·短篇论著·

临床特征联合超声影像组学预测自体动静脉内瘘早期成熟不良的价值

马川寅，陈恬恬，施国婵，南晓领，林永强，王超超

【摘要】目的　基于终末期肾病患者临床及超声影像组学特征构建自体动静脉内瘘（AVF）早期成熟不良（FTM）预测模型，并探讨其临床价值。方法　本研究为回顾性观察性研究。选取 2023 年 1 月至 2025 年 8 月于温州市中西医结合医院行 AVF 术的终末期肾病患者 245 例，按 7∶3 比例随机分为训练集（171 例）与测试集（74 例）。训练集中，采用单因素及多因素 Logistic 回归筛选临床特征构建临床模型；采用 LASSO 回归筛选影像组学特征并构建影像组学模型，计算 Rad-score；进一步联合临床特征与 Rad-score 构建联合模型。通过受试者工作特征曲线、校准曲线及决策曲线分析评估 3 种模型的预测效能。结果　多因素 Logistic 回归筛选出性别、吸烟史、血清白蛋白、钙通道阻滞剂建立临床模型；LASSO 回归筛选出 5 个最优特征建立影像组学模型。在训练集和测试集中，临床模型的曲线下面积（*AUC*）为 0.777 和 0.731，影像组学模型的 *AUC* 为 0.907 和 0.912，联合模型的 *AUC* 为 0.922 和 0.943。DeLong 检验显示联合模型与影像组学模型优于临床模型（均 $P < 0.05$），联合模型校准曲线接近理想曲线，决策曲线示其净获益最高。结论　联合临床特征与 Rad-score 构建的联合模型对 AVF 早期 FTM 的预测效能最优，临床净获益最高，可作为早期识别高风险患者的有效工具。

【关键词】动静脉内瘘；成熟不良；影像组学；超声检查；预测模型
DOI:10.3969/j.issn.1671-0800.2026.07.007
【中图分类号】R692　【文献标志码】A　【文章编号】1671-0800(2026)07-0730-06

Value of a combined model incorporating clinical characteristics and ultrasound radiomics for predicting early failure to mature of autogenous arteriovenous fistulas

Ma Chuanyin, Chen Tiantian, Shi Guochan, Nan Xiaoling, Lin Yongqiang, Wang Chaochao (Wenzhou Integrated Traditional Chinese and Western Medicine Hospital, Wenzhou 325000, Zhejiang, China)

【Abstract】Objective　Based on the clinical and ultrasound radiomics characteristics of patients with end-stage renal disease, a prediction model for early dysplasia (FTM) of autologous arteriovenous fistula (AVF) was constructed, and its clinical value was explored. **Methods**　This retrospective study included 245 consecutive patients with ESKD who underwent creation of an autogenous AVF at Wenzhou Integrated Traditional Chinese and Western Medicine Hospital between January 2023 and August 2025. The dataset was randomly split into a training cohort (*n*=171) and a testing cohort (*n*=74) in a 7∶3 ratio. In the training set, LASSO regression was applied to select radiomics features and construct a radiomics model, and the radiomics score (Rad-score) was calculated for each patient based on the selected features and their coefficients. Meanwhile, univariate and multivariate logistic regression analyses were conducted to identify clinical predictors and develop a clinical model. Finally, a combined predictive model was established by integrating the clinical features and the Rad-score. **Results**　Sex, smoking history, serum albumin, and calcium channel blocker use were retained in the multivariable logistic regression and used to construct the clinical model. LASSO regression identified five optimal radiomics features-contrast, correlation, entropy, gray-level non-uniformity, and run percentage-which were used to build the radiomics model. Univariable logistic regression demonstrated that Rad-score was significantly associated with FTM. In the training and testing cohorts, the area under curve (*AUC*)

基金项目：温州市基础性科研项目（Y20240203）
作者单位：325000 温州，温州市中西医结合医院
通信作者：王超超，Email：164459621@qq.com

of the clinical model were 0.777 and 0.731, respectively; those of the radiomics model were 0.907 and 0.912, respectively; and those of the combined model were 0.922 and 0.943, respectively. In the testing cohort, DeLong tests showed that both the combined model and the radiomics model significantly outperformed the clinical model (all $P < 0.05$). DCA indicated that the combined model provided the greatest net clinical benefit. **Conclusions**　The clinical models, radiomics models, and their combined model all exhibit certain predictive value for FTM of autologous arteriovenous fistulas. Among them, the combined model demonstrates the optimal predictive performance and the highest clinical net benefit, and can serve as an effective tool for the early identification of high-risk patients.

