·论　　著·
（肝癌的局部治疗进展专题）

射频消融术治疗不同部位肝细胞癌的疗效对比研究

韩云，李素新，李路豪，刘兆臣，尚梦洁，杨洋，王则栋，党晓卫
郑州大学第一附属医院肝胆外科，河南省卫生健康委员会普通外科（肝胆胰）疾病精准诊疗重点实验室，河南省肝胆胰疾病微创诊治工程研究中心，河南省布-加综合征诊疗中心，河南 郑州 450000

［摘要］ **目的**　评价射频消融术（radiofrequency ablation，RFA）治疗不同部位的初诊肝细胞癌（hepatocellular carcinoma，HCC）病人预后差异。**方法**　回顾性分析 2015 年 1 月至 2022 年 12 月郑州大学第一附属医院接受 RFA 治疗的 70 例靠近大血管 HCC 和 111 例远离大血管 HCC 病人临床资料，采用倾向评分匹配（propensity score matching，PSM）按 1∶1 比例进行匹配分组，共入组 62 对病人（靠近大血管 HCC 组 62 例，远离大血管 HCC 组 62 例），采用 Kaplan-Meier 法进行生存分析并进行 log-rank 检验，Cox 比例风险模型分析无复发生存（recurrence-free survival，RFS）影响因素。评价 PSM 后两组肝功能。**结果**　PSM 后，两组各 62 例病人，靠近大血管 HCC 组术后 1、2、3 年的 RFS 率分别为 82.2%、69.3%、56.4%，中位随访期为 42 个月。远离大血管 HCC 组术后 1、2、3 年的 RFS 率分别为 90.3%、85.4%、85.4%，中位随访期为 60 个月。远离大血管 HCC 组术后 RFS 率明显优于靠近大血管 HCC 组（$P<0.05$）。PSM 后多因素分析结果显示，肿瘤复发的独立危险因素为：肿瘤数量（HR=2.243，95%CI：1.578～3.187，$P<0.001$），肿瘤最大径（HR=1.793，95%CI：1.056～3.469，P=0.030），肿瘤位置（HR=2.458，95%CI：1.015～5.595，P=0.046），谷丙转氨酶（HR=1.014，95%CI：1.001～1.028，P=0.031）。术后靠近大血管 HCC 组病人的谷丙转氨酶、谷草转氨酶水平显著高于远离大血管 HCC 组，差异均有统计学意义（均 $P<0.05$）。**结论**　肿瘤位置、多灶性、肿瘤最大径、谷丙转氨酶是 HCC 病人 RFA 术后早期复发的高危因素，靠近大血管的 HCC 病人术后复发率较高。

［关键词］ 肝细胞癌；射频消融术；位置；疗效；倾向评分匹配
［中图分类号］R735.7　［文献标识码］A　**DOI**：10.3969/j.issn.1003-5591.2026.03.003

Comparison of the efficacy of radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma at different tumor locations

Han Yun, Li Suxin, Li Luhao, Liu Zhaochen, Shang Mengjie , Yang Yang, Wang Zedong, Dang Xiaowei
Department of Hepatopancreatobiliary Surgery, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University; Key Laboratory of Precision Diagnosis and Treatment in General Surgical (Hepatobiliary and Pancreatic) Diseases of Health Commission of Henan Province; Henan Province Engineering Research Center of Minimally Invasive Diagnosis and Treatment of Hepatobiliary and Pancreatic Diseases; Budd-Chiari Syndrome Diagnosis and Treatment Center of Henan Province, Henan Zhengzhou 450000, *China*
Corresponding author: Dang Xiaowei, Email: dangxw1001@zzu.edu.cn

［**Abstract**］ **Objective**　To evaluate prognostic differences after radiofrequency ablation (RFA) for newly diagnosed hepatocellular carcinoma (HCC) according to tumor location. **Methods**　A

基金项目：河南省重点研发专项（231111313500）
作者简介：韩云，硕士，主要从事肝胆胰及布加综合征方面的研究，Email：hany0510@163.com
通信作者：党晓卫，Email：dangxw1001@zzu.edu.cn

