

# MR 导向经皮微波消融治疗肝癌伴中重度肝硬化\*

刘一铭 许凯豪 焦德超\*\* 吴昆鹏 王朝艳 韩新巍

(郑州大学第一附属医院放射介入科, 郑州 450052)

**【摘要】** 目的 评价 MR 引导经皮微波消融(percutaneous microwave ablation, PMA) 治疗肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC) 伴中重度肝硬化的可行性。方法 2019 年 4 月~2021 年 6 月, 对 26 例肝癌伴中重度肝硬化(Child-Pugh B 级 19 例, C 级 7 例) 在 3.0T 闭合式 MR 引导下行 PMA。共 43 枚病灶, 最大径( $2.86 \pm 0.93$ ) cm (0.9~4.8 cm)。术后 1 个月肝脏增强 MR 或 CT 检查评价局部病灶完全消融(complete ablation, CA) 或不完全消融(incomplete ablation, ICA), 并随访生存情况。结果 40 枚病灶消融术中显示清晰, 3 例膈肌下病灶显示稍欠佳。穿刺需调整 10 次以上 10 枚病灶, 调整 7~10 次 14 枚病灶, 调整 3~6 次 16 枚病灶, 3 枚病灶调整 1~2 次即可。3 例(11.5%) 轻微并发症。1 个月随访, 局部 CA 率 95.3% (41/43), 2 枚膈肌下病灶(最大径 4.8 和 3.9 cm) 为 ICA。肿瘤最大径  $\leq 3$  cm 和  $> 3$  cm 的局部 CA 率分别为 100% (22/22) 和 90.5% (19/21)。平均随访 18.4 月(8~26 个月), 死亡 9 例。中位生存期 21.0 月(95% CI: 16.9~25.0), 1 年、2 年总生存率为 92.0% 和 23.9%。结论 3.0T MR 引导下 PMA 治疗肝癌伴中重度肝硬化安全可行, 对小肝癌有一定技术优势。

**【关键词】** 肝细胞癌; MR 导向; 重度肝硬化; 消融治疗

文献标识: A 文章编号: 1009-6604(2022)10-0793-06

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2022.10.005

**MR-guided Percutaneous Microwave Ablation for Hepatocellular Carcinoma With Moderate and Severe Cirrhosis** Liu

Yiming, Xu Kaihao, Jiao Dechao, et al. Department of Interventional Radiology, First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

Corresponding author: Jiao Dechao, E-mail: jiaodechao007@126.com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the feasibility and effectiveness of MR-guided percutaneous microwave thermal ablation (PMA) for hepatocellular carcinoma (HCC) with moderate and severe cirrhosis. **Methods** From April 2019 to June 2021, 26 HCC patients with moderate and severe cirrhosis (19 cases with Child-Pugh B and 7 cases with Child-Pugh C) underwent 3.0T MR-guided percutaneous PMA at our department. The maximum diameter of 43 HCC lesions was ( $2.86 \pm 0.93$ ) cm (range, 0.9–4.8 cm). Complete ablation (CA) or incomplete ablation (ICA) was evaluated by enhanced MR or CT examination one month after the operation. Overall survival status was evaluated during the follow-up period. **Results** A total of 40 lesions were clearly displayed during ablation, and 3 subdiaphragmatic lesions were slightly poorly displayed. Puncture adjustment for more than 10 times was needed at 10 lesions, puncture adjustment for 7–10 times was needed at 14 lesions, 3–6 times at 16 lesions, and 1–2 times at 3 lesions. There were 3 cases (11.5%) of minor complications. The local CA rate was 95.3% (41/43). Two lesions (maximum diameter, 4.8 cm and 3.9 cm, respectively) under the diaphragm were evaluated as ICA at 1 month follow-up. The local CA rates of tumors with maximum diameter  $\leq 3$  cm and  $> 3$  cm were 100% (22/22) and 90.5% (19/21), respectively. The average follow-up was 18.4 months (range, 8–26 months). Nine cases died. The median survival time was 21.0 months (95% CI: 16.9–25.0), and the 1-year and 2-year overall survival rates were 92.0% and 23.9%. **Conclusion** 3.0T MR-guided PMA is safe and feasible in the treatment of HCC with moderate to severe cirrhosis and has certain technical advantages for small HCC.

