



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.240553  
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.240553  
China Journal of General Surgery, 2025, 34(3):445-454.

· 专题研究 ·

# 甘油三酯-葡萄糖指数联合血清学指标对胰十二指肠切除术后胰瘘的预测作用

牛聚宝<sup>1</sup>, 姜文凯<sup>1</sup>, 李存斌<sup>2</sup>, 李昕<sup>2</sup>, 张辉<sup>2</sup>

[1. 兰州大学第二临床医学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学第二医院(第二临床医学院) 普通外科, 甘肃 兰州 730000]

## 摘要

**背景与目的:** 术后胰瘘(POPF)是胰十二指肠切除术(PD)术后最严重及最常见的并发症之一,也是PD术后死亡的主要原因。引起PD-POPF的危险因素较多,因此建立有效的预测模型具有重要的临床价值。本研究探讨甘油三酯-葡萄糖(TyG)指数联合血清学指标对PD后POPF的预测效能。

**方法:** 回顾性收集2019年1月—2024年6月兰州大学第二医院普通外科291例接受PD患者的术前一般资料、术前1周内的实验室指标及术后并发症资料。通过计算机随机数法按照7:3比例随机分为建模组(203例)和验证组(88例),对建模组数据进行单因素Logistic回归及二元Logistic回归(Back-Wald法)进行多因素分析,并基于回归分析结果构建模型并利用列线图进行模型可视化。绘制受试者工作特征(ROC)曲线下面积(AUC)评价该列线图模型的区分度,绘制校准曲线评价模型预测概率、实际概率之间的曲线,决策曲线分析预测模型在实际临床决策中的应用价值。对可能存在的影响结局变量的影响因素进行亚组分析。

**结果:** 291例患者中共有70例患者发生POPF,其中建模组发生POPF 49例,验证组21例,建模组与验证组两组数据集之间的差异无统计学意义(均 $P>0.05$ ),建模组单因素分析结果显示,体质量指数(BMI)、甘油三酯、TyG指数、白蛋白(ALB)、血小板计数(PLT)、淋巴细胞绝对值(LYM)、中性粒细胞绝对值(NEUT)与POPF明显有关(均 $P<0.05$ ),多因素分析结果显示,BMI、TyG指数、ALB、PLT、LYM、NEUT是POPF的独立影响因素(均 $P<0.05$ )。根据多因素分析结果构建PD-POPF风险预测模型及列线图,模型AUC为0.80(0.73~0.86),将验证组数据带入预测模型并绘制ROC曲线,结果显示,验证组AUC为0.80(0.70~0.90),建模组、验证组模型校准曲线接近标准曲线。亚组分析显示,肿瘤性质与肿瘤分期对PD-POPF的影响因素的影响不大,本预测模型的稳定性较好。

**结论:** TyG指数以及BMI、PLT、NEUT、ALB、LYM与PD-POPF的发生密切相关,基于TyG指数及上述影响因素建立的风险预测模型具有良好的预测效能,对指导临床进行早期干预具有重要意义。

## 关键词

胰十二指肠切除术; 胰瘘; 危险因素; 列线图

中图分类号: R657.5

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(82360510); 陇原青年创新创业人才(团队)基金资助项目(212088725013); 甘肃省科技计划基金资助项目(21JR1RA113)。

**收稿日期:** 2024-10-30; **修订日期:** 2025-02-08。

**作者简介:** 牛聚宝, 兰州大学第二临床医学院硕士研究生, 主要从事肝胆胰疾病临床与基础方面的研究。

**通信作者:** 张辉, Email: ery\_huizhang@lzu.edu.cn

# Predictive value of the triglyceride-glucose index combined with serological indicators for pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy

NIU Jubao<sup>1</sup>, JIANG Wenkai<sup>1</sup>, LI Cunbin<sup>2</sup>, LI Xin<sup>2</sup>, ZHANG Hui<sup>2</sup>

(1. The Second Clinical Medical School, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Department of General Surgery, the Second Hospital & Clinical Medical School, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

## Abstract

**Background and Aims:** Postoperative pancreatic fistula (POPF) is one of the most severe and common complications following pancreaticoduodenectomy (PD) and is a major cause of mortality after PD. Given the multiple risk factors associated with PD-POPF, developing an effective predictive model is of significant clinical importance. This study was conducted to explore the predictive performance of the triglyceride-glucose (TyG) index combined with serological indicators for POPF following PD.

**Methods:** The preoperative general data, laboratory indicators within one week before surgery, and postoperative complication data of 291 patients who underwent PD at the Department of General Surgery, Second Hospital of Lanzhou University, from January 2019 to June 2024, were retrospectively collected. Patients were randomly divided into a modeling group (203 cases) and a validation group (88 cases) using a computer-generated random number method at a 7:3 ratio. Univariate Logistic regression and multivariate binary Logistic regression (Back-Wald method) were performed on the modeling group data. Based on regression analysis results, a predictive model was constructed and visualized using a nomogram. The discriminative ability of the nomogram model was evaluated by the area under the receiver operating characteristic (ROC) curve (AUC). A calibration curve was used to assess the agreement between predicted and actual probabilities, and a decision curve analysis was conducted to evaluate the clinical application value of the model. Subgroup analysis was performed on potential factors influencing the outcome variables.

**Results:** Among the 291 patients, 70 developed POPF, with 49 cases in the modeling group and 21 in the validation group. There was no statistically significant difference between the two groups (all  $P > 0.05$ ). Univariate analysis in the modeling group identified body mass index (BMI), triglycerides, TyG index, albumin (ALB), platelet count (PLT), absolute lymphocyte count (LYM), and absolute neutrophil count (NEUT) as significant factors associated with POPF (all  $P < 0.05$ ). Multivariate analysis revealed that BMI, TyG index, ALB, PLT, LYM, and NEUT were independent influencing factors for POPF (all  $P < 0.05$ ). A PD-POPF risk prediction model and nomogram were constructed based on these results. The model achieved an AUC of 0.80 (0.73–0.86), and when applied to the validation group, the ROC analysis yielded an AUC of 0.80 (0.70–0.90). The calibration curves of both the modeling and validation groups closely aligned with the standard curve. Subgroup analysis indicated that tumor nature and tumor stage had minimal impact on PD-POPF risk factors, demonstrating good model stability.

