

R_2^* 联合自动量化肿瘤内磁敏感信号预测肝细胞癌经动脉化疗栓塞(TACE)术后早期疗效的价值

李军, 赵莹, 庄明睿, 王洪凯, 马长军, 杨悦, 黄雪平, 王祺钰, 宋清伟, 刘爱连

【摘要】 目的:探讨增强 T_2^* 加权血管成像(ESWAN)序列中 R_2^* 值联合自动量化肿瘤内磁敏感信号(ITSS)预测肝细胞癌(HCC)经动脉化疗栓塞(TACE)术后早期疗效的价值。**方法:**回顾性搜集于我院行首次 TACE 治疗的 80 例 HCC 患者的术前及术后 3 个月内的 MRI 数据(包括上腹部 MRI 增强及 ESWAN 序列),根据 TACE 术后早期疗效,分为治疗有效组($n=45$)与无效组($n=35$)。使用 Functool 软件将 ESWAN 序列图像生成相位图、 R_2^* 图。2 位观察者参照 T_2 WI 图像及增强 MRI 图像,在 R_2^* 图像上于肿瘤最大层面放置 3 个感兴趣区域(ROI)并记录平均值。使用 AnatomySketch 软件,在相位图上于肿瘤最上层、最下层及最大层面勾画肿瘤轮廓,自动获得 ITSS 比率。使用受试者操作特征(ROC)曲线评估预测效能。**结果:**治疗有效组的 R_2^* 值及 ITSS 比率[19.21(16.11, 23.45) Hz, 0.14(0.11, 0.20)] 低于无效组[24.30(21.02, 29.56) Hz, 0.23(0.17, 0.35)], 差异有统计学意义($P < 0.001$), 两者和联合预测 TACE 术后早期疗效的 AUC 分别为 0.773、0.766、0.839。联合模型预测效能优于 ITSS($P = 0.040$)。 **结论:** R_2^* 与自动定量 ITSS 均可有效预测 HCC 患者 TACE 术后早期疗效,自动定量 ITSS 测量快捷、准确,两者联合后预测效能有一定提高。

【关键词】 磁共振成像; 癌, 肝细胞; 放化疗, 辅助; 化学栓塞, 治疗性

【中图分类号】 R445.2; R730.5; R730.261; R45 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2026)02-0181-07

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2026.02.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Value of R_2^* combined with automated quantification of intratumoral susceptibility signals in predicting early therapeutic efficacy of TACE in hepatocellular carcinoma LI Jun, ZHAO Yin, ZHUANG Mingrui, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116011, China

【Abstract】 Objective: To investigate the value of R_2^* values of enhanced susceptibility-weighted angiography (ESWAN) sequences combined with automated quantification of intratumoral susceptibility signals (ITSS) in predicting early therapeutic efficacy of transcatheter arterial chemoembolization (TACE) for hepatocellular carcinoma (HCC). **Methods:** The preoperative and within three months postoperative MRI data (including upper abdominal enhanced MRI and ESWAN sequence) of 80 HCC patients who underwent their first TACE treatment in our hospital were collected. According to the early efficacy after TACE, the patients were divided into the effective group ($n=45$) and the ineffective group ($n=35$). The ESWAN sequence images were used to generate phase maps and R_2^* maps by Functool software. Two observers independently selected three regions of interest (ROIs) at the largest level of HCC on the R_2^* images, referring to T_2 WI and enhanced images, and recorded the mean values. By using AnatomySketch software, the tumor contours were delineated on the phase map at the uppermost, lowermost and largest levels, and the ITSS ratio was automatically obtained. Receiver operating characteristic (ROC) curve was used to evaluate the predictive efficiency. **Results:** The R_2^* values and ITSS ratios of the effective group [19.21 (16.11, 23.45) Hz, 0.14 (0.11, 0.20)] were lower than

作者单位: 116011 大连, 大连医科大学附属第一医院放射科(李军、赵莹、马长军、宋清伟、刘爱连); 116024 大连, 大连理工大学生物医学工程学院(庄明睿、王洪凯); 116024 大连, 大连理工大学医学部(马长军); 116044 大连, 大连医科大学医学影像学院(杨悦、黄雪平、王祺钰)

作者简介: 李军(1999—), 女, 辽宁铁岭人, 在读硕士, 主要从事腹部影像学工作。

通讯作者: 刘爱连, E-mail: cjr.liuailian@vip.163.com

基金项目: 辽宁省教育厅青年项目(LJ212410161091); 大连市青年科技之星项目支持计划(2022RQ074)

those of the ineffective group [24.30 (21.02, 29.56) Hz, 0.23 (0.17, 0.35)], with a statistically significant difference (all $P < 0.001$). The AUCs of R_2^* values, ITSS ratios and combined model for predicting the early efficacy after TACE were 0.773, 0.766 and 0.839, respectively. The combined model demonstrated better predictive efficiency than ITSS ($P = 0.040$). **Conclusion:** Both R_2^* and automated quantitative ITSS can effectively predict the early efficacy of TACE in HCC patients. Automated quantitative ITSS measurement is a quick and accurate method, and the combined model shows a certain improvement in predictive performance.

