

• 综 述 General review •

乳腺癌微波消融治疗研究进展

汪 夏, 耿 鹏, 张美花

【摘要】 乳腺癌是女性最常见恶性疾病,严重威胁女性身心健康。传统手术切除为首选治疗方式。随着外科治疗理念创新和医疗技术不断发展,热消融技术作为一种局部精准治疗方式逐渐得到关注和应用。其中,微波消融(MWA)是新兴应用于乳腺癌治疗的热消融技术,与传统手术相比具有创伤小、恢复快、并发症少、美容效果好、最大限度保护患者脏器功能等优点。此外一些研究表明,MWA 可激发抗肿瘤免疫反应,联合免疫治疗有望成为全新治疗方案。该文就 MWA 治疗乳腺癌研究进展作一综述。

【关键词】 乳腺癌;微波消融;超声引导

中图分类号:R737.9 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2025)-003-0335-06

Research progress in microwave ablation therapy for breast cancer WANG Xia, GENG Peng, ZHANG Meihua. Department of Ultrasound Medicine, Yanbian University Hospital, Yanji, Jilin Province 133000, China

Corresponding author: ZHANG Meihua, E-mail: zhangmeihua@ybu.edu.cn

【Abstract】 Breast cancer is the most common malignant disease in women, it seriously threatens women's physical and mental health. Traditional surgical resection is the treatment of first choice. With the innovation of surgical treatment concept and the continuous development of medical technology, the thermal ablation technology, as a kind of local precision treatment, has gradually attracted the attention and application in medical field. Among thermal ablation techniques, microwave ablation (MWA) is an emerging thermal ablation technology used in the treatment of breast cancer. Compared with traditional surgery, MWA has the advantages of less trauma, quick recovery, less complications, satisfactory cosmetic effect, and maximum protection of patient's organ functions. Moreover, some studies have revealed that MWA can motivate anti-tumor immune response, therefore, it is expected that MWA combined with immunotherapy may become a new therapeutic regimen. This article aims to make a detailed review about the latest research progress in MWA for the treatment of breast cancer.

【Key words】 breast cancer; microwave ablation; ultrasound guidance

乳腺癌是女性最常见恶性疾病,发病率约为 58.5/10 万,已超过肺癌成为全球最常见恶性肿瘤,中国发病率位列女性恶性肿瘤首位^[1-2]。传统手术切除是治疗乳腺癌主要手段,手术方式经历早期扩大根治术、改良根治术、保乳手术,但外科手术创伤大、美容效果差,患者可能会产生自卑、抑郁等心理问题^[3-4]。随着微创技术不断发展,非手术局部治疗方法逐渐受到关注及应用。目前临床常用消融技术包括微波消融(microwave ablation, MWA)、射频消

融(radiofrequency ablation, RFA)、高强度聚焦超声(high intensity focused ultrasound, HIFU)、冷冻消融(cryoablation, CA)和激光消融(laser ablation, LA)等^[5]。MWA 应用于肝^[6]、甲状腺^[7]、肾^[8]、骨^[9]等部位治疗具有创伤小、并发症少、美容效果好、受热沉效应影响小等优点,为无法耐受外科手术患者带来治疗福音。研究还发现 MWA 能激发抗肿瘤免疫反应,与免疫治疗联合应用有望成为乳腺癌治疗新策略^[10]。本文就 MWA 在乳腺癌治疗研

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2025.03.021

基金项目:国家自然科学基金(81960554),吉林省自然科学基金(YDZJ202301ZYTS131)

作者单位:133000 吉林延吉 延边大学附属医院超声医学科(汪夏、耿鹏、张美花),健康体检中心(张美花)

通信作者:张美花 E-mail: zhangmeihua@ybu.edu.cn

究进展进行综述。

1 技术特点

1.1 原理与机制

MWA 主要由微波发生器和空心水冷轴天线构成^[11-12],其原理是电磁微波通过天线穿刺肿瘤组织,使其内水分子形成的偶极子快速旋转摩擦,至局部温度达到 60~100 °C,进而导致:①肿瘤组织蛋白质变性、凝固和坏死;②消融区域血液供应受破坏,肿瘤组织缺血、缺氧,加速肿瘤细胞坏死;③坏死的肿瘤组织引发机体免疫反应,激活免疫系统,防止肿瘤复发和转移^[13]。

