

• 肿瘤专栏 •

术前 MRI 特征联合碱性磷酸酶与前白蛋白比值在肝细胞癌微血管侵犯预测中的价值探讨

魏晋¹, 王林¹, 唐聪², 姚尧^{3*}

(1.四川省遂宁市中医院放射科, 四川 遂宁 062900; 2.四川省遂宁市中心医院放射科, 四川 遂宁 062900; 3.四川省遂宁市第三人民医院放射科, 四川 遂宁 062900)

[摘要] 目的 探讨术前 MRI 特征联合碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)与前白蛋白(pro-albumin, PA)比值在肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC)微血管侵犯预测中的价值。方法 回顾性分析 2022 年 1 月—2023 年 10 月于四川省遂宁市中医院接受手术治疗的 HCC 患者 152 例的病历资料。以术后病理为金标准, 将受试者分为微血管侵犯组、非侵犯组。分析 HCC 微血管侵犯的影响因素, 评估术前磁共振(magnetic resonance imaging, MRI)特征、ALP/PA 比值预测 HCC 微血管侵犯效能。结果 152 例 HCC 患者术后经病理确诊微血管侵犯 54 例, 占比 35.53%。侵犯组和非侵犯组的 CNLC 分期 II 期占比分别为 63.27%、36.73%, 肿瘤包膜不完整占比分别为 77.78%、59.18%, T2WI 肿瘤信号不均匀占比分别为 74.07%、40.82%, 肝胆期瘤周低信号占比分别为 74.07%、48.98%, ALP/PA 分别为(0.72±0.16)、(0.54±0.13), 差异有统计学意义($P<0.05$)。CNLC 分期(OR=6.001, 95%CI: 2.753~13.082)、肿瘤包膜不完整(OR=4.080, 95%CI: 1.913~8.702)、T2WI 肿瘤信号不均匀(OR=4.660, 95%CI: 2.246~9.667)、肝胆期瘤周低信号(OR=4.375, 95%CI: 2.069~9.252)、ALP/PA(OR=3.904, 95%CI: 1.830~8.328)是 HCC 微血管侵犯的危险因素($P<0.05$)。肿瘤包膜不完整、T2WI 肿瘤信号不均匀、肝胆期瘤周低信号、ALP/PA 四者联合预测 HCC 微血管侵犯的曲线下面积为 0.842(95%CI: 0.761~0.922)。结论 术前 MRI 特征与 ALP/PA 比值联合预测 HCC 微血管侵犯的效能良好。

[关键词] 癌, 肝细胞; 微血管侵犯; 磁共振特征 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2025.06.006

[中图分类号] R730.261 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2025)06-0656-06

The value of preoperative MRI characteristics combined with the ratio of alkaline phosphatase (ALP) to prealbumin (PA) in predicting microvascular invasion in hepatocellular carcinoma

WEI Jin¹, WANG Lin¹, TANG Cong², YAO Yao^{3*}

(1. Department of Radiology, Suining Hospital of Traditional Chinese Medicine, Sichuan Province, Suining 062900, China; 2. Department of Radiology, Suining Central Hospital, Sichuan Province, Suining 062900, China; 3. Department of Radiology, the Third People's Hospital of Suining City, Sichuan Province, Suining 062900, China)

[Abstract] **Objective** To explore the value of preoperative MRI characteristics combined with the ratio of alkaline phosphatase (ALP) to prealbumin (PA) in predicting microvascular invasion in hepatocellular carcinoma. **Methods** A retrospective analysis was performed on medical records of 152 patients with hepatocellular carcinoma (HCC) who underwent surgical treatment at Suining Hospital of Traditional Chinese Medicine from January 2022 to October 2023. Using postoperative pathology as the gold standard, the subjects were divided into the

[收稿日期] 2024-05-07

[基金项目] 四川省科技计划项目(2021YFG0129)

