

胰十二指肠切除术后胰瘘风险预测模型的系统评价



谢若男¹, 王国蓉², 李成香¹, 蒋欣¹, 冷英杰¹, 聂苗苗¹

1. 成都中医药大学护理学院 (成都 610075)

2. 四川大学华西公共卫生学院/华西第四医院护理部 (成都 610042)

【摘要】目的 系统评价胰十二指肠切除术后胰瘘风险预测模型, 为临床选择风险评估工具提供借鉴。**方法** 计算机检索 PubMed、Embase、the Cochrane Library、Web of Science、中国知网、万方、维普、中国生物医学文献服务系统 (SinoMed) 发表的相关文献, 检索时间为 2016 年 1 月 1 日至 2024 年 4 月 17 日。采用 PROBAST 偏倚风险评估工具对纳入研究进行评估, 采用 Stata 16.0 软件对风险预测模型中包含的常见预测因子进行 Meta 分析。**结果** 共纳入 27 项研究。所有研究均报告了模型区分度, 14 项研究报告了校准。纳入研究的构建模型受试者工作特征曲线下面积 (area under the curve, AUC) 为 0.620~0.970, 内部验证 AUC 为 0.620~0.915, 外部验证模型 AUC 为 0.744~0.849。纳入模型最常见预测因子为胰腺质地、体重指数 (body mass index, BMI)、胰管直径、术后第 1 天腹腔引流液淀粉酶水平、术前白蛋白水平及术中出血量。所有研究的偏倚风险均为高风险, 纳入研究的适用性良好。**结论** 胰十二指肠切除术后胰瘘风险预测模型的建模质量较差, 模型的临床应用有待验证, 未来研究可考虑对现有模型进行外部验证和重新校准, 或参照方法学指南构建新的预测模型并进行验证。

【关键词】 胰十二指肠切除术; 胰瘘; 风险; 预测模型; 系统评价

【中图分类号】 R 657.5 **【文献标识码】** A

Risk prediction model for pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy: a systematic review

XIE Ruonan¹, WANG Guorong², LI Chengxiang¹, JIANG Xin¹, LENG Yingjie¹, NIE Zhuomiao¹

1. School of Nursing, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075, China

2. Department of Nursing, West China School of Public Health/West China Fourth Hospital of Sichuan University, Chengdu 610042, China

Corresponding author: WANG Guorong, Email: guorong_wang@uestc.edu.cn

【Abstract】Objective To systematically evaluate the risk prediction model of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy, and to provide a reference for clinical selection of risk assessment tools. **Methods** The relevant literature published in PubMed, Embase, the Cochrane Library, Web of Science, CNKI, WanFang Data, VIP and SinoMed from January 1, 2016 to April 17, 2024 were searched. The PROBAST risk of bias assessment tool was used to assess the included studies, and Stata 16.0 software was used to perform Meta-analysis of common predictors included in the risk prediction model. **Results** A total of 27 studies were included. All studies reported model discrimination, 14 studies reported calibration. The area under the curve (AUC) of the receiver operator characteristic curve of the constructed model included in the study ranged

DOI: 10.12173/j.issn.1004-4337.202407091

通信作者: 王国蓉, 博士, 主任护师, Email: guorong_wang@uestc.edu.cn

<https://slyyx.whuzhmedj.com/>

from 0.620 to 0.970, the AUC of the internal validation model ranged from 0.620 to 0.915, and the AUC of the external validation model ranged from 0.744 to 0.849. The most common predictors of the included models were pancreatic texture, body mass index (BMI), pancreatic duct diameter, abdominal drainage amylase level on the 1st postoperative day, preoperative albumin level, and intraoperative bleeding loss. The risk of bias was high in all studies, and the applicability of the included studies was good. **Conclusion** The modeling quality of the risk prediction model of the pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy was poor, and the clinical application of the model need to be validated. In future studies, external validation and recalibration of the existing model can be considered, or a new prediction model can be constructed and verified by referring to methodological guidelines.

【Keywords】 Pancreaticoduodenectomy; Pancreatic fistula; Risk; Prediction model; Systematic review

胰十二指肠切除术 (pancreaticoduodenectomy, PD) 是治疗胆总管下段、胰头及壶腹周围良恶性肿瘤的经典术式, 手术切除范围广, 涉及脏器多, 且手术操作难度大、时间长, 易出现消化道瘘、出血及感染等严重并发症^[1-3]。其中最严重和最常见的并发症为胰瘘, 可导致腹腔严重感染、胃排空延迟、术后大出血而致死亡等, 严重威胁患者的生命安全^[4-5]。尽管手术技术和围手术期管理质量不断提升, 使得与术后胰瘘相关的直接死亡率下降, 但其发病率仍高达 13%~41%^[1]。因此, 早期识别和预测患者 PD 术后发生胰瘘的风险具有重要意义, 有助于临床医护人员制定更加个性化的治疗及护理方案, 以防止胰瘘发生。目前, 国内外研究者开发了多种 PD 术后胰瘘风险预测模型, 但对于模型的构建过程、性能以及数据样本偏倚等缺乏全面的对比分析, 模型的预测性能仍需进一步验证。因此, 充分评估国内外学者开发的 PD 术后胰瘘预测模型的质量、性能及适用性等尤其重要。本研究对 PD 术后胰瘘风险预测模型的研究进行系统评价, 以期为临床选择适合的评估工具提供借鉴, 从而早期筛查和识别 PD 术后胰瘘的高危人群。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

1.1.1 纳入标准

①研究对象: 年龄 ≥ 18 岁, 行 PD 术或腹腔镜胰十二指肠切除术 (laparoscopic pancreaticoduodenectomy, LPD) 的患者; ②研究类型: 横断面研究、队列研究和病例对照研究; ③研究内容: 构建和 (或) 验证 PD 术后胰瘘预测模型; ④胰瘘诊断标准: 2005 版国际胰瘘研究小组 (International Study Group on Pancreatic

Fistula, ISGPF) 的胰瘘诊断标准^[6]为术后 3 d 时引流液淀粉酶含量大于正常值 3 倍, 并按照严重程度分为 A、B、C 三级; 2016 版 ISGPS 的胰瘘诊断标准^[7]与临床预后相关, 将 2005 版中的“A 级胰瘘”改为“生化瘘”, 为胰瘘前状态, 其发生不改变临床治疗策略, 也不影响患者预后转归^[8]。本研究按照 ISGPS 于 2016 年修订的胰瘘定义和分级作为预测结果的诊断方式。

1.1.2 排除标准

①会议论文、摘要、综述等; ②非中、英文文献; ③仅分析危险因素而未构建预测模型的文献; ④重复发表文献。

1.2 检索策略

检索 PubMed、Embase、the Cochrane Library、Web of Science、中国知网、万方、维普、中国生物医学文献服务系统 (SinoMed), 检索时限为 2016 年 1 月 1 日至 2024 年 4 月 17 日。采用主题词与自由词相结合的检索方式, 中文检索词为胰十二指肠术后、胰瘘、预测、预警、预测因子、风险评估、风险预测、模型、工具、列线图、诺模图; 英文检索词为 “pancreaticoduodenectomy” “whipple procedure” “pancreaticoduodenectomies” “duodenopanacecetomy” “pancreatoduodenectomy” “pancreatic fistula” “leakage” “prediction model” “prognostic model” “nomogram” 等。以 PubMed 为例, 具体检索策略见框 1。