1.2 引导方式

超声引导具有简单、方便、经济、安全等优点,能够实时监测消融针位置、消融边界以及病灶内部回声变化,以便进行 MWA 治疗,同时超声检查也是随访评估 MWA 疗效的首选方式^[14]。MRI 引导精确度虽然高于超声,但 MRI 引导操作复杂,对患者要求高,且成本较高,故在引导乳腺癌 MWA 治疗方面很少应用^[15]。

2 适应证及禁忌证

MWA 在不同大小和病理类型乳腺癌中均有涉及,由于缺乏多中心、大样本临床数据,其治疗乳腺癌标准尚未统一。根据 2022 年《中国肿瘤微创治疗技术指南》^[16]推荐,对于一些原发性肿瘤、体质过弱或拒绝外科手术患者及术后复发或晚期愿提高生存质量患者,适合行热消融治疗。同时,结合乳腺癌 MWA 治疗现有研究^[14,17-18],MWA 适应证为:①拒绝或不耐受外科手术治疗患者;②乳腺癌最大径 ≤ 3 cm,且肿块与皮肤、胸大肌、乳头距离均 ≥ 1 cm;③经乳腺常规超声诊断为乳腺单发肿瘤且无广泛导管内侵犯;④穿刺活检病理证实为早期乳腺癌,无远处及腋窝淋巴结转移;⑤晚期乳腺癌局部姑息治疗;⑥乳腺癌术后局部复发。禁忌证^[19-20]为:①存在严重出血倾向、凝血机制障碍;②严重高血压、糖尿病、心肺功能不全;③妊娠期、哺乳期、月经期;④肿瘤伴广泛导管内浸润;⑤肿瘤至皮肤/胸大肌距离 < 1 cm 且无粘连。

3 应用

3.1 MWA 与手术治疗对比

Yu 等^[21]对比分析 MWA 与保留乳头乳晕复合体的乳房切除术(nipple-sparing mastectomy,

NSM)治疗 64 例乳腺癌患者后效果(肿瘤进展、并发症及美容效果),结果显示 MWA 组、NSM 组分别有 2 例、3 例肿瘤进展,差异无统计学意义($P = 0.16$),均无严重并发症发生,但 MWA 组美容效果更好($P < 0.001$),治疗时间更短($P < 0.00$);因此认为,MWA 与手术相比疗效相似,但 MWA 住院时间更短,美容效果更好。Zhong 等^[22]对比分析 MWA 联合内分泌治疗与标准外科手术联合辅助治疗对 132 例老年(> 70 岁)乳腺癌患者的效果,结果发现 MWA 组($n = 33$)、外科手术组($n = 99$)都出现局部复发 1 例,肿瘤进展分别为 0 例、2 例,两组总生存期(overall survival, OS)差异无统计学意义($P = 0.49$)。因此,MWA 可安全可行地作为替代外科手术切除治疗方案,且能在局部麻醉下进行,创伤更小,尤其对老年患者是一种很好的选择。

3.2 MWA 在乳腺癌应用

目前国内外对 MWA 治疗乳腺癌研究主要集中在早期乳腺癌。2002 年 Gardner 等^[23]首次对 10 例原发性乳腺癌患者行 MWA 术,未出现明显并发症,术后 5~18 d 超声检查显示有 6 例患者肿瘤明显缩小;初步研究认为 MWA 治疗乳腺癌有效且安全。Dai 等^[24]纳入 106 例早期乳腺癌患者,其中 21 例接受 MWA 治疗,均达到完全消融效果,仅有 2 例术后出现复发,均无严重并发症。一项 Meta 分析纳入 1 266 例直径 ≤ 2 cm 乳腺癌患者,分析不同热消融技术疗效,结果显示总消融率为 86%,其中 RFA(92%)、MWA(87%)、CA(85%)消融率最高;总局部复发率为 0%~3%,并发症发生率为 5%~18%^[25]。然而 MWA 与其他消融技术相比,优势更显著,如作用温度更高、消融范围更广、消融时间更短和热沉效应小等^[26]。因此,MWA 治疗早期乳腺癌是安全可行的,但仍需大样本临床数据和长期随访作支撑。

