XXXX DOI:

胰十二指肠切除术后患者肌少症发生的风险预测模型构建与验证

张晓娇,张 丹,王飞通,赵会玲,丁 玲,毛 平
(徐州医科大学附属医院肝胆胰疝外科,徐州 221000)

【摘 要】目的:构建并验证胰十二指肠切除术(pancreaticoduodenectomy,PD)后患者肌少症发生风险预测模型,为临床早期识别高危人群、制定个体化干预策略提供依据。**方法:**选取2023年1月至2024年12月于徐州医科大学附属医院接受PD的365例患者为研究对象,按7∶3比例分为建模组(255例)和内部验证组(110例),另选取2025年1~12月接受PD的120例患者作为外部验证组。建模组于术后30 d判定肌少症发生情况,采用单因素分析和二元Logistic回归筛选独立危险因素,构建风险预测模型并绘制列线图。验证组采用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve,ROC)、Hosmer-Lemeshow检验及决策曲线分析(decision curve analysis,DCA)评估模型的区分度、校准度和临床实用性。**结果:**建模组肌少症发生率为38.8%(99/255)。Logistic回归分析显示,体质指数(body mass index,BMI)、患者主观整体营养评估量表(patient-generated subjective global assessment,PG-SGA)评分、年龄校正查尔森合并症指数(age-adjusted Charlson comorbidity index,aCCI)及术后2周体脂率(body fat percentage,BF%)是PD术后肌少症发生的独立危险因素(P<0.05)。基于上述因素构建的列线图模型,建模组、内部验证组、外部验证组的曲线下面积(area under the curve,AUC)分别为0.878[95%置信区间(95% confidence interval,95%CI):0.835~0.921]、0.890(95%CI=0.845~0.936)、0.930(95%CI=0.883~0.977),Hosmer-Lemeshow检验P值分别为0.743、0.728、0.689,DCA显示模型在广泛风险阈值范围内具有良好的临床净获益。**结论:**基于BMI、PG-SGA评分、aCCI及BF%构建的风险预测模型具有良好的预测性能,可有效评估PD术后患者肌少症发生风险,为临床精准防控提供参考。

【关键词】胰十二指肠切除术;肌少症;风险预测模型;独立危险因素;列线图
【中图分类号】R656.6 **【文献标志码】**A

Construction and validation of a risk prediction model for sarcopenia in patients after pancreaticoduodenectomy

Zhang Xiaojiao, Zhang Dan, Wang Feitong, Zhao Huiling, Ding Ling, Mao Ping
(*Department of Hepatobiliary, Pancreatic, and Hernia Surgery, The Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University*)

【Abstract】*Objective*: To construct and validate a risk prediction model for sarcopenia in patients after pancreaticoduodenectomy (PD), and to provide a basis for early identification of high-risk populations and formulation of individualized intervention strategies in clinical practice. ***Methods*:** A total of 365 patients who underwent PD in The Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University from January 2023 to December 2024 were enrolled as subjects, and they were divided into modeling group with 255 patients and internal validation group with 110 patients at a ratio of 7∶3. Another 120 patients who underwent PD from January to December 2025 were enrolled as the external validation group. The onset of sarcopenia was determined for the modeling group on day 30 after surgery. The univariate analysis and the binary logistic regression analysis were used to identify independent risk factors, a risk prediction model was constructed, and a nomogram was plotted. For the validation groups, the receiver operating characteristic (ROC) curve, the Hosmer-Lemeshow test, and decision curve analysis (DCA) were used to assess the discriminatory ability, calibration, and clinical practicability of the model. ***Results*:** The incidence rate of sarcopenia was 38.8% (99/255) in the modeling group. The logistic regression analysis showed that body mass index (BMI), Patient-Generated Subjective Global Assessment (PG-SGA) score, age-adjusted Charlson Comorbidity Index (aCCI), and body fat percentage (BF%) at 2 weeks after surgery were independent risk factors for sarcopenia after PD (all P<0.05). The nomogram model constructed based on the above factors had an area under the ROC curve of 0.878 (95%CI=0.835-0.921) in the modeling group, 0.890 (95%CI=0.845-0.936) in the internal validation group, and 0.930 (95%CI=0.883-0.977) in the

作者介绍:张晓娇,Email:zhangjdoa@126.com,
研究方向:普外科护理。
通信作者:张 丹,Email:jszhangd1990@126.com。
基金项目:江苏省高校重点实验室开放课题(编号:XZSYSKF2024042)。

external validation group, and the Hosmer-Lemeshow test showed a P value of 0.743, 0.728, and 0.689, respectively. The DCA showed that the model had good net clinical benefits within a wide range of risk thresholds. ***Conclusion***: The risk prediction model constructed based on BMI, PG-SGA score, aCCI, and BF% has good predictive performance and can effectively assess the risk of sarcopenia in patients after PD, thereby providing a reference for precise prevention and control in clinical practice.

