

基于LI-RADS分类的CT征象构建0-A期乙型肝炎相关肝细胞癌预后预测模型的研究

邓可欣^{1,2}, 苏罗尉^{1,2}, 李铭浩^{1,2}, 黄雷^{1,2}, 刘丽东^{1,2}

¹广西医科大学附属肿瘤医院影像中心广西临床重点专科, 医学影像科, 广西 南宁

²广西医科大学附属肿瘤医院优势培育学科, 医学影像科, 广西 南宁

收稿日期: 2025年6月25日; 录用日期: 2025年7月19日; 发布日期: 2025年7月28日

摘要

目的: 探讨基于LI-RADS分类的CT征象联合临床特征构建预测模型, 评估其预测乙型肝炎相关肝细胞癌(HBV-HCC) BCLC 0-A期患者术后2年无复发生存率的价值。方法: 回顾性纳入200例接受射频消融(Radiofrequency ablation, RFA, n = 99)或手术切除(Surgical resection, SR, n = 101)的BCLC 0-A期HBV-HCC患者。通过单因素及多因素Cox回归分析筛选独立预后因素, 分别构建RFA组和SR组预后预测模型。采用时间依赖ROC曲线、校准曲线、决策曲线(Decision curve, DCA)及一致性指数(C-index)评估模型性能, 并通过Kaplan-Meier生存分析验证风险分层能力。采用倾向评分匹配(Propensity score matching, PSM)平衡基线, 并进行“治疗互换式交叉验证”, 比较高风险/低风险亚组患者接受不同治疗的2年无复发生存率(Recurrence-Free Survival, RFS)差异。结果: 单因素及多因素Cox回归分析结果显示, LDH、动脉期瘤周强化、周围血管位置及肿瘤位置是RFA组RFS的独立预测因子; 年龄、ALT、CA199及肿瘤位置为SR组RFS的独立预测因子。RFA组模型预测2年RFS的AUC为0.86 (C-index = 0.806, 95% CI: 0.75~0.86), SR组模型预测2年RFS的AUC为0.79 (C-index = 0.691, 95% CI: 0.61~0.76) PSM后交叉验证显示: 46.4%的RFA高风险患者若接受SR治疗, 2年RFS可从 0.22 ± 0.15 提升至 0.41 ± 0.05 ($P < 0.001$); 60.7%的SR高风险患者若接受RFA治疗, 2年RFS可从 0.65 ± 0.10 提升至 0.84 ± 0.26 ($P < 0.001$)。结论: 基于LI-RADS的CT影像联合临床指标构建的预测模型可有效识别高危患者, 并通过跨治疗分层指导个体化治疗决策。

关键词

肝细胞癌, LI-RADS分类, 射频消融, 手术切除, 预后模型

Research on the Development of a Prognostic Model for 0-A Stage Hepatitis B-Related Hepatocellular Carcinoma Based on LI-RADS CT Imaging Features

文章引用: 邓可欣, 苏罗尉, 李铭浩, 黄雷, 刘丽东. 基于 LI-RADS 分类的 CT 征象构建 0-A 期乙型肝炎相关肝细胞癌预后预测模型的研究[J]. 临床医学进展, 2025, 15(7): 1710-1720. DOI: 10.12677/acm.2025.1572177

Kexin Deng^{1,2}, Luowei Su^{1,2}, Minghao Li^{1,2}, Lei Huang^{1,2}, Lidong Liu^{1,2}

¹Medical Imaging Department, Guangxi Clinical Key Specialty, Imaging Center, Guangxi Medical University Cancer Hospital, Nanning Guangxi

²Medical Imaging Department, Advantageous Cultivation Discipline of Guangxi Medical University Cancer Hospital, Nanning Guangxi

Received: Jun. 25th, 2025; accepted: Jul. 19th, 2025; published: Jul. 28th, 2025

Abstract

Purpose: To explore the value of a prediction model combining CT imaging features based on LI-RADS classification and clinical characteristics in predicting 2-year recurrence-free survival (RFS) after treatment for patients with hepatitis B virus-related hepatocellular carcinoma (HBV-HCC) at BCLC stage 0-A. **Methods:** A retrospective cohort of 200 patients with BCLC stage 0-A HBV-HCC who underwent radiofrequency ablation (RFA, $n = 99$) or surgical resection (SR, $n = 101$) was included. Independent prognostic factors were screened using univariate and multivariate Cox regression analyses. Separate prognostic prediction models were then constructed for the RFA group and the SR group. Model performance was evaluated using time-dependent receiver operating characteristic (ROC) curves, calibration curves, decision curve analysis (DCA), and the concordance index (C-index). The risk stratification capability was validated using Kaplan-Meier survival analysis. Propensity score matching (PSM) was employed to balance baseline characteristics. "Treatment-swapped cross-validation" was performed to compare the differences in actual 2-year recurrence-free survival (RFS) between high-risk and low-risk subgroups when receiving the alternative treatment. **Results:** Univariate and multivariate Cox regression analysis identified LDH, arterial peritumoral enhancement, perivascular location, and tumor location as independent predictors of RFS in the RFA group. Age, ALT, CA199, and tumor location were independent predictors of RFS in the SR group. For predicting 2-year RFS, the RFA group model achieved an AUC of 0.86 (C-index = 0.806, 95% CI: 0.75~0.86), while the SR group model achieved an AUC of 0.79 (C-index = 0.691, 95% CI: 0.61~0.76). After PSM, cross-validation showed: For the 46.4% of RFA high-risk patients, if they had received SR instead, their 2-year RFS could have increased from 0.22 ± 0.15 to 0.41 ± 0.05 ($P < 0.001$). For the 60.7% of SR high-risk patients, if they had received RFA instead, their 2-year RFS could have increased from 0.65 ± 0.10 to 0.84 ± 0.26 ($P < 0.001$). **Conclusion:** The prediction model based on LI-RADS CT imaging features combined with clinical indicators can effectively identify high-risk patients. Furthermore, risk stratification across treatments can guide individualized treatment decisions.