retrospective analysis was performed on the clinical data of 70 patients with tumors adjacent to major vessels and 111 patients with tumors distant from major vessels who underwent RFA at the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University from January 2015 to December 2022. After propensity score matching (PSM), 62 matched pairs of patients were included. Kaplan-Meier analysis and the log-rank test were used for survival analysis, and the Cox proportional hazards model was used to analyze factors influencing recurrence-free survival (RFS). Liver function was also assessed in the two groups after PSM. **Results** After PSM, each group included 62 patients. In the group with tumors adjacent to major vessels, the 1-, 2-, and 3-year RFS rates were 82.2%, 69.3%, and 56.4%, respectively, and the median follow-up period was 42 months. In the group with tumors distant from major vessels, the corresponding 1-, 2-, and 3-year RFS rates were 90.3%, 85.4%, and 85.4%, respectively, and the median follow-up period was 60 months. The postoperative RFS rate was significantly better in the group with tumors distant from major vessels than in the group with tumors adjacent to major vessels ($P<0.05$). Multivariate analysis after PSM showed that tumor number ($HR=2.243$, 95%CI: 1.578 - 3.187, $P<0.001$), maximum tumor diameter ($HR=1.793$, 95%CI: 1.056 - 3.469, $P=0.030$), tumor location ($HR=2.458$, 95%CI: 1.015 - 5.595, $P=0.046$), and alanine aminotransferase ($HR=1.014$, 95% CI: 1.001 - 1.028, $P=0.031$) were independent risk factors for tumor recurrence. Postoperatively, alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase levels were significantly higher in the group with tumors adjacent to major vessels than in the group with tumors distant from major vessels, and the differences were statistically significant (all $P<0.05$). **Conclusions** Tumor location, multifocality, maximum tumor diameter, and alanine aminotransferase are high-risk factors for early recurrence after RFA in patients with HCC, and patients with tumors adjacent to major vessels have a higher postoperative recurrence rate.

[**Key words**] Hepatocellular carcinoma; Radiofrequency ablation; Location; Efficacy; Propensity score matching

原发性肝癌是中国第四大常见恶性肿瘤和致死率第二的癌症致死原因[1]，其中肝细胞癌（hepatocellular carcinoma，HCC）占原发性肝癌比例在80%以上。有良好肝脏储备功能的早期HCC病人首选手术切除，但位于肝脏深部且靠近大血管的HCC，被认为是困难部位肿瘤，不适合腹腔镜手术切除[2]。超声引导下射频消融术（radiofrequency ablation，RFA）是HCC病人微创治疗中的主要手段，具有操作简便、术后恢复快、治疗效果明确且能够精准控制消融范围的优势[3-5]。该技术尤其适合年龄较大、合并严重基础病、重度肝硬化以及肿瘤位于肝脏深部的病人。对靠近大血管的肿瘤进行消融时，可能因为“热沉效应”，流动的血液通过热对流带走消融区域的热量，显著降低目标组织的温度，遗留活性肿瘤细胞[6]。肿瘤位于肝段间是消融残留的危险因素，主要是肝段间病灶邻近血管结构所致[7-8]。高危部位是否会影响肿瘤复发仍然存在争议，本研究将根据肿瘤位置进行分组（靠近大血管和远离大血管），深入探究其治疗效果和预后情况。

资料与方法

一、一般资料及分组

回顾性分析郑州大学第一附属医院2015年1月至2022年12月期间收治181例HCC病人的临床资料。提取病历中影像学资料，根据影像学资料判定肿瘤位置，根据肿瘤位置将病例分为远离大血管HCC组（111例）及靠近大血管HCC组（70例）。本研究判定标准（图1）：以门静脉主干与其一级分支和主要肝静脉为参照血管，若肿瘤到上述任何一条血管的最短径间距离≤1.0 cm，则判定为“靠近大血管”；若所有这些血管距离均>1.0 cm，则判定为“远离大血管”；多发病灶时，如其中任何一个病灶符合“靠近”标准，则该病人归入“靠近大血管”组[9]。测量基于术前增强CT或MRI的横断面及冠状面，取肿瘤边缘到血管壁内膜的最短距离（mm），由两名读片医师独立测量，取平均值；若差异>2 mm则由第三位医师复核并取中位值。

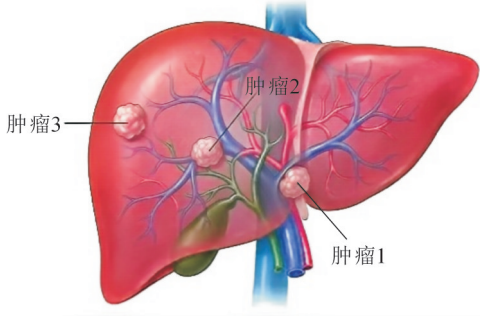


图1　根据肿瘤位置分为远离大血管肝细胞癌组及靠近大血管肝细胞癌组示意图

纳入标准：（1）年龄在18～75岁之间；（2）单个HCC最大径≤5 cm，或多个（2～3个）HCC，每个最

大径≤3 cm；(3)肝功能Child-Pugh A级或B级；(4)无胆管、门静脉或肝静脉以及分支、邻近器官侵犯；(5)无肝外转移；(6)在超声引导下行经皮经肝穿刺RFA且RFA为首次治疗的病人。排除标准：(1)凝血功能障碍；(2)临床资料缺失；(3)无法通过病理学或影像学确诊为HCC；(4)腹腔镜或开腹下消融、术中消融病例。本研究经郑州大学第一附属医院医学伦理委员会批准（审批号：2021-KY-1137-002）。