**Conclusion:** The TyG index, along with BMI, PLT, NEUT, ALB, and LYM, is closely associated with PD-POPF occurrence. The risk prediction model based on the TyG index and these influencing factors exhibits good predictive performance and holds significant clinical value for guiding early intervention.

## Key words

Pancreaticoduodenectomy; Pancreatic Fistula; Risk Factors; Nomograms

**CLC number:** R657.5

胰十二指肠切除术 (pancreaticoduodenectomy, PD) 一直是胰头部、胆总管下端、壶腹部良恶性肿瘤病变的主要治疗方法,因涉及多脏器切除及重建,PD被认为是外科难度最大的手术之一<sup>[1]</sup>。随着微创外科的发展及围手术期的精细管理,使得PD的病死率明显降低,但术后并发症的发生率仍然很高<sup>[2]</sup>,术后并发症包括术后胰瘘 (postoperative pancreatic fistula, POPF)、胆汁漏、腹腔内感染、胃排空延迟等,其中POPF是PD术后最常见和最严重的并发症,可造成一系列生理病理改变,胰液渗漏会增加感染风险并侵蚀周围血管,从而可能诱发出血甚至死亡,严重影响患者的术后恢复及远期预后<sup>[3]</sup>。因此,尽早预测POPF的发生并及时进行临床干预对患者转归及康复有重要意义。目前,许多关于POPF的预测模型已被开发出来,但均面临着特异度、敏感度、预测价值及效能较低等问题,构建模型的影响因素也不尽相同<sup>[4-5]</sup>。

引起PD-POPF的危险因素有很多,其中肥胖是重要影响因素,肥胖患者常伴有脂肪浸润,胰腺质地较软,手术中更难处理,增加了POPF的可能性,其次肥胖还会带来胰岛素抵抗,导致多种激素或细胞因子紊乱,从而影响血糖、血脂的代谢,可能会增加术后并发症的发生风险<sup>[6-7]</sup>。甘油三酯-葡萄糖 (triglyceride-glucose, TyG) 指数是一种简单、经济高效的评估胰岛素抵抗的指标<sup>[8]</sup>,本研究旨在探究TyG指数联合血清学指标构建一种快速、简单、高效的PD-POPF风险预测列线图模型并进行验证,协助医生识别胰瘘的高危患者,并制定个体化干预措施,提早预防POPF的发生,提高PD的安全性,加速患者术后康复。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性收集2019年1月—2024年6月兰州大学第二医院普通外科291例接受PD患者的临床资料。术后病理显示,恶性肿瘤247例,其中胰腺恶性肿瘤87例,胆管恶性肿瘤90例,十二指肠恶性肿瘤53例,壶腹部恶性肿瘤17例;神经内分泌肿瘤6例,其他良性疾病38例。按美国癌症联合委员会 (American Joint Committee on Cancer, AJCC) 标准对恶性肿瘤进行分期,结果显示I期86例,II期125例,III期36例。

### 1.2 纳入与排除标准

纳入标准:(1)所有患者均在全麻下行标准PD治疗;(2)年龄>18岁;(3)术前影像学资料提示无多脏器转移及重要血管侵犯;(4)病历资料完整。排除标准:(1)患者病历资料不完整;(2)伴有严重肝肾功能不全的患者;(3)既往有其他恶性肿瘤病史的患者。本研究已经获得兰州大学第二医院伦理委员会的批准 (伦理审批号:2024A-1306),豁免知情同意。

### 1.3 胰瘘的诊断及分级标准

根据最新2016年国际胰瘘研究小组 (International Study Group on Pancreatic Fistula, ISGPF) 关于POPF的诊断标准<sup>[9]</sup>,将PD术后 $\geq 3$ d任意引流液中的淀粉酶含量超过血清淀粉酶正常值的3倍,且与临床诊疗手段变化相关诊断为POPF,并分为A、B、C三级,A级胰瘘又称为生化漏,无明显临床症状,无需临床处理,B~C级胰瘘出现不同程度的临床症状改变且同时伴有临床诊疗措施的改变。将未发生胰瘘及生化漏归为无POPF组,将B、C级胰瘘归为POPF组。

### 1.4 手术方式及术后管理

所有患者均在全身麻醉下行标准PD,包括开腹和腹腔镜两种手术方式,消化道重建为Child法,其中胰肠吻合分为胰腺空肠端侧吻合及改良降落伞式吻合;均常规放置胰管支架和腹腔引流管。所有患者术后常规给予抑酸、抑制胰酶分泌、抗感染和营养支持等治疗。密切监测患者生命体征及胰肠吻合口引流液淀粉酶及引流量,直至无引流液引出或仅有少量引流液引出且同时无相关临床症状时酌情拔出引流管,部分患者出现B、C级胰瘘时需行穿刺引流或二次手术。

### 1.5 观察指标

收集患者一般资料,包括性别、年龄、体质指数 (BMI)、高血压史、糖尿病史、术前是否接受减黄治疗;术前1周内的实验室检验资料,包括空腹血糖 (fasting blood glucose, FBG)、总胆固醇 (total cholesterol, TC)、甘油三酯 (triglyceride, TG)、高密度脂蛋白 (high-density lipoprotein, HDL)、总胆红素 (total bilirubin, TBIL)、丙氨酸氨基转移酶 (alanine aminotransferase, ALT)、天门冬氨酸氨基转移酶 (aspartate aminotransferase, AST)、 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶 ( $\gamma$  glutamyltranspeptidase,  $\gamma$ -GT)、碱性磷酸酶 (alkaline phosphatase, ALP)、