Keywords

Hepatocellular Carcinoma, LI-RADS Classification, Radiofrequency Ablation, Surgical Resection, Prognostic Model

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

肝细胞癌(Hepatocellular Carcinoma, HCC)是癌症相关死亡的第三大原因[1]。乙型肝炎病毒(Hepatitis

B Virus, HBV)感染是 HCC 的主要病因之一[2]。目前, 射频消融(Radiofrequency ablation, RFA)和手术切除(Surgical resection, SR)是 BCLC 0-A 期 HCC 的主要治疗方式, 但两者在疗效和复发风险方面存在差异[3]。近年来, LI-RADS 分类系统不仅用于 HCC 的早期诊断, 还逐渐应用于预后预测领域。然而, 如何将影像学特征与临床指标结合以构建精准的预后模型用于指导临床决策仍是亟待解决的问题。本研究旨在构建一种基于 LI-RADS 分类系统 CT 征象联合临床特征预测 BCLC 0-A 期乙型肝炎相关 HCC 射频消融/手术后预后模型, 并通过交叉验证方法验证其在辅助制定治疗决策方面的潜在临床应用价值。

2. 材料和方法

2.1. 研究对象

回顾性分析 2017 年 1 月至 2022 年 12 月期间在广西医科大学附属肿瘤医院接受 RFA ($n = 99$)或 SR ($n = 101$)治疗的 200 名 HCC 患者。纳入标准: ① HBV 表面抗原阳性; ② 单发肿瘤 ≤ 5 cm; ③ Child-Pugh A 级; ④ 临床及 CT 资料完整; ⑤ 随访时间 24 个月, 随访终点为局部进展或死亡。排除标准: ① 图像质量差; ② 随访 <2 年; ③ 合并门静脉癌栓。本研究经该院医学伦理委员会批准, 患者或其家属知情并签署知情同意书。

2.2. 随访策略

患者在治疗后 1、3、6、9、12 个月及此后每 3 至 6 个月接受随访, 包括血清甲胎蛋白检测和影像学检查(增强 CT 或 MRI)。主要终点为无复发生存期(RFS), 定义为从 RFA 或 SR 实施日期至影像学首次发现肿瘤进展(局部进展、肝内新发肿瘤或远处转移)的时间。局部进展指与消融/切除边缘距离 ≤ 1.0 cm 的病灶[4]; 手术切除后切缘 ≤ 1 cm 且动脉期强化、门脉期/延迟期廓清的复发灶。未进展患者的 RFS 截止至死亡或末次随访日期。

2.3. CT 影像征象评估

两名具有 5 年经验的放射科医师(医生 1 和医生 2)在不了解患者的临床和随访资料的情况下, 独立收集肿瘤的 CT 征象, 若影像学征象的评估存在分歧, 则由放射科医生 3 (具有 26 年腹部影像诊断经验)重新评估, 直至达成共识。CT 征象参考 2018 版肝脏影像报告和数据系统(LI-RADS) [5]。

2.4. 统计学分析

采用 SPSS 25.0 和 R 语言 4.2.2 进行数据分析。通过单因素及多因素 Cox 回归筛选独立预后因子, 构建 RFA 组和 SR 组的预测模型。利用 ROC 曲线、校准曲线和决策曲线(DCA)评估模型效能。采用倾向评分匹配(PSM)平衡两组基线特征, 并通过“治疗互换式交叉验证”方法验证模型的普适性。

3. 结果

3.1. 独立预后因子的筛选

将两组变量进行单因素及多因素 Cox 回归分析, 结果示 LDH、动脉期瘤周强化、周围血管位置及肿瘤位置是 RFA 组的独立预后因子(表 1); 年龄、ALT、CA199 及肿瘤位置为 SR 组的独立预后因子(表 2)。

3.2. 预测模型性能及其可视化

根据多因素 Cox 回归分析结果, 构建两组 RFS 预测模型。RFA 组模型的 2 年 RFS 预测 AUC 为 0.86 (图 1(a)), SR 组模型预测 2 年 RFS 的 AUC 为 0.79 (图 2(a))。决策曲线表明模型均具有一定临床净收益

(图 1(b), 图 2(b))。校准曲线显示预测值与实际观察值具有良好的一致性。DCA 曲线表明, 该模型在辅助治疗选择和优化随访策略方面具有一定的临床指导价值(图 1(c), 图 2(c))。两组模型 Kaplan-Meier 分析均显示高风险与低风险组 RFS 差异具有显著性($P < 0.0001$) (见图 1(d), 图 2(d))。经 1000 次重抽样计算得出, RFA 模型的一致性指数(C-index)为 0.806 (95% CI: 0.75~0.86; 图 1(e)); SR 模型的 C 指数为 0.691 (95% CI: 0.61~0.76; 图 2(e))。两组模型 2 年 RFS 概率预测列线图见图 3, 图 4。

Table 1. Multivariate Cox regression analysis of model-related predictive factors in the RFA group

表 1. RFA 组模型相关预测因子的多因素 Cox 回归分析

变量	多因素	
	<i>P</i>	HR (95%CI)
年龄	-	-
TBIL	-	-
ALT	-	-
LDH	0.023*	1.35 (1.10~1.65)
CA199		
AST	-	-
动脉期瘤周强化(有)	0.031*	9.18 (1.22~69.21)
血管邻近程度(≥ 3 mm)	0.025*	3.07 (1.15~8.23)
肿瘤边界距离 (肿瘤距离肝包膜 5 mm 以内)	0.002*	4.07 (1.65~10.02)

