# CT多参数联合临床因素预测胰腺导管腺癌术后新发非酒精性脂肪性肝病

蒋鑫垚[1]，赵 楠[1]，赵 盈[1]，雷军强[2,3,4]

1 兰州大学 第一临床医学院，甘肃 兰州 730000；2 兰州大学第一医院 放射科，甘肃 兰州 730000；3 甘肃省放射影像医学临床医学研究中心，甘肃 兰州 730000；4 甘肃省智能影像医学工程研究中心，甘肃 兰州 730000

**摘要：目的** 评估计算机体层成像（CT）多参数联合临床因素对胰腺导管腺癌术后新发非酒精性脂肪性肝病（NAFLD）的预测价值。**方法** 回顾性纳入手术治疗的145例胰腺导管腺癌患者，根据术后6个月肝平扫CT值是否小于40 HU分为NAFLD组和非NAFLD组。比较组间术前两周内细胞外容积分数（ECV）、动脉增强分数、术后1个月内胰腺残余体积（RPV）等CT参数和临床特征，使用二元Logistic回归分析确定NAFLD的独立预测因素并构建模型，绘制受试者操作特征（ROC）曲线评估预测能力。**结果** 术后6个月，29例（20.00%）患者诊断为NAFLD。性别、ECV、RPV是NAFLD的独立预测因素（$P<0.05$），相比于非NAFLD组，NAFLD组的女性占比、ECV均更高，RPV更低（$P<0.001$）。ECV、RPV及临床-影像学联合模型预测NAFLD的曲线下面积（AUC）分别为0.863（95% *CI*:[0.778，0.948]）、0.842（95% *CI*:[0.767,0.917]）、0.937（95% *CI*:[0.877,0.997]），联合模型的AUC高于ECV（$P<0.001$），而与RPV的差异无统计学意义（$P=0.061$）。**结论** 基于CT参数ECV、RPV联合性别构建的临床-影像学联合模型可有效预测胰腺导管腺癌术后新发NAFLD。

**关键词：**非酒精性脂肪性肝病；计算机体层成像；细胞外容积分数；胰腺导管腺癌；胰腺残余体积

**中图分类号：**R735.9；R575.5 **文献标识码：**A DOI：10.13885/j.issn.2097-681X.M20250543

# Multiple CT parameters combined with clinical factors for predicting newly-onset non-alcoholic fatty liver disease after pancreatic ductal adenocarcinoma surgery

JIANG Xinyao[1], ZHAO Nan[1], ZHAO Ying[1], LEI Junqiang[2,3,4]

1 The First Clinical Medical School, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2 Department of Radiology, The First Hospital of Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3 Gansu Province Clinical Research Center for Radiology Imaging, Lanzhou 730000, China; 4 Intelligent Imaging Medical Engineering Research Center of Gansu Provincial, Lanzhou 730000, China

**Abstract：Objective** Aims to evaluate the predictive value of multi-parametric computed tomography (CT) parameters combined with clinical factors for non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) folowing pancreatic ductal adenocarcinoma surgery. **Methods** 145 pancreatic ductal adenocarcinoma patients were retrospectively enrolled and divided into a NAFLD group and a non-NAFLD group based on whether the unenhanced hepatic CT attenuation values were less than 40 HU six months after surgery. CT parameters such as extracellular volume fraction (ECV), arterial enhancement fraction in two weeks before surgery, remnant pancreatic vol-

**收稿日期：**2025-04-17 **修回日期：**2025-10-01 **接受日期：**2025-10-11

**基金项目：**甘肃省精准影像协同创新甘肃省合作基地

**作者简介：**雷军强，男，主任医师，教授，博士研究生导师，博士，研究方向为CT/MR功能成像及腹部影像诊断，e-mail：leijq1990@163.com，通信作者

ume(RPV) in one month after surgery and clinical characteristics were compared between the two groups, and the independent factors for predicting NAFLD were identified using a binary Logistic regression analysis to establish a model. The predictive performance of NAFLD were evaluated using receiver operating characteristics. **Results** Six months after pancreatic ductal adenocarcinoma surgery, 29 (20.00%) patients were diagnosed with NAFLD. Sex, ECV and RPV were identified as independent predictors of NAFLD (all $P<0.05$). Compared with the non-NAFLD group, patients in the NAFLD group had a higher proportion of females, higher ECV and lower RPV (all $P<0.001$). The area under the curve (AUC) of ECV, RPV, and the combined clinical-radiological model for predicting NAFLD were 0.863 (95% *CI*: [0.778, 0.948]), 0.842 (95% *CI*: [0.767, 0.917]), 0.937 (95% *CI*: [0.877, 0.997]), respectively. The combined model had a higher AUC than ECV ($P<0.001$), but not significantly different from that of RPV ($P=0.061$). **Conclusion** The clinical-radiological model incorporating sex and CT-derived parameters (ECV and RPV) was effective for predicting newly-onset NAFLD after pancreatic ductal adenocarcinoma surgery.

