

## Dual-sequence MRI radiomics combined with clinic for predicting post-acute pancreatitis diabetes mellitus in acute pancreatitis patients complicated with metabolic syndrome

LI Yanting, HUANG Xiaohua\*, WAN Xiyao, WANG Yuan, LUO Jingxian, ZHU Zhijun, ZHOU Mengni  
(Department of Radiology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, China)

**[Abstract]** **Objective** To observe the value of dual-sequence MRI radiomics combined with clinic for predicting post-acute pancreatitis diabetes mellitus (PPDM-A) in acute pancreatitis (AP) patients complicated with metabolic syndrome (MS). **Methods** Totally 121 AP patients complicated with MS were retrospectively enrolled and divided into PPDM-A group ( $n=50$ ) and non PPDM-A group ( $n=71$ ) according to developed into PPDM-A or not, also randomly divided into training set ( $n=84$ ) and test set ( $n=37$ ) at a ratio of 7 : 3. Clinical data were compared between groups, and a clinical model was constructed based on parameters being significantly different between groups. The radiomics features of pancreas in T2WI and late arterial contrast-enhanced-T1WI (CE-T1WI) were extracted, and a radiomics model was constructed. The combined model was constructed based on the above two. The efficacy of each model for predicting PPDM-A was analyzed. **Results** Significant differences of blood glucose, the proportion of hyperlipidemia, fatty liver, hypertension and AP recurrence were found between groups (all  $P<0.05$ ). Finally, 2 and 6 optimal radiomics features were selected from T2WI and CE-T1WI, respectively. The area under the curve (AUC) of clinical model, radiomics model and combined model for predicting PPDM-A in training set was 0.792, 0.859 and 0.927, which was 0.793, 0.842 and 0.927 in test set, respectively, and AUC of combined model was the highest in both sets (both  $P<0.05$ ). **Conclusion** Dual-sequence MRI radiomics combined with clinic could be used to predict PPDM-A in AP patients complicated with MS.

**[Keywords]** pancreatitis; metabolic syndrome; diabetes mellitus; magnetic resonance imaging; radiomics

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2026.03.008

## 双序列 MRI 影像组学联合临床预测急性胰腺炎合并代谢综合征患者发生急性胰腺炎后糖尿病

李妍婷, 黄小华\*, 万夕瑶, 王 渊, 罗靖贤, 朱之珺, 周梦妮

(川北医学院附属医院放射科, 四川 南充 637000)

**[摘要]** **目的** 观察双序列 MRI 影像组学联合临床预测急性胰腺炎(AP)合并代谢综合征(MS)患者发生急性胰腺炎后糖尿病(PPDM-A)的价值。**方法** 回顾性纳入 121 例 AP 合并 MS 患者, 根据是否发展为 PPDM-A 分为 PPDM-A 组( $n=50$ )与非 PPDM-A 组( $n=71$ ), 并按 7 : 3 比例随机划分训练集( $n=84$ )与测试集( $n=37$ )。比较组间临床资料, 基于差异有统计学意义的参数构建临床模型; 提取 T2WI 及动脉期晚期对比增强 T1WI(CE-T1WI)胰腺影像组学特征、构建影像组学模型; 以二者构建联合模型。评估各模型预测 PPDM-A 的效能。**结果** 组间血糖及高脂血症、脂肪肝、高血压和 AP 复发占比差异均有统计学意义( $P$ 均 $<0.05$ )。基于 T2WI 及 CE-T1WI 各筛选出 2 及 6 个最优影像组学特征。临床模型、影像组学模型及联合模型预测训练集 PPDM-A 的曲线下面积(AUC)分别为 0.792、0.859 及 0.927, 在测试集分别为 0.793、

[基金项目] 南充市科学技术局市校科技战略合作专项(20SXQT0303)、川北医学院临床医学院·附属医院 2024 年度科研发展计划(2024LC001)。

[第一作者] 李妍婷(2001—), 女, 四川成都人, 在读硕士。研究方向: 腹部影像学。E-mail: 18048897633@163.com

[通信作者] 黄小华, 川北医学院附属医院放射科, 637000。E-mail: 15082797553@163.com

[收稿日期] 2025-06-09 [修回日期] 2025-12-02

0.842 及 0.927,均以联合模型 AUC 最高( $P$ 均 $<0.05$ )。结论 双序列 MRI 影像组学联合临床可用于预测 AP 合并 MS 患者发生 PPDM-A。