* $P < 0.05$ 。

Table 2. Multivariate Cox regression analysis of model-related predictive factors in the SR group

表 2. SR 组模型相关预测因子的多因素 Cox 回归分析

变量	多因素	
	<i>P</i>	HR (95%CI)
年龄	0.034*	0.97 (0.95~0.99)
ALT	<0.001*	1.10 (1.05~1.15)
CA199	<0.001*	1.45 (1.20~1.75)
肿瘤边界距离 (肿瘤距离肝包膜 5 mm 以内)	0.014*	0.49 (0.28~0.87)

* $P < 0.05$ 。

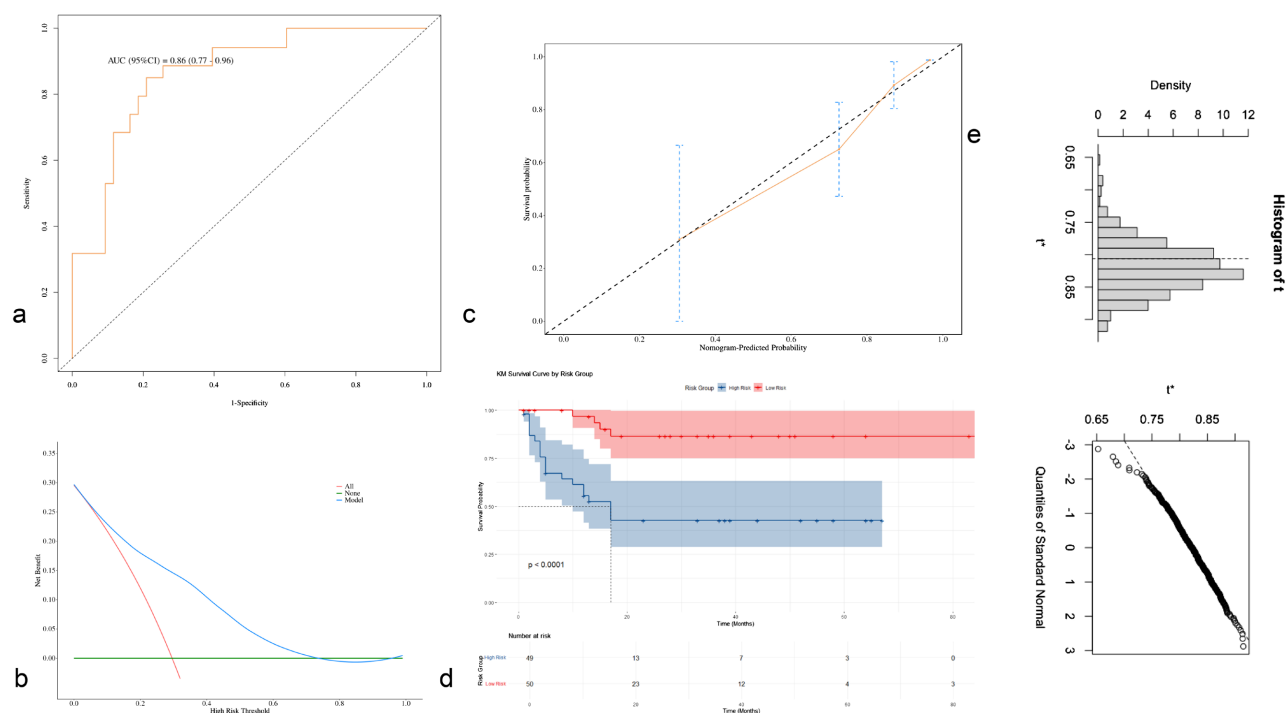


Figure 1. Evaluation of the RFA model: (a) ROC curve; (b) Decision curve; (c) Calibration curve; (d) Kaplan-Meier curve for risk stratification; (e) Bootstrap resampling distribution of C-index

图 1. RFA 组模型的评估: (a) ROC 曲线; (b) 决策曲线; (c) 校准曲线; (d) 风险分层的 Kaplan-Meier 曲线; (e) C 指数 Bootstrap 重抽样分布