此外,与早期乳腺癌 MWA 治疗相比,临床上对于晚期乳腺癌 MWA 治疗相对较少。Liu 等^[27]报道采用 MWA 治疗 12 例晚期乳腺癌胸部转移患者,治疗中 MWA 设置为 40 W 或 50 W,温度 45 °C,术后显示有 2 例出现局部肿瘤进展,主要并发症发生率为 1/12,认为 MWA 治疗晚期乳腺癌有一定效果。一般而言,MWA 温度达到 60 °C 以上才能对肿瘤组织达到完全消融结果,然而对转移患者消融过程中为保护脊髓、血管、神经,温度不宜过高,可短期内反复消融达到治疗效果。目前,MWA 治疗乳腺癌研究甚少,国内外近年 MWA 治疗乳腺癌文献回顾见表 1。

表 1 近年 MWA 治疗乳腺癌文献回顾

文献作者(出版年)	实验设计(病例数)	病理类型	技术成功(%)	消融时间(min)	1 年、3 年 OS(%)	美容满意度(%)
Yu 等(2020) ^[21]	回顾性研究(<i>n</i> = 21)	浸润性导管癌	100	23.7~69.2	93.3、93.3	100
姜剑等(2022) ^[19]	回顾性研究(<i>n</i> = 18)	原位癌黏液性癌 + 浸润性乳腺癌	100	4.8~87.4	—	100
罗艳春等(2022) ^[28]	回顾性研究(<i>n</i> = 42)	浸润性导管癌	100	8.4~19.9	—	100
Zhong 等(2023) ^[22]	前瞻性研究(<i>n</i> = 33)	浸润性乳腺癌	100	1.7~4.5	97.0、92.6	—

3.3 MWA 联合治疗

随着医学技术不断进步,针对乳腺癌的治疗手段越来越多样化。Kong 等^[29]研究发现 MWA 可促进活性氧(ROS)生成,导致细胞损伤和凋亡,而 MWA 联合阿霉素治疗后 ROS 生成更多,联合治疗组细胞凋亡率显著高于其他组($P < 0.01$),表明 MWA 联合化疗能明显有效杀伤肿瘤细胞。闫岩^[30]纳入 80 例胸壁复发乳腺癌患者,其中 MWA 联合化疗组 41 例,单独化疗组 39 例,结果显示联合组、单独化疗组总有效率分别为 92.68%、74.36%,完全缓解分别为 15、9 例,因此认为 MWA 联合化疗治疗乳腺癌有一定疗效,可起到协同作用。

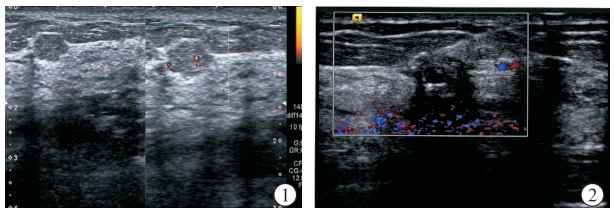
然而,化疗药物在杀伤肿瘤细胞的同时也会损伤正常细胞,导致一系列不良反应,如恶心、呕吐、脱发等,这将大大损害患者身心健康,而免疫治疗的不良反应相对较小。一些研究发现 MWA 可诱导相关免疫反应,引起细胞毒性和趋化因子活性增强,从而治疗乳腺癌^[31-34]。Yu 等^[31]发现 MWA 通过激活巨噬细胞/白细胞介素(IL)-15/自然杀伤细胞(NK)通路,使原发性乳腺癌肺转移受到抑制。Zhou 等^[32]研究证实 MWA 通过激活可诱导 T 细胞共刺激分子(inducible T-cell co-stimulator, ICOS)通路,使 CD4⁺ T 细胞和血清干扰素 γ 水平显著升高,诱导 Th1 型免疫反应,从而治疗乳腺癌。虽然 MWA 使抗肿瘤免疫应答增加,但 MWA 诱导免疫反应较弱,不足以预防肿瘤复发或转移,所以需要联合免疫治疗来增强抗肿瘤免疫应答。目前这种联合治疗尚处于基础研究阶段。Zhu 等^[35]将小鼠分为未治疗组、MWA 组、免疫抑制剂组[程序性细胞死亡蛋白(PD)-1 与细胞毒 T 淋巴细胞相关抗原(CTLA)-4 阻断剂]、MWA 联合免疫抑制剂组,发现免疫抑制剂能增强 MWA 诱导的抗肿瘤免疫应答,联合治疗显著延长小鼠生存期。此外, Li 等^[36]将 MWA 与免疫增强剂 OK-432 应用于小鼠乳腺癌模型,结果同样显示小鼠生存期延长,这是由于 MWA 激活乳腺癌细胞 T 细胞免疫应答,与 OK-432 联合诱导了 Th1 型免疫应答,并引发特异性抗肿瘤免疫;因此认为 MWA 联合免疫治疗可引起全身抗肿瘤免疫