【Key word】 Magnetic resonance imaging; Carcinoma, hepatocellular; Chemoradiotherapy, adjuvant; Chemoembolization, therapeutic

原发性肝癌目前在我国的发病率及死亡率分别位于第四位和第二位,肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC)作为其主要类型,约占所有原发性肝癌的85%~90%^[1,2]。尽管巴塞罗那临床肝癌(Barcelona clinic liver cancer, BCLC)分期系统推荐经动脉化疗栓塞(transcatheter arterial chemoembolization, TACE)作为不可切除 HCC 的主要治疗方式^[3,4],但由于 HCC 具有高度异质性,并非所有接受 TACE 治疗的患者都有明确的治疗反应^[5]。术前准确预测 TACE 术后早期疗效,有助于临床针对治疗反应做出及早应答,从而获得最大治疗效益。 R_2^* 值即横向弛豫率,经增强 T_2^* 血管加权成像(enhanced T_2 star-weighted angiography, ESWAN)后处理得到,可反映组织中顺磁性物质含量^[6,7]。肿瘤内磁敏感信号(intratumoral susceptibility signal, ITSS)主要来源于肿瘤内的微血管及出血^[8],可以反映肿瘤内部出血和血红蛋白情况^[9]。 R_2^* 已用于 HCC 的鉴别诊断、病理分级及侵袭性评估等^[10-12],ITSS 也证明对肝癌病理分级有诊断价值^[13,14]。目前尚缺乏二者对疗效预测研究。自动化测量通过标准化算法和自动化流程,显著减少人为操作引起的误差,提高数据的客观性和可重复性,为研究结果的可靠性提供保障。本研究旨在探讨 R_2^* 联合自动化 ITSS 对 HCC 患者 TACE 术后早期疗效的预测效能。

材料与方 法

1. 研究对象

本研究遵守《赫尔辛基宣言》,并经本院伦理委员会批准,免除受试者知情同意,批准文号;PJ-KS-KY-2019-167。

回顾性搜集 2011 年 10 月至 2023 年 4 月于我院行上腹部 1.5 T MRI 检查且经临床诊断或病理证实为 HCC 的 218 例患者资料。患者纳入与排除流程见图 1。纳入标准:①确诊为 HCC 且在本院行首次 TACE 治疗;②术前 1 个月内行上腹部 MRI 增强及 ESWAN 序列扫

描;③临床资料完整。排除标准:①在 TACE 治疗前进行肝切除术、射频消融、靶向治疗等抗肿瘤治疗($n = 21$);②肿瘤直径 < 1 cm,或病灶难以测量($n = 25$);③发生肝外转移或门静脉主干完全被癌栓浸润($n = 7$);④图像质量差或伪影重($n = 3$);⑤ TACE 术后 3 个月内未在本院进行 MRI 增强扫描随访($n = 82$)。

记录患者一般临床资料,包括性别、年龄、肝炎病史、血清甲胎蛋白(alpha-fetoprotein, AFP)、丙氨酸氨基转移酶(alanine aminotransferase, ALT)、天门冬氨酸氨基转移酶(aspartate aminotransferase, AST)、 γ -谷氨酰基转移酶(γ -glutamyltranspeptidase, GGT)、碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)、总胆红素(total bilirubin, TBIL)、白蛋白(albumin, ABL)、血小板(blood platelet, PLT)、凝血酶原时间(prothrombin time, PT)、Child-Pugh 分级(包括 A 级或 B 级)、巴塞罗那临床肝癌(Barcelona clinic liver cancer, BCLC)分期。

本研究参照改良的实体瘤疗效评价标准(modified response evaluation criteria in solid tumors, mRECIST)^[15],根据 TACE 术后 3 个月内 MRI 增强扫描评估 TACE 术后 3 个月内的肿瘤治疗反应,包括:完全缓解(complete response, CR)、部分缓解(par-

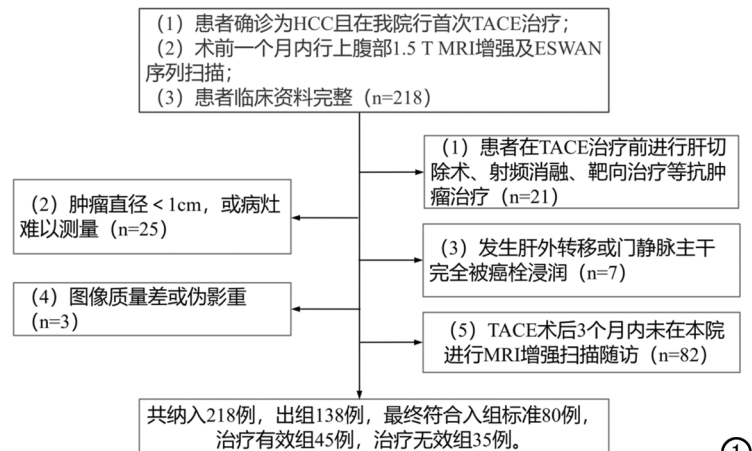


图 1 患者纳入与排除筛选流程图

tial response, PR)、疾病稳定(stable disease, SD)及疾病进展(progressive disease, PD)。CR 和 PR 记为治疗有效组, SD 和 PD 记为治疗无效组。据此, CR 组 10 例、PR 组 35 例、SD 组 28 例、PD 组 7 例, 最终治疗有效组 45 例, 治疗无效组 35 例。