1.3 文献筛选与资料提取

由 2 名研究者独立采用 Endnote X9 软件进行文献整理, 并根据纳排标准筛选符合研究主题的文献。资料提取按照 Moons 等^[9]关于预测模型系统评价的数据收集条目 (CHARMS), 制订数据收集表, 包括第一作者、地区、研究类型、地点、预测结果诊断方式、样本量、构

```

#1 pancreaticoduodenectomy [Mesh]
#2 pancreaticoduodenectomies [Title/Abstract] OR pancreatoduodenectomy [Title/Abstract] OR
   pancreatoduodenectomies [Title/Abstract] OR duodenopancreatotomy [Title/Abstract] OR duodenopancreatetectomies
   [Title/Abstract] OR "whipple procedure" [Title/Abstract]
#3 #1 OR #2
#4 "pancreatic fistula"[Mesh]
#5 "fistula, pancreatic" [Title/Abstract] OR "fistulas, pancreatic" [Title/Abstract] OR "pancreatic fistulas" [Title/
   Abstract] OR leakage [Title/Abstract]
#6 #4 OR #5
#7 "risk assessment"[Mesh]
#8 "prediction model" [Title/Abstract] OR "risk prediction model" [Title/Abstract] OR "prediction tool" [Title/Abstract]
   OR "risk calculation" [Title/Abstract] OR "risk score" [Title/Abstract] OR "risk stratification model" [Title/Abstract]
   OR "stratification model" [Title/Abstract] OR "prognostic model" [Title/Abstract] OR nomogram [Title/Abstract]
#9 #7 OR #8
#10 #3 AND #6 AND #9

```

框1 PubMed检索策略

Box 1. Search strategy in PubMed

建模型的方法、受试者工作特征曲线下面积(area under the curve, AUC) 及校正方法、模型使用的验证方法、预测模型包含的影响因素、模型呈现方式等。

1.4 纳入研究的偏倚风险和适用性评价

由 2 名研究者采用偏倚风险评价工具 PROBAST (prediction model risk of bias assessment tool) [10], 对纳入研究的偏倚风险和适用性进行评价, 从 4 个方面衡量模型的偏倚风险, 即研究对象、预测因子、结果以及数据分析。从研究对象、预测因子、结果 3 个方面进行适用性评价, 评价步骤与偏倚风险分析步骤相似。不同方面的评估标准为“低”“高”和“不清楚”3 个分级, 根据上述特征选择最佳模型。由 2 名研究者交叉核对结果, 当意见不一致时, 则由 3 名研究者协助判断。

1.5 统计分析

采用 Stata 16.0 软件对纳入文献构建模型的预测因子进行 Meta 分析, 应用 I^2 和 χ^2 检验进行异质性检验。若 $I^2 < 50\%$ 且 $P > 0.1$, 认为研究间不存在显著异质性, 则选用固定效应模型; 若 $I^2 \geq 50\%$ 或 $P \geq 0.1$, 认为研究间异质性大, 将进行敏感性分析, 以探究异质性来源。合并效应指标采用比值比 (odds ratio, OR) 及 95% 置信区间 (confidence interval, CI) 表示。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 文献筛选结果

经数据库检索共获得相关文献 1 141 篇, 经逐层筛选, 最终纳入 27 篇 [2, 4, 11-35] 文献。文献筛选流程见图 1。

2.2 纳入研究的基本特征

本研究纳入 17 篇 [2, 11-14, 16-18, 20, 23-29, 33] 中文文献、10 篇 [4, 15, 19, 21-22, 30-32, 34-35] 英文文献, 样本量为 84~4 956 例, 胰瘘发生率为 6.4%~41.7%。纳入研究基本特征见表 1。

2.3 预测模型的构建情况

纳入 27 项研究的潜在预测变量为 12~69 个, 总样本量为 84~4 956 例, 结局事件数为 13~601 例。模型构建具体情况见表 2。

2.4 模型性能及预测因子

本研究纳入的模型 AUC 值为 0.62~0.97, 内部验证 AUC 值为 0.62~0.915, 外部验证模型 AUC 值为 0.744~0.849, 其中 22 项研究 [2, 11-20, 22-26, 28, 30-33, 35] AUC 值均大于 0.7, 显示出较好的区分度, 见表 3。

2.5 偏倚风险与适用性评价

偏倚风险和适用性评价则按照 PRPBAST 评价标准进行评判。本研究所纳入的 27 项研究建立的模型均为高偏倚风险。具体结果见表 4。

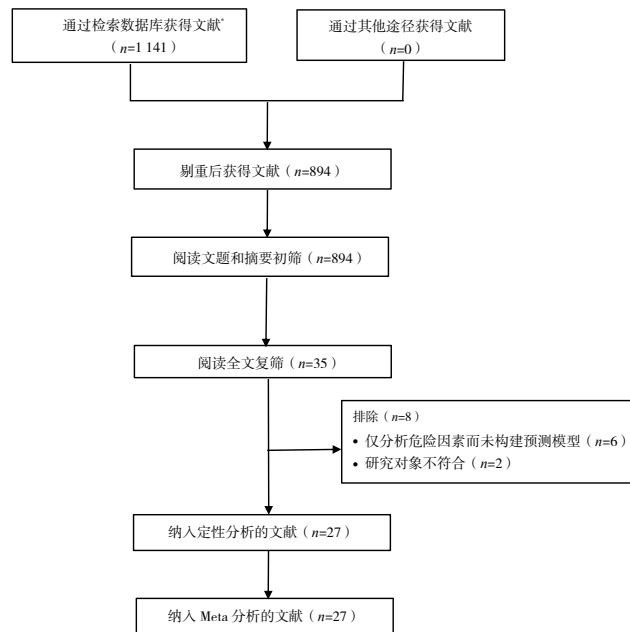


图1 文献筛选流程图

Figure 1. Flowchart of literature screening

注：*检索的数据库及具体文献检出数为中国知网（ $n=257$ ）、万方（ $n=106$ ）、维普（ $n=22$ ）、SinoMed（ $n=10$ ）、PubMed（ $n=375$ ）、Embase（ $n=272$ ）、the Cochrane Library（ $n=49$ ）、Web of Science（ $n=50$ ）。