【Key words】pancreaticoduodenectomy; sarcopenia; risk prediction model; independent risk factors; nomogram

胰十二指肠切除术(pancreaticoduodenectomy, PD)是治疗胰头癌、壶腹周围肿瘤等疾病的关键且复杂的手术方式,在临床中占据重要地位。然而,该手术创伤较大,会诱发机体出现应激反应和代谢紊乱,术后患者常因伤口疼痛、消化道功能尚未恢复等导致营养摄入不足,最终引发肌少症[1]。肌少症是一种以骨骼肌质量减少、肌力及功能减退为主要特征的综合征。相关数据显示,PD术后肌少症发生率在11%~74%之间,显著增加感染、伤口愈合不良等并发症风险,延长住院时间,降低患者的长期生存质量,给患者及家庭带来较大负担[2]。目前,国内外关于PD术后肌少症的研究多聚焦于危险因素的探索[3],尚未见风险预测模型构建的相关报道,虽存在少数胃肠手术后肌少症的预测模型,但因PD手术创伤更大、围术期消化代谢紊乱更显著等特点,难以直接套用,无法满足PD患者精准医疗的临床需求[4]。因此,本研究拟整合人口学特征、临床特征、生活状态与功能、营养状态、实验室指标及术后结局等多维度指标,构建PD术后肌少症风险预测模型,开发可视化列线图,并通过内部及外部验证确保模型的可靠性与实用性,填补该领域的空白,为临床早期识别高危患者、制定个体化干预策略提供依据。

1 对象和方法

1.1 研究对象

选取2023年1月至2024年12月于徐州医科大学附属医院接受PD的患者为研究对象,纳入标准:①年龄≥18岁;②经病理学诊断为胰头癌、壶腹周围癌或十二指肠肿瘤,并接受标准PD手术;③于本次入院、手术开始前判断无肌少症;④临床资料完整。排除标准:①术前合并严重心、肺、肾功能不全;②合并其他恶性肿瘤或终末期疾病。采用Logistic回归样本量估算公式:N=(10×自变量数)/事件发生率[4]。拟初步筛选4~6个潜在预测变量,至少需纳入肌少症患者40~60例,基于既往文献,PD术后肌少症发生率为11%~74%,取平均值42.5%,同时考虑10%的流失率,故所需样本量为105~157例[3]。本研究最终纳入365例患者。采用SPSS随机数字生成器将365例PD患者按照7∶3比例分配,其中建模组$n1=365\times70\%=255$例,内部验证组$n2=365\times30\%=110$例。另选取2025年1月至2025年12月于本院接受PD的120例患者为外部验证组。所有患者资料均经伦理委员会批准(批号:XYFY2022-KL230-02),并进行匿名化处理,确保数据符合隐私保护要求。

1.2 肌少症诊断标准

于术后30 d复查并判定患者肌少症发生情况,肌少症的诊断需综合评估肌肉质量、肌肉力量和身体功能,并采用亚洲肌少症工作组(Asian Working Group for Sarcopenia, AWGS)2019年更新的标准判定[5]。具体评估方法如下:①肌肉质量评估:采用生物电阻抗分析(bioelectrical impedance analysis, BIA)测量四肢骨骼肌总量(appendicular skeletal muscle mass, ASM),并计算四肢骨骼肌质量指数(appendicular skeletal muscle mass index, ASMI),即ASMI=ASM/身高^2,若男性ASMI<7.0 kg/m^2、女性<5.7 kg/m^2,则定义为低肌肉质量;②肌肉力量评估:使用电子握力计测量优势手握力,连续测量3次取最大值,若男性<28 kg或女性<18 kg,表示肌肉力量下降;③身体功能评估:通过6 m步速测试计算平均步速,若步速<1.0 m/s判定为身体功能下降。患者若满足"低肌肉质量+肌肉力量或身体功能下降"即可确诊为肌少症。

1.3 数据收集

①一般资料:术前3 d内收集患者一般资料,包括年龄、性别、体质指数(body mass index, BMI)、大腿围、睡眠状况、原发疾病类型、肿瘤分期、术前营养状态、术前活动水平及合并症等。②术前实验室指标:术前1 d内采集空腹静脉血5~8 mL,离心分离血清后,采用全自动生化分析仪检测相关指标,包括空腹血糖(fasting blood glucose, FBG)、血清白蛋白(serum albumin, ALB)、前白蛋白(prealbumin, PA)、转铁蛋白(transferrin, TRF)、血红蛋白(hemoglobin, Hb)、总蛋白(total protein, TP)等营养指标,以及C反应蛋白(C-reactive protein, CRP)、中性粒细胞-淋巴细胞比值(neutrophil-to-lymphocyte ratio, NLR)等炎性指标。③术后2周体脂率(body fat percentage, BF%)及术后30 d内并发症发生情况,包括胰瘘、胆瘘、腹腔感染、肺部感染、腹腔出血、消化道出血、胃排空障碍等,并发症的判断标准参照国际胰腺外科研究组(International Study Group for Pancreatic Surgery, ISGPS)及《胰腺外科围手术期管理专家共识(2022版)》制定的统一标准。以上资料使用的评价工具包括:①睡眠状况采用匹兹堡睡眠质量指数量表(Pittsburgh Sleep Quality Index,

PSQI)[6],该量表包含7个维度:主观睡眠质量、入睡时间、睡眠时间、睡眠障碍、睡眠效率、催眠药物、日间功能障碍,共19个条目,每个维度的评分范围为0~3分,总分0~21分。分值越高表明睡眠问题越严重。②营养状态采用患者主观整体营养评估量表(Patient-Generated Subjective Global Assessment,PG-SGA)[7],该量表专为肿瘤患者设计,包括患者自我评估部分和医务人员评估部分,其中,自评内容涵盖症状、体质量、进食情况、活动和身体功能4个方面,医务人员评估内容包含体格检查、疾病与营养需求2个方面,根据两部分相加得到总分,其中0~3分表示无营养不良或轻度营养不良,4~8分为中度营养不良,≥9分为重度营养不良。该量表对营养不良筛查的灵敏度和特异度较高,现已广泛应用于临床营养评估和干预决策。③术前活动水平采用国际体力活动问卷长版(International Physical Activity Questionnaire-Long Form,IPAQ-LF)[8],该问卷由国际体力活动评价组制定,屈宁宁等汉化,用于全面评估个体过去1周内的体力活动情况,包括工作、交通、日常生活、休闲娱乐4个部分,具体计算方法为:按活动强度进行能量赋值,高强度活动8代谢当量(metabolic equivalent of task,MET)、中等强度活动4 MET、低强度活动2 MET,统计各强度活动的每周累计时间(min),总体力活动量(MET·min/周)=高强度活动时间×8+中等强度活动时间×4+低强度活动时间×2;根据总体力活动量分为3个等级,分别为低体力活动水平(<600 MET·min/周)、中体力活动水平(600~3000 MET·min/周)、高体力活动水平(>3 000 MET·min/周)。④采用年龄校正查尔森合并症指数(age-adjusted Charlson comorbidity index,aCCI)量化评估患者合并症严重程度[9],包括基础疾病、年龄校正两部分评分,对19类慢病进行加权计分,并按年龄段加0~4分,评分分为轻度(1~2分)、中度(3~4分)、重度(≥5分)3级。