**【Key Words】** Hepatocellular carcinoma; MR guidance; Severe cirrhosis; Ablation therapy

\* 基金项目: 2020 年河南省中青年卫生健康科技创新杰出青年人才培养项目(YXKC2020037)

\*\* 通讯作者, E-mail: jiaodechao007@126.com

肝细胞癌 (hepatocellular carcinoma, HCC) 伴中重度肝硬化的首选治疗方案是肝移植,但由于器官短缺和经济因素的限制,尚不能普及<sup>[1]</sup>。由于肝癌伴中重度肝硬化患者行肝切除有较高的肝衰竭发生率,被列为相对手术禁忌证<sup>[2]</sup>。消融治疗具有微创、可重复、费用低等优势,被广泛接受并进入临床指南<sup>[3]</sup>。定位病灶是精确消融的第一步,磁共振 (magnetic resonance, MR) 对肝硬化背景下小肝癌检出率高达 92% 以上,能否将 MR 的诊断优势转化为治疗优势<sup>[4]</sup>? 2002 年 Morikawa 等<sup>[5]</sup>报道 0.5T 开放式 MR 引导下肝肿瘤热消融术,技术成功率 100%,但当时磁兼容设备不成熟,操作复杂。2019 年 4 月~2021 年 6 月,我们对 26 例肝癌伴中重度肝硬化患者在 3.0T 闭合式 MR 引导下经皮微波消融 (percutaneous microwave ablation, PMA),消融针与磁场兼容性好,病灶显示清晰,报道如下。

## 1 临床资料与方法

### 1.1 一般资料

本组 26 例,男 19 例,女 7 例。年龄 45~79 岁, (65.0 ± 8.7) 岁。11 例因腹胀伴腹水就诊,6 例因右上腹不适就诊,6 例因肝癌病史定期复查,3 例体检发现肝占位就诊。6 例既往接受栓塞治疗 (3 例) 或栓塞联合消融治疗 (3 例)。乙肝 24 例,丙肝 2 例。肝硬化 5~36 年, (18.7 ± 7.8) 年。吲哚菁绿 15 min 滞留率 (indocyanine green retention rate at 15 minutes, ICG-R15) (28.58 ± 4.81)% (20.0% ~ 36.0%)。MR 提示共 43 枚肝癌病灶 (其中 CT 提示 33 枚,彩超提示 37 枚),1 枚 12 例,2 枚 11 例,3 枚 3 例;病灶位于 S5 段 12 枚, S8 段 8 枚, S6 段 8 枚,

S7 段 7 枚, S4 段 5 枚, S3 段 3 枚;膈下病灶 12 枚 (27.9%);病灶最大径 (2.86 ± 0.93) cm (0.9 ~ 4.8 cm)。肝硬化程度 Child-Pugh B 级 19 例, C 级 7 例。术前丙氨酸氨基转移酶 (alanine aminotransferase, ALT) (59.69 ± 13.24) U/L (34.0 ~ 84.0 U/L);天冬氨酸氨基转移酶 (aspartate aminotransferase, AST) (59.42 ± 9.70) U/L (44.0 ~ 80.0 U/L);总胆红素 (total bilirubin, TB) (36.62 ± 8.07) μmol/L (18.0 ~ 54.0 μmol/L)。甲胎蛋白 (alpha fetoprotein, AFP) (96.00 ± 75.03) ng/ml (9.0 ~ 361.0 ng/ml),其中 20 例升高。3 例术前有病理学证据,23 例根据我国卫健委颁布的《原发性肝癌诊疗指南 (2022 年版)》标准<sup>[3]</sup>诊断为肝癌,临床分期 I 期 5 例, II 期 8 例, III 期 6 例, IV 期 7 例。