反应,是一种有前景的治疗方法,有望成为乳腺癌治疗全新方案,但需临床进一步研究证实。

4 疗效

4.1 影像学评估

MWA 术后疗效评估由于缺乏组织标本,无法确定最终病理结果,因此可通过严格且规范的影像学检查评估病灶是否完全消融,判断是否需要进一步治疗,同时影像学检查也是术后长期随访所必需的。目前临床常用影像学检查方法包括常规超声、对比增强超声(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)和 MRI。常规超声检查操作方便、经济,可重复性高,是消融术后评估疗效的首选影像学方法。肿瘤完全消融的典型特征是病变周围出现低回声晕。李永杰等^[37]报道采用 MWA 治疗 16 例老年乳腺癌患者,首次治疗均获完全消融,治疗前消融区常规超声检查显示有条状血流信号,治疗后 15 d 显示呈团状强回声,其周围可见低回声晕,12 个月后消融区逐渐缩小,仅显示两条“等号”状低回声。乳腺癌患者 MWA 术前和术后常规超声影像见图 1。



①术前常规超声检查示结节呈低回声、分叶状,内见点状血流信号;②术后 9 个月复查示结节内部回声紊乱,内见强光斑,血流信号消失(影像来自延边大学附属医院超声科)

图 1 乳腺癌患者 MWA 术前和术后常规超声影像

CEUS 是通过静脉注射对比剂实时动态观察给药后正常组织和病变组织血流灌注情况评估消融效果,若病变区未见增强说明完全消融^[38]。MRI 检查原理与 CEUS 相似,但精确度高于超声,能够精确显示病灶与正常腺体边界,其增强扫描可更加清晰地显示病变内血流空间分布^[39]。Liu 等^[40]报道采用 MWA 术治疗 26 例乳腺癌患者,术后 3 d 内行 CEUS 与 MRI,结果显示 CEUS、MRI 诊断完全消

融的灵敏度、特异度、阳性预测值(PPV)、阴性预测值(NPV)、准确度分别为 100%、40.0%、87.5%、100%、88.5%、100%、60.0%、91.3%、100%、92.3%；表明 CEUS 与 MRI 评估 MWA 术后疗效无明显差异，均能有效评估 MWA 治疗乳腺癌效果。然而目前临床上大多采用 CEUS 评估病灶消融疗效，因为其费用相对低廉，对患者要求不高，术后复查更方便，有助于术后长期随访。如果条件允许，可两种检查方法联合应用，对评估疗效会更加精确。

4.2 美容效果

MWA 作为一种微创疗法，相比传统外科手术不需切开皮肤，避免了手术瘢痕形成，有助于保持皮肤完整性和美观度。罗艳春等^[41]报道对 83 例早期乳腺癌患者采用 MWA 或 NSM 治疗，术后经倾向性评分匹配(PSM)后两组患者各 19 例，评估患者美容效果(根据患者皮肤纹理、色素沉着和瘢痕等因素将美容满意度分为非常满意、较满意、一般、不满意)，结果显示 MWA 组 19 例患者评价均为非常满意，NSM 组评价为非常满意 3 例，较满意 11 例，一般 4 例，不满意 1 例。可见，MWA 术后美容效果要优于外科手术，其对于爱美女性是不错选择。尤其是肿瘤复发可能需行二次手术，外科手术会对患者创伤更大，带来瘢痕更明显，而 MWA 则具可重复性，可行多次治疗，能达到更好的美容效果和治疗效果。