表1 纳入研究的基本特征

Table 1. Basic characteristics of the included studies

纳入研究	研究地区	研究设计	研究对象	样本量 (例)	胰瘘发生率 (%)
吴耐 2018 ^[11]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	151	18.50
吴浩然 2019 ^[12]	中国	回顾性队列研究	行LPD术患者	176	17.00
夏武政 2019 ^[13]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	225	17.80
曹昕彤 2019 ^[14]	中国	前瞻性队列研究	行PD术患者	84	41.70
Li 2019 ^[15]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	298	12.76
刘少东 2020 ^[16]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	138	18.80
李轲 2020 ^[17]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	296	14.41
徐西伯 2020 ^[18]	中国	回顾性队列研究	行PD术后	285	21.03
Han 2020 ^[4]	韩国	回顾性队列研究	行PD术患者	1 769	12.50
Huang 2021 ^[19]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	1 182	11.42
孙毅 2021 ^[20]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	195	33.80
Shen 2021 ^[21]	中国	回顾性队列分析	行PD术患者	459	16.56
Liu 2021 ^[22]	中国	回顾性队列分析	行PD术患者	251	7.60
张佳玮 2022 ^[23]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	147	38.10
张博琳 2022 ^[24]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	249	16.10
刘香玉 2023 ^[25]	中国	回顾性队列研究	行LPD术患者	441	15.60
夏绍萱 2023 ^[26]	中国	回顾性队列研究	行LPD患者	102	21.60
刘武超 2023 ^[27]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	1 083	15.90
周黎晨 2023 ^[28]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	320	20.66
史小琼 2023 ^[29]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	134	32.84
He 2023 ^[30]	中国	回顾性队列分析	行PD术患者	115	33.30
Zheng 2023 ^[31]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	257	21.80
Gu 2023 ^[32]	美国、中国	回顾性队列研究	行PD术患者	4 956	16.65

续表1

纳入研究	研究地区	研究设计	研究对象	样本量 (例)	胰瘘发生率 (%)
余俊 2024 ^[33]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	303	24.1
张丹阳 2024 ^[2]	中国	回顾性队列研究	行PD术患者	365	29.9
Lee 2024 ^[34]	韩国	回顾性队列研究	行PD术患者	1 333	6.4
Zhu 2024 ^[35]	中国	回顾性队列研究	行MIPD术患者	432	12.04

注: PD, pancreaticoduodenectomy, 胰十二指肠肠切除术; LPD, laparoscopic pancreaticoduodenectomy, 腹腔镜胰十二指肠肠切除术; MIPD, minimally invasive pancreaticoduodenectomy, 微创胰十二指肠肠切除术。

表2 纳入模型的构建情况
Table 2. Construction of the included models

纳入研究	候选变量		样本量 (例)		缺失数据 处理方法	建模方法	变量筛选
	数量 (个)	连续变量 处理方法	数量	结局 事件数			
吴耐 2018 ^[11]	16	保持连续性	151	28	-	LR	单因素分析、多因素分析
吴浩然 2019 ^[12]	13	保持连续性	176	13	-	LR	单因素分析、多因素分析
夏武政 2019 ^[13]	26	保持连续性	B: 225 IV: 136	B: 40 IV: 21	-	LR	单因素分析、多因素分析
曹昕彤 2019 ^[14]	21	保持连续性	84	35	-	LR	单因素分析、多因素分析
Li 2019 ^[15]	24	保持连续性	B: 189 IV: 109	B: 38 IV: 23	排除	LR	单因素分析、多因素分析
刘少东 2020 ^[16]	13	保持连续性	138	26	排除	LR	单因素分析、多因素分析
李轲 2020 ^[17]	22	转化为分类 变量	B: 222 IV: 74	B: 32 IV: -	排除	LR	单因素分析、多因素分析
徐西伯 2020 ^[18]	19	保持连续性	B: 214 IV: 71	B: 45	排除	LR	单因素分析、多因素分析
Han 2020 ^[4]	38	保持连续性	1 769	221	中位 插值法	RF、NN	递归特征消除
Huang 2021 ^[19]	19	保持连续性	B: 762 EV: 420	B: 87 EV: 26	-	LR	单因素分析、多因素分析
孙毅 2021 ^[20]	12	保持连续性	195	66	排除	LR	单因素分析、多因素分析
Shen 2021 ^[21]	23	保持连续性	B: 302 IV: 157	B: 50	多重插补	LR	Lasso回归
Liu 2021 ^[22]	35	保持连续性	251	19	-	LR	单因素分析、多因素分析
张佳玮 2022 ^[23]	19	保持连续性	147	56	排除	LR	单因素分析、多因素分析
张博琳 2022 ^[24]	25	保持连续性	249	40	排除	LR	单因素分析、多因素分析
刘香玉 2023 ^[25]	15	保持连续性	B: 312 IV: 129	B: 69 IV: -	排除	LR	单因素分析、多因素分析
夏绍萱 2023 ^[26]	24	保持连续性	102	22	-	LR	单因素分析、多因素分析
刘武超 2023 ^[27]	17	保持连续性	1 083	172	排除	DT	单因素分析、多因素分析
周黎晨 2023 ^[28]	26	保持连续性	B: 213 IV: 107	B: 44 IV: -	排除	LR	单因素分析、多因素分析
史小琼 2023 ^[29]	17	部分转换为 二分类变量	134	44	排除	SVM、MLP	单因素分析、多因素分析、 Lasso回归
He 2023 ^[30]	24	保持连续性	115	38	-	LR	单因素分析、多因素分析
Zheng 2023 ^[31]	29	保持连续性	257	56	插值法	DT、RF	特征重要性排序法
Gu 2023 ^[32]	69	保持连续性	B: 3 609 EV: 1 347	B: 601 EV: 224	排除	LR	Lasso回归
余俊 2024 ^[33]	16	保持连续性	B: 253 IV: 50	B: 61 IV: -	排除	LR	单因素分析、多因素分析

续表2

纳入研究	候选变量		样本量 (例)		缺失数据处理方法	建模方法	变量筛选
	数量 (个)	连续变量处理方法	数量	结局事件数			
张丹阳 2024 ^[2]	22	保持连续性	B: 257 IV: 108	B: 77 IV: -	排除	LR	单因素分析、多因素分析
Lee 2024 ^[34]	23	保持连续性	B: 881 IV: 452	B: 59 IV: 27	-	ANN、LR、RF、 GBDT、CNN、集 成模型	单因素分析
Zhu 2024 ^[35]	23	保持连续性	B: 200 IV: 110 EV: 122	B: 32 IV: 20 EV: -	-	LR	单因素分析、多因素分析

注: B, 建模集; IV, 内部验证集; EV, 外部验证集; SVM, support vector machine, 支持向量机; MLP, multilayer perceptron, 多层感知机; LR, Logistic regression, Logistic回归; DT, decision tree, 决策树; NN, neural network, 神经网络; ANN, artificial neural network, 人工神经网络; GBDT, gradient boosting decision tree, 梯度提升算法; CNN, convolutional neural networks, 卷积神经网络; -未报道。