二、术前检查及治疗过程

纳入病人均进行了各项检查，包括血常规、肝功能、病毒性肝炎、肿瘤标志物检测及腹部增强扫描（CT/MRI）。术前详细评估肿瘤数量、位置及大小，据此标记穿刺点，选取合适的RFA针，在超声引导下完成经皮肿瘤组织活检，获取病理标本。随后将射频针穿入病灶，调整进针深度直达肿瘤基底。启动射频，调节针道位置以确保肿瘤组织完全烧灼。运用多点重叠式射频技术，在病灶周围形成0.5～1 cm的消融安全区域，通过超声造影确认肿瘤组织完全灭活后调至针道模式，烧灼针道。术后予保肝、抗感染等治疗，监测肝功能、血常规等指标。

三、随访及资料收集

采用门诊、住院复查及电话随访方式，了解术后复发情况。随访时间为初期3个月内每月1次，此后每季度随访1次，术后1年调整为每6个月随访1次，随访时间截至2024年12月或死亡。主要观察内容：无复发生存（recurrence-free survival，RFS）情况，肝功能及肿瘤标志物。无复发生存期的定义为从治疗结束开始至首次肿瘤复发或随访截止的时间间隔。RFS率是指病人在一定时间内未出现原发疾病复发或转移的概率。

收集病人一般资料：年龄、性别、肿瘤最大径、肿瘤数量、肿瘤位置等；实验室检测指标：乙型肝炎病史、甲胎蛋白、谷丙转氨酶、谷草转氨酶、白蛋白、总胆红素、血小板计数、国际标准化比值等。

四、统计学方法

采用SPSS 23.0统计学软件进行数据处理。符合正态分布计量资料采用$\bar{x}\pm s$表示，组间比较采用独立样本t检验。对于偏态分布的计量资料，以$M(Q_1, Q_3)$表示，组间比较采用Mann-Whitney U检验。计数资料采用例（%）描述，组间比较采用χ^2检验。使用Kaplan-Meier法和log-rank检验绘制生存曲线并进行组间比较。采用单因素及多因素Cox回归分析预后因素。倾向评分匹配（propensity score matching，PSM）按1∶1比例匹配，卡钳值为0.2，匹配变量包括性别、肿瘤最大径、肿瘤数量。以$P<0.05$为差异具有统计学意义。

结　果

一、PSM前、后两组病人基线资料比较

PSM前，两组间性别、年龄、乙型肝炎病史、甲胎蛋白、谷丙转氨酶、白蛋白、总胆红素、血小板计数差异均无统计学意义（均$P>0.05$），谷草转氨酶、肿瘤最大径比较，差异均有统计学意义（均$P<0.05$），见表1。PSM后，远离大血管HCC组62例，靠近大血管HCC组62例，两组基线特征平衡（$P>0.05$），见表2。

二、PSM前、后两组病人RFS率比较

PSM前，远离大血管HCC组1、2、3年的RFS率分别为97.3%、78.9%、67.3%，中位随访期达38个月；靠近大血管HCC组1、2、3年的RFS率分别为78.5%、58.9%、44.4%，中位随访期为27个月，两组差异有统计学意义（$P<0.01$，图2）。PSM后，远离大血管HCC组1、2、3年RFS率分别为90.3%、85.4%、85.4%，中位随访期为60个月；靠近大血管HCC组1、2、3年的RFS率分别为82.2%、69.3%、56.4%，中位随访期为42个月，远离大血管HCC组RFS率明显高于靠近大血管HCC组（$P<0.01$，图3）。

三、两组病人单因素和多因素Cox分析

单因素分析结果显示：肿瘤数量（$P=0.001$）、肿瘤位置（$P=0.015$）、谷丙转氨酶（$P=0.002$）、总胆红素（$P=0.050$）、肿瘤最大径（$P=0.034$）均是影响无复发生存期的相关因素，见表3。进一步行多因素分析结果显示，无复发生存期的独立危险因素为：肿瘤数量（$HR=2.243$，95%CI：1.578～3.187，$P<0.001$），肿瘤最大径（$HR=1.793$，95%CI：1.056～3.469，$P=0.030$），肿瘤位置（$HR=2.458$，95%CI：1.015～5.595，$P=0.046$），谷丙转氨酶（$HR=1.014$，95%CI：1.001～1.028，$P=0.031$），见表4。