**Keywords:** non-alcoholic fatty liver disease; computed tomography; extracellular volume fraction; pancreatic ductal adenocarcinoma; residual pancreatic volume

胰腺部分切除术（胰十二指肠切除术和胰体尾联合脾脏切除术）是治疗胰腺导管腺癌的常规外科手术[1]，术后部分患者会新发非酒精性脂肪性肝病（non-alcoholic fatty liver disease, NAFLD）[2~5]。NAFLD可以诱发非酒精性脂肪性肝炎[6]，且与冠状动脉斑块及血管周围脂肪组织相关[7]，还可导致肝功能、左心室结构及舒张功能不同程度的损伤[8]，影响患者的长期预后[9]。因此，胰腺部分切除术后NAFLD的预防和治疗具有重要的临床意义，术后早期对高危NAFLD患者进行大剂量消化酶补充能显著降低术后NAFLD的发生率[2]。此前的报道[3, 5, 10]较少研究计算机体层成像（computed tomography, CT）参数对NAFLD的预测价值，本研究的目的是评估CT多参数联合临床因素对胰腺导管腺癌术后新发NAFLD的预测价值。

## 1　资料与方法

### 1.1　一般资料

回顾性分析了2017年1月—2023年10月在兰州大学第一医院接受胰腺部分切除术的胰腺导管腺癌患者的电子病历和CT扫描图像。纳入标准：（1）接受胰腺部分切除术；（2）随访≥6个月；（3）胰腺导管腺癌经病理证实；（4）无过量饮酒史（饮酒≥30 g/d）。排除标准：（1）术前已有脂肪肝（肝实质平扫CT值<40 HU或肝平扫CT值/脾平扫CT值<1.0[11~12]）、病毒性肝炎或其他肝恶性肿瘤；（2）CT图像质量差或资料不全；（3）术前接受新辅助化疗或放疗等。最终145例患者纳入研究。

### 1.2　仪器与方法

采用Siemens Somatom go.Top 64排螺旋CT机行全腹或上腹部螺旋CT扫描。扫描参数：管电压120 kV，螺距0.984~1.375，层厚1 mm，层间距1 mm，视野500 mm×500 mm，矩阵512像素×512像素。平扫结束后，采用高压注射器经肘正中静脉注射碘化醇（按照体重，1.5 mL/kg），分别延迟25~28 s、60~70 s、3 min行动脉期、静脉期、延迟期扫描。

### 1.3　图像分析

一名放射科医师（6年放射科工作经验）回顾性评估患者的术前两周内及术后6个月的CT图像，在平扫CT图像上，在肝右前、右后、左叶分别设置面积为1~2 $cm^2$的3个圆形感兴趣区域（region of interest, ROI），两次测量均在肝同一位置。肝平扫的CT值定义为3个ROI CT值的平均值。术后6个月肝平扫的CT值<40 HU则定义为新发NAFLD[11]。一名放射科医师在术前两周内平扫的CT图像中的胰腺实质区域内设置面积为1~2 $cm^2$的2个圆形ROI，通过回顾动脉期CT图像使ROI避开胰腺肿瘤、血管及扩张的胰管，然后在胰腺的动脉期、静脉期和延迟期的CT图像上绘制大小和位置相同的ROI，胰腺的各期CT值被定义为两个ROI CT值的平均值；分别在同一层面的平扫和延迟期主动脉腔中各绘制两次ROI，取两次测量的平均值为主动脉平扫和延迟期的CT值。细胞外容积分数（extracellular volume frac-

tion, ECV）及动脉增强分数（arterial enhancement fraction, AEF）参照文献[13]的计算公式。然后随机抽取30例患者，由另1名具有11年腹部影像诊断经验的医师再次测量并计算ECV、RPV、AEF等CT参数。一例74岁男性患者的胰腺导管腺癌行胰十二指肠切除术前胰腺动脉期CT图像见图1。