[关键词] 胰腺炎;代谢综合征;糖尿病;磁共振成像;影像组学

[中图分类号] R587.1;R445.2 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2026)03-0356-05

急性胰腺炎后糖尿病(post-acute pancreatitis diabetes mellitus, PPDM-A)指既往无糖尿病史者于急性胰腺炎(acute pancreatitis, AP)发病 3 个月后血糖增高并达糖尿病诊断标准的远期并发症<sup>[1]</sup>。代谢综合征(metabolic syndrome, MS)可加剧胰腺损伤、胰岛素抵抗及代谢紊乱,显著增加 PPDM-A 及心血管疾病风险<sup>[2-3]</sup>;MS 患者 PPDM-A 发生率高达 42%<sup>[4]</sup>。影像组学可将影像信息转化为多维定量特征,对于评估 AP 及预测预后具有重要价值<sup>[5]</sup>;目前相关研究多聚焦 MS 状态下 PPDM-A 发病机制。本研究基于双序列 MRI 影像组学与临床参数构建联合模型,观察其预测 AP 合并 MS 患者发生 PPDM-A 的价值。

## 1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性分析 2016 年 3 月—2021 年 2 月川北医学院附属医院 121 例 AP 合并 MS 患者,男 67 例、女 54 例,年龄 18~78 岁、平均( $44.9 \pm 11.8$ )岁;根据是否发展为 PPDM-A 将其分为 PPDM-A 组( $n=50$ )与非 PPDM-A 组( $n=71$ ),并按 7:3 比例随机划分训练集( $n=84$ )与测试集( $n=37$ )。纳入标准:①于入院 7 日内接受上腹部 MR 扫描;②符合 2012 年亚特兰大分类诊断 AP 标准,且后续确诊糖尿病。排除标准:①胰腺肿瘤;②既往糖尿病史或胰腺手术史;③资料不全。本研究经医院伦理委员会批准(2024ER94-1),检查前患者均知情同意。

诊断 MS 标准(至少满足以下 3 项):①肥胖,本研究为回顾性研究,未能定期测量患者腰围,故以体质量指数(body mass index, BMI) $>28 \text{ kg/m}^2$ 为肥胖<sup>[6]</sup>;②高血糖;③高血压;④甘油三酯 $\geq 1.7 \text{ mmol/L}$ ;⑤高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)降低,男性 $<1.03 \text{ mmol/L}$ 、女性 $<1.29 \text{ mmol/L}$ <sup>[7]</sup>。

诊断糖尿病标准(至少满足以下 1 项):①空腹血糖 $\geq 7.0 \text{ mmol/L}$ ;②随机血糖 $\geq 11.1 \text{ mmol/L}$ ;③糖耐量试验后 2 h 血糖 $\geq 11.1 \text{ mmol/L}$ ;④糖化血红蛋白 $\geq 6.5\%$ 。对存在高血

糖症状者基于 1 次检查即可确诊;对无明确高血糖症状者需经 2 次检查确诊。

1.2 仪器与方法 采用 GE Discovery 750 3.0T MR 仪、32 通道线圈采集上腹部轴位快速自旋回波 T2WI;参数:FOV 34 cm $\times$ 34 cm,TR 6 000 ms,TE 120 ms,矩阵 320 $\times$ 256,层厚 6 mm,层间距 1 mm。之后经静脉注射对比剂钆贝葡胺(500 mmol/L)0.1 mmol/kg 体质量,分别于 16、30 及 60 s 后以轴位扰相梯度回波水脂分离 T1W 序列采集动脉期早期、晚期及门静脉期图像;参数:FOV 36 cm $\times$ 36 cm,TR 3.8 ms,TE 1.7 ms,矩阵 224 $\times$ 192,层厚 5.2 mm,层间距 0。