四、根据肿瘤最大径亚组比较RFS率

PSM后以肿瘤最大径≤3 cm为界，将靠近大血管HCC组和远离大血管HCC组分为两个亚组，比较两组的RFS率。在靠近大血管HCC组中，肿瘤最大径≤3 cm病人的1、2、3年RFS率分别为80.7%、73.0%、73.0%，远离大血管HCC组中，肿瘤最大径≤3 cm病人的1、2、3年RFS率分别为95.4%、95.4%、95.4%，差异有统计学意义（$P<$

表 1　倾向评分匹配前远离大血管与靠近大血管的肝细胞癌（HCC）病人临床资料比较

变量	远离大血管HCC组（111例）	靠近大血管HCC组（70例）	$\chi^2/Z/t$值	P值
性别[例（%）]			1.4	0.351
男	90（81.8）	52（74.3）		
女	20（18.2）	18（25.7）		
年龄[$M(Q_1,Q_3)$，岁]	57.0（51.0，64.0）	57.0（52.0，67.0）	－0.9	0.352
乙型肝炎[例（%）]	95（85.6）	55（78.6）	1.4	0.231
甲胎蛋白（$\bar{x}\pm s$，μg/L）	46.7±81.6	62.6±102.9	－1.1	0.251
谷丙转氨酶（$\bar{x}\pm s$，U/L）	42.2±26.8	50.0±73.6	－1.0	0.308
谷草转氨酶（$\bar{x}\pm s$，U/L）	31.4±13.9	39.8±24.1	－2.6	0.011
白蛋白[$M(Q_1,Q_3)$，g/L]	39.4（35.6，43.6）	39.5（33.1，42.7）	－0.7	0.459
总胆红素（$\bar{x}\pm s$，μmol/L）	16.1±9.8	16.3±9.7	0.6	0.518
血小板计数（$\bar{x}\pm s$，$\times10^9$/L）	123.2±71.9	114.3±61.0	－0.8	0.373
国际标准化比值（$\bar{x}\pm s$）	1.3±1.5	1.1±0.87	－1.0	0.190
肿瘤最大径[$M(Q_1,Q_3)$，cm]	2.3（2.0，2.3）	2.7（2.2，3.7）	－3.0	0.002
肿瘤数量[例（%）]			1.1	0.552
1个	61（55.0）	44（62.9）		
2个	23（20.7）	11（15.7）		
3个	27（24.3）	15（21.4）		
异常凝血酶原（$\bar{x}\pm s$，mAU/mL）	155.8±169.5	217.4±285.6	－1.8	0.052

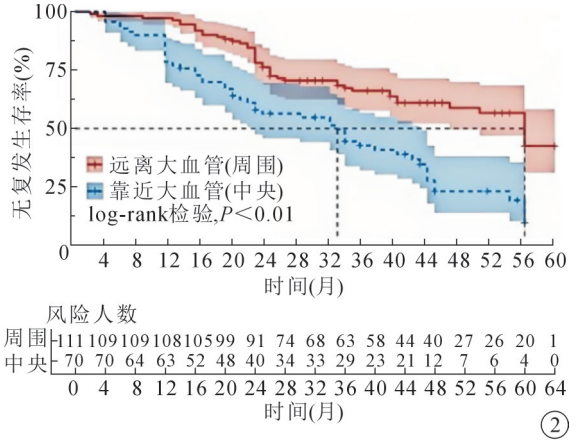
表 2　倾向评分匹配后远离大血管与靠近大血管的肝细胞癌（HCC）病人临床资料比较

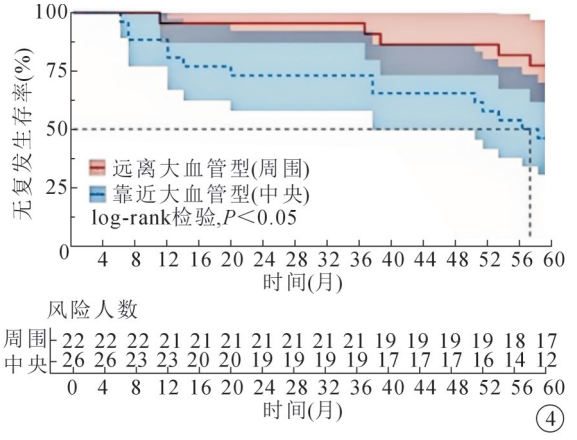
变量	远离大血管HCC组（62例）	靠近大血管HCC组（62例）	$\chi^2/Z/t$值	P值
性别[例（%）]			0	＞0.999
男	46（74.2）	46（74.2）		
女	16（25.8）	16（25.8）		
年龄[（$M(Q_1,Q_3)$，岁]	58.0（50.7，66.0）	56.0（52.0，66.0）	0.1	0.863
乙型肝炎[例（%）]	48（77.4）	50（80.6）	0.1	0.826
甲胎蛋白（$\bar{x}\pm s$，μg/L）	72.2±157.2	61.7±105.6	0.5	0.472
谷丙转氨酶（$\bar{x}\pm s$，U/L）	44.4±25.9	48.2±77.3	1.1	0.719
谷草转氨酶（$\bar{x}\pm s$，U/L）	50.9±20.1	49.5±27.2	0.2	0.491
白蛋白[$M(Q_1,Q_3)$，g/L]	38.9（35.1，44.2）	39.6（32.7，42.7）	－1.1	0.263
总胆红素（$\bar{x}\pm s$，μmol/L）	23.1±50.8	15.9±9.3	1.9	0.274
血小板计数（$\bar{x}\pm s$，$\times10^9$/L）	125.1±73.4	113.5±60.3	－0.9	0.336
国际标准化比值（$\bar{x}\pm s$）	1.3±1.2	1.3±1.1	－0.0	0.963
肿瘤最大径[$M(Q_1,Q_3)$，cm]	2.3（2.1，3.2）	2.7（2.1，3.3）	0.3	0.749
肿瘤数量[例（%）]			1.3	0.522
1个	31（50.0）	29（40.3）		
2个	17（27.4）	25（34.7）		
3个	14（22.6）	18（25.0）		
异常凝血酶原（$\bar{x}\pm s$，mAU/mL）	194.6±205.0	230.4±300.7	－0.7	0.177