5 并发症

一项 Meta 分析结果提示 MWA 治疗乳腺癌患者并发症发生率为 4% (95% CI: 1%~17%)，主要包括热损伤、轻微疼痛、乳头回缩等，热损伤是最常见并发症^[42]。Zhou 等^[43]报道对 41 例乳腺癌患者行 MWA 治疗，术后出现皮肤热损伤 1 例，胸大肌轻度热损伤 2 例，均为轻微损伤且能恢复。姜剑等^[19]报道对 18 例 T2 期乳腺癌患者行 MWA 治疗，术后出现轻度红肿 3 例，轻度压痛 2 例，轻度烫伤 2 例，经冰敷后恢复正常；出现皮肤破溃 1 例，经清创消毒换药后伤口愈合。罗艳春等^[28]采用 MWA 治疗 42 例乳腺癌患者，术后仅 1 例发生皮肤烫伤，后自行缓解。由此可见，MWA 发生并发症概率较小，大多可自行缓解。有研究认为，病灶与皮肤、胸大肌、乳头距离均 ≥ 1 cm 是 MWA 治疗乳腺癌适应证，距离过近(<1 cm)时会导致 MWA 过程中热量

堆积，损伤邻近皮肤、肌肉、乳头^[14]。因此，MWA 术前应准确评估病灶距皮肤、肌肉和乳头距离，可在消融病灶周边注射液体隔离带进行保护以预防烫伤，术中应避免消融时间过长，对于直径较大结节可在短时间内多次、重复消融，术后可用冰袋对消融区冷敷，若烫伤严重可行皮损切除缝合^[44]。

6 MWA 优势与不足

首先，研究证实 MWA 可作为外科手术的替代选择，尤其是对老年患者具有潜在优势。MWA 与其他消融技术相比作用温度更高、消融范围更广、消融时间更短及热沉效应更小^[21-22, 41]。其次，鉴于 MWA 原理和乳房解剖结构，消融时含水量少的腺体和脂肪不会受损，而含水量多的肿瘤组织则受到破坏，这在很大程度上减少了并发症发生^[26, 45]。再次，随着乳腺癌发病年龄趋于年轻化，女性对术后美容效果越来越在意。MWA 作为一种微创疗法具有创伤小、恢复快优点，可避免大面积组织损伤，这为爱美女性带来福音。最后，MWA 联合免疫治疗已被证明能有效解决晚期乳腺癌患者生存期短问题，可通过激活患者全身抗肿瘤免疫应答显著延长生存期，且不良反应较放疗和化疗手段相对较小^[30, 35-36]。

MWA 治疗乳腺癌不足之处在于术后缺乏组织标本，最终病理结果不能确定；消融针在结节中位置放置不当或消融时间过长时，影响超声对结节边界的实时监控，不能准确评估消融范围导致消融不完全；消融范围过大时可造成周围正常组织损伤^[26, 42]；MWA 联合免疫治疗目前尚处于起步阶段，具体机制和长期效果还不明确，需更多临床数据支持。

7 小结与展望

MWA 治疗乳腺癌相较传统外科手术具有治疗时间短、并发症少、美观等优势，逐渐被临床医师及患者接受，尤其适用于早期乳腺癌患者，能够调节肿瘤免疫微环境，激发抗肿瘤免疫反应，其联合免疫治疗增强消融的免疫效应，有望成为乳腺癌治疗新策略，但具体治疗效果仍需多中心、大样本病例累积。随着医学水平进步和临床经验丰富，未来研究应明确 MWA 治疗乳腺癌适应证及禁忌证，聚焦于探索 MWA 引起的免疫效应机制、与免疫检查点抑制剂等药物联合治疗方案、精准治疗策略开发以及长期疗效评估，为临床提供更具体指导。相信 MWA 终