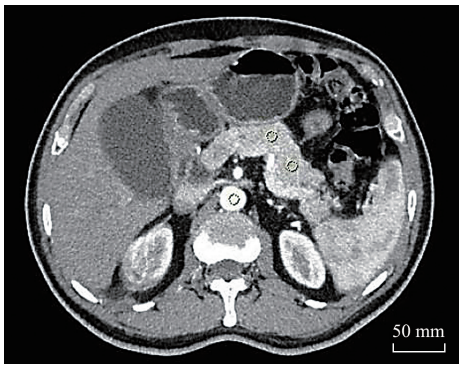



图1 胰腺导管腺癌行胰十二指肠切除术前胰腺动脉期计算机体层成像图像示例

使用CT容积测量法在术后1个月内的动脉期CT图像上测量胰腺残余体积（residual pancreatic volume, RPV）。测量的方法如下：手动在1 mm层厚的横断面动脉期CT图像上逐层勾画残余胰腺实质，并计算每个ROI的面积，避开主要血管，所有横断面的残余胰腺面积相加即为RPV。一例69岁男性患者的胰腺导管腺癌行胰十二指肠切除术后1个月胰腺动脉期CT图像见图2。

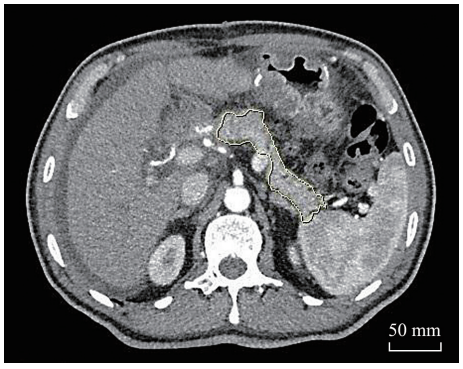



图2 胰腺导管腺癌行胰十二指肠切除术 后1个月胰腺动脉期计算机体层成像图像示例

### 1.4 胰腺外分泌功能评估

胰腺外分泌功能不全（pancreatic exocrine insufficiency, PEI）与NAFLD密切相关[14]。粪便脂肪定量检测被认为是检测PEI的金标准，但其繁琐的过程限制了其临床适用性。Lindkvist等[15]报道了白蛋白质量浓度、血红蛋白质量浓度和胆固醇浓度等指标对预测PEI的重要价值。因此，为评估胰腺外分泌功能，本研究于术前、术后1天及术后6个月收集了患者白蛋白质量浓度、血红蛋白质量浓度、胆固醇浓度及淀粉酶活性等指标，所选指标与既往研究[16]一致。

### 1.5 统计学方法

数据分析使用SPSS 27.0和Medcalc 22.001完成。使用组内相关系数评估ECV、RPV、AEF等CT参数测量的一致性。分类变量用频数和百分比（%）表示，组间比较采用$\chi^2$检验；符合正态分布的连续变量用平均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，组间比较采用独立样本$t$检验，不符合则表示为$M$（$P_{25}$, $P_{75}$），组间比较采用Mann-Whitney $U$检验。采用方差膨胀因子（variance inflation factor, VIF）进行多重共线性分析，VIF<5表示变量之间不存在严重共线性问题，将组间差异有统计学意义且共线性可接受（VIF<5）的变量纳入二元Logistic回归分析，采用Forward：Wald法筛选NAFLD的独立预测因素用以构建模型。使用受试者操作特征（receiver operator characteristic, ROC）曲线下面积（area under the curve, AUC）评估预测能力，并以Delong检验进行比较。$P$<0.05表示差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 患者临床特征、CT参数比较及CT参数测量一致性评估

术后6个月，共有29例（20.00%）患者新发NAFLD。NAFLD组女性、胰十二指肠切除术占比、主胰管扩张占比、ECV、术前淀粉酶活性均高于非NAFLD组（$P$<0.05），术前RPV、术前AEF、术前血红蛋白质量浓度均低于非NAFLD组（$P$<0.05）。术后6个月，NAFLD组的血红蛋白质量浓度、胆固醇浓度、总蛋白质量浓度、白蛋白质量浓度、淀粉酶活性均低于非NAFLD组（$P$<0.05），见表1。观察者间测量ECV、RPV、AEF的组内相关系数分别为0.851、0.837、0.901，一致性较好。