1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0进行数据分析,首先对建模组的计量资料和计数资料进行单因素分析:符合正态分布且方差齐性的计量资料采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,采用独立样本t检验进行比较;非正态分布或方差不齐的计量资料采用中位数(四分位间距)[$M_d(P_{25},P_{75})$]表示,采用Mann-Whitney U检验;计数资料采用频数和百分比表示,采用卡方检验进行比较,将P<0.05的因素纳入二元Logistic回归分析。回归前采用方差膨胀因子(variance inflation factor,VIF)共线性诊断,剔除VIF>10的严重共线性变量,最终确定独立危险因素并构建风险预测模型。采用R Studio 4.2.2软件绘制列线图展示模型。在内部验证组和外部验证组中开展模型验证,全面评估模型性能如下。①区分度:以受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve,ROC)及曲线下面积(area under the curve,AUC)评估,若P<0.05说明模型有实际区分能力;②校准度:采用Hosmer-Lemeshow拟合优度检验并绘制校准曲线,若P>0.05说明模型的预测概率与实际概率无统计学差异,校准度良好;③临床实用性:通过决策曲线分析(decision curve analysis,DCA)评估不同阈值概率下模型的净获益,为临床决策提供参考。检验水准α=0.05。

1.5 质量控制

本研究严格遵循纳入与排除标准,对数据收集过程进行统一培训,由两名研究者独立提取病历数据并录入,并由第三位研究者审阅复核数据,发现异常及时查证,以确保数据录入的完整性和准确性。

2 结 果

2.1 建模组、内部验证组和外部验证组患者一般资料的比较

比较建模组、内部验证组与外部验证组患者的一般临床资料,经检验2组患者各项指标差异均无统计学意义(P>0.05),表明3组的基线资料分布均衡,见表1。

表1 2组患者一般资料的比较[n,%;$\bar{x}\pm s$;$M_d(P_{25},P_{75})$]

项目	类别	建模组(n=255)	内部验证组(n=110)	外部验证组(n=120)	$\chi^2/t/Z$值	P值
性别	男	151(59.2)	62(56.4)	68(56.7)	0.852	0.652
	女	104(40.8)	48(43.6)	52(43.3)		
年龄(岁)	<55	96(37.6)	35(31.8)	40(33.3)	2.315	0.510
	56~64	91(35.7)	42(38.2)	48(40.0)		
	≥65	68(26.7)	33(30.0)	32(26.7)		
BMI(kg/m^2)	<18.5	70(27.5)	22(20.0)	28(23.3)	3.125	0.210
	18.5~23.9	115(45.1)	56(50.9)	55(45.8)		
	≥24	70(27.5)	32(29.1)	37(30.8)		
大腿围(cm)		41.9±3.7	42.5±3.5	42.8±3.6	1.586	0.208
PSQI评分(分)		11.5±1.7	11.2±1.9	11.8±1.8	1.258	0.289
疾病类型	胰腺癌	89(34.9)	30(27.3)	38(31.7)	2.986	0.405
	胆管癌	62(24.3)	29(26.4)	32(26.7)		
	十二指肠癌	73(28.6)	38(34.5)	35(29.2)		
	其他	31(12.2)	13(11.8)	15(12.5)		
肿瘤分期	Ⅰ	63(24.7)	20(18.2)	26(21.7)	3.528	0.317