[作者简介] 魏晋(1990-), 男, 四川兴文人, 四川省遂宁市中医

院主治医师, 医学学士, 从事腹部影像诊断研究。

* 通信作者。E-mail: xwweihe199007@163.com

microvascular invasion group and the non-invasion group. Factors influencing microvascular invasion in HCC were analyzed, and the predictive efficacy of preoperative magnetic resonance imaging (MRI) characteristics and the ratio of ALP to PA for microvascular invasion of HCC was evaluated. **Results** Among the 152 HCC patients, 54 patients were confirmed to have microvascular invasion postoperatively, accounting for 35.53%. The proportion of CNLC stage II in the invasion and non-invasion groups was 63.27% and 36.73%, respectively, the proportion of incomplete tumor capsule was 77.78% and 59.18%, respectively, and the proportion of heterogeneous tumor signal on T2WI was 74.07% and 40.82%, respectively; the proportion of peritumoral hypointensity in the hepatobiliary phase was 74.07% and 48.98%, respectively, and the ALP/PA scores were (0.72 ± 0.16) and (0.54 ± 0.13) , and the difference was significant ($P < 0.05$). CNLC staging (OR=6.001, 95%CI: 2.753–13.082), incomplete tumor capsule (OR=4.080, 95%CI: 1.913–8.702), heterogeneous tumor signal on T2WI (OR=4.660, 95%CI: 2.246–9.667), peritumoral hypointensity in the hepatobiliary phase (OR=4.375, 95%CI: 2.069–9.252), and ALP/PA ratio (OR=3.904, 95%CI: 1.830–8.328) were identified as risk factors for microvascular invasion in HCC ($P < 0.05$). The combined prediction of incomplete tumor capsule, heterogeneous tumor signal on T2WI, peritumoral hypointensity in the hepatobiliary phase, and ALP/PA ratio yielded an area under the curve of 0.842 (95%CI: 0.761–0.922) for predicting microvascular invasion in HCC. **Conclusion** Preoperative MRI characteristics combined with the ALP/PA ratio show good efficacy in predicting microvascular invasion in HCC.

[Key words] carcinoma, hepatocellular; microvascular invasion; magnetic resonance characteristics

肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC)是原发性肝癌的主要病理类型,占75%~85%,在全球肿瘤病因死亡中位列第三^[1-2]。根治性切除是目前有望达到HCC治愈性目标的治疗方法,但既往研究^[3-4]报道表明,HCC患者术后复发率高,不仅严重影响患者的长期生存状况,且加剧患者家庭的医疗经济负担,同样是导致多数HCC患者放弃治疗的直接原因。血管侵犯是HCC侵袭性生物行为的客观病理表现之一,已被证实是HCC预后的危险因素^[5]。大血管侵犯、微血管侵犯是HCC常见的两种血管侵犯类型,其中大血管侵犯可通过术前影像学筛查确诊,而微血管侵犯多于病理组织学检查时显示,在高倍显微镜下可见癌旁门静脉分支中的癌细胞团(癌巢)^[6]。近些年随着研究深入,部分学者报道^[7-8],肿瘤包膜、癌周增强、肿瘤边缘等磁共振(magnetic resonance imaging, MRI)影像学特征与微血管侵犯存在关联。而术前无创性确诊HCC微血管侵犯,有助于为HCC术后的精准化、个体化治疗提供指导。此外,研究^[9]表明,肝胆区炎症反应和营养状态可反映肝功能损伤状态和人体代谢状态。陈胜灯等^[10]研究报道,碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)与前白蛋白(pro-

albumin, PA)比值与HCC的预后密切相关。目前,鲜有研究报道术前MRI特征、ALP/PA比值与HCC微血管侵犯的关系,能否用于术前辅助性评估HCC微血管侵犯,进而完善手术及术后的治疗决策尚待验证。基于此,本研究旨在分析术前MRI特征、ALP/PA比值在HCC微血管侵犯中的预测价值,为完善HCC的手术治疗及指导术后治疗决策提供支持。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2022年1月—2023年10月于四川省遂宁市中医院接受手术治疗的HCC患者152例的病历资料。纳入标准:①符合HCC的临床诊断^[11];②中国抗癌协会分期系统I~II期;③Child-Pugh肝功能分级A级或B级;④符合HCC根治性手术指征,均行手术切除治疗,以术后病理检查结果为金标准,确诊是否存在微血管侵犯;⑤年龄>18岁;⑥影像学图像清晰,病历资料完整。排除标准:①合并其他癌症;②术前行新辅助化疗,或射频消融术;③复发性HCC;④术前显示大血管侵犯;⑤心脑血管危重症;⑥自身免疫性疾病;⑦长期酗酒。

本研究取得医院医学伦理委员会审批(批号20240107)。

1.2 研究方法 收集受试者术前的病历资料及影像学图像,以术后病理为金标准,将受试者分为微血管侵犯组(包括肝内和肝外的微血管侵犯简称“侵犯组”)、非微血管侵犯组(简称“非侵犯组”)。分析HCC微血管侵犯的影响因素,评估术前MRI特征、ALP/PA比值预测HCC微血管侵犯效能。