表3 纳入模型的预测性能

Table 3. Predictive performance of the included models

纳入研究	模型性能		模型验证		最终包含的预测因子	模型呈现形式
	AUC	校准方法	内部	外部		
吴耐 2018 ^[11]	0.750/-	-	-	-	3个: 胰管直径、胰腺质地、BMI	-
吴浩然 2019 ^[12]	0.923/0.893 (内部)	校准曲线	样本拆分	-	4个: 胰管直径、胰腺质地、男性、年龄	风险评分公式
夏武政 2019 ^[13]	0.813/0.806 (内部)	-	-	-	4个: 术后第1d血清白蛋白、主胰管直径、胰腺质地、扩大淋巴结清扫	风险评分公式
曹昕彤 2019 ^[14]	0.911/-	-	-	-	3个: DFA1、DFBC1、SA1	-
Li 2019 ^[15]	0.821/0.835 (内部)	-	-	-	4个: SA1、胰腺质地、胰管直径、术中出血量	-
刘少东 2020 ^[16]	0.889/-	-	-	-	3个: 术前TBIL水平、胰管直径、胰腺质地	风险评分公式
李轲 2020 ^[17]	0.875/0.862 (内部)	校准曲线	样本拆分	-	5个: 年龄、胰腺质地、术中出血量、胰管直径、白蛋白水平	列线图
徐西伯 2020 ^[18]	0.832/0.868 (内部)	-	样本拆分	-	3个: BMI、胰管直径、DFA1	风险评分公式
Han 2020 ^[4]	RF: 0.670/- NN: 0.740/-	交叉验证	-	-	16个: 胰管直径、BMI、白蛋白水平、术中输血量、年龄、胰腺外肿瘤位置、PV-SMV联合切除、胰腺炎并存、脂肪酶水平、新辅助放疗、ASA得分、性别、胰腺质地、心脏病(高血压)、术前ERBD/EVBD	-
Huang 2021 ^[19]	0.934/0.744 (外部)	校准曲线	-	自举法	3个: BMI、胰管直径、DFA1	列线图
孙毅 2021 ^[20]	0.900/-	-	-	-	2个: 胰管直径、胰腺质地	风险评分公式
Shen 2021 ^[21]	0.870/0.620 (内部)	校准曲线	自举法	-	4个: 白蛋白、胰腺质地、BMI、DFA1	列线图
Liu 2021 ^[22]	0.866/-	-	-	-	2个: 白蛋白、肌酸水平	风险评分公式
张佳玮 2022 ^[23]	0.792/-	校准曲线	自举法	-	4个: 胰腺质地、胰管直径、BMI、非胰腺疾病	列线图
张博琳 2022 ^[24]	0.957/-	校准曲线	-	-	5个: 胰腺质地、胰管直径、糖尿病、BMI、术中出血量	列线图
刘香玉 2023 ^[25]	0.903/0.875 (内部)	H-L拟合优度检验、校准曲线	样本拆分	-	4个: BMI、TFA、ECV、胰管直径	列线图
夏绍萱 2023 ^[26]	0.814/-	-	-	-	2个: 胰管直径、白蛋白	-

续表3

纳入研究	模型性能		模型验证		最终包含的预测因子	模型呈现形式
	AUC	校准方法	内部	外部		
刘武超 2023 ^[27]	0.678/-	-	-	-	4个：胰腺质地、BMI、高危病理类型、胰管直径	-
周黎晨 2023 ^[28]	0.869/0.881 (内部)	校准曲线	-	-	5个：LMR、BMI、胰腺质地、胰管直径、胰颈实质短轴	列线图
史小琼 2023 ^[29]	LR: 0.761/0.631 (内部)、SVM: 0.757/0.721 (内部)、MLP: 0.794/0.809 (内部)、联合模型: 0.861/0.830 (内部)	H-L拟合优度检验、校准曲线	-	-	3个：胰管直径、CA19-9、T1WISIR	列线图
He 2023 ^[30]	0.842/-	校准曲线	-	-	4个：BMI、术前白蛋白水平、胰腺质地、胰腺厚度	风险评分公式
Zheng 2023 ^[31]	DT: 0.743/- RF: 0.977/-	交叉验证	-	-	3个：胰管直径、BMI、胰腺质地	-
Gu 2023 ^[32]	0.855/0.849 (外部)	内部交叉验证	-	-	6个：体重、胰管大小、胰腺质地、深部SSI、DGE、病理	列线图
余俊 2024 ^[33]	0.788/0.804 (内部)	-	-	-	2个：主胰管指数、胰腺CT	-
张丹阳 2024 ^[2]	0.897/0.901 (内部)	校准曲线	样本拆分	-	4个：术后高乳酸、胰腺质地、胰管直径、男性	列线图
Lee 2024 ^[34]	Roberts模型0.647/0.623 (内部)、ML: 0.710/0.785 (内部)、DL: 0.970/0.717 (内部)、集成模型: 0.936/0.915 (内部)	-	-	-	8个：非PDAC病因、胰腺质地、DFA1、高血红蛋白、胰管直径、高VAI、无血管切除、低血糖	-
Zhu 2024 ^[35]	0.819/0.830 (内部) / 0.793 (外部)	-	-	-	6个：BMI、白蛋白、甘油三酯、胰管直径、病理诊断、术中出血量	列线图

注：-未报道；BMI, body mass index, 体重指数；DFA1, drainage fluid amylase, 腹腔引流液淀粉酶水平；DFBC, draining fluid bacterial culture, 腹腔引流液细菌培养结果；SAI, serum albumin, 血清白蛋白水平；TBIL, total bilirubin, 总胆红素；TFA, total fat area, 腹部总脂肪面积；ECV, extracellular volume, 细胞外体积；LMR, lymphocyte-to-monocyte ratio, 淋巴细胞/单核细胞比值；T1WISIR, signal intensity ratio on T1WI, 门静脉旁胰腺实质 (SI胰腺) 与同层面左侧椎旁肌 (SI肌肉) 的信号强度比 (SIR=SI胰腺/SI肌肉)；SSI, surgical site infection, 术后感染；DGE, delayed gastric emptying, 胃排空延迟；PDAC, pancreatic ductal adenocarcinoma, 胰腺导管腺癌；VAI, visceral adiposity index, 内脏脂肪指数；RF, random forest, 随机森林；NN, neural network, 神经网络；DT, decision tree, 决策树；ML, machine learning, 机器学习；DL, deep learning, 深度学习。

表4 纳入研究的偏倚风险和适用性评价
Table 4. Risk of bias and applicability evaluation of included studies

纳入研究	偏倚风险				适用性			整体评估	
	研究对象	预测因子	数据分析	结果	研究对象	预测因子	结果	偏倚风险	适用性
吴耐 2018 ^[11]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
吴浩然 2019 ^[12]	-	-	-	-	-	+	+	-	-
夏武政 2019 ^[13]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
曹昕彤 2019 ^[14]	+	?	-	?	+	+	+	-	+
Li 2019 ^[15]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
刘少东 2020 ^[16]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
李轲 2020 ^[17]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
徐西伯 2020 ^[18]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
Han 2020 ^[4]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
Huang 2021 ^[19]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
孙毅 2021 ^[20]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
Shen 2021 ^[21]	-	-	-	-	+	+	+	-	+