【Key words】 Arteriovenous fistula; Failure to mature; Radiomics; Ultrasonography; Predictive model

[Modern Practical Medicine,2026,38(7):730-735]

国家肾病质量控制中心数据显示，截至 2020 年我国维持性血液透析患者已达 69.27 万例，居全球首位[1]。自体动静脉内瘘（arterio venous fistula，AVF）因血流量稳定、并发症少、使用寿命长等优势，被推荐为血液透析的首选血管通路[2-3]。然而，AVF 术后成熟不良（failure to mature，FTM）发生率高达 30%～ 55%[4-5]，严重影响透析质量，增加患者住院风险及病死率。早期识别 FTM 风险因素并及时干预对改善患者预后至关重要，但目前临床尚缺乏精准预测工具，现有研究多局限于单一维度的临床或超声指标，预测效能有限，难以评估血管壁微观异质性[6-7]。基于此，本研究拟联合终末期肾病患者临床与超声影像组学特征，构建临床模型、影像组学模型及联合模型，比较 3 种模型预测 AVF 术后早期 FTM 的效能，探讨其临床应用价值，现报道如下。

1　资料与方法

1.1　一般资料　本研究为回顾性观察性研究。选取 2023 年 1 月至 2025 年 8 月于温州市中西医结合医院行自体 AVF 成形术的维持性血液透析患者。纳入标准：（1）符合《内科学》中慢性肾脏病 5 期的诊断标准[8]；（2）首次接受头静脉-桡动脉端侧吻合内瘘成形术；（3）术侧肢体术前无中心静脉置管史及心脏起搏器植入史；（4）年龄≥18 岁；（5）无影响术侧静脉回流的重大手术史、外伤史或卒中史；（6）术后 4 周内完成门诊血管超声检查。排除标准：（1）同侧肢体有既往内瘘手术史；（2）合并恶性肿瘤或血液系统疾病；（3）关键临床或影像资料缺失。最终纳入 245 例，其中男 147 例，女 98 例；年龄 32 ～ 79 岁，平均（53.6±9.3）岁。按照 7∶3 的比例将患者随机分为训练集（171 例）和测试集（74 例）。本研究获得温州市中西医结合医院医学伦理委员会审批（批件号：伦研批第 2026-L013 号），所有研究对象均知情同意并签署知情同意书。

1.2　超声检查　采用 Mindray M9（迈瑞，中国）检查仪，配备 5 ～ 20 MHz 线阵探头；开立 X5 Pro（开立，中国）配备 L741 线阵探头，频率 4 ～ 16 MHz。患者取仰卧位，术侧上肢外展 45°，腕关节下方垫薄枕保持自然伸直。超声频率 10 ～ 12 MHz，深度 2.0 ～ 2.5 cm，增益 60 dB，时间增益补偿曲线置于中立位。于前臂远端纵切面识别头静脉与桡动脉并追踪至吻合口，清晰显示吻合口及近远心端各约 0.5 cm 血管壁，调整图像使内膜显示清晰，避免探头过度加压。留存 3 张吻合口最大长轴切面灰阶图像，选取最佳者以 DICOM 格式导出，像素矩阵 512×512，像素间距 0.1 ～ 0.3 mm。所有检查由具备≥2 年血管超声经验的医师完成。

1.3　临床特征指标　通过查阅文献[4-5, 9-10]和小组讨论，拟定 13 个潜在临床变量，包括：（1）一般情况，性别、年龄、体质量指数（BMI）、吸烟史、饮酒史；（2）基础疾病，糖尿病、高血压、冠心病、高脂血症（总胆固醇≥6.2 mmol/L）；（3）实验室指标，术后 4 周内血清白蛋白（< 30 g/L，≥30 g/L）、血红蛋白；（4）药物情况，钙通道阻滞剂、血管紧张素 II 受体阻滞剂/血管紧张素转化酶抑制剂类药物。

1.4　影像组学特征　（1）图像预处理：采集术后 4 周吻合口灰阶 DICOM 图像。采用 Python 3.9 及 SimpleITK 库进行预处理：①线性插值重采样至各向同性分辨率 0.5 mm×0.5 mm，②灰度值线性映射至 0 ～ 255 后行 Z-score 标准化。（2）感兴趣区（ROI）勾画：将图像导入 3D Slicer（5.8.1），由两名超声医师（4 年和 6 年工作经验）在不知晓临床结局情况下，于吻合