纳入标准:符合《原发性肝癌诊疗指南 (2022 年版)》诊断标准<sup>[3]</sup>;Child-Pugh B 或 C 级;ICG-R15 > 20% 但 < 40%;肿瘤最大径 ≤ 5 cm 且病灶数 ≤ 3 枚;肿瘤无门脉侵犯;Karnofsky 评分 ≥ 70 分。

排除标准:无法控制的重度腹水;预计生存期 ≤ 3 个月;重度凝血功能障碍,凝血酶原时间 (PT) > 25 s;幽闭恐惧症或存在磁共振扫描相关禁忌证。

### 1.2 方法

1.2.1 仪器 德国西门子公司 3.0T 闭合式 MR (Magenetom Verio, 孔径 70 cm)。南京亿高微波系统工程有限公司磁兼容微波发生仪 (ECO-100E 系统,电压 220 V,频率 2450 MHz),微波天线 (1.8 × 150 mm,长度 3.5 cm) 及消融针 (ECO-100AI13 磁兼容微波刀,16G)。美国 INVIVO 公司 TVS 型心电监护仪。主要序列见表 1,每次采用 16 s 瞬间闭气完成扫描。

表 1 本临床研究消融术中主要序列参数

位置	序列	回波时间 (ms)	脉冲序列重复时间 (ms)	层厚 (mm)	矩阵	翻转角度 (°)	带宽 (Hz)
横断位	T1 VIVE	1.93	4.56	3.3	216 × 288	9	400
横断位	T2 HASTE	106	1000	4.5	137 × 256	180	781
横断位	Diffusion	83	7100	5.0	192 × 144	90	1670
冠状位	T1 VIBE	2.46	6.11	3.0	179 × 256	9	410
矢状位	T2 HASTE	106	1000	4.0	137 × 256	180	781

1.2.2 术前准备 提前给予保肝、提升蛋白等支持治疗,将肝功能尽可能调节至 Child-Pugh B 级。术前 7 天完成血常规、肝肾功能、凝血功能、电解质、心

肺功能检查、传染病 4 项、肿瘤标记物、ICG-R15、Child-Pugh 评分,腹部增强 CT 或 MR。交代 MR 引导介入治疗的注意事项,锻炼闭气配合扫描。建立

右手背静脉通路。

1.2.3 PMA 患者仰卧于 MR 检查床上,根据术前 MR 病灶所在位置,体表放置鱼肝油定位敷贴,放置体部线圈,右美托咪定( $0.5 \mu\text{g}/\text{kg}$ )和地佐辛( $10 \text{ mg}$ )联合静脉麻醉。首先行上腹部 T1WI 和 T2WI 扫描再次定位肝内病灶,常见序列参数见表 1, T2WI 鉴别肝癌和肝硬化结节。选择适当层面,规划合适穿刺点和穿刺路径,取下体部线圈,标记皮肤穿刺点,消毒铺巾,2%利多卡因局麻,放置体部线圈并暴露穿刺点,尖刀片刺破皮肤,根据预定穿刺路径刺入 16G 磁兼容微波刀,采用分步进针法,每次反复 T1WI 和 T2WI 快速扫描(16 s 完成)确定穿刺针位置,扫描期间患者闭气,直至命中肿瘤。根据病灶大小和位置选择消融功率和时间(建议单循环功率 $45 \sim 70 \text{ W}$ ,时间 $6 \sim 10 \text{ min}$ ),水冷循环降低针杆温度,技术要求为以 T1WI 上高信号环完全覆盖中央低信号肿瘤及外周  $0.5 \text{ cm}$  以上,或 T2WI 上高信号肿瘤及外周  $0.5 \text{ cm}$  内信号明显下降(“靶征”)后停止微波消融。病灶 $\geq 3 \text{ cm}$ 可采用分步消融策略。消融结束后,20 W 功率进行针道消融。见图 1、2。多病灶同期多针穿刺完成。