白蛋白 (albumin, ALB)、白细胞计数 (white blood cell, WBC)、血小板计数 (platelet count, PLT)、单核细胞绝对值 (monocytosis, MONO)、淋巴细胞绝对值 (lymphocyte, LYM)、中性粒细胞绝对值 (neutrophil, NEUT) 等及 TyG 指数, TyG 指数 =  $\ln$  [空腹甘油三酯 (mg/dL)  $\times$  空腹血糖 (mg/dL) / 2]; 术中资料包括美国麻醉医师协会 (American Society of Anesthesiologists, ASA) 分级、手术方式、手术时间、术中出血量; 术后资料包括病历资料及并发症发生情况。

## 1.6 统计学处理

所有统计分析均使用 R 软件 (4.3.2) 进行。正态数据用平均值加减标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 非正态数据以中位数 (四分位间距) [ $M$  ( $IQR$ )] 表示。在单变量分析中, 对分类变量采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确检验法, 对连续变量采用独立样本  $t$  检验或秩和检验。在建模队列中, 采用多因素

Logistic 回归模型筛选独立危险因素, 构建 PD-POPF 的预测列线图。绘制受试者工作特征曲线 (receiver operating characteristic curve, ROC), 采用曲线下面积 (area under curve, AUC) 和校准曲线评估该模型的性能, 决策曲线分析 (decision curve analysis, DCA) 以确定预测的净效益阈值。对可能存在的影响结局变量的影响因素进行亚组分析。双侧检验  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 基本信息

最终共纳入 291 例患者, 利用计算机产生的随机数按 7:3 的比例随机分为建模组 ( $n=203$ ) 和验证组 ( $n=88$ )<sup>[9-10]</sup>, 建模组和验证组特征比较结果如表 1 所示, 两组术前、术中、术后数据整体具有可比性。

表 1 两组一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between the two groups

变量	建模组( $n=203$ )	验证组( $n=88$ )	$t/Z/\chi^2$	$P$
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$ )	60.38 $\pm$ 10.91	60.51 $\pm$ 7.48	0.119	0.905
BMI(kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	22.63 $\pm$ 2.82	22.32 $\pm$ 3.04	-0.840	0.402
性别[n(%)]				
女	72(35.47)	37(42.05)	1.134	0.287
男	131(64.53)	51(57.95)		
高血压[n(%)]				
否	152(74.88)	71(80.68)	1.155	0.282
是	51(25.12)	17(19.32)		
糖尿病[n(%)]				
否	175(86.21)	80(90.91)	1.252	0.263
是	28(13.79)	8(9.09)		
术前减黄[n(%)]				
否	91(44.83)	41(46.59)	0.077	0.781
是	112(55.17)	47(53.41)		
FBC (mmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	6.01 $\pm$ 1.82	6.39 $\pm$ 2.35	1.523	0.129
TG (mmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	1.69 $\pm$ 0.82	1.84 $\pm$ 1.00	1.302	0.194
TBIL [mmol/L, $M(IQR)$ ]	68.10(25.35~126.30)	76.85(21.17~127.75)	-0.445	0.656
ALT [U/L, $M(IQR)$ ]	78.00(37.50~146.50)	71.00(40.00~126.25)	-0.269	0.788
AST [U/L, $M(IQR)$ ]	57.00(32.50~91.00)	54.00(33.00~90.50)	-0.105	0.917
$\gamma$ -GT [U/L, $M(IQR)$ ]	200.00(71.50~432.00)	235.50(73.00~487.50)	-0.220	0.826
ALT [U/L, $M(IQR)$ ]	228.00(131.00~350.00)	200.50(120.75~371.50)	-0.005	0.996
ALB (g/L, $\bar{x} \pm s$ )	37.31 $\pm$ 4.31	37.57 $\pm$ 6.21	0.413	0.680
WBC [ $10^9/L$ , $M(IQR)$ ]	6.30(5.03~7.57)	5.87(4.94~7.45)	-1.023	0.306
PLT ( $10^9/L$ , $\bar{x} \pm s$ )	231.61 $\pm$ 81.30	231.24 $\pm$ 78.57	-0.036	0.971
MONO [ $10^9/L$ , $M(IQR)$ ]	0.45(0.33~0.61)	0.43(0.35~0.58)	-0.244	0.807
NEUT ( $10^9/L$ , $\bar{x} \pm s$ )	4.08 $\pm$ 1.70	4.12 $\pm$ 2.42	0.146	0.884
LYM ( $10^9/L$ , $\bar{x} \pm s$ )	1.50 $\pm$ 0.58	1.51 $\pm$ 0.61	0.086	0.932

表1 两组一般资料比较(续)  
Table 1 Comparison of general data between the two groups (continued)