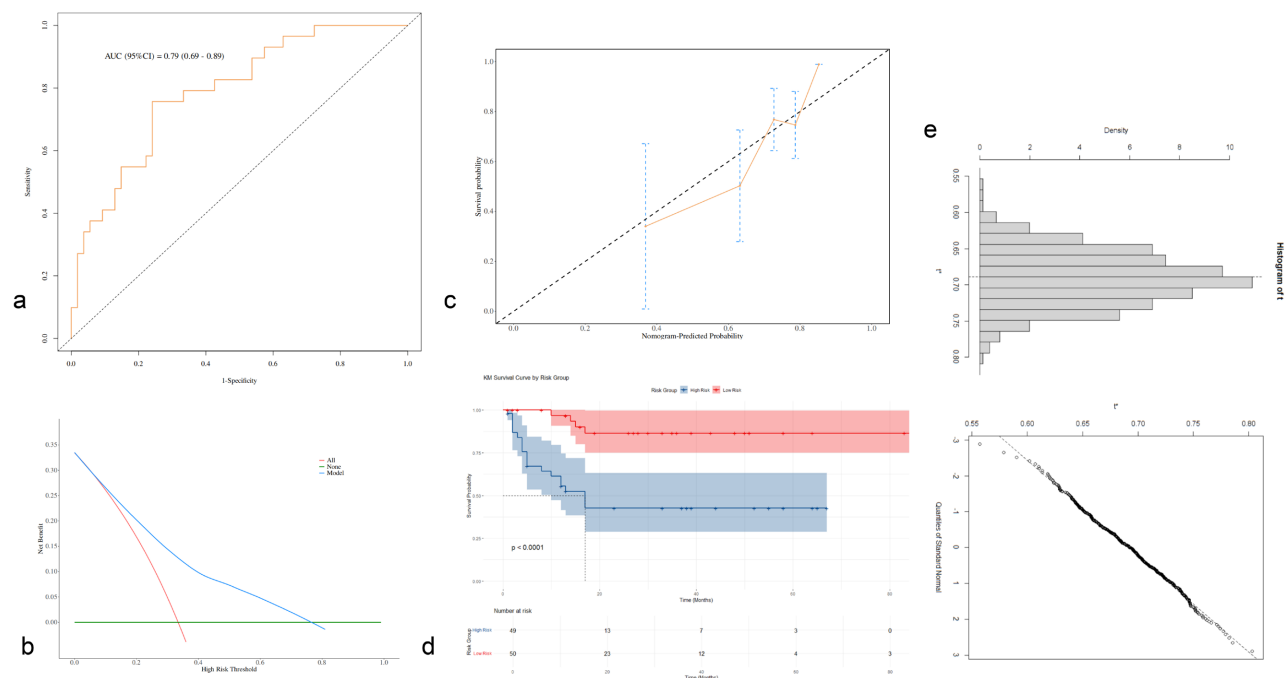
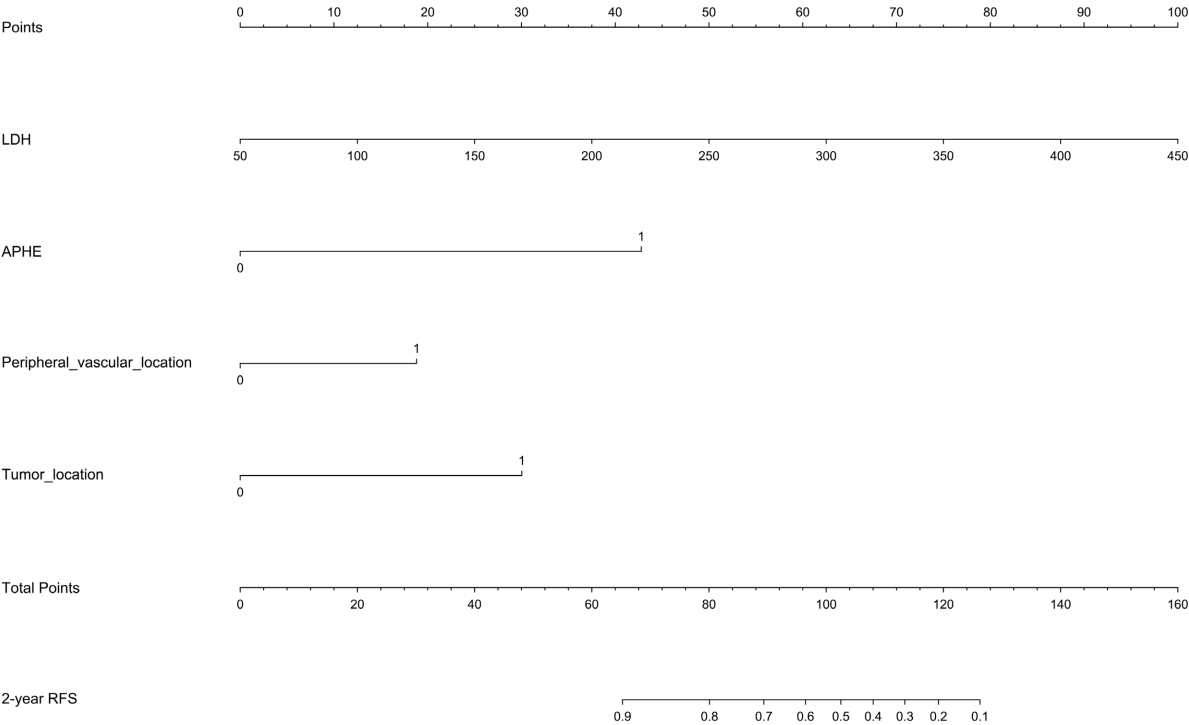


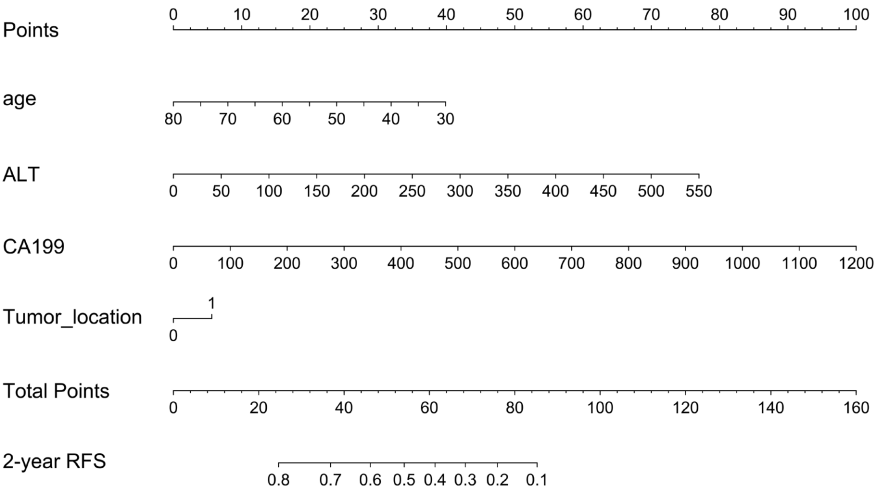
Figure 2. Evaluation of the model in the SR group: (a) ROC curve; (b) Decision curve; (c) Calibration curve; (d) Kaplan-Meier curve for risk stratification; (e) Bootstrap resampling distribution of C-index