2. 检查方法

所有患者采用 1.5T MR 扫描仪(Signa HDXT, GE healthcare), 8 通道腹部线圈。扫描前禁食禁水 4~6 h, 行仰卧位检查。扫描序列: ①轴面 T_2 WI 压脂序列: TR 6316 ms, TE 93.8 ms, FOV 40 cm \times 30 cm, 矩阵 256 \times 256, 激励次数 2.0, 层厚 6.0 mm, 层间距 1.5 mm; ②轴面肝脏快速容积成像(liver acquisition with volume acceleration, LAVA)动态增强扫描: 经正中肘静脉, 以 2.5 mL/s 速率注射钆喷酸葡胺(GDTPA), 剂量 0.1 mmol/kg, 采集动脉期(40 s)、门静脉期(70 s)及延迟期(90 s)扫描图像, TR 5.9 ms, TE 3.1 ms, FOV 40 cm \times 36 cm, 矩阵 256 \times 170, 激励次数 0.7, 层厚 5.0 mm, 层间距-2.5 mm; ③ESWAN 序列: TR 17.4 ms, TE 为 3.1 ms、6.0 ms、9.0 ms、11.9 ms、14.8 ms, FOV 40 cm \times 40 cm, 矩阵 256 \times 160, 层厚 8.0 mm, 层间距-4.0 mm, 激励次数 0.67。

3. 图像分析与数据测量

将 ESWAN 序列图像传输至 AW 4.6 工作站(GE healthcare), 使用 Functool 软件重建生成相位图及

R_2^* 图。基于 T_2 WI 和增强 MRI 的参考, 两位观察者(分别拥有 2 年和 6 年腹部 MRI 诊断经验)在 R_2^* 图像的肿瘤最大层面, 避开肿瘤的出血灶、坏死区及囊性区域, 各自勾画 3 个面积相近的类圆形感兴趣区(region of interest, ROI), 记录 R_2^* 平均值。

相位图中的线条状伪影会对自动定量 ITSS 测量结果造成影响, 测量前需在 Python 软件(大连理工大学编码)对相位图进行去伪影操作。将批量去伪影操作后得到的相位图导入 Anatomy Sketch 1.1(AS, 大连理工大学)软件中, 由上述两名观察者分别在肿瘤的最上层、最下层及最大层面勾画肿瘤轮廓, 即可自动生成此范围内 ITSS 最大层面的 ITSS 比率。定义为 ITSS 面积最大一层中 ITSS 面积与同层肿瘤面积的比值(图 2、3)。本研究在测量多结节病灶 R_2^* 值与 ITSS 比率时, 选择最大直径的病灶作为靶病灶(本研究共 24 例)^[16]。

4. 统计学分析

应用 SPSS 27.0 与 MedCalc 20.1 统计学软件进行统计分析。采用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)检验两名观察者间各参数值测量结果的一致性(ICC<0.40 为一致性差, 0.40 \leq ICC<0.75 为一致性中等, ICC \geq 0.75 为一致性好)。采用 Kolmogorov-Smirnov 检验参数的正态性; 符合正态分布的用独立样本 t 检验比较, 结果用均值 \pm 标准差表