变量	建模组(n=203)	验证组(n=88)	t/Z/ $\chi^2$	P
LYM( $10^9/L, \bar{x} \pm s$ )	1.50±0.58	1.51±0.61	0.086	0.932
TyG指数( $\bar{x} \pm s$ )	8.86±0.54	8.97±0.61	1.548	0.123
ASA分级[n(%)]				
1级	4(1.97)	1(1.14)		
2级	165(81.28)	66(75.00)	—	0.377
3级	34(16.75)	21(23.86)		
手术方式[n(%)]				
开腹	128(63.05)	61(69.32)		
腹腔镜	75(36.95)	27(30.68)	1.058	0.304
手术时间(h, $\bar{x} \pm s$ )	8.38±2.74	8.35±2.46	-0.080	0.937
术中出血量[mL, M(IQR)]	100.00(100.00~200.00)	150.00(100.00~300.00)	-0.732	0.464
疾病部位[n(%)]				
胰腺	75(36.95)	43(48.86)		
远端胆管	72(35.47)	19(21.59)		
十二指肠	43(21.18)	20(22.73)	6.014	0.111
壶腹部	13(6.40)	6(6.82)		
脉管侵犯[n(%)]				
否	109(53.69)	43(48.86)		
是	94(46.31)	45(51.14)	0.574	0.449
神经侵犯[n(%)]				
否	85(41.87)	35(39.77)		
是	118(58.13)	53(60.23)	0.112	0.738
疾病性质[n(%)]				
良性	30(14.78)	14(15.91)		
恶性	173(85.22)	74(84.09)	0.061	0.805
淋巴结转移[n(%)]				
否	146(71.92)	68(77.27)		
是	57(28.08)	20(22.73)	0.903	0.342

## 2.2 单因素与多因素 Logistic 回归分析及 PD-POPF 风险预测模型构建

在建模组中,对无 POPF 组和 POPF 组人群的各特征分别进行比较,结果显示, BMI、TG、TyG 指数、ALB、PLT、NEUT、LYM 在两组间的差异有统计学意义(均  $P < 0.05$ ) (表 2)。将组间比较中差异有统计学意义的变量纳入 Logistic 回归模型中,单因素模型中可见,术前 BMI、TG、TyG 指数、NEUT、PLT 是 PD-POPF 发生的危险因素,而 ALB、LYM 是保护因素(均  $P < 0.05$ ),将单因素模型中差异有统计学意义的变量,纳入多因素 Logistic 模型中,采用双向逐步回归,最终结果显示, BMI、TyG 指数、PLT、NEUT 是 PD-POPF 发生的独立危险

因素,而 ALB、LYM 是独立保护因素(均  $P < 0.05$ ) (表 3)。

表2 无 POPF 组和 POPF 组术前指标比较( $\bar{x} \pm s$ )  
Table 2 Comparison of preoperative indexes between the non-POPF group and the POPF group ( $\bar{x} \pm s$ )

变量	无 POPF 组 (n=154)	POPF 组 (n=49)	t/Z/ $\chi^2$	P
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	22.38±2.78	23.40±2.84	-2.227	0.027
TG(mmol/L)	1.59±0.81	1.99±0.78	-3.015	0.003
TyG 指数	8.78±0.55	9.11±0.42	-4.394	<0.001
ALB(g/L)	37.69±4.31	36.11±4.12	2.266	0.025
PLT( $10^9/L$ )	215.39±77.84	253.35±75.40	-2.995	0.003
NEUT( $10^9/L$ )	3.90±1.64	4.66±1.76	-2.773	0.006
LYM( $10^9/L$ )	1.55±0.63	1.32±0.37	3.147	0.002

表3 建模组单因素及多因素 Logistic 回归分析

Table 3 Univariate and multivariate Logistic regression analysis of the modeling group

变量	单因素					多因素				
	$\beta$	SE	Z	P	OR(95% CI)	$\beta$	SE	Z	P	OR(95% CI)
BMI	0.13	0.06	2.18	0.029	1.14(1.01~1.28)	0.15	0.07	2.29	0.022	1.17(1.02~1.33)
TG	0.54	0.19	2.78	0.005	1.72(1.17~2.52)	—	—	—	—	—
TyG 指数	1.20	0.34	3.56	<0.001	3.31(1.71~6.38)	1.00	0.38	2.60	0.009	2.71(1.28~5.75)
ALB	-0.09	0.04	-2.21	0.027	0.92(0.85~0.99)	-0.10	0.04	-2.31	0.021	0.90(0.83~0.98)
PLT	0.01	0.00	2.86	0.004	1.01(1.01~1.01)	0.01	0.00	2.29	0.022	1.01(1.01~1.01)
NEUT	0.25	0.10	2.62	0.009	1.29(1.07~1.56)	0.25	0.11	2.23	0.026	1.28(1.03~1.59)
LYM	-0.86	0.36	-2.42	0.016	0.42(0.21~0.85)	-0.84	0.40	-2.11	0.035	0.43(0.20~0.94)