1.2.1 病历资料 收集患者的性别、年龄、体重指数(body mass index, BMI)、肝癌家族史、CNLC分期、肿瘤直径、肿瘤数量(单发/多发)、肿瘤包膜[完整/不完整(包括包膜不完整或者不存在)]^[12]、肿瘤边缘(光整/不规则)^[13]、T2WI肿瘤信号不均匀、动脉期瘤周强化、肝胆期瘤周低信号、ALP/PA、总胆红素、甲胎蛋白(alpha fetoprotein, AFP)、丙氨酸转氨酶、天冬氨酸转氨酶。

1.2.2 MRI检查及图像分析 ①检查方法。所有受试者均先行常规MRI扫描。后行增强MRI扫描,经肘静脉注射钆塞酸二钠对比剂0.1 mmol/kg,注射速度2.5 mL/s,注射完成后使用20 mL生理盐水冲管。采用德国SIEMENS AG 3.0T VIDA设备进行16通道相控阵线圈扫描。所有操作均由同一名临床经验丰富的影像科医师操作。扫描参数如下: T1WI正反相位;重复时间(repetition time, TR)3 751 ms、回波时间(echo time, TE)54 ms、视野(field of view, FOV)360 mm、层厚7 mm、矩阵124×102。脂肪抑制 T2WI: TR 2 000 ms、TE 70 ms、FOV 360 mm、层厚7 mm、矩阵212×190。弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI): b=600 s/mm², TR 77 ms、TE 1.10 ms、FOV 360 mm、层厚8 mm、矩阵236×199。动态增强扫描:动脉期(对比剂注射后20 s)、门静脉期(对比剂注射后60 s)、平衡期(对比剂注射后180 s)行肝脏增强T1各向同性容积激发扫描,参数:TR 3 ms、TE 1.4 ms、FOV 360 mm、层厚2.5 mm、矩阵250×220。②图像分析。肿瘤直径:可测得肿瘤病灶最大径;肿瘤数量:单发/多发;肿瘤包膜:在门静脉期或延迟期评估肿瘤包膜完整性,分为完整/不完整;肿瘤边缘:肝胆期评估肿瘤边缘是否光整,或呈不规则突起、分叶状等不规则状;T2WI肿瘤信号不均匀:肿瘤内部不同区域信号呈现出明显的高低混杂、斑点状或环状等特征;动脉期瘤周强化:动脉期瘤周肝实质出现异常强化区域,门静脉期、移行期呈等信号;肝胆期瘤周低信号:肝胆期瘤周呈不规则低信号。由2名临床经验丰富的影像科医师双盲判

定,存在歧义时协商统一。

1.2.3 实验室指标检测方法 术前1周内,采集患者的肘静脉血5 mL,加入离心机以3 800 r/min, R=13.5 cm离心分离12 min后取上清,采用全自动生化分析仪(瑞士Roche Diagnostics Cobas c501)检测ALP、总胆红素、丙氨酸转氨酶、天冬氨酸转氨酶水平,采用酶联免疫法检测PA水平,计算ALP/PA[=ALP(U/L)/PA(mg/L)]。

1.2.4 分组方法 以术后病理为金标准,将受试者分为微血管侵犯组(+),非侵犯组(-)。微血管侵犯定义:显微镜下可见内皮细胞的血管腔内存在癌细胞团。由2名临床经验丰富的病理科医师双盲判定,存在歧义时协商统一。

1.3 统计学方法 应用SPSS 24.0统计软件分析数据。计量资料比较采用 t 检验;计数资料比较采用 χ^2 检验;影响因素的分析采用多因素Logistic逐步回归模型;绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估预测价值。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 微血管侵犯结果分析 152例HCC患者术后经病理确诊微血管侵犯54例,占比35.53%。

2.2 2组一般资料比较 2组性别、年龄、BMI、肝癌家族史、肿瘤直径、肿瘤数量、肿瘤边缘、动脉期瘤周强化、总胆红素、丙氨酸转氨酶、天冬氨酸转氨酶比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。侵犯组CNLC分期Ⅱ期占比、肿瘤包膜不完整占比、T2WI肿瘤信号不均匀占比、肝胆期瘤周低信号占比、ALP/PA高于非侵犯组,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表1。