续表4

纳入研究	偏倚风险				适用性			整体评估	
	研究对象	预测因子	数据分析	结果	研究对象	预测因子	结果	偏倚风险	适用性
Liu 2021 ^[22]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
张佳伟 2022 ^[23]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
张博琳 2022 ^[24]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
刘香玉 2023 ^[25]	-	-	-	-	-	+	+	-	-
夏绍萱 2023 ^[26]	-	-	-	-	-	+	+	-	-
刘武超 2023 ^[27]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
周黎晨 2023 ^[28]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
史小琼 2023 ^[29]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
He 2023 ^[30]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
Zheng 2023 ^[31]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
Gu 2023 ^[32]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
余俊 2024 ^[33]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
张丹阳 2024 ^[2]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
Lee 2024 ^[34]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
Zhu 2024 ^[35]	-	-	-	-	-	+	+	-	-

注：“+”表示低偏倚风险/适用性高；“-”表示高偏倚风险/适用性低；“?”表示不清楚。

2.6 Meta分析结果

对文献数量大于3篇的预测因子进行Meta分析,结果显示,胰管直径、体重指数(body mass index, BMI)、腹腔引流液淀粉酶水平(drainage fluid amylase, DFA1)、术中出血量是PD术后胰瘘的独立危险因素,而胰腺质地与白蛋白水平合

并效应量后结果无统计学意义,见表5。

2.7 敏感性分析

敏感性分析结果见表6。敏感性分析通过模型转换来进行,结果显示,不同模型下的合并结果未发生明显变化,表明研究结果较稳定。

表5 胰十二指肠切除术后胰瘘预测因子的Meta分析结果

Table 5. Results of Meta-analysis of predictors of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy

预测因子	纳入文献	异质性检验		效应模型	Meta分析		
		I ² 值	P值		OR (95%CI)	Z值	P值
胰腺质地	17 ^[2, 4, 11-13, 15-17, 20-21, 23-24, 28, 30-32, 34]	92.6%	<0.001	随机效应	0.89 (0.79, 1.12)	1.19	0.071
胰管直径	21 ^[2, 4, 11-13, 15-20, 23-29, 31, 34-35]	90.7%	<0.001	随机效应	1.28 (1.10, 1.48)	3.51	<0.001
BMI	13 ^[4, 11, 18-19, 21, 23-25, 27-28, 30-31, 35]	90.4%	<0.001	随机效应	1.32 (1.23, 1.41)	7.73	<0.001
DFA1	5 ^[14, 18-19, 21, 34]	95.4%	<0.001	随机效应	1.56 (1.24, 1.89)	2.44	<0.001
白蛋白水平	7 ^[4, 17, 21-22, 26, 30, 35]	89.3%	<0.001	随机效应	0.95 (0.89, 1.00)	1.71	0.087
术中出血量	4 ^[15, 17, 24, 35]	92.1%	<0.001	随机效应	1.01 (1.00, 1.01)	5.70	<0.001

注: BMI, body mass index, 体重指数; DFA1, drainage fluid amylase, 腹腔引流液淀粉酶水平。

表6 敏感性分析结果

Table 6. Results of sensitivity analysis

影响因素	固定效应模型		随机效应模型	
	OR值	95%CI	OR值	95%CI
胰腺质地	0.90	(0.76, 1.24)	0.89	(0.79, 1.12)
胰管直径	1.32	(1.20, 1.49)	1.28	(1.10, 1.48)
BMI	1.41	(1.37, 1.52)	1.32	(1.23, 1.41)
DFA1	1.47	(1.29, 1.67)	1.56	(1.24, 1.89)
白蛋白水平	0.77	(0.68, 0.89)	0.95	(0.89, 1.00)
术中出血量	1.01	(1.00, 1.02)	1.01	(1.00, 1.01)

注: BMI, body mass index, 体重指数; DFA1, drainage fluid amylase, 腹腔引流液淀粉酶水平。

3 讨论

本研究纳入文献中重复报告次数最多的预测因子为胰腺质地、BMI、胰管直径、术前白蛋白水平、术后第 1 d DFA1 及术中出血量。本研究 Meta 分析结果显示, 胰腺质地与白蛋白水平合并效应量结果无统计学意义, 但已有研究指出, 术后胰瘘与胰腺质地及术中出血量有关^[15, 24], 未来仍需更多研究进一步验证。行胰腺切除后, 软质胰腺因胰泡数量多、实质内导管系统发达, 分泌胰液较多, 将消化胰腺周围组织, 且软质胰腺在术中易发生撕裂、挫伤等, 从而导致胰瘘发生^[36-37]。高 BMI 患者胰腺周围脂肪较丰富, 会增加手术操作难度, 易造成胰腺实质中的分支细胰管损伤, 此外, 研究指出, 高 BMI 患者因胰腺的纤维化程度较低, 导致胰腺质地较软, 从而增加胰瘘风险^[38-39]。研究表明, 术中主胰管直径过小在一定程度上增加了术者在术中进行胰肠吻合的难度, 且增加了后期胰液引流不畅的风险^[40-41]。术后 DFA1 测定是早期诊断胰瘘的主要方法, 单纯胰瘘常不含胆汁, 故胰液中胰酶不会被激活, 若术后早期淀粉酶浓度较高, 应警惕胰瘘发生^[42]。研究指出, 血清白蛋白与营养状况及炎症的严重程度密切相关, 营养状况差会导致切口延迟愈合, 增加吻合口瘘的风险^[43-44]。术中失血量过多会引起体内血液稀释、凝血功能及血流动力学改变, 将影响吻合口的愈合^[45]。医护人员应重视共性因素, 早期识别胰瘘的高危人群。此外, 性别、年龄等个体因素也会引起 PD 术后胰瘘的发生, 有研究提出, 男性术后胰瘘发生率高的原因可能与体内脂肪分布趋势有关, 对手术操作及重建产生影响, 无法有效保障吻合质量, 易发生胰瘘^[46]; 研究表明, 高龄患者胰腺脂肪丰富, 将增加空肠吻合难度, 且高龄患者营养状况较差, 术后恢复时间长^[47]。但上述结论并未得到广泛证实, 仍需要更多研究探索验证。另有研究指出, 将胰腺质地软硬代替为胰腺 CT 值, 主要是因为胰腺质地目前主要由术者触摸判断, 尚无统一标准, 主观因素较强, 无法量化^[33], 且研究指出, 胰腺质地与胰腺 CT 值相关, 可以认为胰腺 CT 值越高, 胰腺组织密度越高、胰腺纤维化程度越重、胰瘘风险越低^[48-49]。

本研究纳入的预测模型因在开发和验证过程

中存在部分方法学缺陷, 总体偏倚风险较高, 主要集中于分析领域。主要原因包括结局事件数不足、基于单因素分析筛选预测因子、未报告缺失数据信息或缺失数据处理不当、未报告模型拟合情况或模型性能评估不全等。对后期相关模型开发和验证研究有以下启示: 首先, 研究者应避免选择与结局定义相关的候选预测因子, 以免造成合并偏倚风险。纳入研究中, 曹昕彤等^[14]和 Huang 等^[19]的研究候选预测因子与 2016 版胰瘘诊断标准中术后引流液淀粉酶这一指标, 既构成用于诊断术后胰瘘的信息, 又作为模型中的一个预测因子, 易导致因果间的关联性被高估, 模型性能的评估结果存在偏差。其次, 研究者应保证建模和验模所需的充足样本量, 并进行内部验证来评估和调整模型的拟合程度, 以减少模型的预测误差。模型开发过程中每个自变量的事件数 < 20 可能导致模型过度拟合。第三, PROBAST 推荐采用多重插补法处理缺失数据, 其在降低模型的预测误差方面优于其他处理方法。纳入研究中, 仅 Shen 等^[21]的研究使用该方法。最后, 研究者应遵循个体预后或诊断多变量预测模型透明报告 (transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis, TRIPOD)^[50], 规范报告所开发或验证模型的研究信息, 提高临床应用的可操作性。