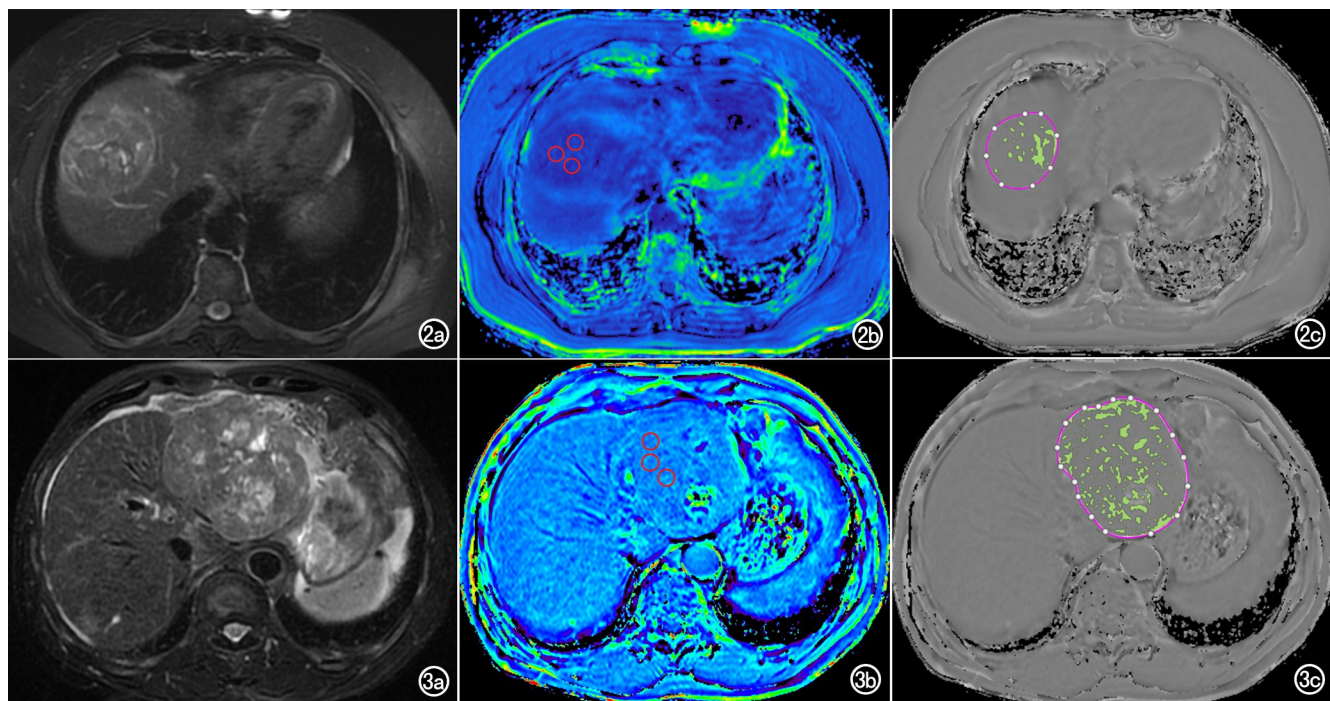


图 2 TACE 治疗有效组(PR), 女, 66 岁, 肝右叶 HCC。a) T_2 WI 抑脂序列; b) R_2^* 图(图中红色圆圈为放置 ROI 区域), R_2^* 值为 14.97Hz; c) ITSS 比率测量图, 彩线为肿瘤轮廓, 绿色区域为 ITSS, ITSS 比率为 0.13。

图 3 TACE 治疗无效组(SD), 男, 64 岁, 肝左叶 HCC。a) T_2 WI 抑脂序列; b) R_2^* 图(图中红色圆圈为放置 ROI 区域), R_2^* 值为 22.75Hz; c) ITSS 比率测量图, 彩线为肿瘤轮廓, 绿色区域为 ITSS, ITSS 比率为 0.21。

示;不符合正态分布的用 Mann-Whitney U 检验比较,结果用中位数(25 百分位数,75 百分位数)表示。采用卡方检验对计数资料进行比较,结果用例数和百分数表示。使用 Logistic 回归构建联合预测模型,使用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析评估诊断性能,计算 ROC 曲线下面积(the area under the curve, AUC)。记录诊断的阈值、敏感度、特异性。采用 Delong 检验比较各参数及联合参数预测效能的差异。 $P < 0.05$ 代表有统计学意义。

结果

1. 患者一般临床资料

本研究最终入组 80 例,治疗有效组 45 例,治疗无效组 35 例。其中男 63 例,女 17 例,平均年龄 60.37 ± 9.55 岁。两组间患者 AFP、AST、GGT 及 BCLC 分期差异有统计学意义,其余临床信息差异无统计学意义($P > 0.05$, 表 1)。

2. 观察者间一致性检验结果

两位观察者测量 R_2^* 值及 ITSS 比率的结果一致性良好,ICC 分别为 0.908、0.771,如表 2。本研究采用

高年资医师即观察者 2 的测量结果进行进一步研究。

3. 两组患者各参数差异性比较

治疗有效组的 R_2^* 值及 ITSS 比率分别为 19.21 (16.11, 23.45) Hz、0.14 (0.11, 0.20), 治疗无效组的 R_2^* 值及 ITSS 比率分别为 24.30 (21.02, 29.56) Hz、0.23 (0.17, 0.35), 治疗有效组的 R_2^* 值与 ITSS 比率均显著小于治疗无效组,两者差异有统计学意义($Z = -4.166, P < 0.001; Z = -4.059, P < 0.001$)。

4. R_2^* 值、ITSS 比率及联合模型预测效能比较

R_2^* 值与 ITSS 比率的预测效能差异无统计学意义($P = 0.911$),联合模型与 ITSS 比率差异有统计学意义($P = 0.040$),与 R_2^* 值差异无统计学意义($P = 0.059$)。 R_2^* 值、ITSS 比率和联合预测的 ROC 分析及曲线见表 3、图 4, Delong 检验比较三者预测效能见表 4。

表 3 R_2^* 值、ITSS 比率及两者联合 ROC 分析

参数	AUC 值	阈值	敏感度 (%)	特异度 (%)
R_2^* 值/Hz	0.773	19.34	91.4	51.1
ITSS 比率	0.766	0.161	82.9	60.0
两者联合	0.839	0.412	77.1	77.8