口最大长轴切面沿血管腔内外边界手动勾画 ROI，完整包含吻合口处血管壁全层及管腔内血流区域。ROI 范围：以吻合口为中心向近心端桡动脉侧及远心端头静脉侧各延伸约 0.5 cm，纵轴长度 1.0 ～ 1.5 cm，最终 ROI 由两名医师协商一致确定。（3）可重复性评估：随机选取 30 例图像，计算两名医师勾画区域的 Dice 相似系数（DSC），以 DSC ＞ 0.80 为一致性良好标准。（4）特征提取：采用 3D Slicer Radiomics 插件，以固定 bin 宽度 25 HU 将灰度离散化为 32 个灰度级，基于各向同性体素（0.5 mm）提取 94 个影像组学特征，包括 10 个形态学特征、16 个一阶统计特征及 68 个二阶纹理特征。（5）特征降维与模型构建：以术后 6 个月 FTM 为结局变量，应用 LASSO 回归进行降维。通过十折交叉验证确定最优正则化参数λ，在λ=0.022 时筛选出 5 个非零系数特征，均为二阶纹理特征：3 个 GLCM 来源（对比度、相关度、熵）及 2 个 GLRLM 来源（灰度不均匀性、游程百分比）。基于上述特征构建影像组学模型并计算 Rad-score，公式：Rad-score=Σ（Ci×Xi）+a（Xi 为特征值，Ci 为 LASSO 系数，a 为常数项）。

1.5　临床-影像组学联合模型构建　将临床模型中纳入的临床特征和 Rad-score 进行多因素 Logistic 回归分析，构建联合临床特征和影像组学评分的联合模型。

1.6　FTM 定义及分组　FTM 定义为不符合临床成熟或超声成熟标准。临床成熟标准：能够成功使用双针穿刺且达到处方透析目的 [1]。超声成熟标准：流出道内径≥4 mm，肱动脉血流量≥500 mL/min[3]。根据 AVF 建立后 3 个月是否成熟，分为 FTM 组和非 FTM 组。

1.7　统计方法　采用 SPSS 26.0 及 R 4.2.3 进行统计分析。两名医师提取的影像组学特征以组内相关系数（ICC）评估一致性，ICC≥0.75 为一致性良好。不符合正态分布的计量资料以中位数（四分位间距）表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验；计数资料以例（%）表示，组间比较采用χ^2 检验或 Fisher 精确检验。通过单因素和多因素 Logistic 回归筛选变量构建临床模型。采用 LASSO 回归筛选最优影像组学特征并构建影像组学模型。将筛选出的临床特征与 Rad-score 纳入多因素 Logistic 回归构建联合模型。采用受试者工作特征曲线、校准曲线及决策曲线分析分别评价模型的区分能力、校准性能和临床净获益。P ＜ 0.05 表示差异有统计学意义。

2　结果

2.1　训练集和测试集一般资料比较　训练集 171 例患者中，FTM 者 43 例，非 FTM 者 128 例。测试集 74 例患者中，FTM 者 20 例，非 FTM 者 54 例。训练集和测试集患者一般资料差异均无统计学意义（均 P ＞ 0.05），见表 1。

2.2　临床特征筛选及模型构建　在训练集中，对 13 个临床潜在特征进行单因素及多因素 Logistic 回归分析，结果显示性别、吸烟史、血清白蛋白、钙通道阻滞剂为 FTM 的影响因素（均 P ＜ 0.05），见表 2。模型的回归方程式为 logit（P）=0.773−1.39×男性+1.18×吸烟史−1.00×血清白蛋白≥30 g/L−1.14×钙通道阻滞剂。

2.3　影像组学特征及模型构建　两位超声医师勾画 ROI（图 1 ～ 2）的 DSC 系数为 0.86±0.05，观察者间一致性良好（ICC：0.78 ～ 0.94，均 P ＜ 0.05）。基于 5 个 LASSO 筛选的特征构建影像组学模型，Rad-score 计算公式为：Rad-score=−19.874+6.328×对比度+5.142×相关度+14.706×熵−0.893×灰度不均匀性−24.581×游程百分比。Rad-score 与 FTM 显著相关（OR = 5.94，95%CI：3.36 ～ 10.49，P ＜ 0.05）。