目前 PD 术后胰瘘的预测模型中, 多中心数据和外部验证的风险预测模型相对较少, 无法证明外推性, 限制了模型的预测能力和适用范围, 导致临床应用受限。建议未来开展多中心的外部验证研究, 使模型的可复制性更强。同时, 还需对模型在临床实践的效果和可行性进一步评估, 及时发现潜在问题并进行修改, 以提高预测模型的质量, 从而更好地指导临床实践。此外, 随着机器学习技术的发展及其在医学领域的应用, 决策树、支持向量机、随机森林等算法也被用于预测模型的构建, 其预测性能优于传统 Logistic 回归^[51]。但本研究纳入模型的建模方法以 Logistic 回归为主, 机器学习算法在 PD 术后发生胰瘘的风险预测中的应用仍不足。建议未来进一步基于机器学习和深度学习技术, 并结合我国国情构建出适合我国 PD 术后胰瘘患者的本土化、实用性强的预测模型。今后医护人员将预测模型应用于临床工作时, 应注意结合高危人群个体特点, 及时

优化并持续校准预测模型, 及时筛查术前、术中及术后的危险因素, 识别高危人群, 并提供相应的护理干预, 保障患者结局的同时减轻患者身心负担, 降低医疗成本。

综上, PD 术后胰瘘风险预测模型总体质量有待进一步提升, 未来仍要进一步完善相关研究, 促进研究向临床转化, 为患者制定精准化方案, 减少 PD 术后胰瘘的发生。本研究存在一定局限性: 一是纳入的大部分研究未进行外部验证, 无法证明结果的外推性; 二是纳入研究的部分预测因子较少, 未进行 Meta 分析, 可能对结局预测存在影响; 三是纳入研究多为中国等亚洲国家, 可能限制研究结果的外推性和普适性, 故不同地区在应用模型时应进行适当调整。

参考文献

- Xu S, Zhang XP, Zhao GD, et al. Development and validation of an online calculator to predict early recurrence and long-term survival in patients with distal cholangiocarcinoma after pancreaticoduodenectomy[J]. *J Hepatobiliary Pancreatic Sci*, 2022, 29(11): 1214–1225. DOI: [10.1002/jhbp.1058](https://doi.org/10.1002/jhbp.1058).
- 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. [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](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.03.007).
- 郑继盛, 苏云, 宫淑萍, 等. 胰十二指肠切除术后胰瘘风险预测模型研究进展 [J]. *护理研究*, 2022, 36(20): 3636–3639. [Zheng JS, Su Y, Gong SP, et al. Research progress on risk prediction model of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. *Chinese Nursing Research*, 2022, 36(20): 3636–3639.] DOI: [10.12102/j.issn.1009-6493.2022.20.012](https://doi.org/10.12102/j.issn.1009-6493.2022.20.012).
- Han IW, Cho K, Ryu Y, et al. Risk prediction platform for pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy using artificial intelligence[J]. *World J Gastroenterol*, 2020, 26(30): 4453–4464. DOI: [10.3748/wjg.v26.i30.4453](https://doi.org/10.3748/wjg.v26.i30.4453).
- Li YT, Zhang HY, Xing C, et al. Effect of Blumgart anastomosis in reducing the incidence rate of pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy[J]. *World J Gastroenterol*, 2019, 25(20): 2514–2523. DOI: [10.3748/wjg.v25.i20.2514](https://doi.org/10.3748/wjg.v25.i20.2514).
- Bassi C, Dervenis C, Butturini G, et al. Postoperative pancreatic fistula: an international study group (ISGPF) definition[J]. *Surgery*, 2005, 138(1): 8–13. DOI: [10.1016/j.surg.2005.05.001](https://doi.org/10.1016/j.surg.2005.05.001).
- Tomimaru Y, Takeda Y, Kobayashi S, et al. Comparison of postoperative morphological changes in remnant pancreas between pancreaticojejunostomy and pancreaticogastrostomy after pancreaticoduodenectomy[J]. *Pancreas*, 2009, 38(2): 203–207. DOI: [10.1097/MPA.0b013e31818e1772](https://doi.org/10.1097/MPA.0b013e31818e1772).
- Ke Z, Cui J, Hu N, et al. Risk factors for postoperative pancreatic fistula: analysis of 170 consecutive cases of pancreaticoduodenectomy based on the updated ISGPS classification and grading system[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2018, 97(35): e12151. DOI: [10.1097/MD.00000000000012151](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000012151).
- Moons KG, de Groot JA, Bouwmeester W, et al. Critical appraisal and data extraction for systematic reviews of prediction modelling studies: the CHARMS checklist[J]. *PLoS Med*, 2014, 11(10): e1001744. DOI: [10.1371/journal.pmed.1001744](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001744).
- Wolff RF, Moons KGM, Riley RD, et al. PROBAST: a tool to assess the risk of bias and applicability of prediction model studies[J]. *Ann Intern Med*, 2019, 170(1): 51–58. DOI: [10.7326/M18-1376](https://doi.org/10.7326/M18-1376).
- 吴耐, 张蓬波, 任泽强. 胰十二指肠切除术后胰瘘发生的危险因素及风险预测 [J]. *中国普外基础与临床杂志*, 2018, 25(7): 889–894. [Wu N, Zhang PB, Ren ZQ. Risk factors and risk prediction of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. *Chinese Journal of Basic and Clinics in General Surgery*, 2018, 25(7): 889–894.] DOI: [10.7507/1007-9424.201708054](https://doi.org/10.7507/1007-9424.201708054).
- 吴浩然. 腹腔镜胰十二指肠切除术后并发症危险因素分析及术后胰瘘风险预测模型 [D]. 衡阳: 南华大学, 2019. [Wu HR. Analysis of risk factors for postoperative complications of laparoscopic pancreaticoduodenectomy and risk prediction model for postoperative pancreatic fistula[D]. Hengyang: University of South China, 2019.] DOI: [10.27234/d.cnki.gnhuu.2019.000176](https://doi.org/10.27234/d.cnki.gnhuu.2019.000176).
- 夏武政. 胰十二指肠切除术后胰瘘风险评估模型的建立和临床验证 [D]. 广州: 南方医科大学, 2019. [Xia WZ. Establishment and clinical validation of a predictive model for the risk assessment of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2019.] <https://www.cqvip.com/doc/degree/1868524527>
- 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. [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](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2019.09.013).
- Li Y, Zhou F, Zhu DM, et al. Novel risk scoring system for prediction of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. *World J Gastroenterol*, 2019, 25(21): 2650–2664. DOI: [10.3748/wjg.v25.i21.2650](https://doi.org/10.3748/wjg.v25.i21.2650).
- 刘少东. 胰十二指肠切除术后胰瘘危险因素分析及风险预测 [D]. 太原: 山西医科大学, 2020. [Liu SD. Risk factors analysis and risk prediction of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[D]. Taiyuan: Shanxi Medical University, 2020.] DOI: [10.27288/d.cnki.gsxyu.2020.000434](https://doi.org/10.27288/d.cnki.gsxyu.2020.000434).
- 李轲. 胰十二指肠切除术后临床相关胰瘘预测因素的筛选与预测模型的构建 [D]. 南昌: 南昌大学, 2020. [Li K. Screening