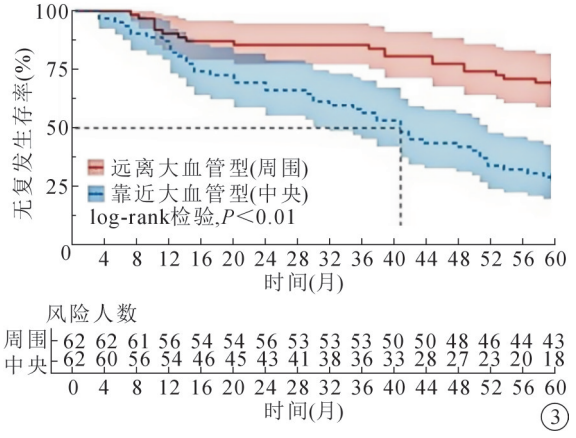
0.05，图4）。在靠近大血管HCC组中，肿瘤最大径＞3 cm病人的1、2、3年RFS率为分别83.3%、66.7%、44.4%，在远离大血管HCC组中，肿瘤最大径＞3 cm病人的1、2、3年RFS率为分别87.5%、80.0%、80.0%，差异有统计学意义（P＜0.01，图5）。

五、根据肿瘤数量比较RFS率

我们基于肿瘤数量（1个、2个、3个）对病人进行分层。PSM前，单灶肿瘤组的1、2、3年的RFS率分别为90.5%、78.1%、68.1%；肿瘤数量为2个组1、2、3年的RFS率分别为82.4%、61.7%、42.9%；肿瘤数量为3个组1、2、3年的RFS率分别为95.2%、66.7%、47.2%，差异有统计学意义（P＜0.05，图6）。PSM后，单灶肿瘤组的1、2、3年的RFS率分别为95.0%、93.3%、91.6%；肿瘤数量为2个组1、2、3年的RFS率分别为81.1%、62.1%、45.9%；肿瘤数量为3个组1、2、3年的RFS率分别为74.0%、62.9%、59.2%，可见，随着肿瘤数量增加，各时间点的RFS率呈进行性降低，差异有统计学意义（P＜0.05，图7）。







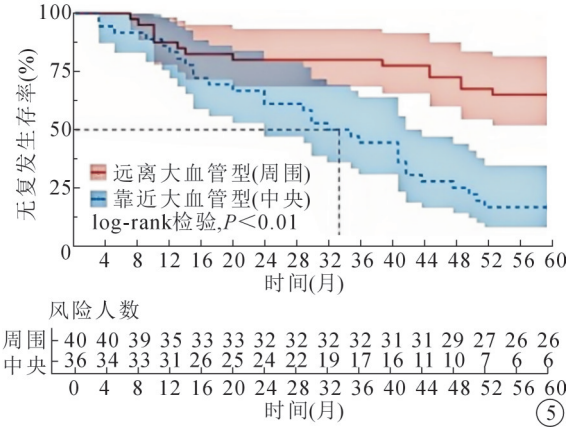


图2　倾向评分匹配（PSM）前远离大血管与靠近大血管的肝细胞癌病人无复发生存（RFS）率比较　**图3**　PSM后远离大血管与靠近大血管的肝细胞癌病人RFS率比较

图4　肿瘤最大径≤3 cm远离大血管与靠近大血管的肝细胞癌病人无复发生存（RFS）率比较　**图5**　肿瘤最大径＞3 cm远离大血管与靠近大血管的肝细胞癌病人RFS率比较