### 2.3 列线图模型构建

利用 R 软件 (4.3.2) 构建预测模型, 绘制列线图进行可视化, 如图 1 所示。每个预测变量都会在评分轴上产生 1 个垂直投射值, 这些预测变量的

分值相加后形成总评分。随后, 在总评分轴上找到相应的位置, 并由此向风险轴投射 1 个垂直数值, 这个数值反映了研究对象的胰痿风险。

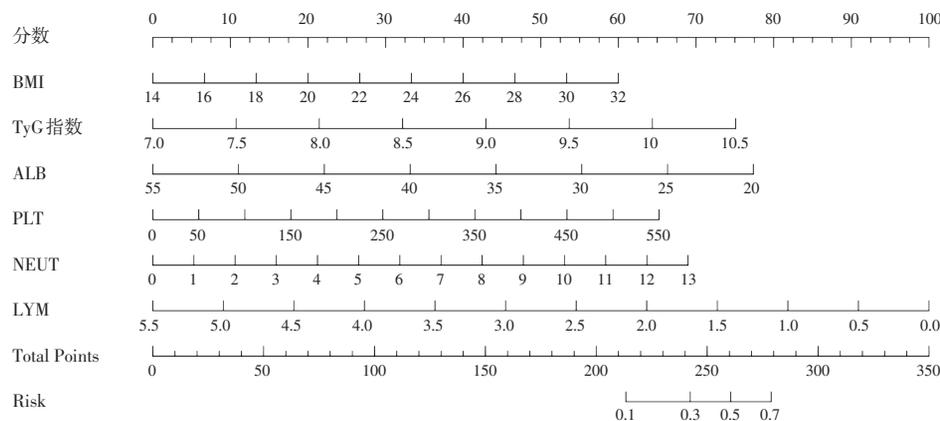


图1 预测模型列线图

Figure 1 Nomogram of the predictive model

### 2.4 模型评估及验证

对构建的模型进行评价, 如图 2 所示, 该模型在建模组和验证组上的 AUC 分别为 0.80 (0.73~0.86) 和 0.80 (0.70~0.90), 该预测模型预测能力强, 且具有良好的稳定性。建模组和验证组的预测模型校准图如图 3 所示, 该模型的校准曲线与理想曲线相对接近, 表明预测结果与实际发现一致。但建模组在预测概率 0.3 左右有些偏差, 模型在这一部分的预测可能稍微倾向高估实际概率, 而在 0.5 后预测可能稍微倾向低估实际概率。验证组在预测概率 0.2~0.4 可能倾向高估实际概率, 在 0.4 之后可能稍微倾向低估实际概率。建模组和验证组的预测模型 DCA 曲线如图 4 所示, 该曲线揭示了模

型在不同风险阈值下提供的净收益, 与对所有患者进行治疗或不对任何患者进行治疗的极端策略进行了比较。模型在风险阈值 0.3 附近提供较大的净收益, 而在验证组中, DCA 曲线表现出与建模组相似的趋势, 同时说明该模型泛化能力较好。

### 2.5 亚组分析

按肿瘤性质将患者分为良性肿瘤组 ( $n=44$ ) 与恶性肿瘤组 ( $n=247$ ); 按 AJCC 肿瘤分期标准将恶性肿瘤患者分为  $\leq$ II 期组 ( $n=211$ ) 和  $>$ II 期组 ( $n=36$ )。通过对恶性肿瘤组和  $\leq$ II 期组进行亚组分析发现, 最终影响 PD-POPF 发生的影响因素改变不明显 (表 4-5), 说明本研究构建的预测模型较为稳定。

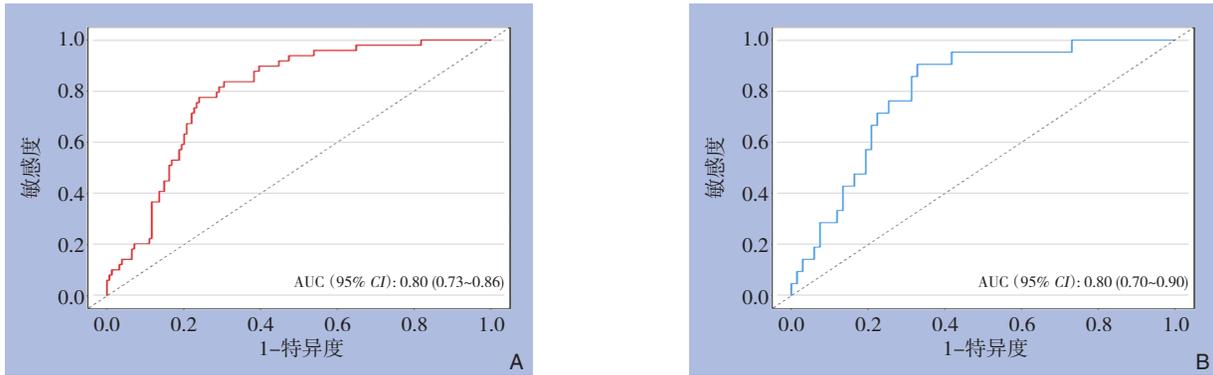


图2 预测模型的ROC曲线 A: 建模组; B: 验证组

Figure 2 ROC curves of the predictive model A: Modeling group; B: Validation group

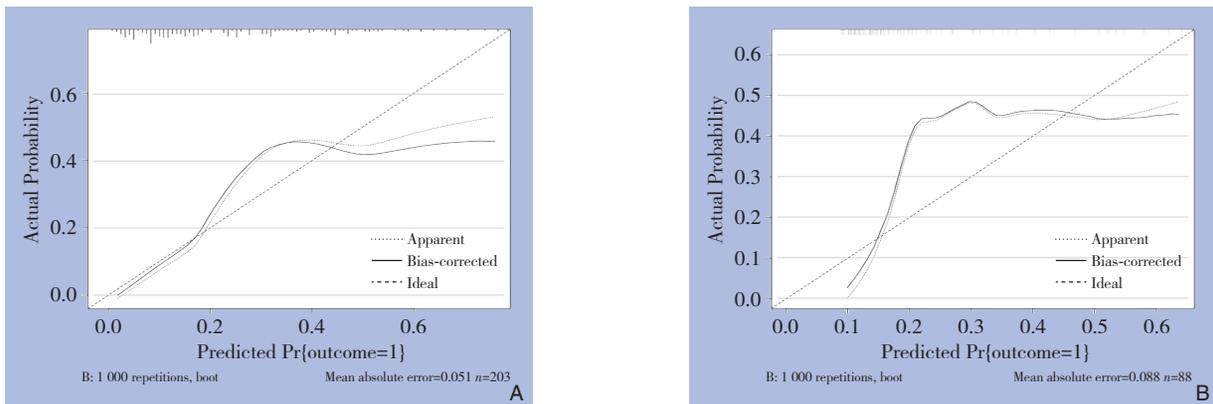


图3 预测模型的校准曲线 A: 建模组; B: 验证组

Figure 3 Calibration curves of the predictive model A: Modeling group; B: Validation group