- predictive factors and the establishment of prediction model of clinically relevant postoperative pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[D]. Nanchang: Nanchang University, 2020.] DOI: [10.27232/d.cnki.gnchu.2020.000490](https://doi.org/10.27232/d.cnki.gnchu.2020.000490).
- 18 徐西伯, 贾成朋, 贾勇, 等. 构建胰十二指肠切除术后胰瘘预测模型及其应用价值[J]. 中华消化外科杂志, 2020, 19(4): 408–413. [Xu XB, Jia CP, Jia Y, et al. Construction and application value of prediction model of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. Chinese Journal of Digestive Surgery, 2020, 19(4): 408–413.] DOI: [10.3760/cma.j.cn115610-20200409-00240](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn115610-20200409-00240).
- 19 Huang XT, Huang CS, Liu C, et al. Development and validation of a new nomogram for predicting clinically relevant postoperative pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy[J]. World J Surg, 2021, 45(1): 261–269. DOI: [10.1007/s00268-020-05773-y](https://doi.org/10.1007/s00268-020-05773-y).
- 20 孙毅, 林先盛. 替代胰瘘风险预测系统在胰十二指肠切除术后胰瘘的预测价值[J]. 肝胆外科杂志, 2021, 29(3): 182–186. [Sun Y, Lin XS. The clinical predictive value of alternative fistula risk score for pancreatoduodenectomy[J]. Journal of Hepatobiliary Surgery, 2021, 29(3): 182–186.] DOI: [10.3969/j.issn.1006-4761.2021.03.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-4761.2021.03.008).
- 21 Shen J, Guo F, Sun Y, et al. Predictive nomogram for postoperative pancreatic fistula following pancreaticoduodenectomy: a retrospective study[J]. BMC Cancer, 2021, 21(1): 550. DOI: [10.1186/s12885-021-08201-z](https://doi.org/10.1186/s12885-021-08201-z).
- 22 Liu R, Cai Y, Cai H, et al. Dynamic prediction for clinically relevant pancreatic fistula: a novel prediction model for laparoscopic pancreaticoduodenectomy[J]. BMC Surg, 2021, 21(1): 7. DOI: [10.1186/s12893-020-00968-5](https://doi.org/10.1186/s12893-020-00968-5).
- 23 张佳韩. 胰十二指肠切除术后胰瘘风险预测模型的构建与验证[D]. 大连: 大连医科大学, 2022. [Zhang JW. Construction and validation of a risk prediction model for pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[D]. Dalian: Dalian Medical University, 2022.] DOI: [10.26994/d.cnki.gdlyu.2022.000365](https://doi.org/10.26994/d.cnki.gdlyu.2022.000365).
- 24 张博琳. 胰十二指肠切除术后临床相关胰瘘的预测风险评分系统[D]. 大连: 大连医科大学, 2022. [Zhang BL. A predictive risk scoring system for clinically relevant pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[D]. Dalian: Dalian Medical University, 2022.] DOI: [10.26994/d.cnki.gdlyu.2022.000727](https://doi.org/10.26994/d.cnki.gdlyu.2022.000727).
- 25 刘香玉, 郑冲, 陈鑫, 等. 腹腔镜胰十二指肠根治术后胰瘘风险预测模型开发及验证[J]. 中国实验诊断学, 2023, 27(2): 204–209. [Liu XY, Zheng C, Chen X, et al. Development and validation of a risk prediction model for pancreatic fistula after laparoscopic radical pancreatoduodenectomy[J]. Chinese Journal of Laboratory Diagnosis, 2023, 27(2): 204–209.] DOI: [10.3969/j.issn.1007-4287.2023.02.021](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-4287.2023.02.021).
- 26 夏绍莹. 腹腔镜胰十二指肠切除术后胰瘘的危险因素与风险预测[D]. 贵阳: 贵州医科大学, 2023. [Xia SX. Risk factors analysis and prediction of postoperative pancreatic fistula after laparoscopic pancreaticoduodenectomy[D]. Guiyang: Guizhou Medical University, 2023.] DOI: [10.27045/d.cnki.ggyyc.2023.000035](https://doi.org/10.27045/d.cnki.ggyyc.2023.000035).
- 27 刘武超. 胰十二指肠术后临床相关胰瘘的临床特征与影响因素研究[D]. 上海: 中国人民解放军海军军医大学, 2023. [Liu WC. Study on clinical characteristics and influencing factors of clinically relevant pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[D]. Shanghai: Naval Medical University, 2023.] DOI: [10.26998/d.cnki.gjyuy.2023.000293](https://doi.org/10.26998/d.cnki.gjyuy.2023.000293).
- 28 周黎晨. 胰十二指肠切除术后胰瘘预测模型建立与验证[D]. 泸州: 西南医科大学, 2023. [Zhou LC. Predictive model and validation of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[D]. Luzhou: Southwest Medical University, 2023.] DOI: [10.27215/d.cnki.glzyu.2023.000038](https://doi.org/10.27215/d.cnki.glzyu.2023.000038).
- 29 史小琼. 基于 MRI 组学及临床影像特征列线图预测胰十二指肠切除术后胰瘘的价值[D]. 兰州: 兰州大学, 2023. [Shi XQ. The value of nomogram based on MRI radiomics and clinical imaging characteristics in predicting pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2023.] DOI: [10.27204/d.cnki.glzhu.2023.001494](https://doi.org/10.27204/d.cnki.glzhu.2023.001494).
- 30 He C, Zhang Y, Li L, et al. Risk factor analysis and prediction of postoperative clinically relevant pancreatic fistula after distal pancreatectomy[J]. BMC Surg, 2023, 23(1): 5. DOI: [10.1186/s12893-023-01907-w](https://doi.org/10.1186/s12893-023-01907-w).
- 31 Zheng J, Lv X, Jiang L, et al. Development of a pancreatic fistula prediction model after pancreaticoduodenectomy based on a decision tree and random forest algorithm[J]. Am Surg, 2023, 17: 31348231158692. DOI: [10.1177/00031348231158692](https://doi.org/10.1177/00031348231158692).
- 32 Gu Z, Du Y, Wang P, et al. Development and validation of a novel nomogram to predict postoperative pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy using lasso–logistic regression: an international multi–institutional observational study[J]. Int J Surg, 2023, 109(12): 4027–4040. DOI: [10.1097/JS9.0000000000000695](https://doi.org/10.1097/JS9.0000000000000695).
- 33 余俊, 任超逸, 崔巍, 等. 胰十二指肠切除术后胰瘘风险预测模型的建立: 基于 2016 新版胰瘘定义及分级系统[J]. 临床肝胆病杂志, 2024, 40(4): 773–781. [Yu J, Ren CY, Cui W, et al. Establishment of a risk prediction model for pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy: a study based on the 2016 edition of the definition and classification system of pancreatic fistula[J]. Journal of Clinical Hepatology, 2024, 40(4): 773–781.] DOI: [10.12449/JCH240421](https://doi.org/10.12449/JCH240421).