1.3 提取及筛选特征 由 2 名影像科医师采用 3D Slicer 软件(V5.0.3)分别于平扫 T2WI 和动脉晚期对比增强 T1WI(contrast-enhanced-T1WI, CE-T1WI)中沿胰腺轮廓逐层勾画 ROI(图 1);2 周后由其中 1 名医师随机选取 41 例进行再次勾画。行标准化预处理,包括重采样(1 mm $\times$ 1 mm $\times$ 1 mm)及灰度归一化后,采用 PyRadiomics 软件包于每个序列图像中各提取 1 223 个、共获得 2 446 个影像组学特征,包括形状特征、一阶特征、灰度共生矩阵(gray level co-occurrence matrix, GLCM)、灰度相关矩阵、灰度游程矩阵、灰度大小区域矩阵及邻域灰度差分矩阵特征;保留组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC) $>0.75$ 者。依次采用方差阈值法、K 最佳选择法及最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)算法降维,以 10 折交叉验证确定惩罚系数;对最终获得的最优影像组学特征行 Z-score 标准化处理。

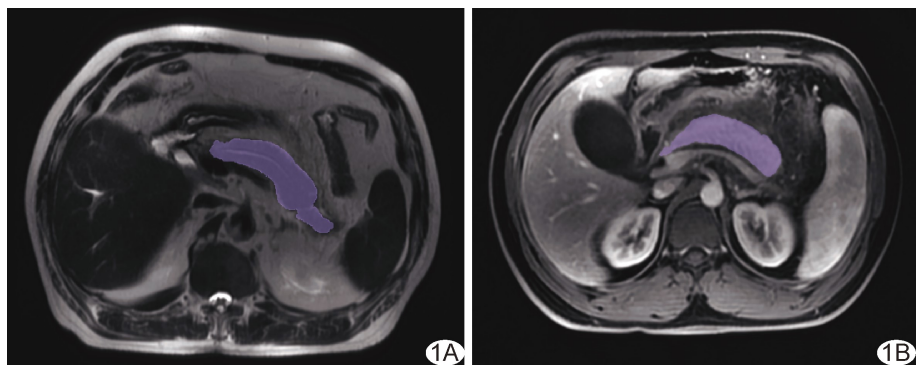


图 1 基于 MRI 勾画胰腺 ROI(紫色区域)示意图 A. 平扫 T2WI; B. 动脉晚期 CE-T1WI

1.4 构建模型 采用 uAI Research Portal(V1.6)。基于组间差异存在统计学意义的临床参数和最优影像组学特征,采用支持向量机(support vector machine, SVM)分别构建临床模型和影像组学模型;基于二者构建联合模型。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 26.0 统计分析软件。以  $\bar{x} \pm s$  表示正态分布计量资料,采用独立样本 *t* 检验进行组间比较;否则以中位数(上下四分位数)表示,行 Mann-Whitney U 检验。以频数表示计数资料,采用  $\chi^2$  检验进行组间比较。以 ICC 分析观察者内及观察者间评估结果的一致性。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,计算曲线下面积(area under the curve, AUC)并以 DeLong 检验加以比较。采用综合辨别改善指数(integrated discrimination improvement, IDI)和决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)评估模型临床适用性。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床资料 组间血糖及高脂血症、脂肪肝、高血压和 AP 复发占比差异均有统计学意义( $P$  均  $< 0.05$ ),见表 1。

2.2 影像组学特征 基于 T2WI 及动脉晚期 CE-T1WI 分别筛选出 2 及 6 个胰腺最优影像组学特征(图 2)。

2.3 评估模型效能 临床模型、影像组学模型及联合模型预测训练集 AP 合并 MS 患者发生 PPDM-A 的 AUC 分别为 0.792、0.859 及 0.927,在测试集分别为 0.793、0.842 及 0.927。联合模型在训练集的 AUC 高于临床模型和影像组学模型( $P$  均  $< 0.05$ ),在测试集的 AUC 高于临床模型( $P < 0.05$ ),见表 2 和图 3。IDI 检验结果显示,联合模型在训练集的预测效能较其他 2 种模型均提升约 14.22%,而在测试集较临床模型及影像组学模型分别提升约 39.26% 及 18.42%。DCA 显示,联合模型于不同风险阈值下均展现出良好净收益且明显优于临床模型和影像组学模型,见图 4。

3 讨论

MS 状态下 AP 进展为 PPDM-A 风险显著升高<sup>[4]</sup>,早期识别高危患者对于延缓或阻断糖尿病进展具有重要临床意义。本研究通过整合 T2WI 与动脉晚期 CE-T1WI 影像组学特征、结合临床表现构建的联合模型展现出优异的预测效能。