**表1　患者临床特征及CT参数**

| 组别 | $n_{男}/n_{女}$ | 年龄[a]/岁 | 体重指数[b]/(kg·m$^{-2}$) | 高血压病史[c] [$n$(%)] | 糖尿病病史[c] [$n$(%)] | 胰腺炎病史[c] [$n$(%)] | AJCC T分期[c]($n$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | T1~T2 | T3~T4 |
| NAFLD组($n$=29) | 7/22 | 58.41±9.40 | 22.70 (22.05, 24.30) | 9(31.03) | 8(27.59) | 0(0) | 20 | 9 |
| 非NAFLD组($n$=116) | 79/37 | 59.67±8.56 | 22.55 (21.00, 23.80) | 29(25.00) | 34(29.31 | 9(7.76) | 95 | 21 |
| 统计值($t/U/\chi^2$) | 16.805 | 0.694 | 1 465.500 | 0.437 | 0.034 | 2.399 | 2.364 | |
| $P$值 | <0.001 | 0.489 | 0.284 | 0.509 | 0.855 | 0.121 | 0.124 | |

| 组别 | 病理分级[c]($n$) | | 手术术式[c]($n$) | | 术前 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 低、中分化 | 高分化 | 胰十二指肠切除术 | 胰体尾联合脾脏切除术 | 甘油三酯浓度[b]/(mmol·L$^{-1}$) | 胆固醇浓度[b]/(mmol·L$^{-1}$) | 白蛋白质量浓度[b]/(g·L$^{-1}$) | 总蛋白质量浓度[a]/(g·L$^{-1}$) |
| NAFLD组($n$=29) | 18 | 11 | 27 | 2 | 1.51 (1.07,2.33) | 4.07 (3.67,4.76) | 41.90 (39.35,46.10) | 69.58±5.91 |
| 非NAFLD组($n$=116) | 72 | 44 | 79 | 37 | 1.49 (1.14,2.29) | 4.44 (3.80,5.38) | 42.70 (40.03,46.60) | 68.67±7.86 |
| 统计值($t/U/\chi^2$) | 0 | | 7.375 | | 1 606.500 | 1 442.000 | 1 412.500 | −0.578 |
| $P$值 | 1.000 | | 0.007 | | 0.709 | 0.235 | 0.183 | 0.564 |

| 组别 | 术前 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 淀粉酶活性[b]/(U·L$^{-1}$) | 血红蛋白质量浓度[a]/(g·L$^{-1}$) | CA199升高[c] [$n$(%)] | CEA升高[c] [$n$(%)] | 肝平扫CT值[b]/HU | 主胰管扩张[c] [$n$(%)] | 肿瘤直径[b]/mm |
| NAFLD组($n$=29) | 45.00 (38.00,78.00) | 127.51±19.42 | 22 (75.86) | 5 (17.24) | 53.80 (50.63,61.65) | 19 (65.52) | 23.80 (17.20, 29.77) |
| 非NAFLD组($n$=116) | 65.50 (48.00,97.75) | 140.70±19.94 | 96 (82.76) | 41 (35.34) | 53.77 (50.52,57.11) | 46 (41.38) | 23.70 (19.39, 30.15) |
| 统计值($t/U/\chi^2$) | 1 218.000 | 3.200 | 0.728 | 3.51 | 1 512.000 | 5.438 | 1 584.000 |
| $P$值 | 0.022 | 0.002 | 0.393 | 0.061 | 0.572 | 0.020 | 0.628 |

| 组别 | 术前 | | | 术后1天 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 细胞外容积分数[b]/% | 胰腺残余体积[b]/mm$^3$ | 动脉增强分数[b]/% | 甘油三酯浓度[b]/(mmol·L$^{-1}$) | 胆固醇浓度[b]/(mmol·L$^{-1}$) | 白蛋白质量浓度[a]/(g·L$^{-1}$) |
| NAFLD组($n$=29) | 57.60 (49.14,61.24) | 9.81 (5.81,17.55) | 95.56 (66.44,118.39) | 1.70 (0.81,2.00) | 3.14 (2.62,3.78) | 32.50±3.82 |
| 非NAFLD组($n$=116) | 39.22 (30.87,47.38) | 23.02 (14.65,35.95) | 120.91 (81.09,156.67) | 1.34 (0.73,1.93) | 3.03 (2.45,3.36) | 32.22±4.00 |
| 统计值($t/U/\chi^2$) | 461 | 532 | 1 204.000 | 1 497.000 | 1 476.500 | −0.342 |
| $P$值 | <0.001 | <0.001 | 0.018 | 0.36 | 0.31 | 0.733 |