- 34 Lee W, Park HJ, Lee HJ, et al. Deep learning–based prediction of post–pancreaticoduodenectomy pancreatic fistula[J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 5089. DOI: [10.1038/s41598-024-51777-2](https://doi.org/10.1038/s41598-024-51777-2).
- 35 Zhu Y, Wu D, Yang H, et al. Analysis of factors influencing pancreatic fistula after minimally invasive pancreaticoduodenectomy and establishment of a new prediction model for clinically relevant pancreatic fistula[J]. Surg Endosc, 2024, 38(5): 2622–2631. DOI: [10.1007/s00464-024-10770-6](https://doi.org/10.1007/s00464-024-10770-6).
- 36 Akgul O, Merath K, Mehta R, et al. Postoperative pancreatic fistula following pancreaticoduodenectomy–stratification of patient risk[J]. J Gastrointest Surg, 2019, 23(9): 1817–1824. DOI: [10.1007/s11605-018-4045-x](https://doi.org/10.1007/s11605-018-4045-x).
- 37 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](https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004855).
- 38 Mathur A, Pitt HA, Marine M, et al. Fatty pancreas: a factor in postoperative pancreatic fistula[J]. *Ann Surgery*, 2007, 246(6): 1058–1064. DOI: [10.1097/SLA.0b013e31814a6906](https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e31814a6906).
- 39 Khuri S, Mansour S, Obeid A, et al. Postpancreatoduodenectomy hemorrhage: association between the causes and the severity of the bleeding[J]. *Visc Med*, 2021, 37(3): 171–179. DOI: [10.1159/000509894](https://doi.org/10.1159/000509894).
- 40 Casadei R, Ricci C, Taffurelli G, et al. Are there preoperative factors related to a "soft pancreas" and are they predictive of pancreatic fistulas after pancreatic resection?[J]. *Surg Today*, 2015, 45(6): 708–714. DOI: [10.1007/s00595-014-1045-7](https://doi.org/10.1007/s00595-014-1045-7).
- 41 Roberts KJ, Sutcliffe RP, Marudanayagam R, et al. Scoring system to predict pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy: a UK multicenter study[J]. *Ann Surg*, 2015, 261(6): 1191–1197. DOI: [10.1097/SLA.0000000000000997](https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000997).
- 42 陈君茹, 朱永胜. 胰十二指肠切除术后腹腔引流液淀粉酶测定的价值[J]. *实用临床医药杂志*, 2014, 18(23): 166–167. [Chen JR, Zhu YS. Value of amylase measurement of abdominal drainage fluid after pancreaticoduodenectomy[J]. *Journal of Clinical Medicine in Practice*, 2014, 18(23): 166–167.] DOI: [10.7619/jcmp.201423068](https://doi.org/10.7619/jcmp.201423068).
- 43 Gruppo M, Angriman I, Martella B, et al. Perioperative albumin ratio is associated with post-operative pancreatic fistula[J]. *ANZ J Surg*, 2018, 88(7–8): E602–E605. DOI: [10.1111/ans.14262](https://doi.org/10.1111/ans.14262).
- 44 Sakamoto T, Yagyu Y, Uchinaka EI, et al. Predictive significance of C-reactive protein-to-albumin ratio for postoperative pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. *Anticancer Res*, 2019, 39(11): 6283–6290. DOI: [10.21873/anticancer.13838](https://doi.org/10.21873/anticancer.13838).
- 45 Casciani F, Trudeau MT, Aabun HJ, et al. The effect of high intraoperative blood loss on pancreatic fistula development after pancreatoduodenectomy: an international, multi-institutional propensity score matched analysis[J]. *Surgery*, 2021, 170(4): 1195–1204. DOI: [10.1016/j.surg.2021.03.044](https://doi.org/10.1016/j.surg.2021.03.044).
- 46 Enzi G, Gasparo M, Biondetti PR, et al. Subcutaneous and visceral fat distribution according to sex, age, and overweight, evaluated by computed tomography[J]. *Am J Clin Nutr*, 1986, 44(6): 739–746. DOI: [10.1093/ajcn/44.6.739](https://doi.org/10.1093/ajcn/44.6.739).
- 47 Rosso E, Casnedi S, Pessaux P, et al. The role of "fatty pancreas" and of BMI in the occurrence of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. *J Gastrointest Surg*, 2009, 13(10): 1845–1851. DOI: [10.1007/s11605-009-0974-8](https://doi.org/10.1007/s11605-009-0974-8).
- 48 Jang M, Park HW, Huh J, et al. Predictive value of sarcopenia and visceral obesity for postoperative pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy analyzed on clinically acquired CT and MRI[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(5): 2417–2425. DOI: [10.1007/s00330-018-5790-7](https://doi.org/10.1007/s00330-018-5790-7).
- 49 Weng H, Fan QQ, Song XL, et al. Preoperative pancreatic CT value is related to pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy: a retrospective study[J]. *Gland Surg*, 2023, 12(2): 243–251. DOI: [10.21037/gs-23-19](https://doi.org/10.21037/gs-23-19).
- 50 Collins GS, Reitama JB, Altman DG, et al. Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD): the TRIPOD statement[J]. *BMJ*, 2015, 350: g7594. DOI: [10.1136/bmj.g7594](https://doi.org/10.1136/bmj.g7594).
- 51 黄光成, 周良, 石建伟, 等. 机器学习算法在疾病风险预测中的应用与比较[J]. *健康发展与政策研究*, 2020, 23(4): 432–436. [Huang GC, Zhou L, Shi JW, et al. Application and comparison of machine learning algorithms in disease risk prediction[J]. *Health Development and Policy Research*, 2020, 23(4): 432–436.] DOI: [10.3969/j.issn.1007-953X.2020.04.024](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-953X.2020.04.024).

收稿日期: 2024 年 07 月 09 日 修回日期: 2024 年 11 月 28 日
本文编辑: 张 苗 黄 笛

引用本文: 谢若男, 王国蓉, 李成香, 等. 胰十二指肠切除术后胰瘘风险预测模型的系统评价[J]. *数理医药学杂志*, 2025, 38(2): 133–144. DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202407091](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-4337.202407091).
Xie RN, Wang GR, Li CX, et al. Risk prediction model for pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy: a systematic review[J]. *Journal of Mathematical Medicine*, 2025, 38(2): 133–144. DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202407091](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-4337.202407091).