1.2.4 观察指标 ①单病灶微波刀穿刺针调整次数,即 MR 扫描次数;穿刺时间,由定位扫描开始至微波刀刺中靶病灶,精确到秒,换算成分钟。②并发症,参照欧洲心血管和介入放射学会(CIRSE)标准<sup>[6]</sup>:1分,术中可解决的并发症,对整个操作无影响,无后遗症;2分,需术后 48 h 观察,无术后额外治疗,无后遗症;3分,术后需额外治疗并延长住院时间 48 h,无后遗症;4分,导致永久性轻中度后遗症,影响工作和生活;5分,导致永久性重度后遗症,日常工作需他人辅助;6分,死亡。4~6分为主要并发症,1~3分为轻微并发症。③局部病灶消融情况,根据我国《冷热多模式消融治疗肝脏恶性肿瘤操作规范专家共识》标准<sup>[7]</sup>术后 1 个月采用肝脏增强 MR 或 CT 评价,完全消融(complete ablation, CA)为肿瘤局部强化完全消失,否则定义为非完全消融(incomplete ablation, ICA)。④术后 1 个月复查血常规、肝功能、凝血功能和 AFP。⑤局部病灶评价 CA 后,间隔 3 个月复查增强 MR 或 CT。其间可根据肿瘤科医师意见进行其他系统治疗。记录总生存期

(overall survival, OS)。

1.2.5 统计学分析 采用 SPSS19.0 统计分析软件。连续资料采用  $\bar{x} \pm s$  表示,术前术后比较采用配对  $t$  检验, $P < 0.05$  为差异有统计学意义。OS 采用 Kaplan-Meier 分析。

## 2 结果

40 枚病灶消融术中显示清晰,3 例膈肌下病灶显示稍欠佳,主要是患者呼吸配合欠佳,后在喉罩辅助麻醉控制呼吸下顺利完成 PMA。微波针在 T1WI 和 T2WI 上均表现为低信号,微波能量辐射端(长  $16 \text{ mm}$ )较针杆纤细,肝内病灶和周围解剖结构显示清晰,病变消融后 T1WI 显示局部为明显高信号,且随时间延长而更加明显;原肿瘤在消融前后均为低信号,因此消融后形成明显的“靶征”,呈同心圆分布(中央低信号,外周高信号环),见图 1G、图 2E。消融后 T2WI 上消融区为低信号,周围可见高信号水肿带环绕,且随时间延长而更加明显。穿刺需调整 10 次以上 10 枚病灶,7~10 次 14 枚病灶,3~6 次 16 枚病灶,3 枚病灶调整 1~2 次即可。穿刺成功率 100%,穿刺时间( $10.50 \pm 2.85$ )min( $5.89 \sim 14.87 \text{ min}$ )。总手术时间( $55.21 \pm 6.43$ )min( $44.52 \sim 75.88 \text{ min}$ )。3 例轻微并发症,其中 2 例为反应性右侧胸腔积液,1 例为穿刺导致少量气胸,均无需特殊治疗,顺利出院,未见膈肌穿孔、胆漏、感染、严重气胸、大出血等主要并发症发生。

1 个月随访,43 枚病灶局部 CA 率 95.3% (41/43),2 枚位于膈肌下的病灶(最大径  $4.8$ 、 $3.9 \text{ cm}$ )局部仍有强化,评价为 ICA。其中肿瘤最大径 $\leq 3 \text{ cm}$ 和  $> 3 \text{ cm}$ 的局部 CA 率分别为 100% (22/22)和 90.5% (19/21)。ALT、AST、TB 术前与术后 1 个月差异无统计学意义[( $59.69 \pm 13.24$ )U/L vs. ( $60.12 \pm 11.18$ )U/L,  $t = -0.18$ ,  $P = 0.86$ ; ( $59.42 \pm 9.70$ )U/L vs. ( $61.38 \pm 10.00$ )U/L,  $t = -1.18$ ,  $P = 0.25$ ; ( $36.62 \pm 8.07$ ) $\mu\text{mol}/\text{L}$  vs. ( $36.92 \pm 9.45$ ) $\mu\text{mol}/\text{L}$ ,  $t = -0.26$ ,  $P = 0.80$ ], AFP 术后 1 个月明显低于术前[( $96.00 \pm 75.03$ )ng/ml vs. ( $22.12 \pm 14.68$ )ng/ml,  $t = 4.26$ ,  $P = 0.00$ ]。