六、两组术后肝功能及肿瘤标志物比较

靠近大血管HCC组病人的谷丙转氨酶、谷草转氨酶水平显著高于远离大血管HCC组，组间差异均有统计学意义（均$P<0.05$），两组间总胆红素及甲胎蛋白差异无统计学意义（$P>0.05$），见表5。

讨　论

本研究通过PSM消除基线干扰后发现，肿瘤位置、肿瘤数量、肿瘤最大径、谷丙转氨酶均为影响HCC病人RFA后RFS率的独立危险因素。靠近大

表3　倾向评分匹配后肝细胞癌病人射频消融术后复发相关单因素Cox分析

变量	回归系数（β）	标准误	Wald χ^2值	风险比	95%置信区间	P值
性别	0.020	0.132	0.022	1.020	0.787～1.322	0.883
年龄	－0.017	0.010	2.708	0.983	0.963～1.003	0.100
乙型肝炎	0.076	0.289	0.069	1.079	0.612～1.901	0.793
谷丙转氨酶	0.004	0.001	9.285	1.004	1.001～1.007	0.002
谷草转氨酶	0.009	0.006	1.794	1.009	0.996～1.022	0.180
白蛋白	－0.011	0.015	0.549	0.989	0.960～1.019	0.459
总胆红素	0.005	0.003	3.626	1.005	1.000～1.010	0.050
血小板计数	－0.001	0.002	0.282	0.999	0.996～1.002	0.595
国际标准化比值	0.062	0.079	0.608	1.064	0.911～1.242	0.436
肿瘤数量	0.407	0.127	10.317	1.502	1.172～1.925	0.001
肿瘤最大径	0.584	0.275	4.494	1.793	1.045～3.075	0.034
肿瘤位置	0.565	0.233	5.880	1.759	1.114～2.776	0.015
甲胎蛋白	0.000	0.001	0.107	1.000	0.998～1.001	0.743

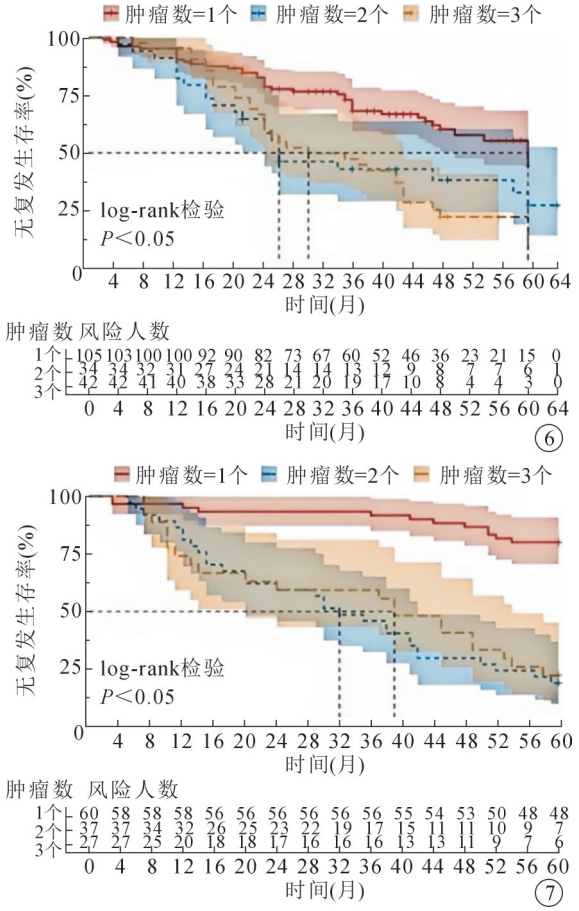


图 6　倾向评分匹配（PSM）前不同肿瘤数量的肝细胞癌病人无复发生存（RFS）率比较　**图 7**　PSM 后不同肿瘤数量的肝细胞癌病人 RFS 率比较

表 4　倾向评分匹配后肝细胞癌病人射频消融术后复发相关多因素 Cox 分析

变量	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	风险比	95% 置信区间	*P* 值
肿瘤数量	0.808	0.179	20.294	2.243	1.578～3.187	＜0.001
肿瘤最大径	0.649	0.304	4.572	1.793	1.056～3.469	0.030
肿瘤位置	0.900	0.452	3.969	2.458	1.015～5.595	0.046
总胆红素	0.024	0.024	0.999	1.024	0.977～1.074	0.317
谷丙转氨酶	0.014	0.007	4.679	1.014	1.001～1.028	0.031

