

·综述 General review·

磁共振引导下消融治疗乳腺癌的应用进展

连婧阁, 嵇颖, 李康安

【摘要】 MRI 引导下消融治疗是一种新兴的微创治疗手段,随着乳腺癌的检出率逐渐升高,消融治疗以其微创、并发症少、疗效好和可重复等优势成为乳腺癌的可选治疗方案。MRI 引导下消融治疗包括射频消融、高强度聚焦超声、微波消融、冷冻消融及激光消融,本文就 MRI 引导下消融技术对乳腺癌治疗的应用进展作一综述。

【关键词】 乳腺癌; 消融; 磁共振引导

中图分类号: R737.9 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2020)-09-0953-05

MRI-guided ablation for the treatment of breast cancer: recent progress in clinical application LIAN Jingge, JI Ying, LI Kangan. Department of Radiology, Shanghai General Hospital of Shanghai Jiaotong University, Shanghai, 200080, China

Corresponding author: LI Kangan, E-mail: kangan.li@shsmu.edu.cn

【Abstract】 MRI-guided ablation treatment is an emerging minimally-invasive therapeutic means. With the increasing detection rate of breast cancer, the ablation therapy, being of its advantages of minimally-invasive, less complication, reliable curative effect and reusable, has become the preferred therapeutic regimen for breast cancer. MRI-guided ablation therapy methods mainly include radiofrequency ablation, high-intensity focused ultrasound ablation, microwave ablation, cryoablation and laser ablation. This paper aims to make a comprehensive review about the clinical application of MRI-guided ablation therapy for breast cancer. (J Intervent Radiol, 2020, 29: 953-957)

【Key words】 breast cancer; ablation; MRI guided

乳腺癌是女性最常见的恶性肿瘤之一,近年来其发病率逐渐增加,有研究表明,在亚洲女性中乳腺癌发病率约占全部癌症的 1/4^[1]。早期乳腺癌标准治疗方法为保乳手术治疗(breast conserving treatment, BCT)及前哨淋巴结活检^[2]。此外,可以进一步的辅以放疗、化疗或激素治疗。随着乳腺癌病情的进一步恶化,则应手术切除乳房,如果出现淋巴结转移则需要清扫前哨淋巴结及腋窝淋巴结。然而这些治疗会导致乳房缺损及外观畸形,影响美观,对患者身心健康均会造成很大的影响。随着医学技术的进步和人们对生活质量要求的提高,具有靶向、微创、安全、高效、并发症少及花费少等优势 of 的乳腺微创消融治疗从而兴起。Mauri 等^[3]的 meta 分析报道了

影像引导下的乳腺微创消融治疗的有效率为 96%,可以与 BCT 达到相同的疗效,故而近年来影像引导下的乳腺微创消融治疗被广泛研究。

1 MRI 引导乳腺癌消融治疗的优势

乳腺表面只有皮肤覆盖而无其它中间结构,可以根据手术需要改变形状,是消融理想的部位。目前临床上乳腺癌消融治疗多采用传统超声^[4-6]、CT^[7]及 MRI^[8]进行影像引导。CT 引导精确度较差,不能提供实时监测且辐射剂量大。超声价格便宜且治疗时间短,但其不能精确地监测病灶消融的过程,且消融过程中产生的气体容易导致高回声而影响监控,其缺乏血管信息不能对消融后残余病灶准确的

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2020.09.022

基金项目: 国家自然科学基金(81972872、11826020)、上海市科委科技创新项目(17441900700)、上海市申康医院发展中心项目(16CR3091B)、上海交通大学医工交叉基金(YG2015MS31)

作者单位: 200080 上海交通大学附属第一人民医院放射科

通信作者: 李康安 E-mail: kangan.li@shsmu.edu.cn

评估。相比之下,MRI 虽昂贵、耗时,却在显示乳腺软组织方面有着极大的优势,其无电离辐射,三维显示可精确地观察乳腺肿瘤的位置及范围,定位准确,对温度变化敏感,且时间和空间分辨率高,可对消融过程及温度进行实时监控并根据其做出适当的调整,同时可精确地对即时疗效作出评估^[9]。此外对于经 MRI 引导下乳腺癌灶消融的疗效评估方法目前也在研究当中,一些试验采用的是 MRI 或重复活检,也有一些人采用消融后手术切除来评估。