续表1

项目	类别	建模组（n=255）	内部验证组（n=110）	外部验证组（n=120）	$\chi^2/t/Z$值	P值
	Ⅱ	63(24.7)	29(26.4)	30(25.0)		
	Ⅲ	76(29.8)	36(32.7)	38(31.7)		
	Ⅳ	56(22.0)	25(22.7)	26(21.7)		
PG-SGA评分（分）	低危	83(32.5)	25(22.7)	35(29.2)	3.852	0.278
	中危	103(40.4)	48(43.6)	50(41.7)		
	高危	69(27.1)	37(33.7)	35(29.2)		
IPAQ-LF评分（MET·min/周）	<600	100(39.2)	35(31.8)	42(35.0)	2.658	0.447
	600~3 000	80(31.4)	40(36.4)	45(37.5)		
	>3 000	75(29.4)	35(31.8)	33(27.5)		
FBG（mmol/L）		6.2 ± 2.1	6.5 ± 1.8	6.4 ± 2.0	1.025	0.364
Hb（g/L）		115.5 ± 13.1	114.2 ± 12.8	113.8 ± 12.9	0.986	0.373
ALB（g/L）		38.1 ± 1.8	37.8 ± 2.0	37.6 ± 1.9	1.152	0.32
PA（mg/L）		215.3 ± 35.6	212.8 ± 38.2	210.5 ± 37.8	1.058	0.348
TRF（g/L）		2.5 ± 0.6	2.4 ± 0.7	2.3 ± 0.6	1.325	0.268
TP（g/L）		63.8 ± 12.5	62.9 ± 11.9	64.2 ± 12.1	0.852	0.465
ACCI评分（分）	1~2	95(37.3)	30(27.3)	38(31.7)	3.258	0.274
	3~4	86(33.7)	45(40.9)	42(35.0)		
	≥5	74(29.0)	35(31.8)	40(33.3)		
CRP（mg/L）		2.19(1.4,5.5)	2.35(1.3,5.8)	2.42(1.5,5.7)	1.025	0.368
NLR		2.20(1.5,5.4)	2.22(1.4,5.5)	2.35(1.6,5.6)	0.986	0.373
BF%	<15	90(35.3)	28(25.5)	35(29.2)	3.586	0.167
	15~24.9	127(49.8)	60(54.5)	58(48.3)		
	≥25	38(14.9)	22(20.0)	27(22.5)		
胰瘘	有	40(15.7)	14(12.7)	17(14.2)	0.852	0.652
	无	215(84.3)	96(87.3)	103(85.8)		
胆瘘	有	7(2.7)	4(3.6)	4(3.3)	0.325	0.85
	无	248(97.3)	106(96.4)	116(96.7)		
腹腔感染	有	41(16.1)	19(17.3)	20(16.7)	0.286	0.867
	无	214(83.9)	91(82.7)	100(83.3)		
腹腔出血	有	51(20.0)	25(22.7)	23(19.2)	0.986	0.613
	无	204(80.0)	85(77.3)	97(80.8)		
消化道出血	有	13(5.1)	8(7.3)	7(5.8)	0.725	0.696
	无	242(94.9)	102(92.7)	113(94.2)		
胃排空障碍	有	51(20.0)	22(20.0)	23(19.2)	0.085	0.958
	无	204(80.0)	88(80.0)	97(80.8)		

2.2 建模组患者一般资料的单因素分析

建模组255例患者年龄45~76岁，平均（60.94 ± 5.27）岁；女104例（40.8%），男151例（59.2%）；肌少症发生率为38.8%。将建模组255例患者分为肌少症组（99例）和非肌少症组（156例），2组患者一般资料的单因素分析结果见表2。结果显示，2组患者在BMI、PG-SGA评分、ACCI评分、BF%上差异有统计学意义（P<0.05）。

表2 建模组一般资料的单因素分析[n,%;$x \pm s$;$M_d(P_{25},P_{75})$]

项目		肌少症（n=99）	非肌少症（n=156）	$\chi^2/t/Z$值	P值
性别	男	60(60.6)	91(58.3)	0.181	0.673
	女	39(39.4)	65(41.7)		
年龄（岁）	<55	34(34.3)	62(39.7)	0.382	0.537
	56~64	35(35.4)	56(35.9)		
	≥65	30(30.3)	38(24.4)		

续表2

项目		肌少症（n=99）	非肌少症（n=156）	$\chi^2/t/Z$值	P值
BMI（kg/m^2）	<18.5	42（42.4）	28（17.9）	26.895	<0.001
	18.5~23.9	30（30.3）	85（54.5）		
	≥24	27（27.3）	43（27.6）		
大腿围（cm）		41.5 ± 3.7	42.2 ± 3.7	1.272	0.205
PSQI评分（分）		11.4 ± 1.7	11.6 ± 1.7	0.903	0.368
疾病类型	胰腺癌	37（37.4）	52（33.3）	0.642	0.877
	胆管癌	23（23.2）	39（25.0）		
	十二指肠癌	28（28.3）	45（28.8）		
	其他	11（11.1）	20（12.8）		
肿瘤分期	Ⅰ	25（25.3）	38（24.4）	6.852	0.325
	Ⅱ	22（22.2）	41（26.3）		
	Ⅲ	28（28.3）	45（28.8）		
	Ⅳ	24（24.2）	32（20.5）		
PG-SGA评分（分）	≤3	18（18.2）	65（41.7）	10.125	0.006
	4~8	45（45.5）	58（37.2）		
	≥9	36（36.4）	33（21.2）		
IPAQ-LF评分（MET·min/周）	<600	42（42.4）	58（37.2）	2.586	0.468
	600~3 000	35（35.4）	45（28.8）		
	>3 000	22（22.2）	53（34.0）		
FBG（mmol/L）		6.3 ± 1.5	6.1 ± 2.4	0.424	0.672
Hb（g/L）		115.2 ± 12.8	115.8 ± 13.1	0.298	0.766
ALB（g/L）		38.1 ± 1.8	38.2 ± 1.9	0.352	0.725
PA（mg/L）		208.5 ± 32.1	219.6 ± 36.5	1.025	0.307
TRF（g/L）		2.4 ± 0.5	2.6 ± 0.6	0.988	0.324
TP（g/L）		63.5 ± 12.4	64.0 ± 12.6	0.265	0.791
ACCI评分（分）	1~2	23（23.2）	72（46.2）	8.256	0.016
	3~4	36（36.4）	50（32.1）		
	≥5	40（40.4）	34（21.8）		
CRP（mg/L）		2.20（1.5，5.4）	2.22（1.4，5.5）	0.105	0.916
NLR		2.20（1.50，5.40）	2.22（1.40，5.50）	0.153	0.878
BF%	<15	58（58.6）	32（20.5）	35.689	<0.001
	15~24.9	32（32.3）	95（60.9）		
	≥25	9（9.1）	29（18.6）		
胰瘘	有	16（16.2）	24（15.4）	0.089	0.765
	无	83（83.8）	132（84.6）		
胆瘘	有	3（3.0）	4（2.6）	0.021	0.885
	无	96（97.0）	152（97.4）		
腹腔感染	有	16（16.2）	25（16.0）	0.015	0.902
	无	83（83.8）	131（84.0）		
腹腔出血	有	20（20.2）	31（19.9）	0.009	0.924
	无	79（79.8）	125（80.1）		
消化道出血	有	5（5.1）	8（5.1）	0.006	0.938
	无	94（94.9）	148（94.9）		
胃排空障碍	有	20（20.2）	31（19.9）	0.009	0.924
	无	79（79.8）	125（80.1）		