26 例随访 8~26 个月,平均 18.4 月。11 例因肿瘤复发行栓塞治疗,6 例靶向或联合免疫治疗,6 例再次消融治疗。死亡 9 例(5 例慢性肝功能衰竭,

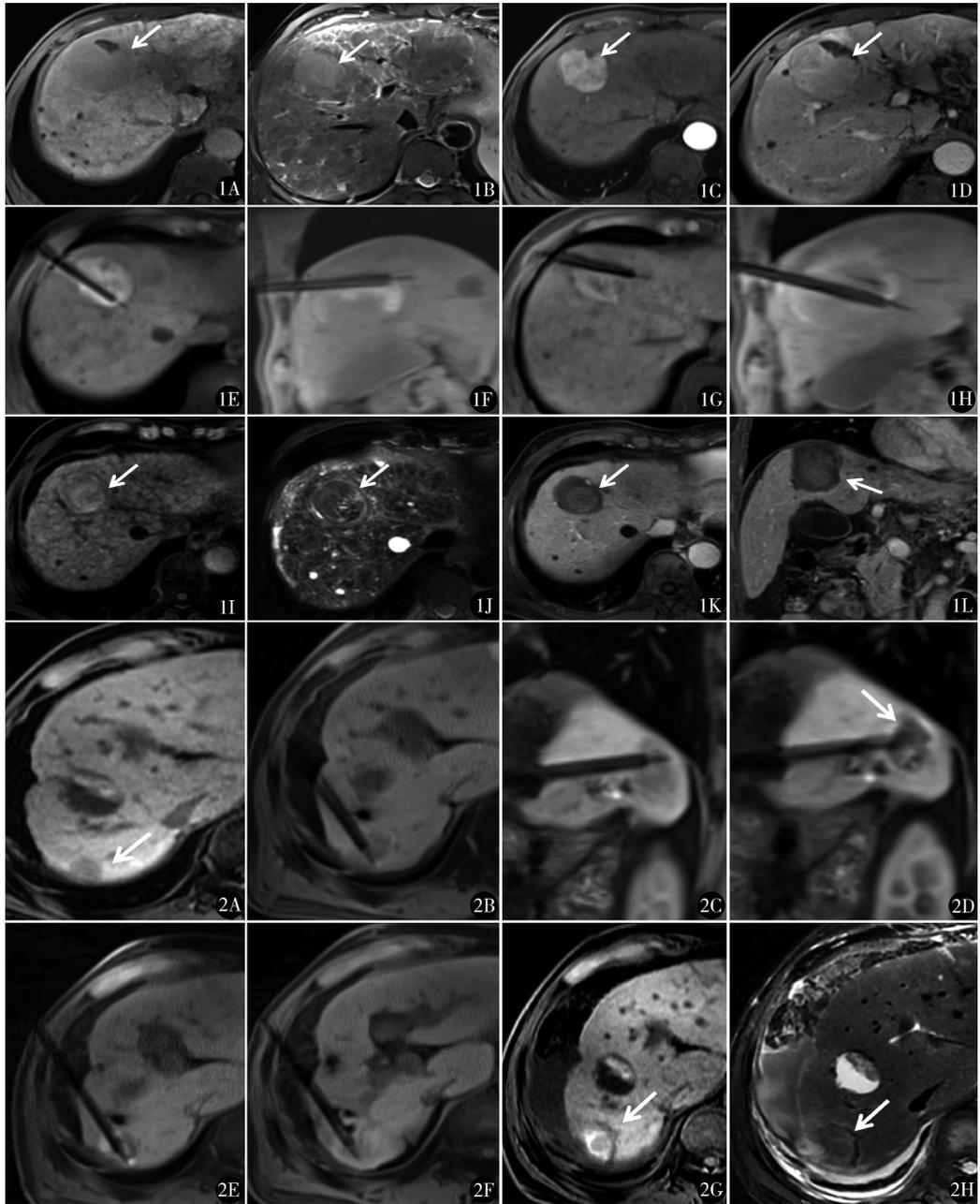


图1 男,62岁,乙肝肝硬化17年,S4段肝癌病灶直径3.79 cm,Child-Pugh评分8分,AFP 121.4 ng/ml。A~D. 术前 T1WI(A)、T2WI(B)、增强 T1(C和D)显示多发肝硬化结节背景下,可见局部肿瘤边界清楚(白箭头);E~H. 穿刺命中肿瘤,完成局部消融(消融参数60 W,14 min),T1WI可见高信号“靶征”覆盖原低信号肿瘤区;I~L. 术后6个月,T1WI(I)、T2WI(J)、增强 T1(K和L)可见局部肿瘤完全去血管化,评价完全消融,AFP降至11.35 ng/ml 图2 男,68岁,乙肝肝硬化23年伴腹水,S7段肝癌病灶直径2.11 cm,Child-Pugh评分10分,AFP 67.3 ng/ml。A. 术前 T1WI可见低信号肿瘤;B、C. 横断面(B)、矢状面(C)可见穿刺命中肿瘤,无伪影;D~F. 完成局部消融(参数50W,6 min),可见肿瘤周边信号增高,形成靶征,提示完全消融;G、H. 术后2个月复查,T1WI(G)和T2WI(H)显示局部病灶完全消融(箭头),AFP降至5.8 ng/ml

2例突发消化道大出血,2例肿瘤进展)。中位 OS 为 21.0 月(95% CI:16.9 ~ 25.0),1 年、2 年 OS 率为 92.0% 和 23.9%。

### 3 讨论

肝移植、外科切除、介入消融是公认的三大根治