| 组别 | 术后1天 | | | 术后6个月 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 总蛋白质量浓度[a]/(g·L$^{-1}$) | 淀粉酶活性[b]/(U·L$^{-1}$) | 血红蛋白质量浓度[a]/(g·L$^{-1}$) | 甘油三酯浓度[b]/(mmol·L$^{-1}$) | 胆固醇浓度[a]/(mmol·L$^{-1}$) | 白蛋白质量浓度[b]/(g·L$^{-1}$) |
| NAFLD组($n$=29) | 52.58±7.19 | 189.00 (21.50,1 070.50) | 105.83±14.14 | 0.80(0.67,1.11) | 2.60±0.87 | 35.70 (29.10,38.40) |
| 非NAFLD组($n$=116) | 51.22±6.74 | 233.00 (61.25,876.50) | 112.41±17.72 | 1.09(0.82,1.44) | 3.90±1.21 | 40.45 (36.95,44.00) |
| 统计值($t/U/\chi^2$) | −0.961 | 1 617.500 | 1.855 | 1 225.500 | 5.412 | 725 |
| $P$值 | 0.338 | 0.750 | 0.066 | 0.024 | <0.001 | <0.001 |

| 组别 | 术后6个月 | | |
|---|---|---|---|
| | 总蛋白质量浓度[a]/(g·L$^{-1}$) | 淀粉酶酶性[b]/(U·L$^{-1}$) | 血红蛋白质量浓度[b]/(g·L$^{-1}$) |
| NAFLD组($n$=29) | 61.01±10.27 | 31.00(21.00,39.50) | 102.00(93.00, 120.00) |
| 非NAFLD组($n$=116) | 66.64±6.89 | 45.00(32.00,66.00) | 124.00(111.00, 136.00) |
| 统计值($t/U/\chi^2$) | 3.534 | 843.500 | 751 |
| $P$值 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |

a　独立样本$t$检验；b　Mann-Whitney $U$检验；c　$\chi^2$检验。NAFLD　非酒精性脂肪性肝病；AJCC　美国癌症联合委员会；CA199　糖类抗原199；CEA　癌胚抗原；CT　计算机体层成像。

### 2.2 NAFLD的影响因素分析

在NAFLD组和非NAFLD组间，性别、手术术式、术前淀粉酶活性、术前血红蛋白质量浓度、主胰管扩张、ECV、RPV、AEF组间差异具有统计学意义（$P<0.05$），多重共线性分析结果显示，各变量间不存在严重共线性（VIF<5）。以术后6个月内是否新发NAFLD为因变量（未新发NAFLD=0，新发NAFLD=1），将性别（男=0，女=1）、手术术式（胰十二指肠切除=0，远端胰腺联合脾切除=1）、主胰管扩张（未扩张=0，扩张=1）等组间差异有统计学意义的分类变量赋值后和ECV、RPV等组间差异有统计学意义的连续变量纳入Logistic回归分析。Logistic回归分析结果显示，性别、ECV和RPV是NAFLD的独立预测因素（表2）。

### 2.3 NAFLD的预测效能分析

ECV、RPV及基于性别联合ECV、RPV构建的临床-影像学联合模型的预测效能见表3，相应ROC曲线如图3所示。Delong检验结果显示，临床-影像学联合模型的AUC高于ECV（$P<0.001$）而与RPV差异无统计学意义（$P=0.061$）。