将为乳腺癌患者带来更满意的治疗效果。

参考文献

- [1] Xia C, Dong X, Li H, et al. Cancer statistics in China and United States, 2022: profiles, trends, and determinants[J]. Chin Med J (Engl), 2022, 135: 584-590.
- [2] 陈茂山, 吕青.《基于人口登记数据 2000—2020 年全球乳腺癌发病和死亡率分析》要点解读[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2022, 29: 401-406.
- [3] 张彩, 王智彪, 丁强. 微无创消融技术治疗早期乳腺癌[J]. 中国肿瘤外科杂志, 2020, 12: 329-333.
- [4] Al-Ghazal SK, Fallowfield L, Blamey RW. Comparison of psychological aspects and patient satisfaction following breast conserving surgery, simple mastectomy and breast Reconstruction[J]. Eur J Cancer, 2000, 36: 1938-1943.
- [5] 马燕飞, 唐乾利. 热消融技术在乳腺疾病治疗中的临床应用进展[J]. 右江民族医学院学报, 2022, 44: 583-586.
- [6] Musick JR, Philips P, Scoggins CR, et al. Laparoscopic microwave ablation versus percutaneous microwave ablation of hepatic malignancies: efficacy and recurrence-free survival outcomes in patients[J]. Surgery, 2023, 173: 598-602.
- [7] Zhang JQ, Yan L, Chen HQ, et al. Cyto-inactivation instantly induced by microwave ablation on thyroid nodules[J]. Zhonghua Yi Xue Za Zhi, 2018, 98: 3524-3527.
- [8] Hong B, Du X, Ji YP, et al. Safety and efficacy of laparoscopic microwave ablation combined with partial nephrectomy for renal tumors: initial experience[J]. Zhonghua Yi Xue Za Zhi, 2021, 101: 3794-3798.
- [9] Zheng K, Yu XC, Hu YC, et al. Clinical guideline for microwave ablation of bone tumors in extremities[J]. Orthop Surg, 2020, 12: 1036-1044.
- [10] 周文斌, 唐新宇, 王水. 局部微波消融技术在乳腺癌治疗中的应用[J]. 外科理论与实践, 2022, 27: 403-405.
- [11] Fallahi H, Prakash P. Antenna designs for microwave tissue ablation[J]. Crit Rev Biomed Eng, 2018, 46: 495-521.
- [12] Zhang W, Jin Z, Baikpour M, et al. Clinical application of ultrasound-guided percutaneous microwave ablation for benign breast lesions: a prospective study[J]. BMC Cancer, 2019, 19: 345.
- [13] 陈伟, 纪晓惠, 韩若凌, 等. 超声引导微波消融治疗兔 T[J]. 中国超声医学杂志, 2015, 31: 446-448.
- [14] 陈治光, 何文, 张巍. 乳腺癌的热消融治疗[J]. 中国医学影像学杂志, 2023, 31: 1332-1336.
- [15] 连婧阁, 嵇颖, 李康安. 磁共振引导下消融治疗乳腺癌的应用进展[J]. 介入放射学杂志, 2020, 29: 953-957.
- [16] 中国研究型医院学会互联网医院分会. 解亦斌. 中国肿瘤微创治疗技术指南[J]. 癌症进展, 2022, 20: 1838-1856.
- [17] 王晓丽. 微波消融治疗乳腺癌的现状与争议[J]. 中国微创外科杂志, 2018, 18: 1018-1022.
- [18] 闫继慈, 周玉斌. 微波消融治疗乳腺癌的实验与临床研究[J]. 中国保健营养, 2020, 30: 386-388.
- [19] 姜剑, 戴雨晴, 陈思彤, 等. 超声引导经皮微波消融治疗 T[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30.
- [20] 周文斌, 谢晖, 丁强, 等. 微波消融在乳腺癌局部精准治疗中的新进展: 联合免疫治疗未来可期[J]. 中国癌症杂志, 2022, 32: 698-704.
- [21] Yu J, Han ZY, Li T, et al. Microwave ablation versus nipple sparing mastectomy for breast cancer ≤ 5 cm: a pilot cohort study[J]. Front Oncol, 2020, 10: 546883.
- [22] Zhong Z, Ling LJ, Tao J, et al. Percutaneous microwave ablation combined with endocrine therapy versus standard therapy for elderly patients with HR-positive and HER2-negative invasive breast cancer: a propensity score-matched analysis of a multi-center, prospective cohort study[J]. Gland Surg, 2023, 12: 940-951.
- [23] Gardner RA, Vargas HI, Block JB, et al. Focused microwave phased array thermotherapy for primary breast cancer[J]. Ann Surg Oncol, 2002, 9: 326-332.
- [24] Dai Y, Liang P, Wang J, et al. Microwave ablation without subsequent lumpectomy versus breast-conserving surgery for early breast cancer: a propensity score matching study[J]. Int J Hyperthermia, 2023, 40: 2186325.
- [25] van de Voort EMF, Struik GM, Birnie E, et al. Thermal ablation as an alternative for surgical resection of small (≤ 2 cm) breast cancers: a meta-analysis[J]. Clin Breast Cancer, 2021, 21: e715-e730.
- [26] Peek MCL, Douek M. Ablative techniques for the treatment of benign and malignant breast tumours[J]. J Ther Ultrasound, 2017, 5: 18.
- [27] Liu B, Wu Z, Mo H, et al. Safety and efficacy of microwave ablation for breast cancer thoracic metastases[J]. Cancer Manag Res, 2018, 10: 5685-5689.
- [28] 罗艳春, 戴宇晴, 刘思思, 等. 超声引导经皮微波消融 ≤ 5 cm 乳腺癌的中期疗效[J]. 分子影像学杂志, 2022, 45: 465-469.
- [29] Kong P, Chen L, Shi X, et al. Microwave ablation combined with doxorubicin enhances cell death via promoting reactive oxygen species Generation in breast cancer cells[J]. Diagn Interv Imaging, 2018, 99: 783-791.
- [30] 闫岩. 局部微波热疗与化疗联合应用于胸壁复发乳腺癌的疗效观察[J]. 世界最新医学信息文摘, 2016, 16: 163.
- [31] Yu M, Pan H, Che N, et al. Microwave ablation of primary breast cancer inhibits metastatic progression in model mice via activation of natural killer cells[J]. Cell Mol Immunol, 2021, 18: 2153-2164.
- [32] Zhou W, Yu M, Pan H, et al. Microwave ablation induces Th1-type immune response with activation of ICOS pathway in early-stage breast cancer[J]. J Immunother Cancer, 2021, 9: e002343.
- [33] Zhou W, Yu M, Mao X, et al. Landscape of the peripheral immune response induced by local microwave ablation in patients with breast cancer[J]. Adv Sci (Weinh), 2022, 9: e2200033.