性肝癌治疗方案。肝移植因肝源和经济原因临床应用受限,肝功能储备能力差(尤其 Child-Pugh B 级及以上)患者行外科切除易导致肝衰竭,因此,介入消融逐渐成为主流技术<sup>[8]</sup>。辨别、定位是肝癌消融的第一步,重度肝硬化患者常有多发肝硬化结节,尤其对小肝癌合并重度肝硬化患者,相较于常用的超声和 CT,MR 对肝硬化结节和肝癌的鉴别有一定的技术优势<sup>[8]</sup>。理论上,MR 具有以下优势<sup>[9]</sup>:①有利于区分肝硬化结节和肝癌结节。肝硬化结节 T1WI 为高信号,T2WI 为低信号,其中 T1WI 高信号中以粟粒状、均匀的小再生结节为主,弥漫性分布;而肝癌 T1WI 为低信号,T2WI 为中高信号。②穿刺针伪影对病灶显示无干扰。③可任意切面成像和多参数成像。④即刻评价消融范围(“靶征”可作为凝固性坏死的标志)。⑤可三维图像重建,快速了解毗邻器官结构。⑥软组织分辨率高,最大程度避免血管和

神经损伤。⑦无辐射。

鉴于对肝癌合并重度肝硬化患者精准定位病灶和降低并发症的需求,学者们进行了技术上的探索,包括腹腔镜下消融<sup>[10]</sup>、开腹直视消融<sup>[11]</sup>等,对病灶直视下毁损。2004 年李成利等<sup>[12]</sup>报道在 0.23T 开放式 MR 引导下完成 14 例肝肿瘤激光消融治疗,之后国内多家单位报道了 MR 引导下肝肿瘤消融的可行性和安全性<sup>[13-18]</sup>(表 2),技术成功率均为 100%,轻微并发症发生率 2.4%~82.3%,CA 率 70%以上。但由于 MR 设备昂贵和磁兼容微创器械的限制,尚不能在国内普及。MR 平扫可以依据明确的“靶征”来精准判断毁损范围,对实时消融评价具有重要的意义。近年来,国产磁兼容微波刀取得突破性进展,介入性 MR 也有国产化趋势,该技术有美好的前景<sup>[19]</sup>。