表 1 比较发生与未发生 PPDM-A 的 AP 合并 MS 患者临床资料

组别	年龄(岁)	住院时间(天)	血糖 (mmol/L)	甘油三酯 (mmol/L)	总胆固醇 (mmol/L)	HDL-C (mmol/L)
PPDM-A 组(n=50)	47.0±11.6	12.0(8.0,14.0)	9.01(2.75,21.65)	6.64(0.64,28.1)	5.36(2.38,12.2)	0.82(0.16,1.61)
非 PPDM-A 组(n=71)	43.3±11.7	13.0(8.0,15.0)	7.44(3.23,13.78)	6.68(0.7,26.61)	5.11(2.09,28.33)	0.87(0.29,2.29)
<i>t</i> / <i>Z</i> / $\chi^2$ 值	1.184	-1.277	2.550	-0.663	0.569	0.232
<i>P</i> 值	0.239	0.202	0.011	0.507	0.570	0.817

组别	高脂血症(例)	脂肪肝(例)	高血压(例)	胆道结石(例)	AP 复发(例)	吸烟史(例)	饮酒史(例)
PPDM-A 组(n=50)	38	37	16	10	39	25	20
非 PPDM-A 组(n=71)	33	37	4	19	42	30	31
<i>t</i> / <i>Z</i> / $\chi^2$ 值	10.545	5.917	14.783	0.736	4.708	0.710	0.161
<i>P</i> 值	0.001	0.015	<0.001	0.393	0.030	0.401	0.689

组别	脂肪酶(U/L)	胰淀粉酶(U/L)	收缩压(mmHg)	舒张压(mmHg)
PPDM-A 组(n=50)	767.31(38.00,7 829.00)	414.62(13.82,2 532.00)	129.00(93.00,190.00)	81.00(20.00,114.00)
非 PPDM-A 组(n=71)	813.78(38.21,8 337.00)	423.30(26.00,2 336.00)	126.00(90.00,170.00)	80.00(50.00,107.00)
<i>t</i> / <i>Z</i> / $\chi^2$ 值	-0.250	-1.240	1.095	0.932
<i>P</i> 值	0.803	0.215	0.273	0.351

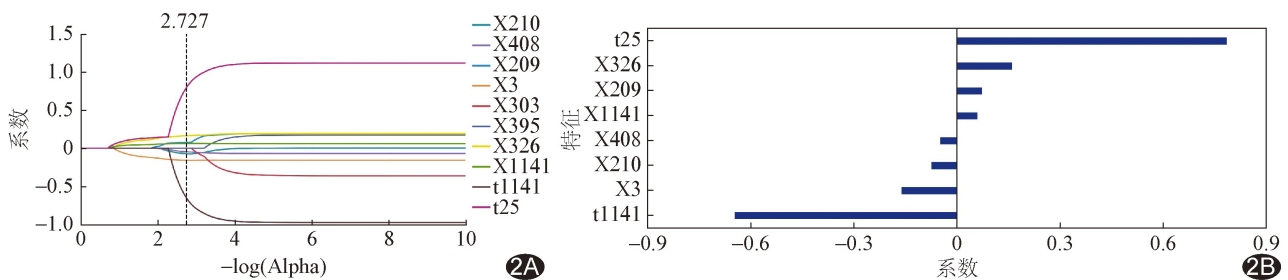


图 2 基于 LASSO 算法筛选胰腺影像组学特征示意图 A. 系数变化图; B. 特征权重图

表 2 各模型预测 AP 合并 MS 患者发生 PPDM-A 的效能

模型	AUC(95%CI)	准确率(%)	特异度(%)	敏感度(%)	
训练集	临床模型	0.792(0.687,0.897)	75.00	77.55	71.43
	影像组学模型	0.859(0.778,0.939)	71.43	79.59	60.00
	联合模型	0.927(0.872,0.981)	83.33	89.80	74.29
测试集	临床模型	0.793(0.556,0.923)	75.68	86.36	60.00
	影像组学模型	0.842(0.716,0.969)	78.38	77.27	80.00
	联合模型	0.927(0.813,0.949)	89.19	90.91	86.67