2.3 建模组的二元Logistic回归分析

多重共线性分析结果显示，建模组中差异有统计学意义的变量，其VIF值均<5（BMI为1.020，PG-SGA评分为1.011，ACCI评分为1.026，术后2周体脂率为1.024），不存在多重共

线性。将这些变量作为自变量并赋值(表3),以是否发生肌少症作为因变量,纳入二元Logistic回归分析,结果显示,BMI、PG-SGA评分、ACCI评分、BF%是PD术后患者发生肌少症的独立影响因素,见表4。

表3 分类变量赋值

变量	赋值
BMI(kg/m²)	<18.5=1,18.5~23.9=2,≥24=3
PG-SGA评分(分)	<4=1,4~8=2,≥9=3
ACCI评分(分)	1~2=1,3~4=2,≥5=3
BF%	<15=1,15~24.9=2,≥25=3

2.4 PD术后患者肌少症发生的风险预测模型的构建

基于建模组数据,根据表4 Logistic回归分析结果构建PD术后患者肌少症发生的风险预测模型,并绘制列线图,见图1。

2.5 PD术后患者肌少症发生的风险预测模型的验证

采用AUC评估模型的区分效能,其中建模组AUC=0.878,95%CI=0.835~0.921,P<0.001,灵敏度76.0%,特异度73.7%,Youden指数0.497,最佳截断值0.371;内部验证组AUC=0.890,95%CI=0.845~0.936,P<0.001,灵敏度83.8%,特异度78.7%,Youden指数0.626,最佳截断值0.195;外部验证组AUC=0.930,95%CI=0.883~0.977,P<0.001,灵敏度83.87%,特异度88.61%,Youden指数0.725,最佳截断值为0.387,以上表明该模型具有较高的区分度,见图2。采用Hosmer-Lemeshow检验评估模型校准度,结果显示,3组χ^2值分别为4.331、5.272、5.630,P值分别为0.743、0.728、0.689,提示该模型的预测概率与观测概率之间具有较好的一致性。见图3。DCA结果显示,当风险阈值在0~0.95的广泛范围内,应用该模型预测净收益始终高于对所有患者均进行干预(All)和对任何患者都不进行干预(None)这2种极端策略,见图4。

表4 PD术后患者肌少症发生的二元Logistic回归分析

项目	β	标准误	Walds χ^2	P	OR	95%CI
常量	−0.270	0.478	0.003	0.954	0.973	
BMI(kg/m²)						
18.5~23.9	−1.681	0.383	19.248	<0.001	0.186	0.088~0.395
≥24	−1.135	0.419	7.326	0.007	0.321	0.141~0.731
PG-SGA评分(分)						
4~8	1.200	0.392	9.360	0.002	3.322	1.539~7.167
≥9	1.632	0.431	14.365	0.004	5.112	2.199~11.887
ACCI评分(分)						
3~4	0.806	0.383	4.425	0.035	2.240	1.057~4.747
≥5	1.305	0.401	10.605	0.001	3.689	1.682~8.091
BF%						
15~25	1.444	0.335	18.572	<0.001	0.236	0.122~0.455
≥25	3.298	0.710	21.568	<0.001	0.037	0.009~0.149