2.4　临床-影像组学联合模型　将临床模型筛选出的 4 个独立预测因子（性别、吸烟史、血清白蛋白、钙通道阻滞剂）与影像组学评分共同纳入多因素 Logistic 回归分析，构建临床-影像组学联合预测模型。最终联合模型的回归方程如下：Logit（P）=−6.157−0.967×性别+0.724×吸烟史−1.132×血清白蛋白−0.831×钙通道阻滞剂+1.701×Rad-score。

2.5　3 种模型的效能评价及验证　临床模型、影像组学模型及联合模型在训练集和测试集的 AUC 分别为 0.777、0.731、0.907、0.912、0.922 及 0.943，见图 3。在测试集中，DeLong 检验显示联合模型与影像组学模型的预测效能均优于临床模型（均 P ＜ 0.05），而影像组学模型与联合模型间 AUC 差异无统计学意义（P ＞ 0.05）。校准曲线显示联合模型在训练集和测试集中均与理想曲线较为接近（图 4）。决策曲

线分析显示联合模型净获益最高，影像组学模型次之，临床模型最低（图 5）。

3　讨论

AVF 是终末期肾病血液透析的首选血管通路，但术后早期FTM发生率高达 30%～ 55%，严重影响透析效果与患者预后[12-14]。准确预测 FTM 对指导早期干预至关重要。传统预测多依赖临床指标或常规超声参数，效能有限且难以反映血管壁微观结构改变[15]。影像组学通过高通量提取图像特征，可无创定量评估组织异质性，为 FTM 预测提供了新视角。

本研究将超声影像组学应用于 AVF 术后 FTM

表 1　训练集和测试集维持性血液透析患者一般资料比较

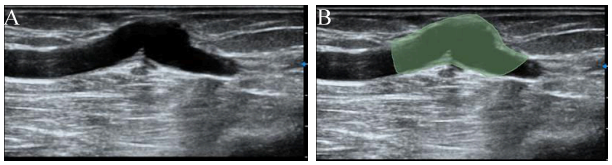
变量	训练集（n=171）	测试集（n=74）	χ^2（Z）值	P 值
血红蛋白（g/L）	101.60（93.30，115.50）	107.35（93.23，120.40）	（1.06）	＞ 0.05
Rad-score	3.51（2.75，4.34）	3.28（2.50，4.37）	（0.94）	＞ 0.05
FTM[例（%）]	43（25.15）	20（27.03）	0.10	＞ 0.05
性别[例（%）]			0.93	＞ 0.05
女	65（38.01）	33（44.59）		
男	106（61.99）	41（55.41）		
年龄[例（%）]			0.09	＞ 0.05
＜ 60 岁	143（83.63）	63（85.14）		
≥60 岁	28（16.37）	11（14.86）		
BMI[例（%）]			1.45	＞ 0.05
＜ 24 kg/m²	129（75.44）	61（82.43）		
≥24 kg/m²	42（24.56）	13（17.57）		
糖尿病[例（%）]	57（33.33）	23（31.08）	0.12	＞ 0.05
高血压[例（%）]	126（73.68）	49（66.22）	1.41	＞ 0.05
冠心病[例（%）]	48（28.07）	23（31.08）	0.23	＞ 0.05
高脂血症[例（%）]	26（15.20）	15（20.27）	0.95	＞ 0.05
吸烟史[例（%）]	62（36.26）	27（36.49）	0.00	＞ 0.05
饮酒史[例（%）]	47（27.49）	23（31.08）	0.33	＞ 0.05
血清白蛋白[例（%）]			0.39	＞ 0.05
＜ 30 g/L	31（18.13）	11（14.86）		
≥30 g/L	140（81.87）	63（85.14）		
钙通道阻滞剂[例（%）]	127（74.27）	57（77.03）	0.21	＞ 0.05
ARBs/ACEIs [例（%）]	69（40.35）	25（33.78）	0.94	＞ 0.05