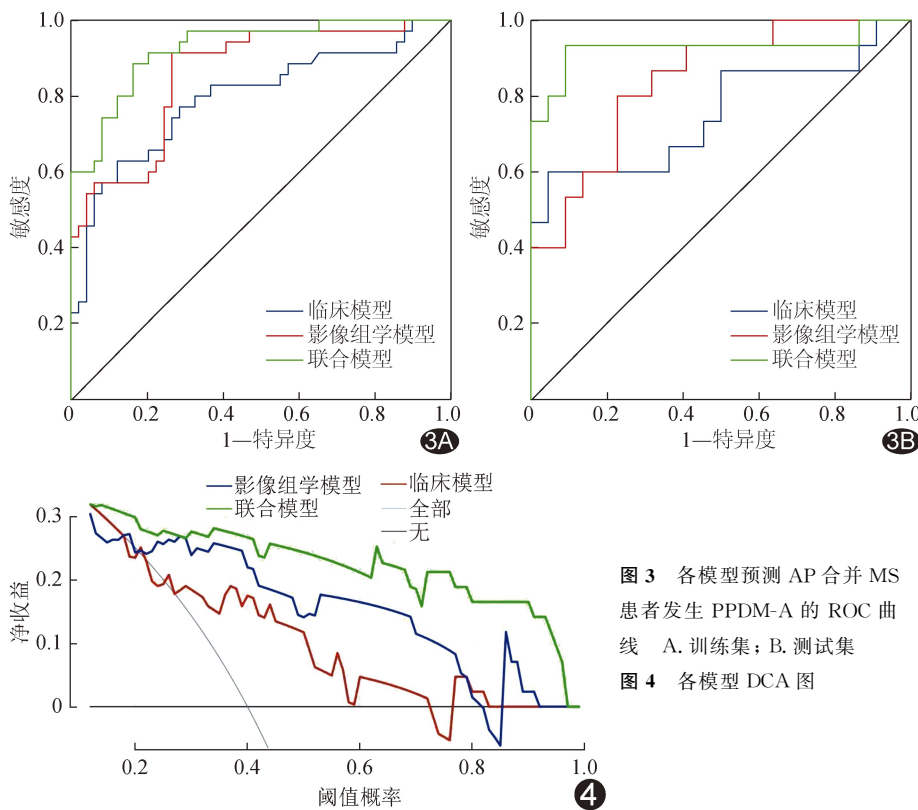


图 3 各模型预测 AP 合并 MS 患者发生 PPDM-A 的 ROC 曲线 A. 训练集; B. 测试集  
图 4 各模型 DCA 图

构建影像组学模型过程中,本研究通过多重降维及筛选而量化肉眼难以识别的胰腺微结构改变,最终获得 8 个特征,分别从形态、强度、纹理及多尺度信号等多维度反映胰腺病理变化;其中的 LeastAxisLength 提示胰腺局部纤维化收缩<sup>[8]</sup>, Mean 和 Median 定量反映炎症浸润或早期坏死对胰腺组织亮度的影响,Imc2 降低及 ClusterTendency 升高分别对应纹理异质性增强及信号聚集倾向、与坏死或水肿有关<sup>[5]</sup>,而 Minimum 特征则对腺泡破坏及坏死深度更为敏感<sup>[9]</sup>。上述特征交织呈现胰腺结构及炎性微环境改变,为早期识别 PPDM-A 提供了客观的影像学依据。本研究所选双序列 MRI 影像组学特征具有互补性,T2WI 对水肿及炎性积液较敏感,动脉晚期 CE-T1WI 则能更清晰呈现血供及渗出细节;二者结合可全面评估胰腺微环境及血流变化<sup>[10]</sup>。在此基础上利用 SVM 能有效融合上述多维特征<sup>[11]</sup>、排除冗余信息

进而显著提升识别 PPDM-A 高风险患者的准确率及实用性。

高血压和脂肪肝可通过加剧全身性胰岛素抵抗损害胰岛功能,导致血糖调节异常<sup>[12]</sup>,而胰腺炎反复发作则直接损伤并消耗 β 细胞储备<sup>[13]</sup>。本研究结果显示,组间血糖及高脂血症、脂肪肝、高血压、AP 复发占比差异均有统计学意义,与既往研究<sup>[12,14]</sup>结果基本相符。