图 2. SR 组模型的评估: (a) ROC 曲线; (b) 决策曲线; (c) 校准曲线; (d) 风险分层的 Kaplan-Meier 曲线; (e) C 指数 Bootstrap 重抽样分布



注：动脉期瘤周强化(APHE)：0 = 阴性，1 = 阳性；血管邻近程度：0 = 距主要血管 > 3 mm，1 = ≤ 3 mm；肿瘤边界距离：0 = 距肝包膜 ≤ 5 mm，1 = > 5 mm。

Figure 3. Model nomogram of the RFA group
图 3. RFA 组模型列线图



注：肿瘤边界距离：0 = 距肝包膜 ≤ 5 mm，1 = > 5 mm。

Figure 4. Model nomogram of the SR group
图 4. SR 组模型列线图

3.3. 模型变量权重及相互作用

RFA 及 SR 模型 Cox 模型标准化回归系数见表 3，表 4。两组模型亚组分析森林图均表明自变量之间无交互作用(见图 5，图 6)。

Table 3. Standardized regression coefficients of Cox model in RFA group
表 3. RFA 组模型 Cox 模型标准化回归系数

变量	原始系数	标准化系数	相对重要性(%)
动脉期瘤周强化(0 = 阴性, 1 = 阳性)	2.163	0.918	33.3
肿瘤边界距离(0 = ≤5 mm, 1 = >5 mm)	1.519	0.752	27.3
LDH 水平(U/L)	0.013	0.612	22.2
血管邻近程度(0 = 距主要血管 > 3 mm, 1 = ≤3 mm)	0.951	0.476	17.3

注：标准化系数计算公式为 $\beta \times SD_x$ (Cox 模型专用方法)。

Table 4. Standardized regression coefficients of Cox model in SR group
表 4. SR 组模型 Cox 模型标准化回归系数

变量	原始系数	标准化系数	相对重要性(%)
CA199 水平(U/mL)	0.003	0.398	34.3
ALT 水平(U/L)	0.005	0.339	29.2
年龄(岁)	-0.031	-0.333	28.6
肿瘤边界距离(0 = ≤5 mm, 1 = >5 mm)	0.217	0.091	7.9