注：FTM 为成熟不良，BMI 为体质量指数，ARBs/ACEIs 为血管紧张素 II 受体阻滞剂/血管紧张素转化酶抑制剂类药物

表 2　血液透析患者自体动静脉内瘘术后成熟不良临床特征的单因素和多因素 Logistic 分析

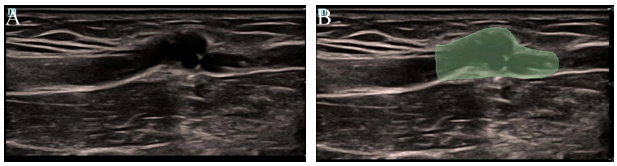
变量	单因素					多因素				
	β 值	SE 值	Z 值	P 值	OR 值（95%CI）	β 值	SE 值	Z 值	P 值	OR 值（95%CI）
血红蛋白	0.01	0.01	1.21	＞ 0.05	1.01（0.99 ～ 1.03）					
男性	−1.39	0.37	−3.74	＜ 0.05	0.25（0.12 ～ 0.52）	−1.39	0.42	−3.34	＜ 0.05	0.25（0.11 ～ 0.56）
年龄≥60 岁	−0.01	0.48	−0.02	＞ 0.05	0.99（0.39 ～ 2.52）					
BMI≥24 kg/m²	0.23	0.40	0.59	＞ 0.05	1.26（0.58 ～ 2.76）					
糖尿病	−0.05	0.38	−0.12	＞ 0.05	0.95（0.46 ～ 1.99）					
高血压	0.99	0.48	2.07	＜ 0.05	2.70（1.05 ～ 6.93）	1.03	0.53	1.93	＞ 0.05	2.81（0.98 ～ 8.00）
冠心病	−0.50	0.42	−1.20	＞ 0.05	0.60（0.26 ～ 1.38）					
高脂血症	0.95	0.44	2.14	＜ 0.05	2.59（1.08 ～ 6.19）	0.89	0.51	1.74	＞ 0.05	2.42（0.90 ～ 6.56）
吸烟史	1.10	0.36	3.02	＜ 0.05	2.99（1.47 ～ 6.09）	1.18	0.42	2.83	＜ 0.05	3.25（1.44 ～ 7.36）
饮酒史	−0.65	0.44	−1.49	＞ 0.05	0.52（0.22 ～ 1.23）					
血清白蛋白≥30 g/L	−1.32	0.42	−3.17	＜ 0.05	0.27（0.12 ～ 0.60）	−1.00	0.49	−2.05	＜ 0.05	0.37（0.14 ～ 0.96）
钙通道阻滞剂	−0.89	0.38	−2.36	＜ 0.05	0.41（0.19 ～ 0.86）	−1.14	0.44	−2.59	＜ 0.05	0.32（0.14 ～ 0.76）
ARBs/ACEIs	−0.18	0.36	−0.49	＞ 0.05	0.84（0.41 ～ 1.71）					

注：BMI 为体质量指数，ARBs/ACEIs 为血管紧张素 II 受体阻滞剂/血管紧张素转化酶抑制剂类药物



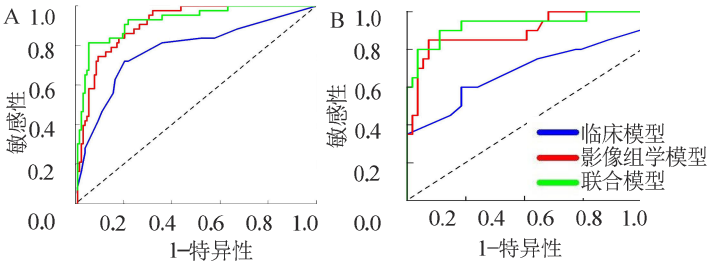
注：患者男，40 岁，A 为吻合口原始灰阶超声图像，B 为勾画病灶感兴趣区示意图。FTM 为成熟不良

图 1　非 FTM 组患者吻合口灰阶超声图像及感兴趣区勾画



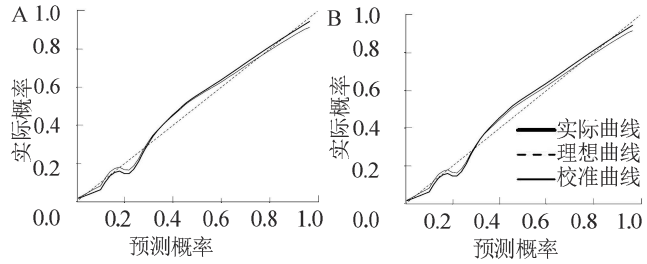
注：患者女，35 岁，A 为吻合口原始灰阶超声图像，B 为勾画病灶感兴趣区示意图。FTM 为成熟不良