2.3 HCC微血管侵犯的影响因素分析 以HCC微血管侵犯阳性(+)为因变量(否=0,是=1),2组存在差异性指标肿瘤包膜不完整(否=0,是=1)、T2WI肿瘤信号不均匀(否=0,是=1)、肝胆期瘤周低信号(否=0,是=1)、ALP/PA(实测值)为自变量。经Logistic回归分析得出,CNLC分期(OR=6.001,95%CI:2.753~13.082)、肿瘤包膜不完整(OR=4.080,95%CI:1.913~8.702)、T2WI肿瘤信号不均匀(OR=4.660,95%CI:2.246~9.667)、肝胆期瘤周低信号(OR=4.375,95%CI:2.069~9.252)、ALP/PA(OR=3.904,95%CI:1.830~8.328)是HCC微血管侵犯的危险因素($P<0.05$)。见表2。

表 1 2组一般资料比较

Table 1 Comparison of baseline data between the two groups

组别	例数	性别(例数,%)		年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	BMI ($\bar{x} \pm s$)	肝癌家族史 (例数,%)	CNLC分期(例数,%)	
		男性	女性				I期	II期
侵犯组	54	40(74.07)	14(25.93)	56.41±7.91	22.69±1.03	4(7.41)	11(20.37)	62(63.27)
非侵犯组	98	72(73.47)	26(26.53)	55.37±8.25	22.72±0.95	11(11.22)	43(79.63)	36(36.73)
χ^2/t 值		0.007		0.755	0.181	0.570	25.664	
P 值		0.935		0.452	0.857	0.450	<0.001	

组别	例数	肿瘤直径 ($\bar{x} \pm s$, cm)	肿瘤数量(例数,%)		肿瘤包膜 不完整 (例数,%)	肿瘤边缘 不规则 (例数,%)	T2WI肿瘤信号 不均匀 (例数,%)	动脉期瘤 周强化 (例数,%)
			单发	多发				
侵犯组	54	3.36±0.41	6(11.11)	48(88.89)	42(77.78)	34(62.96)	40(74.07)	22(40.74)
非侵犯组	98	3.29±0.45	9(10.20)	89(89.80)	58(59.18)	68(69.39)	40(40.82)	29(29.59)
χ^2/t 值		0.947	0.145		5.348	0.651	15.446	1.941
P 值		0.345	0.703		0.021	0.420	<0.001	0.164

组别	例数	肝胆期瘤周低信号 (例数,%)	ALP/PA ($\bar{x} \pm s$)	总胆红素 ($\bar{x} \pm s$, $\mu\text{mol/L}$)	AFP ($\bar{x} \pm s$, $\mu\text{g/L}$)	丙氨酸转氨酶 ($\bar{x} \pm s$ U/L)	天冬氨酸转氨酶 ($\bar{x} \pm s$, U/L)
非侵犯组	98	48(48.98)	0.54±0.13	35.46±6.24	394.07±92.15	71.06±7.11	66.35±6.92
χ^2/t 值		8.994	7.515	1.698	1.858	1.476	0.798
P 值		0.003	<0.001	0.092	0.065	0.142	0.426

表 2 HCC 微血管侵犯的影响因素分析

Table 2 Analysis of influencing factors of HCC microvascular invasion

因素	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95% CI
CNLC分期	1.792	0.683	6.884	0.013	6.001	2.753~13.082
肿瘤包膜不完整	1.406	0.591	5.660	0.015	4.080	1.913~8.702
T2WI 肿瘤信号不均匀	1.539	0.653	5.556	0.015	4.660	2.246~9.668
肝胆期瘤周低信号	1.476	0.592	6.216	0.014	4.375	2.069~9.252
ALP/PA	1.362	0.627	4.719	0.016	3.904	1.830~8.328

2.4 术前 MRI 特征、ALP/PA 比值预测 HCC 微血管侵犯的效能分析 ROC 分析得出,肿瘤包膜不完整、T2WI 肿瘤信号不均匀、肝胆期瘤周低信号、

ALP/PA 四者联合预测 HCC 微血管侵犯的曲线下面积 (area under curve, AUC) 为 0.842 (95% CI: 0.761~0.922)。见表 3,图 1。

表 3 术前 MRI 特征、ALP/PA 比值预测 HCC 微血管侵犯的效能分析

Table 3 Efficacy analysis of preoperative MRI characteristics and ALP/PA ratio in predicting HCC microvascular invasion