表 5　两组肝细胞癌（HCC）病人射频消融术后肝功能及肿瘤标志物比较（$\bar{x}\pm s$）

指标	远离大血管 HCC 组（62 例）	靠近大血管 HCC 组（62 例）	*t* 值	*P* 值
谷丙转氨酶（U/L）	27.5±15.6	37.2±30.2	－2.228	0.028
谷草转氨酶（U/L）	30.1±12.3	41.0±26.1	－2.965	0.004
总胆红素（μmol/L）	19.1±13.6	16.6±15.4	0.597	0.551
甲胎蛋白（μg/L）	11.5±13.7	12.0±19.8	－0.166	0.868

血管肝细胞癌（距离门静脉主干或一级分支≤1 cm）及肿瘤多发病人术后复发风险显著升高。

一、肿瘤位置影响复发的生物学与解剖学机制

靠近大血管肿瘤是本研究中影响 HCC 病人预后的独立危险因素之一，本研究发现靠近大血管 HCC 相对于远离大血管 HCC 复发的概率较高，生存分析发现靠近大血管组与远离大血管组的 RFS 率差异有统计学意义（*P*＜0.01），肿瘤位置影响复发的生物学与解剖学的机制是靠近大血管肿瘤消融效果欠佳，主要受以下 3 个方面机制驱动。（1）热沉效应：靠近大血管的肿瘤受持续血流带走消融热量，导致目标区域难以维持致死性高温（＞60 ℃），易形成不完全消融带，从而增加肿瘤细胞存活的可能性[4,10]。（2）温度梯度失衡：血管周边的“氧梯度”效应使癌细胞表现出更强的增殖表型，而血管引流区域往往存在微小的“半岛样”残余病灶，这些细胞在非致死性传导热损伤下更易存活[11]。（3）缺血-再灌注损伤与肿瘤增殖的关联：RFA 在破坏肿瘤的同时，不可避免地对周边正常肝组织造成热损伤及微循环干扰[10,12]。这种正常组织的缺血-再灌注损伤会触发一系列炎症反应，导致白细胞介素-6、肿瘤坏死因子-α 等促炎因子释放。在靠近大血管区域，由于热沉效应导致的不完全消融本就易遗留残存癌细胞，而正常组织损伤激发的炎症微环境恰好为这些残余肿瘤细胞提供了“土壤”，促进其快速增殖与复发[13]。

二、肿瘤最大径与多灶性的叠加风险分析

本研究亚组分析显示，靠近大血管 HCC 复发风险最为突出，3 年 RFS 率显著低于远离大血管 HCC 组，可能是由于随着肿瘤体积增加，RFA 产生的热量分布更难覆盖全病灶，且大血管的存在进一步削弱了热量在巨大瘤体内的渗透力，导致靠近血管侧的消融边界不充分[13]。其次，微血管侵犯（microvascular invasion，MVI）的空间分布原因，多发或大直径 HCC 往往伴随更高的 MVI 发生率[8,14]，且 MVI 多集中于靠近血管的一侧。靠近大血管的位置特征与肿瘤的高侵袭性生物学行为（如 MVI）在空间上高度重合，门静脉压力波动可能进一步促进癌细胞沿血管壁浸润[15]，这解释了为何“位置”与“直径”（最大径）在预测复发中具有协同作用 。

三、肝功能动态变化对消融损伤的临床启示，组织学损伤的生化映射

靠近中央区的消融通常涉及门静脉周围区域，该区域血管与胆管密集。消融引起的大血管周围组织坏死及门静脉周围炎症，导致肝细胞大量受损并释放转氨酶进入血液，因此谷丙转氨酶、谷草转氨酶的显著升高反映了中央区消融对肝脏核心解剖结构造成的机械与热损伤更剧烈。炎症激活路

径：门静脉周围区域是肝星状细胞的富集区[16]。术后剧烈的组织损伤和转氨酶水平的波动，预示着局部强烈的炎症反应。这种慢性炎症状态会激活肝星状细胞向肌成纤维细胞转化，不仅影响肝功能的恢复，还可能通过重塑局部基质进一步干扰肝脏微环境的稳态[17]。因此，监测术后转氨酶水平对于评估靠近大血管HCC病人的损伤程度及预后具有重要价值。

综上所述，肿瘤位置、数量及最大径是HCC消融术后复发的核心预测指标[18]。靠近大血管肿瘤不仅面临热沉效应导致的物理消融不全，还受术后炎症微环境改变及MVI高发的影响，导致其RFS率预后较差。临床上，对该类高危病人应加强术后肝功能及肿瘤指标监测，并考虑构建结合影像组学特征的个体化预测模型，以优化术后随访策略。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

参　考　文　献

[1] Lu JJ, Yan S, Chen L, et al. Retrospective analysis of patients with hepatocellular carcinoma complicated with human immunodeficiency virus infection after hepatectomy[J]. World J Gastrointest Oncol, 2024, 16(9): 3851-3864. DOI: 10.4251/wjgo.v16.i9.3851.