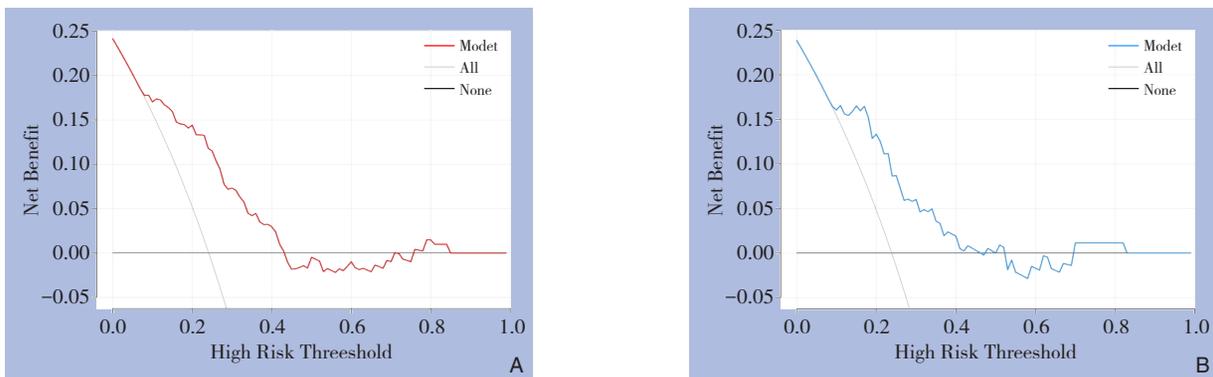


图4 预测模型的DCA曲线 (All: 对所有患者进行治疗; None: 不对任何患者进行治疗) A: 建模组; B: 验证组

Figure 4 DCA curves of the predictive model (All: Treatment for all patients; None: No treatment for any patient) A: Modeling group; B: Validation group

表4 恶性肿瘤组多因素Logistic回归

Table 4 Multivariate Logistic regression in malignant tumor group

变量	$\beta$	SE	Z	P	OR(95% CI)
TyG指数	0.87	0.31	2.81	0.005	2.40(1.30~4.40)
ALB	-0.12	0.04	-2.79	0.005	0.89(0.82~0.97)
PLT	0.01	0.00	3.01	0.003	1.01(1.01~1.01)
NEUT	0.24	0.09	2.56	0.011	1.27(1.06~1.52)
LYM	-0.70	0.33	-2.10	0.036	0.50(0.26~0.95)

表5 恶性肿瘤I期及II期多因素 Logistic 回归

Table 5 Multivariate Logistic regression for malignant tumor stage I and stage II groups

变量	$\beta$	SE	Z	P	OR(95% CI)
TyG指数	0.85	0.33	2.61	0.009	2.34(1.23~4.43)
ALB	-0.11	0.04	-2.53	0.012	0.89(0.82~0.98)
PLT	0.01	0.00	2.94	0.003	1.01(1.01~1.01)
NEUT	0.21	0.10	2.15	0.031	1.24(1.02~1.50)
LYM	-0.65	0.34	-1.91	0.057	0.52(0.27~1.02)

### 3 讨论

PD作为外科难度及精细度最高的手术之一，一直是国内外研究的热点，随着技术的进步与革新，PD-POPF的病死率明显降低，但发生率仍不容乐观，既往文献报道胰痿的发生率约为3%~45%<sup>[11]</sup>。因此提前预测胰痿的发生，并及早进行干预，对改善患者的预后具有重要意义。本研究发现，高BMI、TyG、PLT、NEUT以及低ALB、LYM是PD-POPF的独立危险因素，并以此构建PD-POPF预测模型，预测性能优于a-FRS评分系统<sup>[12]</sup>[AUC: 0.80 (0.73~0.86) vs. 0.72 (0.68~0.76)]。

TyG指数是一种简便判断胰岛素抵抗的指标，本研究结果显示，PD-POPF发生与TyG指数相关。胰岛素抵抗是一种病理状态，此类患者伴随着糖代谢与脂肪代谢异常，常有高血糖、高甘油三酯血症表现<sup>[8]</sup>，因此，TyG指数常应用于2型糖尿病、心血管疾病等慢性疾病的预测和早期筛查<sup>[13-14]</sup>，也可作为胃癌、子宫内膜癌等的良好预测指标<sup>[15-16]</sup>。Fritz等<sup>[17]</sup>发现，TyG指数与肝癌、结直肠癌、胰腺癌等消化系统癌症风险增加相关。一项Meta分析<sup>[18]</sup>发现，较高的TyG指数可能会增加癌症发生风险。本研究中，POPF组的TyG指数明显高于非POPF组 ( $P<0.001$ )，多因素分析发现，术前高TyG指数是PD-POPF的独立危险因素，可能与高血糖激活免疫炎症反应<sup>[19]</sup>，高血脂造成血液黏稠度增加，导致术后残余胰腺组织微循环障碍，影响组织的修复与再生，延迟吻合口愈合有关。既往研究<sup>[10,20]</sup>表明，术前高血糖、高血脂常与术后不良预后相关。此外，长期的高血糖、高血脂还会引起肾脏疾病、心血管疾病、视网膜疾病、加重围手术期感染风险及麻醉风险等，应合理控制患者围术期血糖、血脂。

本研究结果还显示，高BMI是POPF的另一独

立危险因素，但在亚组多因素分析中，BMI则不再是独立危险因素，这也反映了BMI在预测PD-POPF的局限性。既往研究<sup>[21-22]</sup>有关BMI对POPF的影响也存在争议，仍需进一步深入研究BMI预测PD-POPF的效能和价值。

另外，本研究发现ALB是PD-POPF的独立保护因素，术前ALB水平低可能促进了POPF的发生。潜在的机制可能为，ALB参与机体的物质运输、组织修复<sup>[23]</sup>和血浆胶体渗透压的维持<sup>[24]</sup>，因此，ALB水平较低时均会影响吻合口愈合。术前应积极关注患者营养状态，You等<sup>[25]</sup>的研究结果与本研究一致。