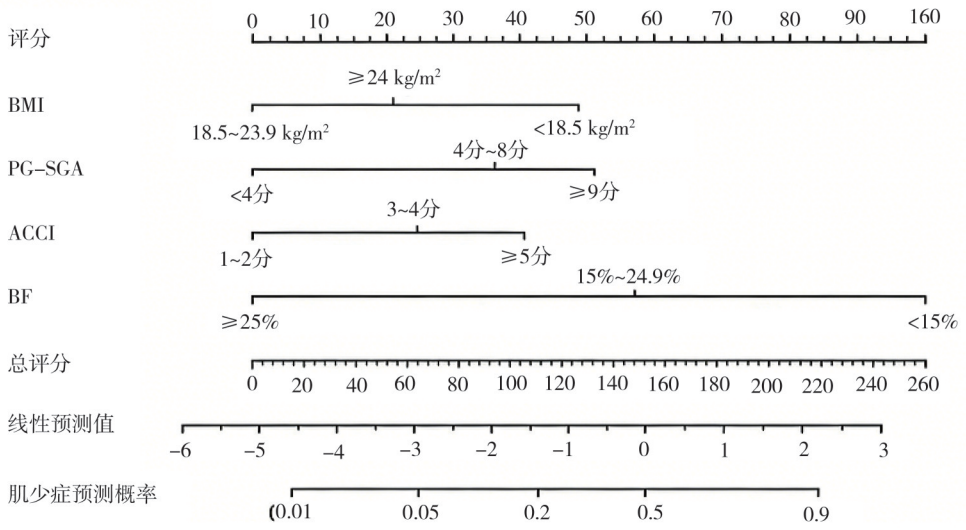


图1 PD术后患者肌少症发生风险预测模型列线图

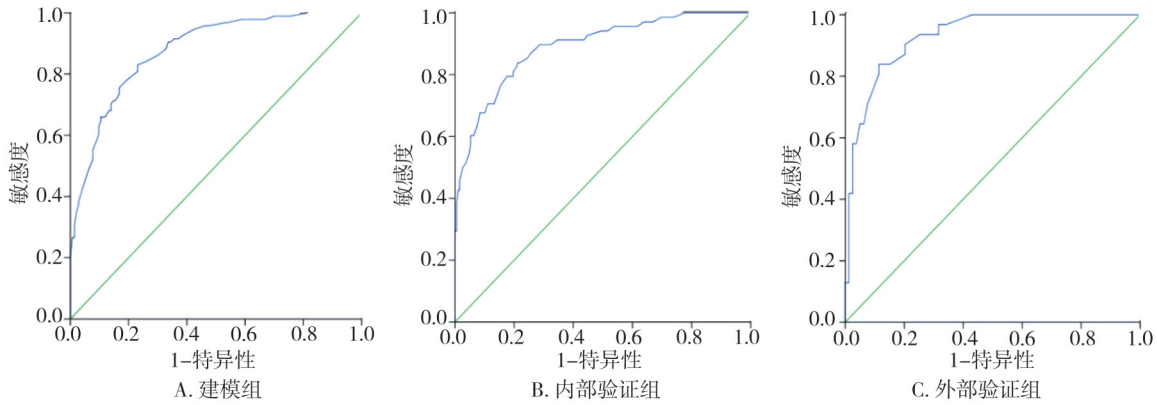


图2 建模组、内部验证组和外部验证组的ROC曲线

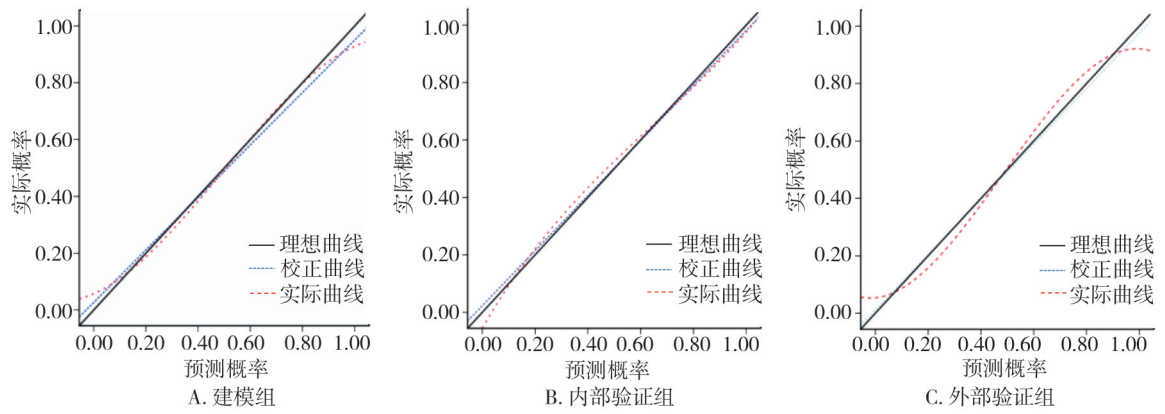


图3 建模组、内部验证组和外部验证组的Hosmer–Lemeshow曲线

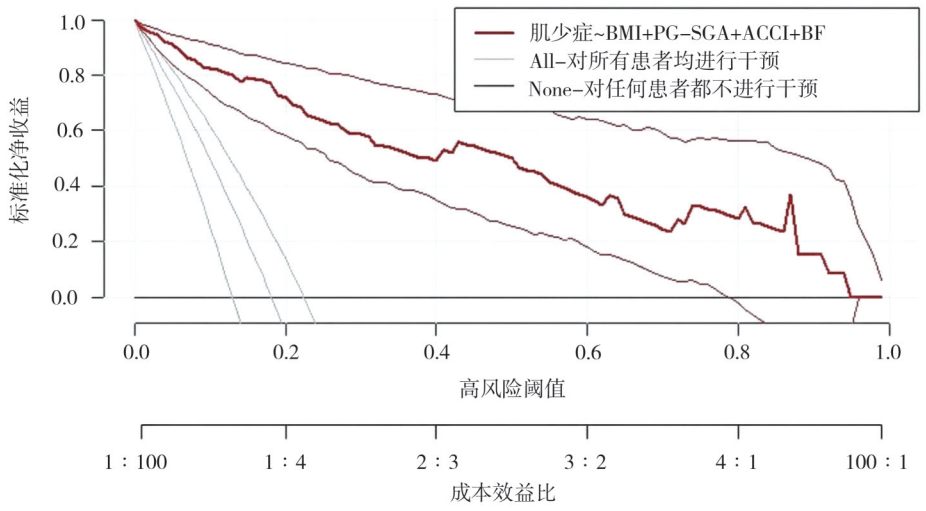


图4 DCA曲线

3 讨 论

肌少症是PD术后常见的营养代谢并发症，与患者术后康复延迟、并发症风险增加及远期生存质量下降密切相关。由于PD手术创伤较大、术后消化吸收功能恢复缓慢且发病机制复杂，如何早期识别高危人群并实施精准干预是临床亟待解决的问题。本研究基于临床易获取指标构建PD术后肌少症发生的风险预测列线图，经多维度验证，该模型的预测效能良好，为PD患者围术期肌少症防控提供了实用工具，现探讨如下。