- [34] He NN, Jiang JT. Contribution of immune cells in synergistic anti-tumor effect of ablation and immunotherapy[J]. Transl Oncol, 2024, 40: 101859.
- [35] Zhu J, Yu M, Chen L, et al. Enhanced antitumor efficacy through microwave ablation in combination with immune checkpoints blockade in breast cancer; a pre-clinical study in a murine model[J]. Diagn Interv Imaging, 2018, 99: 135-142.
- [36] Li L, Wang W, Pan H, et al. Microwave ablation combined with OK-432 induces Th1-type response and specific antitumor immunity in a murine model of breast cancer[J]. J Transl Med, 2017, 15: 23.
- [37] 李永杰, 冯庆亮, 孙凤芝, 等. 超声引导经皮微波热消融和手术切除治疗老年乳腺癌的对照研究[J]. 中国超声医学杂志, 2011, 27: 608-611.
- [38] Cao J, Fan PL, Wang F, et al. Application of contrast-enhanced ultrasound in minimally invasive ablation of benign thyroid nodules[J]. J Interv Med, 2022, 5: 32-36.
- [39] 贾振宇, 陈奇峰, 吴文涛, 等. 肝脏肿瘤微波消融后 MRI 信号演变解读[J]. 介入放射学杂志, 2017, 26: 324-328.
- [40] Liu S, Cai W, Luo Y, et al. CEUS versus MRI in evaluation of the effect of microwave ablation of breast cancer [J]. Ultrasound Med Biol, 2022, 48: 617-625.
- [41] 罗艳春, 戴宇晴, 窦健萍, 等. 微波消融与保留乳头乳晕复合体改良根治术治疗早期乳腺癌的对比: 倾向性评分匹配分析[J]. 分子影像学杂志, 2022, 45: 94-100.
- [42] Mauri G, Sconfienza LM, Pescatori LC, et al. Technical success, technique efficacy and complications of minimally-invasive imaging-guided percutaneous ablation procedures of breast cancer; a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Radiol, 2017, 27: 3199-3210.
- [43] Zhou W, Zha X, Liu X, et al. US-guided percutaneous microwave coagulation of small breast cancers; a clinical study [J]. Radiology, 2012, 263: 364-373.
- [44] 中国抗癌协会肿瘤消融治疗专业委员会, 中国临床肿瘤学会肿瘤消融专业委员会, 中国医师协会介入医师分会肿瘤消融专业委员会, 等. 微波消融治疗乳腺良性结节专家共识[J]. 中华内科杂志, 2023, 62: 369-373.
- [45] Carriero S, Lanza C, Pellegrino G, et al. Ablative therapies for breast cancer: state of art [J]. Technol Cancer Res Treat, 2023, 22: 15330338231157193.

(收稿日期: 2024-04-01)

(本文编辑: 谷 珂)

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告