表 2 国内 MR 引导下肿瘤消融的文献报道

作者(发表时间)	例数(病灶数)	导向设备	消融方式	并发症	完全消融率	局部复发	生存
李成利 <sup>[13]</sup> (2007)	16(26)	0.23T 开放式	冷冻	无	-*	-	-
林征宇 <sup>[14]</sup> (2010)	23(44)	1.5T 闭合式	射频	9 例(39.1%)包膜下少量出血	100%(44/44)	0	-
陈群林 <sup>[15]</sup> (2012)	34(98)	1.5T 闭合式	射频	28 例(82.4%)包膜下少量出血,5 例(14.7%)胸腔积液	87.8%(86/98)	-	平均随访 14.3 月,1 例死亡
高登发 <sup>[16]</sup> (2019)	90(-)	0.35T 开放式	冷冻	11 例(12.2%)局部少量出血	71.2%(47/66)	-	-
郭锐 <sup>[17]</sup> (2019)	42(83)	1.5T 闭合式	射频	1 例(2.4%)术后肝破裂	95.2%(79/83)	4.8%(4/83)	平均随访 41.7 月,24 例死亡,1 年、2 年生存率 73.8%、40.4%
焦德超 <sup>[18]</sup> (2020)	14(23)	3.0T 闭合式	微波	4 例(28.6%)发热	91.3%(21/23)	0	-

\* 临床缓解(CR)5 例,部分缓解(PR)8 例,进展(PD)3 例

Facciorusso 等<sup>[20]</sup>观察到消融后肿瘤局部进展均发生在消融区边界,而且多项研究强调肿瘤消融“安全边界”的重要性。消融区域清晰显示是 MR 引导 PMA 治疗重度肝硬化背景下肝癌病灶的最大优势,其在 T1WI 上呈高信号,在 T2WI 上呈低信号,与周围正常肝组织分界清楚。肿瘤周围正常肝组织的肝窦在热效应下明显扩张,红细胞集聚。消融后红细胞和肝组织出现凝固性坏死,T1WI 上信号强度明显增加,与出血的影像学表现一致。然而,肿瘤区缺乏肝窦,只有少量的红细胞渗出和积聚。这种原肿瘤病灶消融区和消融的肝组织之间红细胞数量的

明显差异是 T1WI 上显示的“靶征”的形成原因<sup>[21]</sup>。只有当病灶被“靶征”消融区完全覆盖时,才能被认为是肿瘤病灶发生完全凝固性坏死,即在 T1WI 上出现高强度的边缘,在 T2WI 上出现低强度的边缘(包括超过 5~10 mm 的“安全边界”)。因此,我们认为这个标志对于确定消融的范围和指导残余肿瘤的消融是有效的。

获得满意的影像质量才能发挥 MR 的技术优势。本组 23 例消融术中病灶细节显示清晰,仅 3 例膈肌下病灶患者呼吸配合稍差,细节显示欠佳,这得益于对呼吸的控制(术前训练患者 16 s 闭气能力)

和 3.0T 的较高场强,必要时喉罩通气辅助下通过对潮气量控制实现对呼吸控制,进而获得优质图像,这对 2 cm 以内的小肝癌显像非常必要。

MR 引导只是引导方式的变化,消融的核心技术不变。MR 能够发挥影像学优势快速准确定位病灶,并通过“靶征”实时评价消融结果。本组术后 1 个月 ALT、AST、TB 较术前升高但无统计学意义,而 AFP 明显下降,且直径 ≤ 3 cm 肿瘤的 CA 率达 100%,说明 MR 引导下消融能够对中重度肝硬化患者 ≤ 3 cm 癌结节实现精准毁损,对肝功能影响很小,未来 MR 有望成为超声和 CT 显示欠佳的小肝癌的首选导向工具。

当然,MR 引导消融治疗也存在一些技术缺陷:①扫描时需要屏气(我们要求患者扫描时屏气 16 s),而 CT 和超声扫描无须屏气;②便利性不如超声;③闭合式 MR 孔径小,过度肥胖者不适用;④MR 机器昂贵。本回顾性研究有一定的设计缺陷,如病例数少、随访时间短、缺乏对照,仍需进一步增加样本量和延长随访时间,尤其是与常规导向工具(超声、CT)进行对比,客观评价该技术的优劣。