**表2 非酒精性脂肪性肝病的影响因素分析**

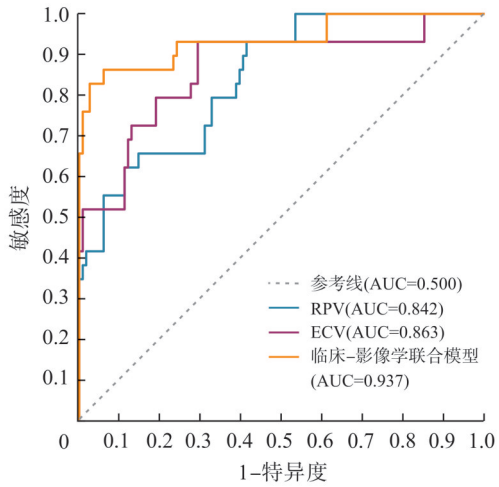
| 影响因素 | *B*值 | 标准误 | Wald $\chi^2$ | *OR*值 | 95% *CI* | *P*值 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 性别 | 2.304 | 0.726 | 10.075 | 10.016 | [2.414,41.554] | 0.002 |
| ECV | 0.172 | 0.047 | 13.573 | 1.188 | [1.084,1.301] | <0.001 |
| RPV | −0.143 | 0.052 | 7.625 | 0.867 | [0.784,0.959] | 0.006 |

ECV 细胞外容积分数；RPV 胰腺残余体积。

**表3 ECV、RPV及临床-影像学联合模型预测效能对比**

| 模型 | AUC | 95% *CI* | *P*值 | 准确度/% | 灵敏度/% | 特异度/% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ECV | 0.863 | (0.778,0.948) | <0.001 | 87.59 | 93.10 | 70.69 |
| RPV | 0.842 | (0.767,0.917) | <0.001 | 83.45 | 93.10 | 58.62 |
| 临床-影像学联合模型 | 0.937 | (0.877,0.997) | <0.001 | 94.48 | 86.21 | 93.97 |

ECV 细胞外容积分数；RPV 胰腺残余体积；AUC 曲线下面积。




ECV 细胞外容积分数；RPV 胰腺残余体积；AUC 曲线下面积。

图3 ECV、RPV及临床-影像学联合模型预测非酒精性脂肪性肝病的受试者操作特征曲线

## 3 讨论

部分接受胰腺部分切除术的胰腺导管腺癌患者在术后会发生NAFLD[2-5]，影响患者的长期预后[9]。本研究基于CT多参数及临床因素构建了联合预测模型，联合模型的AUC为0.937，灵敏度及特异度分别为86.21%和93.97%，对NAFLD具有良好的预测效能，有助于临床识别NAFLD高危患者并在术后早期对进行消化酶补充以降低NAFLD的发生率，改善预后。

本研究中，胰腺导管腺癌术后NAFLD的发病率为20.0%，与既往一些研究[4, 10]中胰腺导管腺癌术后NAFLD的发病率相近。ECV是细胞外间隙（血管外-细胞外间隙和血管内血浆容积总和）相对于整体组织的容积比例，本研究中ECV是NAFLD的独立预测因素，NAFLD组的ECV高于非NAFLD组，其中的机制可能为胰腺纤维化导致正常胰腺组织结构丧失，并被细胞外基质中丰富的纤维组织所取代，胰腺间质纤维化和基质的沉积导致造影剂在细胞外液内滞留，从而导致ECV

升高，既往研究[17]也证实了ECV与胰腺纤维化程度密切相关。胰腺纤维化会损害胰腺的外分泌功能[18]，术前ECV较高的患者提示更严重的胰腺纤维化程度，意味着胰腺外分泌功能储备减少。患者在接受手术之前可能不会有明显的临床表现，但手术会明显减少腺泡细胞的绝对数量，导致术后发生PEI的风险增高，进而增加术后新发NAFLD的风险[14]。其中一个可能的机制是PEI导致胰酶及碳酸氢盐分泌不足，特别是胰脂肪酶分泌不足，会导致脂肪消化吸收不良并出现脂肪泻，促进肝中碳水化合物向甘油三酯的转化[19]，最终导致NAFLD。另一个可能的机制是胰腺外分泌功能受损引发的难治性腹泻，可能引起肠黏膜萎缩进而诱发细菌移位，导致内毒素经门静脉进入肝，激活库普弗细胞并诱导肝脂肪沉积[20-21]，最终导致NAFLD。本研究中NAFLD组术后6个月的血红蛋白质量浓度、胆固醇浓度、总蛋白质量浓度、白蛋白质量浓度、淀粉酶活性均低于非NAFLD组（$P<0.05$），提示更有可能存在PEI[15-16]。既往的研究[10,16]表明，RPV也与NAFLD的发生存在相关性，较小的RPV被认为会导致术后更差的胰腺外分泌功能[16]，本研究中NAFLD组RPV低于非NAFLD组（$P<0.001$），与既往研究[10,16]结果一致。