指标	Cut-off	敏感度(%)	特异度(%)	AUC	95% CI
肿瘤包膜不完整	—	77.78	40.82	0.590	0.478~0.702
T2WI 肿瘤信号不均匀	—	74.07	59.18	0.670	0.563~0.778
肝胆期瘤周低信号	—	74.07	51.02	0.630	0.520~0.740
ALP/PA	0.64	66.31	72.09	0.732	0.520~0.740
四者联合	—	81.70	80.90	0.842	0.761~0.922

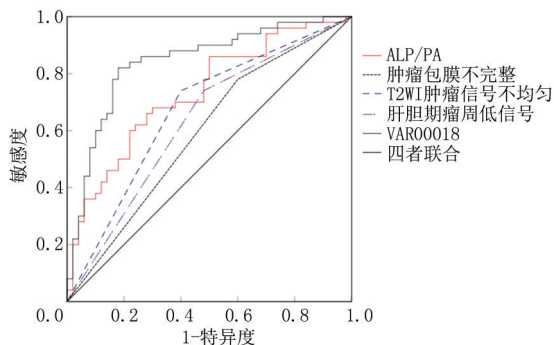


图 1 术前 MRI 特征、ALP/PA 比值预测 HCC 微血管侵犯的效能分析

Figure 1 Analysis of the efficacy of preoperative MRI

characteristics and ALP/PA ratio in predicting HCC microvascular invasion

3 讨论

根治性切除术是治疗早期肝功能良好的 HCC 患者的首选方案,可有效延长患者的预后生存期。微血管侵犯是 HCC 患者术后发生肝内转移或复发的独立危险因素^[14-15]。因此,准确预测 HCC 患者术后微血管侵犯的发生,更有助于完善术前新辅助治疗决策。目前,影像学特征、血清标志物及分子生物学指标是预测或诊断 HCC 微血管侵犯的常用方法,影像学检查中以 CT、MRI 最为常见,但常规

CT、MRI 识别微小病灶的分辨率有限,而增强 MRI 不仅可显著提高图象分辨率,且有助于获取病灶血流的动态变化图像,且 MRI 鉴别软组织的对比度高于 CT,可提高微血管侵犯的检出率^[16]。血清标志物可高敏性反映 HCC 患者的肝脏损伤状态,但多缺乏特异性,往往联合影像学指标以提高 HCC 病变的检出率。分子生物学在检出 HCC 微血管侵犯中的准确率高,但检测技术复杂且成本较高,临床实践应用价值有限。因此,术前影像学指标与血清学指标联合预测 HCC 微血管侵犯,成为近几年临床探索的关键。

本研究中,152 例 HCC 患者术后经病理确诊微血管侵犯占比 35.53%。张继云等^[17] 研究报道 HCC 微血管侵犯占比为 34.81%。俞超等^[18] 研究报道 HCC 微血管侵犯占比为 59.09%。吕雪等^[19] 研究报道 HCC 微血管侵犯占比为 44.00%。可见,微血管侵犯在 HCC 患者中的占比较高。李炳荣等^[20] 研究表明,微血管侵犯是 HCC 患者死亡的危险因素。Kim 等^[21] 研究表明,微血管侵犯 HCC 患者的复发风险更高。因此,后续临床实践中术前准确预测 HCC 患者微血管侵犯的发生,有助于完善 HCC 患者的术后治疗方案,改善患者预后。本研究中,侵犯组患者的 CNLC 分期 II 期、肿瘤包膜不完整占比、T2WI 肿瘤信号不均匀占比、肝胆期瘤周低信号占比、ALP/PA 水平更高,提示微血管侵犯 HCC 患者中病理进展程度更严重,肿瘤包膜不完整、T2WI 肿瘤信号不均匀、肝胆期瘤周低信号等 MRI 特征更明显,且 ALP/PA 水平更高。本研究因素分析验证,CNLC 分期、上述 MRI 特征及 ALP/PA 均是 HCC 患者微血管侵犯的危险因素。相较于 CNLC 分期 I 期 HCC 患者,CNLC 分期 II 期患者的肿瘤增殖、浸润、侵袭的风险更高,而微血管浸润是提供肿瘤增殖、迁移过程中营养和氧气供给的客观条件之一,因此 CNLC 分期 II 患者的 HCC 患者中微血管浸润风险更高。王飞等^[22] 研究表明,肿瘤包膜不完整与 HCC 微血管侵犯有关。本研究与上述结果一致。微血管侵犯作为 HCC 的一个重要特征,提示肿瘤侵袭性及恶性程度较高。完整的肿瘤包膜提示肿瘤细胞的生长受到限制,而不完整的肿瘤包膜则反映肿瘤细胞的生长能力更强,侵袭周围组织或其他器官转移的风险更高,微血管侵犯的发生风险同样提高。Liu 等^[23] 研究报道,伴有微血管侵犯的 HCC 患者的复发率和转移率更高,且 T2WI 肿瘤信号不均匀。本研究观察到的结果与之一致。T2WI 是一种常用的 MRI 序列,用于