注：标准化系数计算公式为 $\beta \times SD_x$ (Cox 模型专用方法)。

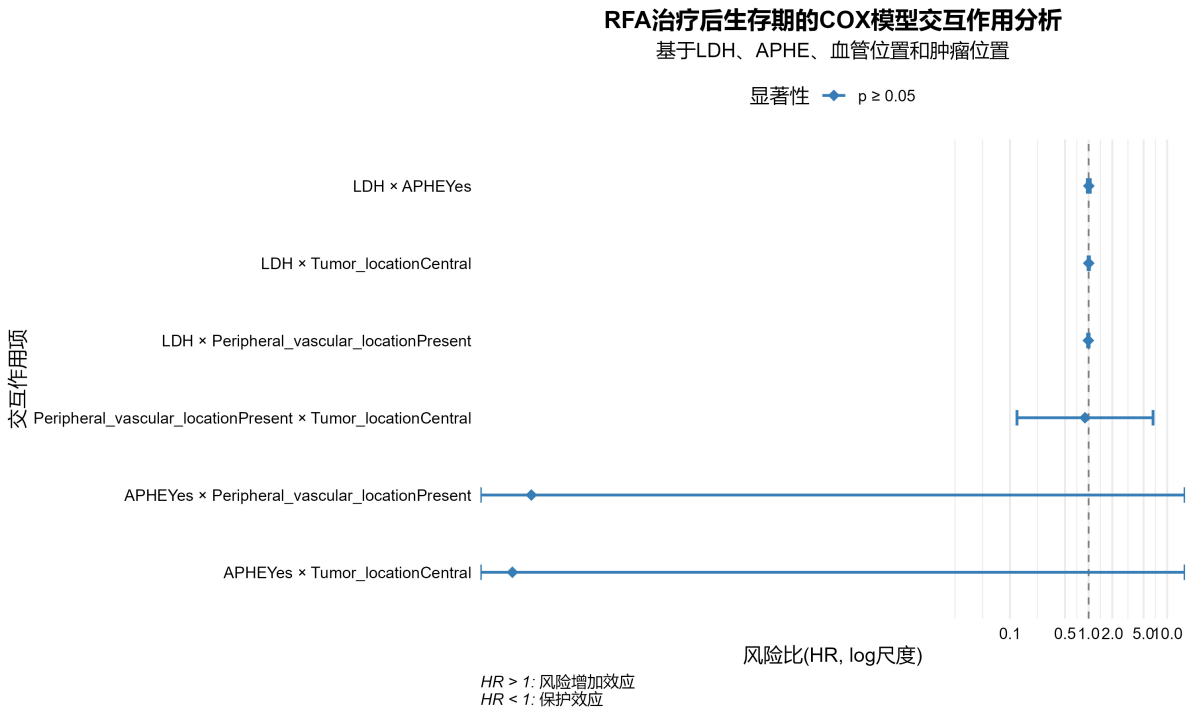


Figure 5. Forest plot of subgroup analysis for RFA group
图 5. RFA 组亚组分析森林图

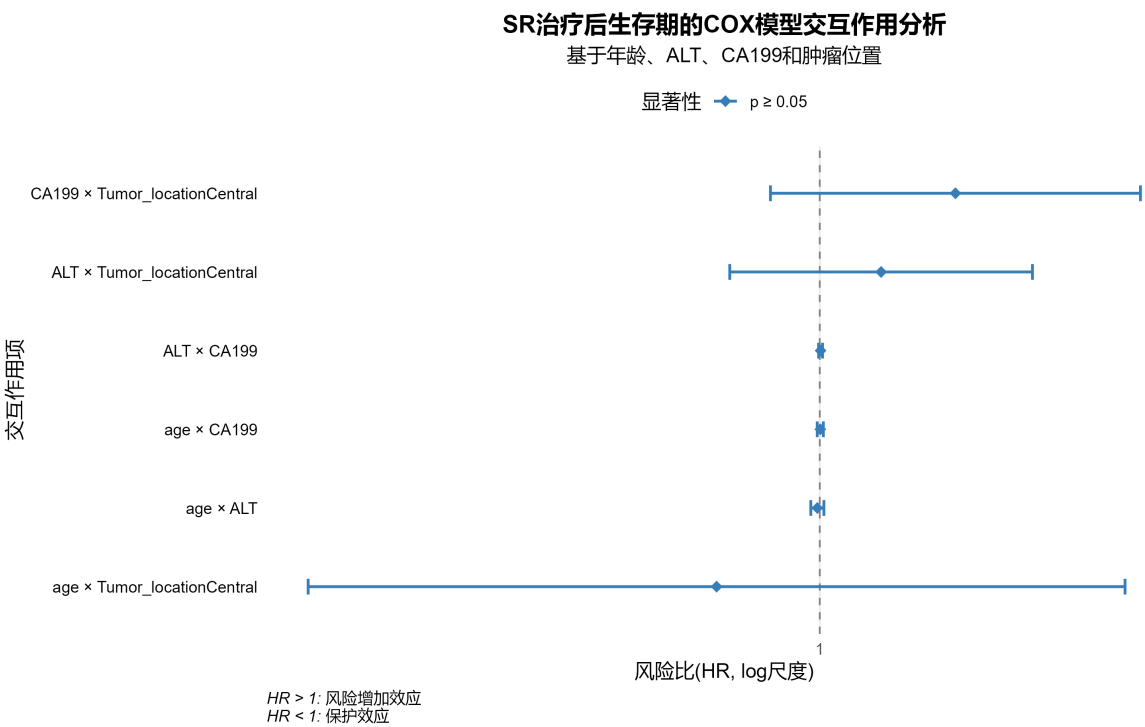


Figure 6. Forest plot of subgroup analysis for SR group
图 6. SR 组亚组分析森林图

3.4. 倾向评分匹配(PSM)

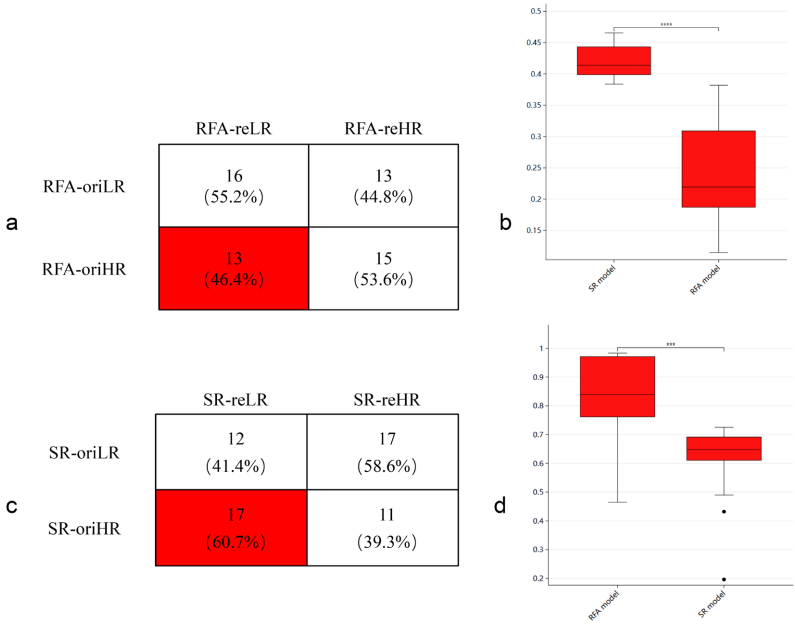
基于临床重要性和理论支持，匹配变量如下：人口学特征：年龄、性别。生活方式：酗酒史。既往疾病：肝硬化状态。肿瘤影像学征象：肿瘤位置、动脉期肿瘤周强化、周围血管位置。肝功能及肿瘤相关指标：ALT、LDH、CA199。病毒学状态：HBsAg 水平。匹配采用最近邻匹配法，以 1:1 的比例(无放回)进行。最终，RFA 组和 SR 组各纳入 57 名患者，组间在年龄、性别、关键指标及肿瘤影像学征象上无显著差异($P > 0.05$) (见表 5)。

Table 5. Baseline characteristics of the two groups of patients after propensity score matching
表 5. 倾向评分匹配后两组患者的基线特征

变量	RFA (n = 57)	SR (n = 57)	<i>P</i>	SMD
年龄	58 (49, 65)	55 (46, 65)	0.618	−0.076
性别			0.768	
男	51 (89.47)	50 (87.72)		−0.053
女	6 (10.53)	7 (12.28)		0.053
酗酒史			0.528	
无	40 (70.18)	43 (75.44)		0.122
有	17 (29.82)	14 (24.56)		−0.122

续表

肝硬化			0.255	
无	27 (47.37)	21 (36.84)		-0.218
有	30 (52.63)	36 (63.16)		0.218
ALT	28 (23, 38)	34 (27, 46)	0.061	0.115
LDH	176 (152, 195)	177 (159, 214)	0.423	0.181
CA199	9.50 (4.60, 17.20)	12.20 (7.80, 17.90)	0.125	-0.318
HBsAg	392.18 (280.52, 577.59)	409.63 (114.65, 561.55)	0.429	-0.158
动脉期瘤周强化			0.687	
阴性	19 (33.33)	17 (29.82)		-0.077
阳性	38 (66.67)	40 (70.18)		0.077
血管邻近程度			0.851	
≥3 mm	32 (56.14)	31 (54.39)		-0.035
<3 mm	25 (43.86)	26 (45.61)		0.035
肿瘤边界距离			0.427	
≤5 mm	36 (63.16)	40 (70.18)		0.153
>5 mm	21 (36.84)	17 (29.82)		-0.153