本研究中性别是独立预测因素，NAFLD组女性占比明显更高，虽然之前的研究[22]也显示女性与NAFLD之间存在显著的相关性，但其原因仍不清楚。一个可能的原因可能是女性的胰腺体积小于男性，这意味着胰腺外分泌功能储备更低，导致术后发生PEI的可能性更高，进而促进NAFLD的发生[19-21]。另一个可能的原因是绝经后女性雌激素的缺乏可能会诱发胰岛素抵抗[23]，胰岛素作用于脂肪组织，可以调节脂肪分解，当出现胰岛素抵抗后，脂肪组织中胰岛素受体信号传导受损，脂肪分解失调导致脂肪酸过量输送到肝，进而促进NAFLD的发生[24]。

既往的研究[3,9]通常仅纳入胰十二指肠切除术的患者，本研究还纳入了胰体尾联合脾切除术的患者以评估手术术式是否和NAFLD发生相关，其组间差异存在统计学意义（$P=0.007$），但在Logistic回归分析结果中手术术式不是独立预测因素（$P=0.958$），与Patel等[4]的研究结果一致，这可能是因为本研究样本量偏小。既往有研究通过估计的功能性残余胰腺体积[10]预测NAFLD的发生，具有良好的预测效能，但该预测因素本身较难获取，本研究中的ECV及RPV通过增强CT即可计算获取，具有更好的临床适用性。

本研究存在以下局限性：（1）本研究为单中心、回顾性研究，难以避免选择性偏倚，未来可进行多中心、大样本、前瞻性研究进一步验证研究结果；（2）本研究通过术后6个月肝平扫CT值<40 HU诊断NAFLD[11]，诊断方法单一，可能存在误诊或漏诊。

综上，基于CT参数ECV、RPV联合性别的临床-影像学联合模型有助于预测胰腺导管腺癌术后新发NAFLD，有助于临床在术后早期对NAFLD高危患者进行消化酶补充以降低NAFLD的发生率，改善患者预后。

**伦理声明**　本研究通过兰州大学第一医院伦理委员会审批（批件文号：LDYYLL-2025-152）。

**利益冲突声明**　本研究不存在研究者、伦理委员会成员、受试者监护人以及与公开研究成果有关的利益冲突。

**作者贡献声明**　蒋鑫垚：设计并实施研究，论文撰写，论文修订，获取、分析和解释数据；赵　楠：文献检索与资料整理；赵　盈：参与论文撰写；雷军强：指导研究思路和理论框架，论文审核。

## 参考文献

[1] 中国临床肿瘤学会指南工作委员会. 中国临床肿瘤学会(CSCO)胰腺癌诊疗指南[M]. 北京：人民卫生出版社：52.

[2] YASUKAWA K, SHIMIZU A, YOKOYAMA T, et al. Preventive effect of high-dose digestive enzyme management on development of nonalcoholic fatty liver disease after pancreaticoduodenectomy: a randomized controlled clinical trial[J]. Journal of the American college of surgeons, 2020, 231(6): 658-669.

[3] YAMAMURA K, YAMASHITA Y I, YAMAO T, et al. Clinical impact of atrophic changes in remnant pancreas on the development of nonalcoholic fatty liver disease after pancreaticoduodenectomy[J]. Annals of gastroenterological surgery, 2022, 6(4): 555-561.

[4] PATEL V, SHAH P, LUDWIG D R, et al. Development of de novo nonalcoholic fatty liver disease following pancreatectomy[J]. Medicine, 2023, 102(4): e32782.

[5] IZUMI H, YOSHII H, FUJINO R, et al. Factors contributing to nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) and fat deposition after pancreaticoduodenectomy: a retrospective analysis[J]. Annals of gastroenterological surgery, 2023, 7(5): 793-799.

[6] POWELL E E, WONG V W, RINELLA M. Non-alcoholic fatty liver disease[J]. The lancet, 2021, 397(10290): 2212-2224.

[7] 田莹,王超,王洲,等. 冠状动脉斑块及血管周围脂肪组织参数与非酒精性脂肪肝的相关性研究[J]. 实用放射学杂志, 2024, 40(5): 725-728, 740.

[8] 马运婷,郑月,赵新湘. 非酒精性脂肪肝病MR mDixon脂肪分数与肝功能及左心室结构功能相关性研究[J]. 放射学实践, 2022, 37(3): 344-349.