表 1 患者一般临床资料及统计结果

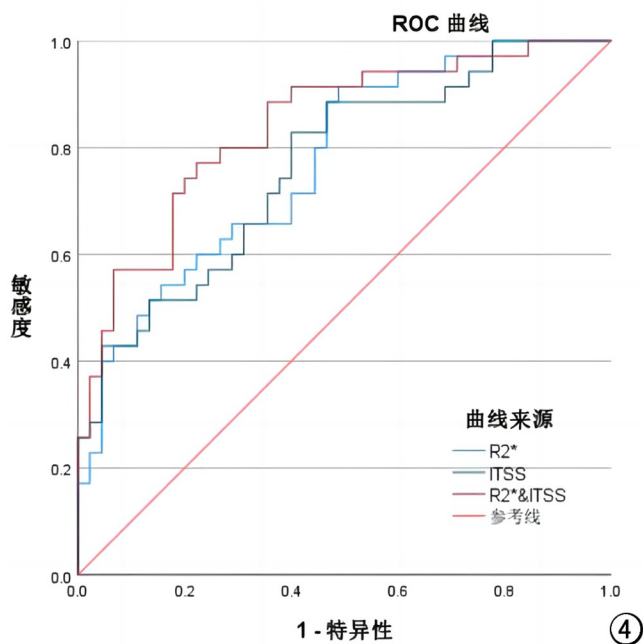
临床资料	治疗有效组(n=45)	治疗无效组(n=35)	$t/Z/\chi^2$	P
年龄(岁)	61.11±9.78	59.03±9.10	0.974	0.333
性别/例			0.741	0.389
男	37(82.2%)	26(74.3%)		
女	8(17.8%)	9(25.7%)		
肝炎病史/例			0.438	0.508
有	29(64.4%)	25(71.4%)		
无	16(35.6%)	10(28.6%)		
AFP/ng/mL	22.38(3.42, 809.85)	216.70(8.88, 16004)	-2.284	0.022
ALT/U/L	34.00(22.00, 52.00)	42.00(30.00, 59.00)	-1.344	0.179
AST/U/L	31.00(24.50, 47.50)	59.00(41.00, 72.00)	-3.231	0.001
GGT/U/L	59.00(31.00, 120.00)	120.00(72.00, 202.00)	-3.002	0.003
ALP/U/L	92.00(75.00, 114.00)	109.00(83.00, 145.00)	-1.896	0.058
TBIL/U/L	15.50(11.10, 20.65)	15.60(12.60, 23.00)	-0.310	0.756
ALB/g/L	38.59±4.14	37.96±6.34	0.510	0.612
PLT/ 10^9 /L	137.38±64.97	168.75±78.61	-1.954	0.054
PT/s	12.50(11.65, 13.45)	12.70(11.90, 14.10)	-0.577	0.564
Child-Pugh 分级/例			-1.403	0.161
A 级	38(84.4%)	25(71.4%)		
B 级	7(15.6%)	10(28.6%)		
BCLC 分期/例			-2.980	0.003
A 期	28(62.2%)	13(37.1%)		
B 期	13(28.9%)	7(20.0%)		
C 期	4(8.9%)	15(42.9%)		

表 2 R_2^* 与 ITSS 测量结果及一致性检验

观察者	治疗有效组(n=45)	治疗无效组(n=35)	ICC
R_2^* /Hz			0.908
观察者 1	17.79(14.33, 20.18)	25.00(20.20, 34.94)	
观察者 2	19.21(16.11, 23.45)	24.30(21.02, 29.56)	
ITSS 比率			0.771
观察者 1	0.18±0.09	0.21±0.09	
观察者 2	0.14(0.11, 0.20)	0.23(0.17, 0.35)	

表4 R_2^* 值、ITSS 比率及两者联合预测效能比较

参数	AUC 差值	95%CI	Z 值	P 值
ITSS vs. R_2^*	0.007	-0.116~0.130	0.112	0.911
R_2^* 联合 ITSS vs. ITSS	0.074	0.003~0.144	2.056	0.040
R_2^* 联合 ITSS vs. R_2^*	0.067	-0.002~0.136	1.889	0.059

图4 R_2^* 值、ITSS 比率与两者联合预测模型的 ROC 曲线。

讨论

1. 预测 HCC 患者 TACE 术后早期疗效的研究进展

HCC 早期症状不明显,大多数患者确诊时已经发展到中晚期^[17],此时患者肝功能低下,极大地降低生存率。TACE 是不可切除 HCC 患者的重要治疗方法,但并非所有患者都有明确的肿瘤反应^[5,18]。术前预测 TACE 治疗后早期疗效,有助于临床采取更优治疗方案,提高患者生存率。

目前多种功能 MRI 序列如弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)、体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)、动态增强 MRI (dynamic contrast-enhanced MRI, DCE-MRI)等已用于 TACE 术后疗效预测^[19-22],但 DWI、IVIM 主要反映组织水分子扩散特性、DCE 侧重于血流动力学变化,对于肿瘤内出血、血管及治疗前后的血管反应不甚敏感。基于 ESWAN 序列的 R_2^* 值能够敏感地反映组织内铁含量、血氧水平等磁敏感效应,由 SWI 序列衍生的 ITSS 可以通过检测肿瘤内磁敏感信号的变化^[8,9],两者通过间接反映肿瘤内血管生成及出血等