*** $P < 0.001$, **** $P < 0.0001$ 。

Figure 7. Comparison of the original stratification and re-stratification of the two groups of patients after PSM using the two sets of models respectively
图 7. 两组模型分别应用于 PSM 后两组患者的原分层与再分层对比

3.5. 交叉验证

通过“治疗互换式交叉验证”，原 RFA 高风险组中有 46.4% 的患者(图 7(a)，红色类别)在 SR 模型中被重新判定为低风险，原 SR 高风险组中有 60.7% 的患者(图 7(c)，红色类别)在 RFA 模型中被重新判定为低风险。在以上两个亚组中，RFA 预测模型与 SR 预测模型计算得出的 2 年 RFS 概率预测值差异存在统计学意义($P < 0.001$)。

4. 讨论

本研究成功构建了基于 LI-RADS 分类系统 CT 征象联合临床特征的预测 BCLC 分期 0-A 期 0-A 期乙型肝炎相关肝细胞癌 RFA 和 SR 预后模型，该模型不仅能够有效对肿瘤复发风险进行分层，而且可通过“治疗互换式交叉验证”为制定治疗策略治疗提供量化参考依据。本研究表明 46.4% 的 RFA 高风险患者和 60.7% 的 SR 高风险患者可能从交互治疗方案中获益。

两组预后模型中，各自变量间均未显示显著交互作用，这源于变量分属独立的作用维度。在 RFA 模型中：动脉期瘤周强化(Arterial Peritumoral Enhancement, APHE)反映肿瘤生物学[微血管侵犯(Microvascular invasion, MVI)风险]，导致消融边缘残留[6]。血管邻近(≤ 3 mm)：体现解剖位置约束(“热沉效应”)，影响消融彻底性[7]。肿瘤近包膜(≤ 5 mm)：属解剖位置限制，增加操作风险。LDH 升高：代表肿瘤生物学(糖酵解活性增强)[8]。在 SR 模型中：高龄属保护性因素，与肿瘤侵袭性或耐受性相关。ALT 升高反映宿主因素(肝损伤)，影响术后恢复。CA199 升高代表肿瘤生物学(转移潜能)。预测变量分别从肿瘤内在生物学、解剖位置约束/优势、宿主因素这三个相对独立维度贡献于复发风险，其作用机制互不重叠。变量独立性简化了模型应用，并明晰了干预靶点，有助于指导 BCLC 0-A 期 HBV-HCC 患者的个体化治疗决策。

BCLC 分期 0-A 期乙型肝炎相关肝细胞癌符合 LDH 值正常且无动脉期瘤周强化、周围血管距离 ≥ 3 mm 或肿瘤距肝包膜 > 5 mm、ALT 升高患者更推荐 RFA 作为首选治疗手段。主要依据有：(1) 肿瘤生物学及影像学标志物：LDH 值正常($HR = 1.35, P = 0.023$)、APHE 阴性($HR = 9.18, P = 0.031$)，提示代谢活性低且微血管侵犯风险小。RFA 对存在瘤周强化(提示 MVI/卫星灶)的 HCC 效果受限，因其难以精准覆盖并彻底灭活分布于主瘤外缘的不规则病灶——这些病灶影像定位不清、易超出安全边界(0.5~1 cm)、且在血管附近受“热沉效应”影响。LDH 是糖酵解关键酶，其水平升高反映肿瘤代谢活性增强，可能通过缺氧诱导和上皮-间质转化两个途径促进 MVI。而 APHE 是影像学上反映肿瘤周围微血管浸润或肿瘤细胞侵袭性生长的关键特征。APHE 阳性通常提示肿瘤边缘存在活跃的新生血管生成，MVI 发生率增加[6]。(2) 解剖位置安全：周围血管距离 ≥ 3 mm ($HR = 3.07, P = 0.025$)，肿瘤距肝包膜 > 5 mm ($HR = 4.07, P = 0.002$)，可规避热沉降效应与邻近器官损伤风险。热沉降效应是影响 RFA 治疗效果的关键物理因素。当肿瘤邻近血管时，流动的血液会持续带走消融区域的热量，导致局部温度难以达到有效灭活肿瘤细胞所需的阈值。靠近肝包膜、胆囊或胃肠道的肿瘤在 RFA 治疗中可能因热传导损伤邻近器官，导致穿孔、胆瘘或肠瘘等严重并发症，手术切除可通过直接视野规避此类风险，但亦需注意术中分离难度。(3) 肝功能代偿受限：ALT 升高患者，RFA 的微创性可减少术后肝功能失代偿(ALT 为 SR 组独立危险因素， $HR = 1.10, P < 0.001$)。ALT 是反映肝细胞损伤的重要血清学指标，其水平升高通常提示肝细胞炎症或坏死。在慢性乙型肝炎相关肝细胞癌患者中，ALT 升高直接反映肝细胞膜完整性破坏。故对 ALT 水平异常并符合上述条件的患者优先考虑消融治疗，因其在肝功能保护、微创性、术后监测等方面具有优势，尤其在 ≤ 3 cm 的病灶中疗效与手术切除相当但风险更低[9]。

BCLC 分期 0-A 期乙型肝炎相关肝细胞癌符合 APHE 阳性、CA199 值升高、高龄(> 75 岁)者推荐 SR 作为首选治疗方式。主要依据有：(1) APHE 阳性：APHE 阳性提示 MVI 发生风险高，而高代谢肿瘤更易

