbidity in patients undergoing open pancreaticoduodenectomy[J]. *J Int Med Res*, 2021, 49(3): 3000605211001984. doi:10.1177/03000605211001984.
- [36] Schuh F, Mihaljevic AL, Probst P, et al. A Simple Classification of Pancreatic Duct Size and Texture Predicts Postoperative Pancreatic Fistula: a classification of the International Study Group of Pancreatic Surgery[J]. *Ann Surg*, 2023, 277(3): e597–e608. doi: 10.1097/SLA.0000000000004855.
- [37] Chen L, Su DW, Zhang F, et al. A simplified scoring system for the prediction of pancreatoduodenectomy's complications: an observational study[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(1):e13969. doi:10.1097/MD.00000000000013969.
- [38] 曹昕彤, 申鼎成, 黄耿文, 等. 胰十二指肠切除术后胰瘘的预测因素筛选及预测模型构建的单中心前瞻性研究[J]. *中国普通外科杂志*, 2019, 28(9): 1115–1122. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2019.09.013.
- Cao XT, Shen DC, Huang GW, et al. A single center prospective study of screening predictive factors and building predictive model for postoperative pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. *China Journal of General Surgery*, 2019, 28(9):1115–1122. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2019.09.013.
- [39] Li V, Awan A, Serrano PE. Frailty Predicts Postoperative Complications following Pancreaticoduodenectomy[J]. *Eur Surg Res*, 2022, 63(4):232–240. doi:10.1159/000522576.

( 本文编辑 宋涛 )

本文引用格式: 阿茹拉, 芦建慧, 夏医君, 等. 基于肌少症联合POSSUM评分的胰十二指肠切除术后严重并发症预测模型的构建[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(7):1122–1132. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.07.011

Cite this article as: A RL, Lu JH, Xia YJ, et al. Construction of a prediction model for severe postoperative complications after pancreatoduodenectomy based on sarcopenia combined with POSSUM score[J]. *Chin J Gen Surg*, 2024, 33(7): 1122–1132. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2024.07.011