特征,揭示肿瘤内部的微环境特征,进而了解血管相关性的介入治疗前后肿瘤内血管及血红蛋白的变化,无创地评估肿瘤微环境的异质性,优化治疗路径。

2. R_2^* 值预测 HCC 患者 TACE 术后疗效

R_2^* 值与组织脱氧血红蛋白浓度相关,可反映组织中顺磁性物质含量从而反映局部组织氧含量变化^[7,23],当组织中氧含量降低,脱氧血红蛋白增加, MRI 信号减弱, R_2^* 值增高。目前已有学者将 R_2^* 值用于鉴别肝内恶性肿瘤、肝内良恶性结节^[24-26]。肿瘤快速增殖导致局部氧耗急剧增加,形成缺氧微环境,这种缺氧状态可以触发新生血管生成^[27,28],且新生血管往往结构紊乱、通透性异常。本研究显示治疗无效组 R_2^* 值显著高于有效组($P < 0.001$),提示该群体肿瘤存在更严重的缺氧状态,表明肿瘤细胞代谢亢进,脱氧血红蛋白蓄积,且新生血管网络功能不全,氧输送能力降低。相反,治疗有效组的 R_2^* 值低,脱氧血红蛋白含量减少,肿瘤内血管丰富、功能良好,经 TACE 治疗时药物易经血管进入肿瘤内发挥疗效。田士峰等^[12]发现浸润组 HCC 患者的 R_2^* 值高于非浸润组,究其原因浸润组肿瘤细胞增殖速度快,因缺氧所导致的血管生成及脱氧血红蛋白升高更明显,因而 R_2^* 高于非浸润组,这与本研究结果相符。

3. ITSS 预测 HCC 患者 TACE 术后疗效

ITSS 可以反映肿瘤内微静脉和出血。本研究中治疗无效组的 ITSS 高于治疗有效组,说明在治疗无效组的 HCC 患者肿瘤中存在更多的出血和血管结构。分析其原因,肿瘤的生长与血管结构关系密切,在恶性肿瘤中肿瘤生长迅速、血管生成因子增加、血管生成水平升高,肿瘤内血管增多^[29],大量的新生血管迂曲紊乱、结构薄弱,容易受到肿瘤侵犯,使得瘤内血管易发生出血^[30],因此 ITSS 值增高。

ITSS 已用于多种肿瘤的良恶性鉴别及分级,但目前以半定量测量为主。Park 等^[31]首次对 ITSS 进行测量,比较肿瘤 ITSS 最大层面上感兴趣区内符合 ITSS 定义的点线状低信号区的数量;陈勇等^[32]采用相似方法测量软组织肿瘤内 ITSS 信号。但半定量测量方法通过人为识别图像中的低信号影,具有较强的主观性,不能完全排除图像伪影或钙化低信号的干扰。在此基础上, Bhattacharjee 等^[33]发现使用代码自动定量测量 ITSS 的结果优于 Park 等^[31]提出的半定量测

量结果;胡文君等^[34]自动定量测量 ITSS,预测卵巢囊腺肿瘤的侵袭性。本研究采取同样方法,自动定量测量 ITSS^[34],消除相位图所存在的伪影,避免了人为主观性与视觉效应带来的误差,并且仅需勾画肿瘤数层轮廓后即可自动获得此范围内肿瘤全部血管和出血低信号影,得到 ITSS 面积最大的 ITSS 比率,节省大量时间和精力,提高结果准确性。

本研究结果表明, R_2^* 与自动定量 ITSS 两者均可以有效预测 HCC 经 TACE 治疗早期疗效,两者联合的预测效能高于 ITSS,同时具有高于 R_2^* 值的趋势 ($P=0.059$),这与本研究样本数量较少有关,未来有望于收纳更多样本数量进行扩大研究。

4. 本研究的局限性

本研究尚有不足之处:①本研究为回顾性研究,样本量相对较少,可能存在一定选择偏倚,未来可以扩大样本量进一步研究;②本研究所用的 ITSS 比率为 ITSS 面积最大层面的 ITSS 比值,并未对肿瘤整体的 ITSS 进行测量,尚不能反映整个肿瘤的情况,进一步研究会以肿瘤整体 ITSS 为目标。

本研究通过探讨 R_2^* 值与 ITSS 联合预测 HCC 经 TACE 治疗后疗效的可行性,发现两者联合应用能够提高对 TACE 治疗后 HCC 患者的疗效预测效能,有望在临床实践中指导医生在治疗前评估肿瘤的血供状态、缺氧程度,从而提前识别 TACE 术后治疗反应,及时调整治疗策略。

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] 郑荣寿, 张思维, 孙可欣, 等. 2016 年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. *中华肿瘤杂志*, 2023, 45(3): 212-220.

[3] Wei WX, Yang ZS, Lu LH, et al. Long-term survival after partial hepatectomy for sub-stage patients with intermediate stage hepatocellular carcinoma[J]. *Int J Surg*, 2018, 56: 256-263.

[4] 杨晓欣, 卢伟. 常规 TACE 与药物洗脱微球 TACE 治疗 CNLC II b 和 III a 期肝细胞癌效果及患者预后影响因素[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2023, 20(10): 582-586.

[5] Piscaglia F, Ogasawara S. Patient selection for transarterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma: importance of benefit/risk assessment. *liver cancer*[J]. 2018, 7(1): 104-119.

[6] 彭旭红, 雷苑麟, 赖碧玉, 等. MR ESWAN 序列对高血压患者脑微出血的定量诊断价值[J]. *临床放射学杂志*, 2019, 38(6): 1143-1146.