侵犯血管,形成“血管包绕”现象,进一步加剧热沉降效应[10]。根治性手术切除通过整体移除包含肿瘤和足够宽度(>1 cm)周围肝组织的标本,更有可能将主瘤及其周围潜在的 MVI 区域和卫星灶一并清除,显著降低因这些瘤周病灶残留导致的局部复发风险。(2) CA199 值升高($HR = 1.45, P < 0.001$)。CA199 是一种肿瘤标志物,其水平升高可能与 HCC 的侵袭性、血管侵犯或微转移风险相关[11],手术切除能更彻底地清除原发灶及潜在微转移灶,而 RFA 对局部病灶的物理灭活可能无法完全消除具有高转移潜能的肿瘤细胞。(3) 高龄(>75 岁):本研究结果显示,对于 SR 组患者来说,2 年 RFS 的概率与年龄呈正相关,年龄大可作为保护性因素。这与 Xu 等人针对年轻与老年 HCC 患者预后对比的研究结果一致[12]。但临床实际决策中仍需要综合评估,需权衡患者肝功能、肿瘤特征(大小、位置)及身体状况。

本研究的局限性:(1) 单中心回顾性设计可能导致选择偏倚;(2) 缺乏外部数据验证,模型的泛化能力需进一步评估;(3) 未考虑抗病毒治疗状态的影响,未来研究应将其纳入分析框架。

参考文献

- [1] Bray, F., Laversanne, M., Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L., Soerjomataram, I., *et al.* (2024) Global Cancer Statistics 2022: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **74**, 229-263. <https://doi.org/10.3322/caac.21834>
- [2] Tian, Z., Xu, C., Yang, P., Lin, Z., Wu, W., Zhang, W., *et al.* (2022) Molecular Pathogenesis: Connections between Viral Hepatitis-Induced and Non-Alcoholic Steatohepatitis-Induced Hepatocellular Carcinoma. *Frontiers in Immunology*, **13**, Article 984728. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.984728>
- [3] Chen, W., Lin, X., Wu, Z., Pan, W., Ke, Q. and Chen, Y. (2024) Laparoscopic Liver Resection Is Superior to Radiofrequency Ablation for Small Hepatocellular Carcinoma: A Systematic Review and Meta-Analysis of Propensity Score-Matched Studies. *Hepatology International*, **18**, 998-1010. <https://doi.org/10.1007/s12072-024-10645-x>
- [4] Liu, F., Liu, D., Wang, K., Xie, X., Su, L., Kuang, M., *et al.* (2020) Deep Learning Radiomics Based on Contrast-Enhanced Ultrasound Might Optimize Curative Treatments for Very-Early or Early-Stage Hepatocellular Carcinoma Patients. *Liver Cancer*, **9**, 397-413. <https://doi.org/10.1159/000505694>
- [5] Chernyak, V., Fowler, K.J., Kamaya, A., Kielar, A.Z., Elsayes, K.M., Bashir, M.R., *et al.* (2018) Liver Imaging Reporting and Data System (LI-RADS) Version 2018: Imaging of Hepatocellular Carcinoma in At-Risk Patients. *Radiology*, **289**, 816-830. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018181494>
- [6] Wang, J., Wu, D., Sun, M., Peng, Z., Lin, Y., Lin, H., *et al.* (2022) Deep Segmentation Feature-Based Radiomics Improves Recurrence Prediction of Hepatocellular Carcinoma. *BME Frontiers*, **2022**, Article ID: 9793716. <https://doi.org/10.34133/2022/9793716>
- [7] Sametova, A., Kurmashev, S., Ashikbayeva, Z., Blanc, W. and Tosi, D. (2022) Optical Fiber Distributed Sensing Network for Thermal Mapping in Radiofrequency Ablation Neighboring a Blood Vessel. *Biosensors*, **12**, Article 1150. <https://doi.org/10.3390/bios12121150>
- [8] Li, K., Zhang, R., Wen, F., Zhao, Y., Meng, F., Li, Q., *et al.* (2023) Single-Cell Dissection of the Multicellular Ecosystem and Molecular Features Underlying Microvascular Invasion in HCC. *Hepatology*, **79**, 1293-1309. <https://doi.org/10.1097/hep.0000000000000673>
- [9] Fu, Y., Yang, Z., Liu, S., Guan, R., Wang, X., Chen, J., *et al.* (2024) Comparison of Resection, Ablation, and Stereotactic Body Radiation Therapy in Treating Solitary Hepatocellular Carcinoma ≤ 5 cm: A Retrospective, Multicenter, Cohort Study. *International Journal of Surgery*, **111**, 1535-1540. <https://doi.org/10.1097/js9.0000000000001977>
- [10] Wang, D., Nie, T., Fang, Y., Zhang, L., Yu, C., Yang, M., *et al.* (2025) Tailored Liposomal Nanomedicine Suppresses Incomplete Radiofrequency Ablation-Induced Tumor Relapse by Reprogramming Antitumor Immunity. *Advanced Healthcare Materials*, **14**, e2403979. <https://doi.org/10.1002/adhm.202403979>
- [11] Lewis, S., Dawson, L., Barry, A., Stanescu, T., Mohamad, I. and Hosni, A. (2022) Stereotactic Body Radiation Therapy for Hepatocellular Carcinoma: From Infancy to Ongoing Maturity. *JHEP Reports*, **4**, Article ID: 100498. <https://doi.org/10.1016/j.jhepr.2022.100498>
- [12] Xu, X., Chen, W., Miao, R., Zhou, Y., Wang, Z., Zhang, L., *et al.* (2015) Survival Analysis of Hepatocellular Carcinoma: A Comparison between Young Patients and Aged Patients. *Chinese Medical Journal*, **128**, 1793-1800. <https://doi.org/10.4103/0366-6999.159356>