[9] SIMON T G, ROELSTRAETE B, HAGSTRÖM H, et al. Progression of non-alcoholic fatty liver disease and long-term outcomes: a nationwide paired liver biopsy cohort study[J]. Journal of hepatology, 2023, 79(6): 1366-1373.

[10] MAEHIRA H, IIDA H, MAEKAWA T, et al. Estimated functional remnant pancreatic volume predicts nonalcoholic fatty liver disease after pancreaticoduodenectomy: use of computed tomography attenuation value of the pancreas[J]. HPB, 2021, 23(5): 802-811.

[11] HAMER O W, AGUIRRE D A, CASOLA G, et al. Fatty liver: imaging patterns and pitfalls[J]. RadioGraphics, 2006, 26(6): 1637-1653.

[12] RICCI C, LONGO R, GIOULIS E, et al. Noninvasive *in vivo* quantitative assessment of fat content in human liver[J]. Journal of hepatology, 1997, 27(1): 108-113.

[13] ZHOU Y, XU Y K, GENG D, et al. Added value of arterial enhancement fraction derived from dual-energy computed tomography for preoperative diagnosis of cervical lymph node metastasis in papillary thyroid cancer: initial results[J]. European radiology, 2024, 34(2): 1292-1301.

[14] NAKAGAWA N, MURAKAMI Y, UEMURA K, et al. Nonalcoholic fatty liver disease after pancreatoduodenectomy is closely associated with postoperative pancreatic exocrine insufficiency[J]. Journal of surgical oncology, 2014, 110(6): 720-726.

[15] LINDKVIST B, DOMÍNGUEZ-MUÑOZ J E, LUACES-REGUEIRA M, et al. Serum nutritional markers for prediction of pancreatic exocrine insufficiency in chronic pancreatitis[J]. Pancreatology, 2012, 12(4): 305-310.

[16] MIYAMOTO R, INAGAKI Y, IKEDA N, et al. Three-dimensional remnant pancreatic volume ratio indicates postoperative pancreatic exocrine insufficiency in pancreatic cancer patients after distal pancreatectomy[J]. Pancreatology, 2020, 20(5): 867-874.

[17] WANG F Q, XU X H, XU J W, et al. Exploring the value of multiparametric quantitative MRI in the assessment of pancreatic ductal adenocarcinoma fibrosis grading[J]. European radiology, 2025, 35(6): 3625-3637.

[18] HUANG C T, LEE T H, LIN C-K, et al. Pancreatic fibrosis (early chronic pancreatitis) as emerging diagnosis in structural causes of dyspepsia: evidence from endoscopic ultrasonography and shear wave elastography[J]. Diagnostics, 2021, 11(7): 1252.

[19] KATO H, ISAJI S, AZUMI Y, et al. Development of nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) and nonalcoholic steatohepatitis (NASH) after pancreaticoduodenectomy: proposal of a postoperative NAFLD scoring system[J]. Journal of hepato-biliary-pancreatic sciences, 2010, 17(3): 296-304.

[20] SATO R, KISHIWADA M, KURIYAMA N, et al. Paradoxical impact of the remnant pancreatic volume and infectious complications on the development of nonalcoholic fatty liver disease after pancreaticoduodenectomy[J]. Journal of hepato-biliary-pancreatic sciences, 2014, 21(8): 562-572.

[21] MURATA Y, MIZUNO S, KATO H, et al. Nonalcoholic steatohepatitis (NASH) after pancreaticoduodenectomy: association of pancreatic exocrine deficiency and infection[J]. Clinical journal of gastroenterology, 2011, 4(4): 242-248.

[22] MCGHEE-JEZ A E, CHERVONEVA I, YI M, et al. Nonalcoholic fatty liver disease after pancreaticoduodenectomy for a cancer diagnosis[J]. Journal of pancreatic cancer, 2021, 7(1): 23-30.

[23] DE PAOLI M, ZAKHARIA A, WERSTUCK G H. The role of estrogen in insulin resistance[J]. The American journal of pathology, 2021, 191(9): 1490-1498.

[24] PALMA R, PRONIO A, ROMEO M, et al. The role of insulin resistance in fueling NAFLD pathogenesis: from molecular mechanisms to clinical implications[J]. Journal of clinical medicine, 2022, 11(13): 3649.

(责任编辑:李晓炜)