[2] 张中林，袁玉峰. 困难部位肝肿瘤腹腔镜肝切除手术要点[J]. 临床肝胆病杂志，2020，36(12)：2663-2666. DOI：10.3969/j.issn.1001-5256.2020.12.006.

[3] Kudo M, Hasegawa K, Kawaguchi Y, et al. A multicenter randomized controlled trial to evaluate the efficacy of surgery versus radiofrequency ablation for small hepatocellular carcinoma (SURF trial): analysis of overall survival[J]. J Clin Oncol, 2021, 39(15_suppl): 4093. DOI: 10.1200/jco.2021.39.15_suppl.4093.

[4] Lee B, Han HS, Yoon YS, et al. Treatment strategies for solitary hepatocellular carcinoma: comparative outcomes of radiofrequency ablation *vs*. laparoscopic liver resection based on tumor location[J]. Surg Endosc, 2025, 39(4): 2175-2184. DOI: 10.1007/s00464-025-11566-y.

[5] 高文，陈敏华，严昆，等. 射频消融治疗非手术适应证小肝癌疗效分析[J]. 中国医学影像技术，2007，23(2)：254-257. DOI：10.13929/j.1003-3289.2007.02.027.

[6] Poch FGM, Rieder C, Ballhausen H, et al. The vascular cooling effect in hepatic multipolar radiofrequency ablation leads to incomplete ablation ex vivo[J]. Int J Hyperthermia, 2016, 32(7): 749-756. DOI: 10.1080/02656736.2016.1196395.

[7] 韩玥，植伟华，樊树鹏，等. 热消融治疗单发小肝癌术后残留危险因素分析[J]. 中华内科杂志，2022，61(5)：543-547. DOI：10.3760/cma.j.cn112138-20211004-00675.

[8] Wang WT, Wang YY, Song DJ, et al. A Transformer-Based microvascular invasion classifier enhances prognostic stratification in HCC following radiofrequency ablation[J]. Liver Int, 2024, 44(4): 894-906. DOI: 10.1111/liv.15846.

[9] Asano K, Kageyama K, Yamamoto A, et al. Transcatheter arterial chemoembolization for treatment-naive hepatocellular carcinoma has different treatment effects depending on central or peripheral tumor location[J]. Liver Cancer, 2023, 12(6): 576-589. DOI: 10.1159/000530441.

[10] Wu JH, Zhou ZY, Huang YW, et al. Radiofrequency ablation: mechanisms and clinical applications[J]. MedComm, 2024, 5(10): e746. DOI: 10.1002/mco2.746.

[11] Borzouei M, Mardaani M, Emadi-Baygi M, et al. Development of a coupled modeling for tumor growth, angiogenesis, oxygen delivery, and phenotypic heterogeneity[J]. Biomech Model Mechanobiol, 2023, 22(3): 1067-1081. DOI: 10.1007/s10237-023-01701-w.

[12] Rodenhizer D, Cojocari D, Wouters BG, et al. Development of TRACER: tissue roll for analysis of cellular environment and response[J]. Biofabrication, 2016, 8(4): 045008. DOI: 10.1088/1758-5090/8/4/045008.

[13] Yang ML, Liu D, Tan Y, et al. Polyoxometalate-based injectable coacervate inhibits HCC metastasis after incomplete radiofrequency ablation via scavenging ROS[J]. J Nanobiotechnology, 2025, 23(1): 47. DOI: 10.1186/s12951-024-02989-1.

[14] Yang Y, Chen Y, Zhang XY, et al. Predictors and patterns of recurrence after radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma within up-to-seven criteria: a multicenter retrospective study[J]. Eur J Radiol, 2021, 138: 109623. DOI: 10.1016/j.ejrad.2021.109623.

[15] Yamakado K, Nakatsuka A, Tanaka N, et al. Portal venous stent placement in patients with pancreatic and biliary neoplasms invading portal veins and causing portal hypertension: initial experience[J]. Radiology, 2001, 220(1): 150-156. DOI: 10.1148/radiology.220.1.r01jl03150.

[16] Friedman SL. Hepatic stellate cells: protean, multifunctional, and enigmatic cells of the liver[J]. Physiol Rev, 2008, 88(1): 125-172. DOI: 10.1152/physrev.00013.2007.

[17] Kisseleva T, Cong M, Paik Y, et al. Myofibroblasts revert to an inactive phenotype during regression of liver fibrosis[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2012, 109(24): 9448-9453. DOI: 10.1073/pnas.1201840109.

[18] 何坤，何泳铸，胡泽民，等. 肝癌射频消融术后复发危险因素分析及术前预测评分[J]. 中华肝胆外科杂志，2021，27(3)：169-174. DOI：10.3760/cma.j.cn113884-20200506-00246.

（收稿日期：2025-12-11）