综上,双序列 MRI 影像组学联合临床可用于预测 AP 合并 MS 患者 PPDM-A 风险。然而本研究为单中心、小样本、回顾性分析,且缺乏多中心外部验证,有待后续进一步完善。

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:李妍婷研究实施、撰写文章;黄小华研究设计、审阅文章;万夕瑶和王渊图像处理、统计分析;罗靖贤、朱之珺和周梦妮查阅文献。

[参考文献]

- [1] RICHARDSON A, PARK W G. Acute pancreatitis and diabetes mellitus: A review [J]. Korean J Intern Med, 2021, 36 (1): 15-24.
- [2] BAI Y, GONG G, AIERKEN R, et al. A retrospective study investigating the clinical significance of body mass index in acute pancreatitis[J]. PeerJ, 2024, 12:e16854.
- [3] BHARMAL S H, KIMITA W, KO J, et al. Cytokine signature for predicting new-onset prediabetes after acute pancreatitis: A prospective longitudinal cohort study [J]. Cytokine, 2022, 150:155768.
- [4] BA D M, CHINCHILLI V M, COZZI A M, et al. Association of pancreatitis with risk of diabetes: Analysis of real-world data[J]. Front Clin Diabetes Healthc, 2023, 4:1326239.
- [5] ABBASIAN ARDAKANI A, BUREAU N J, CIACCIO E J, et al. Interpretation of radiomics features: A pictorial review [J]. Comput Methods Programs Biomed, 2022, 215:106609.
- [6] ZENG Q, LI N, PAN X F, et al. Clinical management and treatment of obesity in China [J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2021, 9(6):393-405.

[7] ALBERTI K G, ECKEL R H, GRUNDY S M, et al. Harmonizing the metabolic syndrome: A joint interim statement of the International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention; National Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation; International Atherosclerosis Society; and International Association for the Study of Obesity[J]. *Circulation*, 2009, 120(16):1640-1645.

[8] YU A C, MOHAJER B, ENG J. External validation of deep learning algorithms for radiologic diagnosis: A systematic review[J]. *Radiol Artif Intell*, 2022, 4(3):e210064.

[9] ZWANENBURG A, VALLIÈRES M, ABDALAH M A, et al. The image biomarker standardization initiative: Standardized quantitative radiomics for high-throughput image-based phenotyping[J]. *Radiology*, 2020, 295(2):328-338.

[10] TANG L, MA L, CHEN Y, et al. Radiomics analysis of contrast-enhanced T1W MRI: Predicting the recurrence of acute pancreatitis[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1):2762.

[11] ZHANG J, LAI Z, KONG H, et al. Learning the optimal discriminant SVM with feature extraction [J]. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 2025, 47(4):2897-2911.

[12] FIRKINS S A, HART P A, PAPACHRISTOU G I, et al. Identification of a risk profile for new-onset diabetes after acute pancreatitis[J]. *Pancreas*, 2021, 50(5):696-703.

[13] 王一曼, 袁乐, 李拓. 高甘油三酯血症性急性胰腺炎的危险因素对糖代谢紊乱的作用与机制 [J]. *中国实用内科杂志*, 2025, 45(2):149-153.

[14] GUO S Y, YANG H Y, NING X Y, et al. Combination of body mass index and fasting blood glucose improved predictive value of new-onset prediabetes or diabetes after acute pancreatitis: A retrospective cohort study[J]. *Pancreas*, 2022, 51(4):388-393.

## 严正声明

近日有不法分子冒充我社编辑, 诱骗作者投稿、缴费等。《中国医学影像技术》期刊社有限公司两刊信息为:  
 《中国医学影像技术》 <http://www.cjmit.com> 《中国介入影像与治疗学》 <http://www.cjiit.com>

银行账户名 《中国医学影像技术》期刊社有限公司

开户行 招商银行股份有限公司北京清华园科技金融支行

账 号 110907929010201

支付宝账号 cjmit@mail.ioa.ac.cn(账户名同银行账户名)

作者在投稿、缴费时, 请注明稿号、姓名; 敬请广大作者、读者相互转告, 提高警惕、谨防上当受骗。如有疑问  
 请致电 010-82547901/2/3 或发邮件至 cjmit@mail.ioa.ac.cn。

特此声明!

《中国医学影像技术》期刊社有限公司

2026 年 1 月