### 参考文献

- 1 杨继春,于树青,高乐,等.全球肝癌筛查指南制订现状的系统综述.中华流行病学杂志,2020,41(7):1126-1137.
- 2 龙莉玲,彭鹏,黄仲奎.原发性肝癌的早期影像学诊断.中华肝脏病杂志,2017,25(5):329-332.
- 3 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).肿瘤防治研究,2022,49(3):251-276.
- 4 范卫君,韩玥.肿瘤消融治疗技术管理规范及临床应用质量控制指标专家解读.中华医学杂志,2017,97(31):2404-2406.
- 5 Morikawa S, Inubushi T, Kurumi Y, et al. MR-guided microwave thermocoagulation therapy of liver tumors: initial clinical experiences using a 0.5 T open MR system. J Magn Reson Imaging, 2002, 16(5):576-583.
- 6 Filippidis DK, Binkert C, Pellerin O, et al. CIRSE quality assurance document and standards for classification of complications: the CIRSE Classification System. Cardiovasc Intervent Radiol, 2017, 40(8):1141-1146.
- 7 中国抗癌协会肿瘤介入专业委员会,中国医师协会介入医师分会,中国临床肿瘤学会(CSCO)放射介入治疗专家委员会,

- 等.冷热多模态消融治疗肝脏恶性肿瘤操作规范专家共识.中国介入影像与治疗学,2021,18(1):23-27.
- 8 中华医学会肝病学分会.肝硬化诊治指南.中华肝脏病杂志,2019,27(11):846-865.
- 9 李麟荪,张学彬.我国介入放射学新里程碑-磁共振介入治疗.介入放射学杂志,2019,28(11):1015-1016.
- 10 张先舟,韩风,聂常富,等.人工腹水辅助腔镜超声引导重度肝硬化特殊部位肝癌射频消融术.中华普通外科杂志,2019,34(11):986-987.
- 11 陈漪,周俭,樊嘉,等.术中射频消融治疗合并重度肝硬化肝细胞癌的临床疗效及预后因素分析.中华消化外科杂志,2017,16(2):159-163.
- 12 李成利,武乐斌,陈立光,等.0.23 T 开放性磁共振实时引导下经皮激光热消融术治疗肝脏恶性肿瘤.中国介入影像与治疗学,2004,1(1):26-30.
- 13 李成利,武乐斌,王涛,等.MR 实时导引监测下冷冻消融治疗肝肿瘤 16 例.中华放射学杂志,2007,41(7):750-752.
- 14 林征宇,张涛,胡建平,等.1.5 T MR 导向下肝脏恶性肿瘤射频消融治疗技术初探.中华放射学杂志,2010,44(12):1304-1307.
- 15 陈群林,陈锦,黄启明,等.1.5T 磁共振导向下射频消融治疗肝转移瘤的可行性.中国介入影像与治疗学,2012,9(12):839-842.
- 16 高登发,张啸波,张爱莲,等.MRI 引导技术在氩氦刀消融治疗肿瘤中的临床应用.中国介入影像与治疗学,2019,16(7):387-390.
- 17 郭锐,林征宇,陈锦,等.1.5T MRI 引导下经皮射频消融治疗结肠癌肝转移疗效分析.介入放射学杂志,2019,28(11):1100-1104.
- 18 焦德超,王朝艳,崔琳飞,等.3.0T 闭合式 MR 引导微波消融治疗肝转移瘤的可行性.中国介入影像与治疗学,2020,17(8):454-458.
- 19 李成利.磁共振介入应用与前景.介入放射学杂志,2019,28(11):1017-1019.
- 20 Facciorusso A, Del PV, Antonino M, et al. Post-recurrence survival in hepatocellular carcinoma after percutaneous radiofrequency ablation. Dig Liver Dis, 2014, 46(11):1014-1019.
- 21 Lin ZY, Chen J, Yan Y, et al. Microwave ablation of hepatic malignant tumors using 1.5T MRI guidance and monitoring: feasibility and preliminary clinical experience. Int J Hyperthermia, 2019, 36(1):1216-1222.

(收稿日期:2022-02-28)

(修回日期:2022-07-21)

(责任编辑:王惠群)