图 2　FTM 组患者吻合口灰阶超声图像及感兴趣区勾画



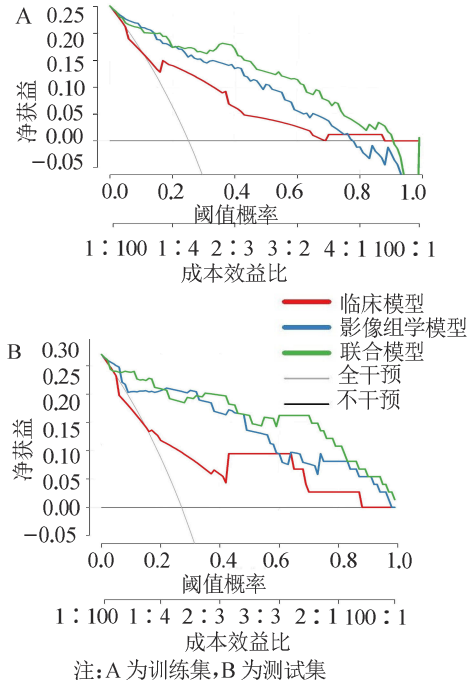
注：A 为训练集，B 为测试集。FTM 为成熟不良

图 3　3 种模型预测 FTM 的 ROC 曲线



注：A 为训练集，B 为测试集

图 4　联合模型的校准曲线



注：A 为训练集，B 为测试集

图 5　3 种模型的决策曲线

早期预测。基于 5 个关键纹理特征（对比度、相关度、熵、灰度不均匀性及游程百分比）构建的影像组学模型在训练集和测试集中 *AUC* 分别为 0.907 和 0.912，显著优于临床模型（0.777 和 0.731）。超声影像组学指标均为二阶统计纹理特征，其病理生理学意义明确：对比度高提示纤维化或不规则结构；相关度低提示组织无序；熵高反映组织异质性（如纤维化、炎症）[16]；灰度不均匀性高可能对应纤维斑块或涡流；游程百分比低提示纹理破碎不连续 [17-18]。这些特征共同刻画血管壁的纹理复杂性、结构异质性及组织均匀性，对应纤维化、内膜增生、微钙化等病理改变，为 FTM 提供了定量依据。观察者间可重复性良好（ICC ＞ 0.75），保证了特征稳定性[19]。进一步整合性别、吸烟史、血清白蛋白、钙通道阻滞剂 4 项临床独立预测因子与 Rad-score 构建联合模型，训练集和测试集 *AUC* 分别提升至 0.922 和 0.943，决策曲线分析显示联合模型的临床净获益最高。这提示联合模型融合了全身状态与局部结构信息，实现了多维度评估，综合判别能力更优。

李文琴等[4]基于临床及超声指标构建决策树模型（*AUC* 0.822），刘静等[5]基于超声形态学与血流参数构建机器学习模型（测试集 *AUC* 0.853），Zeng 等[6]结合术前动脉直径建立 Logistic 回归列线图（*AUC* 0.79）。与之相比，本研究的创新与优势在于：（1）将超声纹理组学特征引入 FTM 预测，通过二阶纹理特征无创评估血管壁纤维化、内膜增生等病理改变；（2）联合模型在测试集中 *AUC* 达 0.943，数值上较上述研究有所提高，但因研究设计差异无法进行 DeLong 检验比较；（3）超声图像采集于术后 4 周，较李文琴等[4]的术后 8 周更早，为临床干预预留了更充足的时间窗口。

本研究亦存在局限性：（1）单中心回顾性设计，

样本量有限，需多中心大样本外部验证；（2）使用不同型号超声设备，虽经标准化与灰度归一化处理，仍可能影响纹理特征稳定性；（3）未与血管组织病理学直接对照，特征生物学解释尚待进一步验证；（4）未能纳入血流动力学参数及分子标志物等潜在混杂因素。有待开展多中心前瞻性研究，结合病理及多模态信息构建动态预测体系。

综上所述，临床-影像组学联合模型在预测 AVF 术后早期 FTM 中表现出最优效能（测试集 *AUC*=0.943）及临床净获益，优于单一的临床或影像组学模型。该模型为早期识别高风险患者提供了可靠工具，有助于指导临床干预。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　马川寅：酝酿和设计实验，实施研究，采集数据，分析/解释数据，文章撰写，包，工作支持；陈恬恬：实施研究，采集数据，分析/解释数据，对文章的知识性内容作批评性审阅，统计分析，行政、技术或材料支持；施国婵：酝酿和设计实验，分析/解释数据，对文章的知识性内容作批评性审阅，统计分析，行政、技术或材料支持；南晓领：实施研究，采集数据，对文章的知识性内容作批评性审阅，行政、技术或材料支持；查阅相关文献，辅助病例收集整理；林永强：分析/解释数据，对文章的知识性内容作批评性审阅，行政、技术或材料支持；王超超：酝酿和设计实验，分析/解释数据，对文章的知识性内容作批评性审阅，论文修改及答疑，指导