评估肝癌病灶的信号强度和形态。在 HCC 患者中,T2WI 肿瘤信号的不均匀性提示肿瘤内部的异质性和血管结构的改变。研究^[24] 显示,当 T2WI 中肿瘤信号呈现出分布不均匀、高信号区和低信号区交替出现时,提示肿瘤内部血管结构的紊乱和不规则,增加微血管侵犯的风险。肝胆期瘤周低信号可反映肝脏内部的血管网格断裂、血流缓慢以及毛细血管生成等病理特点,是发生微血管侵犯的危险因素。ALP、PA 是反映肝胆功能的生化指标,ALP 在肝胆区域主要由肝细胞和胆管上皮细胞产生。在正常生理情况下,ALP 参与胆汁酸的合成和排泄,以及肝细胞的解毒过程,通过代谢和清除体内的有害物质,维持肝脏的正常功能。而当肝细胞发生病理性损伤后,ALP 则被大量释放入血。因此,ALP 水平升高反映了肝细胞损伤和胆道梗阻等情况^[25]。PA 是一种主要经肝脏合成后释放入血,维持人体营养代谢和免疫功能的蛋白质,是合成白蛋白的前体。血液中低水平的 PA 与肝脏合成功能的减弱有关^[26]。因此,ALP/PA 水平升高提示肝脏功能下降,与 HCC 患者的病理进展及微血管侵犯有关。本研究 ROC 分析证实,术前 MRI 特征与 ALP/PA 比值联合预测 HCC 微血管侵犯的效能良好,提示术前 MRI 特征联合 ALP/PA 比值可用于术前辅助性预测微血管侵犯的发生。

综上所述,术前 MRI 特征与 ALP/PA 比值联合预测 HCC 微血管侵犯的效能良好,可为完善 HCC 的手术治疗及指导术后治疗决策提供支持。

[参考文献]

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] Zhao X, Wang Y, Xia H, et al. Roles and molecular mechanisms of biomarkers in hepatocellular carcinoma with microvascular invasion: a review[J]. J Clin Transl Hepatol, 2023, 11(5): 1170-1183.
- [3] Wang Y, Zhu GQ, Yang R, et al. Deciphering intratumoral heterogeneity of hepatocellular carcinoma with microvascular invasion with radiogenomic analysis[J]. J Transl Med, 2023, 21(1): 734.
- [4] Liu D, Luo X, Xie M, et al. HNRNPC downregulation inhibits IL-6/STAT3-mediated HCC metastasis by decreasing HIF1A expression[J]. Cancer Sci, 2022, 113(10): 3347-3361.
- [5] Zhang K, Xie SS, Li WC, et al. Prediction of microvascular invasion in HCC by a scoring model combining Gd-EOB-DTPA MRI and biochemical indicators[J]. Eur Radiol, 2022, 32(6): 4186-4197.