3.1 PD术后患者肌少症发生的影响因素及临床意义

本研究以BMI<18.5 kg/m² 为参照组，结果显示BMI 18.5~23.9 kg/m²（*OR*=0.186，*P*<0.001）、BMI≥24 kg/m²（*OR*=0.321，*P*=0.007）是术后肌少症的保护因素，而BMI≥24 kg/m²是其独立危险因素“，与喻秀玲等[10]在结直肠癌切除术后肌少症研究中的结论一致。PD患者术前常因肿瘤消耗、消化功能障碍等存在隐性营养不良，而低BMI患者肌肉与脂肪储备不足，手术创伤引发的应激反应会加速骨骼肌蛋白分解，且术后早期营养摄入不足会进一步导致肌肉的合成与分解失衡。本研究中BMI≥24 kg/m²的超重患者术后肌少症发生率仅为38.6%，说明适度体质量储备可通过提供能量缓冲、减少肌肉动员降低发病风险，这提示临床需建立PD患者术前营养筛查机制，对低BMI人群提前启动预康复营养支持，补充优质蛋白等，以改善肌肉储备状态。本研究结果显示，PG-SGA高评分（≥4分）与PD术后肌少症风险显著相关（*OR*=3.322、5.112，*P*<0.01），与张延隆等[11]在胰腺癌患者中的发现一致。PG-SGA评分涵盖体质量变化、进食情况等多维度指标，能全面反映肿瘤相关营养不良程度。PD术后消化道重建导致的进食受限、吸收障碍，会加重营养缺乏，蛋白质摄入不足会直接影响肌细胞增殖修复，能量缺乏则会加速肌纤维降解[12]。本研究结果验证了PG-SGA评分在肌少症风险预警中的特异性，提示临床可将其作为PD围术期常规筛查工具，对评分≥4分的患者制定个体化营养干预方案，包括早期肠内营养支持、口服营养补充剂等。本研究发现aCCI≥5分的重度合并症患者术后肌少症发生风险是轻度组（1~2分）的3.689倍（*P*<0.001）。分析原因为：合并心血管疾病、糖尿病等基础疾病的患者，机体长期处于慢性低度炎症状态，炎症因子水平升高可促进骨骼肌蛋白分解；同时基础疾病限制患者活动能力，肌肉长期缺乏负荷刺激导致废用性萎缩，会影响胰岛素敏感性，加剧肌肉代谢紊乱[13]。此外，重度合并症患者术后并发症发生率更高，延长禁食与卧床周期，形成“合并症—炎症反应—活动减少—营养不良—肌少症”的恶性循环。这提示临床需加强PD患者术前合并症管理，术后在病情允许前提下尽早开展个体化康复锻炼，以打破上述循环。此外，本研究以术后2周BF%<15%为参照组，发现BF% 15%~24.9%（*OR*=0.236，*P*<0.001）、BF%≥25%（*OR*=0.037，*P*<0.001）为术后肌少症的保护因素，而BF%<15%是其独立危险因素。体脂组织既是能量储备库，又能分泌脂肪因子参与肌肉代谢调节。适量体脂储备可在手术应激时提供能量，减少骨骼肌分解供能；低体脂率患者能量储备不足，术后机体为满足代谢需求会启动肌肉分解通路，导致肌肉质量快速下降[14]。同时，体脂率与肌肉质量呈正相关，低体脂率常伴随肌肉储备不足，进一步增加发病风险[15]。这提示临床需将术后体脂率纳入PD患者康复监测体系，对体脂率偏低的患者及时调整营养支持方案，增加能量与优质脂肪摄入。

3.2 预测模型的临床优势

本研究构建的列线图预测模型具有显著优势。①该预测模型具备优异的预测效能，建模组、内部验证组及外部验证组AUC分别为0.878、0.890、0.930，高于既往胃肠术后肌少症预测模型，Hosmer-Lemeshow检验均*P*>0.05，校准度良好，且DCA曲线显示该模型净获益更大、适用阈值范围更广，具有较高的实际临床应用价值；②该模型指标的实用性较强，筛选的BMI、PG-SGA评分、aCCI评分及术后2周BP%均为临床常规监测指标，无需额外增加检查成本，医护人员可快速获取数据并计算风险评分；③该模型应用直观，绘制的列线图将复杂的回归方程转化为可视化评分工具，临床医师可快速判定患者风险等级，为精准干预提供依据。

3.3 研究局限性与未来方向

本研究存在一定局限性。首先，本研究为单中心研究，样本量相对有限，人群基线特征可能存在地域差异，模型外部适用性需在多中心、大样本人群中进一步验证；其次，本研究仅关注术后30 d肌少症的发生情况，未探讨模型对远期肌少症及患者生存质量的预测价值，长期随访数据有待补充；此外，本研究尚未开展基于模型的个体化干预研究，干预效果需通过随机对照试验验证。因此，未来可开展多中心、前瞻性队列研究，扩大样本量并纳入不同地域患者，以提高模型的普适性，同时基于模型构建风险分层的个体化防控方案，验证营养支持联合康复锻炼的干预效果，同时开展长期随访研究，分析模型对PD患者远期预后的预测价值，为全程管理提供循证依据。

4 结 语

本研究通过分析PD术后肌少症的独立危险因

素，构建并验证了基于BMI、PG-SGA评分、aCCI评分及术后2周BF%的列线图预测模型。该模型具有良好的区分度、校准度与临床实用性，有助于临床医师快速识别高危人群，为制定个体化防控策略提供依据。通过术前优化营养储备、控制合并症，术后早期监测营养状态与体脂率、及时开展营养支持与康复锻炼，有望降低PD术后肌少症发生率，改善患者术后康复进程与长期生存质量，具有较好的临床应用价值与推广前景。

利益冲突 所有作者均不存在利益冲突

作者贡献声明 张晓娇：研究方案设计、实施研究、分析数据、论文撰写；王飞通，赵会玲，丁玲：数据收集；张丹：实验技术指导；毛平、张丹：研究方案设计、论文修改

参 考 文 献

[1] 陈 慧，范桂芬，许冬妮，等. 术前衰弱对胰腺癌患者胰十二指肠切除术后预后的影响[J]. 中山大学学报(医学科学版)，2025，46(3)：512-518.