[7] Han X, Sun MY, Wang MY, et al. The enhanced T2 star weighted angiography (ESWAN) value for differentiating borderline from malignant epithelial ovarian tumors[J]. *Eur J Radiol*, 2019, 118: 187-193.

[8] 鲍若楠. 磁敏感加权成像定量分析在鉴别腮腺恶性肿瘤中的应用

价值[D]. 广西医科大学, 2020.

[9] 谭亚兰, 江海涛. 多模态磁共振在肝细胞癌分化程度评估中的应用进展[J]. *肝胆胰外科杂志*, 2022, 34(5): 315-320.

[10] Sun M, Wang S, Song Q, et al. Utility of R_2^* obtained from T_2^* -weighted imaging in differentiating hepatocellular carcinomas from cavernous hemangiomas of the liver[J]. *PLoS One*, 2014, 9(3): e91751.

[11] 丁芳, 顾红梅, 葛涌钱. ADC 与 R_2^* 值对小肝癌病理分级的预测价值及其相关性分析[J]. *临床放射学杂志*, 2018, 37(9): 1480-1483.

[12] 田士峰, 刘爱连, 刘静红, 等. R_2^* 值评估原发性肝细胞癌生物学行为的价值分析[J]. *中华医学杂志*, 2016, 96(15): 1164-1167.

[13] 韩雪. SWI 及 IVIM 在肝细胞癌分级诊断中的价值[D]. 河北医科大学, 2020.

[14] 段婷, 陈婕, 夏春潮, 等. 磁敏感加权成像在肝细胞癌分级诊断中的价值[J]. *四川大学学报(医学版)*, 2018, 49(2): 248-251.

[15] 卢红, 陈伟, 王健, 等. mRECIST 与 iRECIST 标准评价肝细胞癌免疫治疗疗效的对比研究[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(7): 1023-1031.

[16] Li ZW, Ren AH, Yang DW, et al. Preoperatively predicting early response of HCC to TACE using clinical indicators and MRI features[J]. *BMC Med Imaging*, 2022, 22(1): 176.

[17] Li X, Ramadori P, Pfister D, et al. The immunological and metabolic landscape in primary and metastatic liver cancer[J]. *Nat Rev Cancer*, 2021, 21(9): 541-557.

[18] 中国医师协会介入医师分会临床诊疗指南专委会. 中国肝细胞癌经动脉化疗栓塞(TACE)治疗临床实践指南(2023 年版)[J]. *中华医学杂志*, 2023, 103(34): 2674-2694.

[19] Tang J, Liu F, Yuan H, et al. Pretreatment apparent diffusion coefficient as a predictor of response to transcatheter arterial chemoembolization immediately combined with radiofrequency ablation for treatment of solitary large hepatocellular carcinoma[J]. *Cancer Manag Res*, 2020, 12: 10127-10138.

[20] Jia F, Wu B, Yan R, Li L, et al. Prediction model for intermediate-stage hepatocellular carcinoma response to transarterial chemoembolization[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2020, 52(6): 1657-1667.

[21] 朱正, 赵心明, 周纯武, 等. 治疗前 IVIM-DWI 预测肝细胞癌介入治疗疗效的价值[J]. *放射学实践*, 2018, 33(5): 502-506.

[22] 周雨, 陈泽乐, 周方程, 等. DCE-MRI 减影联合血清 miR-133a-3p 及 CCR3 预测 TACE 治疗肝细胞癌早期效果[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2023, 20(3): 134-138.

[23] 白小曦, 张立欧, 黄丽萍. 磁共振 ESWAN 成像技术进展及其临床应用[J]. *现代肿瘤医学*, 2019, 27(9): 1621-1624.

[24] 罗森, 黄洪磊, 江卫民, 等. MRI R_2^* 值鉴别肝细胞癌与肝内肿块型胆管癌[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2024, 21(4): 224-228.

[25] 李雨澄, 涂蓉. Dixon 水脂分离序列 R_2^* 值评估肝铁浓度及鉴别肝结节的研究进展[J]. *国际医学放射学杂志*, 2023, 46(2): 197-201.

[26] 闫玉昌, 靳二虎, 杨正汉, 等. R_2^* 值在肝细胞癌射频消融术后病灶边缘强化灶鉴别诊断中的应用[J]. *放射学实践*, 2021, 36(4): 431-435.

[27] Wang X, Wang X. The regulation of hypoxia-related lncRNAs in hepatocellular carcinoma[J]. *Discov Oncol*, 2024, 15(1): 144.