- [6] Harding-Theobald E, Louissaint J, Maraj B, et al. Systematic review: radiomics for the diagnosis and prognosis of hepatocellular carcinoma[J]. *Aliment Pharmacol Ther*, 2021, 54(7):890-901.
- [7] Chong HH, Yang L, Sheng RF, et al. Multi-scale and multi-parametric radiomics of gadoxetate disodium-enhanced MRI predicts microvascular invasion and outcome in patients with solitary hepatocellular carcinoma ≤ 5 cm [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(7):4824-4838.
- [8] Zheng R, Zhang X, Liu B, et al. Comparison of non-radiomics imaging features and radiomics models based on contrast-enhanced ultrasound and Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI for predicting microvascular invasion in hepatocellular carcinoma within 5 cm [J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(9):6462-6472.
- [9] Mo A, Lin B, Chen D. Efficacy of sequential TACE on primary hepatocellular carcinoma with microvascular invasion after radical resection: a systematic review and meta-analysis [J]. *World J Surg Oncol*, 2023, 21(1):277.
- [10] 陈胜灯, 牟志强, 陈忠垚, 等. 碱性磷酸酶与前白蛋白比值对肝细胞癌根治性切除术后患者预后及并发症的预测价值[J]. *临床肝胆病杂志*, 2023, 39(1):118-127.
- [11] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 原发性肝癌诊疗指南(2022年版)[J/CD]. *肿瘤综合治疗电子杂志*, 2022, 8(2):16-53.
- [12] Choi JY, Lee JM, Sirlin CB. CT and MR imaging diagnosis and staging of hepatocellular carcinoma: part II. Extracellular agents, hepatobiliary agents, and ancillary imaging features [J]. *Radiology*, 2014, 273(1):30-50.
- [13] Ariizumi S, Kitagawa K, Kotera Y, et al. A non-smooth tumor margin in the hepatobiliary phase of gadoxetic acid disodium (Gd-EOB-DTPA)-enhanced magnetic resonance imaging predicts microscopic portal vein invasion, intrahepatic metastasis, and early recurrence after hepatectomy in patients with hepatocellular carcinoma [J]. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*, 2011, 18(4):575-585.
- [14] Sugawara Y, Hibi T. Surgical treatment of hepatocellular carcinoma [J]. *Biosci Trends*, 2021, 15(3):138-141.
- [15] Mao XC, Shi S, Yan LJ, et al. A model based on adipose and muscle-related indicators evaluated by CT images for predicting microvascular invasion in HCC patients [J]. *Biomark Res*, 2023, 11(1):87.
- [16] Zhang K, Zhang L, Li WC, et al. Radiomics nomogram for the prediction of microvascular invasion of HCC and patients' benefit from postoperative adjuvant TACE: a multi-center study [J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(12):8936-8947.
- [17] 张继云, 张涛. 基于钆塞酸二钠增强 MRI 预测肝细胞癌微血管侵犯及术后早期复发 [J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2023, 21(7):103-106.
- [18] 俞超, 胡晓欣, 张汐, 等. 基于 CT 影像组学及临床资料预测肝细胞癌微血管侵犯的研究 [J]. *复旦学报(医学版)*, 2023, 50(1):15-25.
- [19] 吕雪, 刘巧, 严敏, 等. 能谱 CT 容积定量参数术前预测肝细胞癌微血管侵犯 [J]. *中国医学影像技术*, 2023, 39(5):700-704.
- [20] 李炳荣, 邹建勋, 季巧英, 等. LI-RADS 类别与肝细胞癌肿瘤分化程度、Ki67 指数、微血管侵犯的相关性分析及其对患者预后的预测价值 [J]. *中华肝胆外科杂志*, 2021, 27(12):900-904.
- [21] Kim DY, Toan BN, Tan CK, et al. Utility of combining PIVKA-II and AFP in the surveillance and monitoring of hepatocellular carcinoma in the Asia-Pacific region [J]. *Clin Mol Hepatol*, 2023, 29(2):277-292.
- [22] 王飞, 罗凤莲, 程福, 等. 钆塞酸二钠增强 MRI 术前预测肝细胞癌微血管侵犯的 Meta 分析 [J]. *实用放射学杂志*, 2023, 39(2):237-241, 282.
- [23] Liu J, Cheng D, Liao Y, et al. Development of a magnetic resonance imaging-derived radiomics model to predict microvascular invasion in patients with hepatocellular carcinoma [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2023, 13(6):3948-3961.
- [24] Jhan SR, Wu YY, Chang PY, et al. Comparison of ability of lesion detection of two MRI sequences of T2WI HASTE and T2WI BLADE for hepatocellular carcinoma [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2023, 102(6):e32890.
- [25] Huang CW, Wu TH, Hsu HY, et al. Reappraisal of the role of alkaline phosphatase in hepatocellular carcinoma [J]. *J Pers Med*, 2022, 12(4):518.
- [26] Li JD, Diao YK, Li J, et al. Association between preoperative prealbumin level and postoperative mortality and morbidity after hepatic resection for hepatocellular carcinoma: a multicenter study from a HBV-endemic area [J]. *Am J Surg*, 2021, 221(5):1024-1032.

(本文编辑:何祯)