Chen H，Fan GF，Xu DN，et al. Effect of preoperative frailty on prognosis of pancreatic cancer patients after pancreaticoduodenectomy[J]. J Sun Yat Sen Univ Med Sci，2025，46(3)：512-518.

[2] 仲 万，董士洋，汪 涵，等. 肌少症对胰十二指肠切除术后并发症影响的临床分析[J]. 中国普外基础与临床杂志，2022，29(12)：1611-1617.

Zhong W，Dong SY，Wang H，et al. Clinical analysis of the impact of sarcopenia on complications after pancreaticoduodenectomy[J]. Chin J Bases Clin Gen Surg，2022，29(12)：1611-1617.

[3] Ciesielka J，Jakimów K，Majewska K，et al. The association between preoperative sarcopenia and sarcopenic obesity and the occurrence of postoperative complications in patients undergoing pancreaticoduodenectomy for periampullary malignancies：a literature review[J]. Nutrients，2024，16(20)：3569.

[4] 顾雅静. 胃癌术后患者肌少症发生风险预测模型构建与验证[D]. 湖州：湖州师范学院，2024.

Gu YJ. Construction and validation of a risk prediction model for sarcopenia in postoperative gastric cancer patients[D]. Huzhou：Huzhou University，2024.

[5] 林丽君，金 瑛，朱可嘉，等. 肌少症筛查量表在老年患者中的应用进展[J]. 护理学报，2023，30(20)：10-15.

Lin LJ，Jin Y，Zhu KJ，et al. Application progress of sarcopenia screening scale in elderly patients[J]. J Nurs China，2023，30(20)：10-15.

[6] 李 娅，王进波，熊吴燕，等. 头颈癌患者阻塞性睡眠呼吸障碍临床研究进展[J]. 护理学报，2025，32(16)：34-39.

Li Y，Wang JB，Xiong WY，et al. Clinical research progress of obstructive sleep apnea in patients with head and neck cancer[J]. J Nurs China，2025，32(16)：34-39.

[7] 杨其洲，李树坪，李海军，等. 结直肠癌手术患者营养预康复的范围综述[J]. 护理学杂志，2025，40(4)：120-125.

Yang QZ，Li SP，Li HJ，et al. Nutritional pre-rehabilitation for patients undergoing colorectal cancer surgery：a scoping review[J]. J Nurs Sci，2025，40(4)：120-125.

[8] 万梦姣，刘延锦，时慕华，等. 全髋关节置换患者术前肌少症发生现状及影响因素研究[J]. 中国护理管理，2025，25(2)：299-304.

Wan MJ，Liu YJ，Shi MH，et al. Current status and influencing factors of sarcopenia in patients with Total Hip Arthroplasty before operation[J]. Chin Nurs Manag，2025，25(2)：299-304.

[9] 王俊琳，郝明秀，唐吟菡，等. 慢性病共病、相位角与老年人肌少症相关的肌肉质量减少的关系研究[J]. 上海交通大学学报(医学版)，2024，44(2)：196-203.

Wang JL，Hao MX，Tang YH，et al. Study on the relationship between comorbidities of chronic diseases，phase angle，and muscle mass decline related to sarcopenia in the elderly[J]. J Shanghai Jiaotong Univ Med Sci，2024，44(2)：196-203.

[10] 喻秀玲，黄 兰，喻 宣. 基于术7前营养指标构建老年结直肠癌切除术后肌少症的预测模型[J]. 牡丹江医科大学学报，2025，46(6)：74-79.

Yu XL，Huang L，Yu X. Predictive model of sarcopenia after elderly colorectal cancer resection based on preoperative nutritional index[J]. J Mudanjiang Med Univ，2025，46(6)：74-79.

[11] 张延隆，王运良，张娟娟，等. 肿瘤患者肌肉减少症预测模型的构建[J]. 医学研究与教育，2025，42(1)：53-62.

Zhang YL，Wang YL，Zhang JJ，et al. Construction of a prediction model for sarcopenia in cancer patients[J]. Med Res Educ，2025，42(1)：53-62.

[12] 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.

Ma JD，Jiao XF，Cai TT，et al. Meta-analysis of influence of sarcopenia on clinical outcomes after pancreaticoduodenectomy[J]. Chin J Gen Surg，2022，31(9)：1135-1144.

[13] 杨 赛，刘云访，熊照玉，等. 老年消化道肿瘤合并衰弱患者术前营养管理方案的构建及初步应用[J]. 护理学杂志，2025，40(12)：113-118.

Yang S，Liu YF，Xiong ZY，et al. Construction and preliminary application of preoperative nutritional management program for elderly patients with digestive tumors complicated with frailty[J]. J Nurs Sci，2025，40(12)：113-118.

[14] 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.

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.

[15] 王 爽，时国东，尹 杰，等. 胰十二指肠切除术围手术期胰腺外分泌功能不全影响因素分析[J]. 中国实用外科杂志，2025，45(7)：819-825.

Wang S，Shi GD，Yin J，et al. Analysis of influencing factors of pancreatic exocrine insufficiency during the perioperative period of pancreaticoduodenectomy[J]. Chin J Pract Surg，2025，45(7)：819-825.

(收稿：2026-02-20；修回：2026-04-10；录用：2026-05-08)

(责任编辑：曾 玲)

本文引用格式：

张晓娇，张丹，王飞通，等. 胰十二指肠切除术后患者肌少症发生的风险预测模型构建与验证[J]. 重庆医科大学学报，XXXX，XX(XX)：1-9.