[28] Farina AR, Cappabianca L, Sebastiano M, et al. Hypoxia-induced alternative splicing: the 11th hallmark of cancer[J]. *J Exp Clin*

- Cancer Res, 2020, 39(1):110.
- [29] JFu Y, Mackowiak B, Feng D, et al. MicroRNA-223 attenuates hepatocarcinogenesis by blocking hypoxia-driven angiogenesis and immunosuppression[J]. Gut, 2023, 72(10):1942-1958.
- [30] 方献柳, 苏丹柯, 金观桥, 等. MR 磁敏感加权成像对甲状腺良性病灶的鉴别诊断价值[J]. 实用放射学杂志, 2016, 32(10):1513-1516.
- [31] Park MJ, Kim HS, Jahng GH, et al. Semiquantitative assessment of intratumoral susceptibility signals using non-contrast-enhanced high-field high-resolution susceptibility-weighted imaging in patients with gliomas: comparison with MR perfusion imaging [J]. Am J Neuroradiol, 2009, 30(7):1402-1408.
- [32] 陈勇, 刘杰, 包雪梅, 等. 磁敏感加权成像鉴别良恶性软组织肿瘤的价值及其与病理对照分析[J]. 中华肿瘤杂志, 2017, 39(5):350-354.
- [33] Bhattacharjee R, Gupta RK, Patir R, et al. Quantitative vs. semi-quantitative assessment of intratumoral susceptibility signals in patients with different grades of glioma[J]. J Magn Reson Imaging, 2020, 51(1):225-233.
- [34] 胡文君, 刘爱连, 李焯, 等. 自动提取定量肿瘤内部磁敏感信号与 R_2^* 值预测卵巢囊腺瘤的侵袭性[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(6):588-592, 599.

(收稿日期:2025-03-24 修回日期:2025-06-12)

本刊可直接使用的医学缩略语

医学论文中正确、合理使用专业名词可以精简文字,节省篇幅,使文章精炼易懂。现将放射学专业领域为大家所熟知的专业名词缩略语公布如下(按照英文首字母顺序排列),以后本刊在论文中将对这一类缩略语不再注释其英文全称和中文。

ADC (apparent diffusion coefficient):表观扩散系数
 ALT:丙氨酸转氨酶;AST:天冬氨酸转氨酶
 BF (blood flow):血流量
 BOLD (blood oxygenation level dependent):血氧水平依赖
 BV (blood volume):血容量
 b:扩散梯度因子
 CAG (coronary angiography):冠状动脉造影
 CPR (curve planar reformation):曲面重组
 CR(computed radiography):计算机 X 线摄影术
 CT (computed tomography):计算机体层成像
 CTA (computed tomography angiography):CT 血管成像
 CTPI(CT perfusion imaging):CT 灌注成像
 DICOM (digital imaging and communication in medicine):
 医学数字成像和传输
 DR(digital radiography):数字化 X 线摄影术
 DSA (digital subtraction angiography):数字减影血管造影
 DWI (diffusion weighted imaging):扩散加权成像
 DTI (diffusion tensor imaging):扩散张量成像
 ECG (electrocardiography):心电图
 EPI (echo planar imaging):回波平面成像
 ERCP (endoscopic retrograde cholangiopancreatography):
 经内镜逆行胰胆管造影术
 ETL (echo train length):回波链长度
 FLAIR (fluid attenuation inversion recovery):液体衰减反
 转恢复
 FLASH (fast low angle shot):快速小角度激发
 FOV (field of view):视野
 FSE (fast spin echo):快速自旋回波
 fMRI (functional magnetic resonance imaging):功能磁共
 振成像
 IR (inversion recovery):反转恢复
 Gd-DTPA:钆喷替酸葡甲胺
 GRE (gradient echo):梯度回波
 HE 染色:苏木素-伊红染色
 HRCT(high resolution CT):高分辨率 CT

MPR (multi-planar reformation):多平面重组
 MIP (maximum intensity projection):最大密(强)度投影
 MinIP (minimum intensity projection):最小密(强)度投影
 MRA (magnetic resonance angiography):磁共振血管成像
 MRI (magnetic resonance imaging):磁共振成像
 MRS (magnetic resonance spectroscopy):磁共振波谱学
 MRCP(magnetic resonance cholangiopancreatography):磁
 共振胰胆管成像
 MSCT (multi-slice spiral CT):多层螺旋 CT
 MTT (mean transit time):平均通过时间
 NEX (number of excitation):激励次数
 PACS (picture archiving and communication system):图像
 存储与传输系统
 PC (phase contrast):相位对比法
 PET (positron emission tomography):正电子发射计算机
 体层成像
 PS (surface permeability):表面通透性
 ROC 曲线(receiver operating characteristic curve):受试者
 操作特征曲线
 SPECT (single photon emission computed tomography):
 单光子发射计算机体层摄影术
 PWI (perfusion weighted imaging):灌注加权成像
 ROI (region of interest):兴趣区
 SE (spin echo):自旋回波
 STIR(short time inversion recovery):短时反转恢复
 TACE(transcatheter arterial chemoembolization):经导管
 动脉化疗栓塞术
 T₁ WI (T₁ weighted image):T₁ 加权像
 T₂ WI (T₂ weighted image):T₂ 加权像
 TE (time of echo):回波时间
 TI (time of inversion):反转时间
 TR (time of repetition):重复时间
 TOF (time of flight):时间飞跃法
 TSE (turbo spin echo):快速自旋回波
 VR (volume rendering):容积再现
 WHO (World Health Organization):世界卫生组织
 NAA(N-acetylaspartate):N-乙酰天门冬氨酸
 Cho(choline):胆碱
 Cr(creatine):肌酸

(本刊编辑部)