免疫炎症与POPF的发生息息相关，本研究结果显示，术前高PLT、高NEUT和低LYM均是POPF发生的独立危险因素，以上指标均提示机体在术前处于炎症状态，会释放各类炎症因子影响机体愈合<sup>[26]</sup>。为了解本研究构建的预测模型在不同肿瘤性质及不同肿瘤分期患者中的预测稳定性，对恶性肿瘤组和恶性肿瘤I期和II期组分别进行亚组分析，结果提示肿瘤性质及肿瘤分期对研究结果影响不大，表明该预测模型具有广泛适用性和一致性。

目前针对PD-POPF的预测模型大多从围术期全程着手，包括术前准备、术中管理、术后管理，为POPF的发生提供建议<sup>[27-29]</sup>，但在实际临床工作中，这些预测模型具有明显滞后性，丧失了建立预测模型的初始目的。其次，当前大多数预测模型专业性较强，削弱了预测模型的普适性。本研究开发的风险预测模型只采用术前指标，且各指标均易获得，预测效能也有所提升，充分体现了本模型的优越性，相比其他研究更具有超前性，能够为临床医生提供更早的临床建议，更具有风险预测的现实意义。但本研究也存在不足之处，本研究纳入指标有限且样本量较少，可能忽略了

其他影响 POPF 的关键因素, 后期研究可随着样本数据的丰富与扩充, 进一步对本模型进行改良与完善。其次, 虽然所有术者均度过学习曲线, 但是既往文献<sup>[30-31]</sup>指出, POPF 的发生与术中胰肠吻合方式的选择、术者经验、胰腺质地等多种因素相关, 而本研究并未对其进行深入探讨。另外, 术后病理结果也未纳入危险因素分析, 主要考虑到本研究的目的是建立术前早期识别 PD-POPF 的预测模型, 所以只进行了亚组分析验证。

综上所述, 本研究结合 TyG 指数和术前血清学指标构建了完全术前指标预测 PD-POPF 的预测模型, 且预测效能较好, 可以为临床医生提早干预提供建议, 但是需要更大样本、多中心的前瞻性研究进一步验证。

作者贡献声明: 牛聚宝负责数据的收集分析、数据分析及可视化、初稿撰写; 姜文凯负责数据处理分析; 李存斌、李昕负责数据整理; 张辉负责初稿的审阅和修改、资金支持。

利益冲突: 所有作者均声明不存在利益冲突。

## 参考文献

- [1] Tung S, Davis LE, Hallet J, et al. Population-level symptom assessment following pancreaticoduodenectomy for adenocarcinoma[J]. *JAMA Surg*, 2019, 154(11): e193348. doi: 10.1001/jamasurg.2019.3348.
- [2] Kokkinakis S, Kritsotakis EI, Maliotis N, et al. Complications of modern pancreaticoduodenectomy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int*, 2022, 21(6): 527-537. doi:10.1016/j.hbpd.2022.04.006.
- [3] Kawaida H, Kono H, Hosomura N, et al. Surgical techniques and postoperative management to prevent postoperative pancreatic fistula after pancreatic surgery[J]. *World J Gastroenterol*, 2019, 25(28):3722-3737. doi:10.3748/wjg.v25.i28.3722.
- [4] Yang F, Windsor JA, Fu DL. Optimizing prediction models for pancreatic fistula after pancreatectomy: Current status and future perspectives[J]. *World J Gastroenterol*, 2024, 30(10): 1329-1345. doi:10.3748/wjg.v30.i10.1329.
- [5] Ryu Y, Shin SH, Park DJ, et al. Validation of original and alternative fistula risk scores in postoperative pancreatic fistula[J]. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*, 2019, 26(8): 354-359. doi: 10.1002/jhbp.638.
- [6] Hu D, Zhang MJ, Zhang HJ, et al. Prediction of metabolic syndrome for the survival of patients with digestive tract cancer: a meta-analysis[J]. *Front Oncol*, 2019, 9: 281. doi: 10.3389/fonc.2019.00281.
- [7] 谢春晓, 卢洁霞, 陈凤平, 等. 代谢综合征与胰腺癌患者的临床病理特征和预后的相关性研究[J]. *广西医科大学学报*, 2024, 41(1): 78-84. doi:10.16190/j.cnki.45-1211/r.2024.01.011. Xie CX, Lu JX, Chen FP, et al. Correlation study of metabolic syndrome with clinicopathological features and prognosis in patients with pancreatic cancer[J]. *Journal of Guangxi Medical University*, 2024, 41(1): 78-84. doi: 10.16190/j.cnki.45-1211/r.2024.01.011.
- [8] Son DH, Lee HS, Lee YJ, et al. Comparison of triglyceride-glucose index and HOMA-IR for predicting prevalence and incidence of metabolic syndrome[J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2022, 32(3): 596-604. doi:10.1016/j.numecd.2021.11.017.
- [9] Tan X, Wang J, Tang J, et al. A nomogram for predicting cancer-specific survival in children with wilms tumor: a study based on SEER database and external validation in China[J]. *Front Public Health*, 2022, 10:829840. doi:10.3389/fpubh.2022.829840.
- [10] Uchida Y, Masui T, Nakano K, et al. Clinical and experimental studies of intraperitoneal lipolysis and the development of clinically relevant pancreatic fistula after pancreatic surgery[J]. *Br J Surg*, 2019, 106(5):616-625. doi:10.1002/bjs.11075.
- [11] Bassi C, Marchegiani G, Dervenis C, et al. The 2016 update of the International Study Group (ISGPS) definition and grading of postoperative pancreatic fistula: 11 Years After[J]. *Surgery*, 2017, 161(3):584-591. doi: 10.1016/j.surg.2016.11.014.
- [12] Mungroop TH, van Rijssen LB, van Klaveren D, et al. Alternative fistula risk score for pancreatoduodenectomy (a-FRS): design and international external validation[J]. *Ann Surg*, 2019, 269(5): 937-943. doi:10.1097/SLA.0000000000002620.
- [13] Campos Muñoz C, León-García PE, Serrato Diaz A, et al. Diabetes mellitus prediction based on the triglyceride and glucose index[J]. *Med Clin (Barc)*, 2023, 160(6): 231-236. doi: 10.1016/j.medcli.2022.07.003.
- [14] Zhang Y, Zhang C, Jiang L, et al. An elevated triglyceride-glucose index predicts adverse outcomes and interacts with the treatment strategy in patients with three-vessel disease[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2023, 22(1):333. doi:10.1186/s12933-023-02063-4.
- [15] Kim YM, Kim JH, Park JS, et al. Association between triglyceride-glucose index and gastric carcinogenesis: a health checkup cohort study[J]. *Gastric Cancer*, 2022, 25(1):33-41. doi:10.1007/s10120-021-01222-4.
- [16] Shi H, Guo F, Zheng K, et al. Triglyceride-glucose index (TyG index) and endometrial carcinoma risk: a retrospective cohort study[J]. *Int J Gynaecol Obstet*, 2024, 164(1): 298-304. doi:

- 10.1002/ijgo.15038.
- [17] Fritz J, Bjørge T, Nagel G, et al. The triglyceride-glucose index as a measure of insulin resistance and risk of obesity-related cancers[J]. *Int J Epidemiol*, 2020, 49(1):193–204. doi:10.1093/ije/dyz053.
- [18] Wang H, Yan F, Cui Y, et al. Association between triglyceride glucose index and risk of cancer: a meta-analysis[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2023, 13: 1098492. doi: 10.3389/fendo.2022.1098492.
- [19] Kahn SE, Cooper ME, Del Prato S. Pathophysiology and treatment of type 2 diabetes: perspectives on the past, present, and future[J]. *Lancet*, 2014, 383(9922):1068–1083. doi: 10.1016/S0140-6736(13)62154-6.
- [20] Mao C, Liu X, Huang Y, et al. Preoperative blood glucose level predicts postsurgical gastroparesis syndrome after subtotal gastrectomy: development of an individualized usable nomogram[J]. *J Diabetes Res*, 2020, 2020: 7058145. doi: 10.1155/2020/7058145.
- [21] Li D, Wang S, Zhang H, et al. Impact of overweight on patients undergoing laparoscopic pancreaticoduodenectomy: analysis of surgical outcomes in a high-volume center[J]. *BMC Surg*, 2024, 24(1):372. doi:10.1186/s12893-024-02671-1.
- [22] Ding W, Wu W, Tan Y, et al. The comparison of short-term outcome between laparoscopic and open pancreaticoduodenectomy: a propensity score matching analysis[J]. *Updates Surg*, 2021, 73(2):419–427. doi:10.1007/s13304-021-00997-6.
- [23] Soeters PB, Wolfe RR, Shenkin A. Hypoalbuminemia: pathogenesis and clinical significance[J]. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 2019, 43(2):181–193. doi:10.1002/jpen.1451.
- [24] Lam FW, Cruz MA, Leung HE, et al. Histone induced platelet aggregation is inhibited by normal albumin[J]. *Thromb Res*, 2013, 132(1):69–76. doi:10.1016/j.thromres.2013.04.018.
- [25] You Y, Han IW, Choi DW, et al. Nomogram for predicting postoperative pancreatic fistula[J]. *HPB (Oxford)*, 2019, 21(11): 1436–1445. doi:10.1016/j.hpb.2019.03.351.
- [26] Ma M, Li G, Zhou B, et al. Comprehensive analysis of the association between inflammation indexes and complications in patients undergoing pancreaticoduodenectomy[J]. *Front Immunol*, 2023, 14:1303283. doi:10.3389/fimmu.2023.1303283.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Mungroop TH, Klomp maker S, Wellner UF, et al. Updated alternative fistula risk score (ua-FRS) to include minimally invasive pancreatoduodenectomy: pan-European validation[J]. *Ann Surg*, 2021, 273(2):334–340. doi:10.1097/SLA.0000000000003234.
- [30] 张丹阳, 雷鹏, 张宇波, 等. 胰十二指肠切除术后临床相关胰瘘风险预测模型构建及验证[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(3):366–375. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.03.007
- [31] Zhang DY, Lei P, Zhang YB, et al. Construction and validation of a risk prediction model for clinically relevant pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. *China Journal of General Surgery*, 2024, 33(3):366–375. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.03.007.
- [32] 冯建涛, 陈达伟, 汤晓东, 等. 改良 Blumgart 胰肠吻合在胰十二指肠切除中的应用[J]. *中国普通外科杂志*, 2022, 31(10):1395–1401. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2022.10.016.
- [33] Feng JT, Chen DW, Tang XD, et al. Application of modified Blumgart pancreaticojejunostomy in pancreaticoduodenectomy[J]. *China Journal of General Surgery*, 2022, 31(10): 1395–1401. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2022.10.016.
- [34] Radulova-Mauersberger O, Oehme F, Missel L, et al. Analysis of predictors for postoperative complications after pancreatectomy: what is new after establishing the definition of postpancreatectomy acute pancreatitis (PPAP)?[J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2023, 408(1):79. doi:10.1007/s00423-023-02814-7.

( 本文编辑 熊杨 )

本文引用格式: 牛聚宝, 姜文凯, 李存斌, 等. 甘油三酯-葡萄糖指数联合血清学指标对胰十二指肠切除术后胰瘘的预测作用[J]. *中国普通外科杂志*, 2025, 34(3): 445–454. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.240553

Cite this article as: Niu JB, Jiang WK, Li CB, et al. Predictive value of the triglyceride-glucose index combined with serological indicators for pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. *Chin J Gen Surg*, 2025, 34(3):445–454. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.240553