参　考　文　献

[1] 万梓鸣,甘华.血液透析患者自体动静脉内瘘成熟的生理生化因素研究进展[J].中华肾脏病杂志,2024,40(8):675-679.

[2] 中国医院协会血液净化中心分会血管通路工作组. 中国血液透析用血管通路专家共识(第2版)[J].中国血液净化,2019,18(6):365-381.

[3] Lok C E, Huber T S, Lee T, et al. KDOQI clinical practice guideline for vascular access: 2019 update[J]. Am J Kidney Dis, 2020, 75(4): S1-S164.

[4] 李文琴,刘光维.自体动静脉内瘘成熟不良的风险因素分析及决策树预测模型构建与验证[J].中国血液净化,2025,24(10):863-867.

[5] 刘静,刘爱翔,王明铭,等.基于血管超声特征构建机器学习模型预测终末期肾病患者自体动静脉内瘘成熟不良 [J]. 中国超声医学杂志,2025,41(11):1269-1273.

[6] Zeng W, Zhang B H, Wang X, et al. Prediction model for radial-cephalic arteriovenous fistula failure to mature[J]. Ann Med, 2025, 57(1): 2559124.

[7] Meng L Y, Guo W, Ho P. Risk score for the prediction of arteriovenous fistula maturation[J]. J Vasc Surg, 2025, 81(6): 1485-1494.e5.

[8] 陆再英,钟南山.内科学[M].7 版.北京:人民卫生出版社,2008.

[9] Hofmann A G, Lama S M, Zhang H J, et al. Editor's choice-challenges of predicting arteriovenous access survival prior to conversion from catheter[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2024, 68(5): 654-662.

[10] Heindel P, Dey T, Feliz J D, et al. Predicting radiocephalic arteriovenous fistula success with machine learning[J]. NPJ Digit Med, 2022, 5(1): 160.

[11] Gibson K D, Caps M T, Kohler T R, et al. Assessment of a policy to reduce placement of prosthetic hemodialysis access[J]. Kidney Int, 2001, 59(6): 2335-2345.

[12] 郑孝琴,蔡爱萍,何扬彪.温经通络散湿热敷联合人工压力冲击促进自体动静脉内瘘成熟的临床观察[J].浙江临床医学,2022,24(4):619-620.

[13] 倪其泓,赵意平,吕磊,等.超声引导下经皮腔内血管成形术治疗动静脉瘘成熟不良的日间模式与临床疗效[J].中华医学杂志,2021,101(6):416-420.

[14] 俞伟萍,蒋华,马锡平,等.上臂自体动静脉内瘘和前臂移植物动静脉内瘘在维持性血液透析患者中的临床应用比较分析 [J]. 中华肾脏病杂志,2025,41(3):183-188.

[15] 何静,梅吉本,胡艳,等.维持性血液透析患者自体动静脉内瘘功能不良及PTA术后狭窄的影响因素分析[J].中南医学科学杂志,2025,53(4):720-723,727.

[16] Miazek A, del Carmen Yika A, Wróbel S, et al. Qualitative and quantitative ultrasonographic assessment of muscle and its association with comprehensive geriatric assessment results among older patients scheduled for abdominal surgery[J]. J Ultrason, 2025, 25(103): 20250039.

[17] Jadoon M, Poli F, Boutouyrie P, et al. Radiomics feature extraction from ultrasound B-mode images and radio-frequency signals of the carotid arterial wall: A feasibility study[J]. Artery Res, 2025, 31(1): 6.

[18] 娄梦莹.基于自适应融合图像增强和深度学习的手掌静脉识别研究[D].广州:南方医科大学,2020.

[19] 冯晓丹,石岩,杜瑶,等.超声影像组学联合临床指标预测乳腺癌新辅助化疗疗效的应用价值[J].中国超声医学杂志,2025,41(1):17-21.

收稿日期：2026-02-06

（本文编辑：孙海儿）