2 MRI 引导乳腺消融技术的原理和临床应用

根据消融原理 MRI 引导下乳腺消融技术主要有: RFA、高强度聚焦超声(HIFU)、MWA、激光消融(laser ablation, LA)和冷冻消融(cryoablation)。

2.1 RFA

RFA 是将 RFA 电极针插入肿瘤部位,利用射频电流使得正负离子高速振动从而导致肿瘤内部的温度升高,肿瘤细胞发生不可逆损伤,最终凝固性坏死,同时在其周围形成反应带,以限制其转移及血供。其具有可操作性强,安全性高,耗时短,相对治疗费用低及可重复治疗等优势^[10],然而到目前为止针对其治疗效果仅有少量文献报道。MRI 可更精确地评估肿瘤的大小,监测肿瘤消融情况。其主要存在的问题包括:①来自 RF 消融探针导致的伪影可能影响病灶位置的显示,并且可能影响测温;②消融仪造成的电磁干扰会产生噪声。已有研究针对这些问题提出了解决方案^[11]。

目前,RFA 已应用于全身体瘤,包括肝、肺、肾、骨及骨转移、乳腺等部位的肿瘤。对于拒绝手术治疗或不能耐受手术治疗的乳腺癌患者,RFA 可考虑替代 BCT^[12-13]。目前关于 MRI 引导 RFA 治疗乳腺癌的报道还较少。有研究表明,RFA 主要应用于肿瘤直径 <2 cm,在影像学上表现为境界清楚的局限性乳腺癌和在组织学上病理证实的乳腺癌患者,而不适用于浸润性小叶癌、浸润性导管癌及接受新辅助化疗的患者。van den Bosch 等^[14]首次进行了 MRI 引导下 RFA 治疗乳腺癌的可行性研究,3 例浸润性乳腺癌患者治疗后最终组织病理学显示其中 1 例患者 100%的肿瘤消融,另外 2 例分别为 33%和 50%,这 2 名患者消融不彻底可能是由于导管内原位癌或肿瘤组织的不均匀性,患者均未出现并发症。Yamamoto 等^[15]报道 29 例 MRI 引导下乳腺癌 RFA 治疗的患者,通过 MRI 检查以及 RFA 后,进行组织病理学检查,结果表明其完全消融率达 92.3%。

赵玉年等^[13]对 12 例病理确诊的乳腺癌患者行 MRI 引导下 RFA 治疗,最终表明所有肿瘤组织均发生坏死,病灶模糊或者消失,增强 MRI 提示消融后肿瘤区域无强化,所有患者均达到完全缓解且未出现严重的并发症,同时术后随访 1 年所有患者均生存。

MRI 引导的 RFA 治疗乳腺癌并发症罕见且轻微,包括皮肤或肌肉的烧伤及擦伤^[16],为了减少这些不良反应,故有一些研究建议排除距离皮肤或胸壁 <1 cm 的肿瘤,而轻微的不适可以采取局部麻醉和镇静来解决。MRI 引导 RFA 治疗乳腺癌似乎是一种安全、可行的微创治疗方法,但若要将其应用于临床仍需更多的研究。

2.2 HIFU

HIFU 是一种较新的非侵入性消融技术,通过超声探头产生的超声波透过乳腺软组织,靶向特定的肿瘤组织区域,通过高温效应、机械效应及空化效应使得靶区局部温度升高,从而导致聚焦区域的肿瘤组织在短时间内发生凝固性坏死,同时其对焦点以外周围正常乳腺组织没有明显影响^[17-18]。此外,HIFU 还可以诱导热休克蛋白的生成,从而激活免疫系统释放免疫细胞,最终达到肿瘤免疫治疗的效果^[19]。

目前应用于临床的 HIFU 治疗乳腺癌相关研究主要是通过超声和 MRI 进行引导的。MRI 引导 HIFU 治疗乳腺癌是根据测温序列对肿瘤部位的温度进行动态监控,根据温度改变对超声功率和能量辐照随时进行调整,当温度 $\geq 60^{\circ}\text{C}$ 时,根据以往的研究结果可确定消融组织发生凝固性坏死,这时便可停止辐照,这样可以控制治疗超声能量有效的同时又不会过度,从而确保了治疗的安全有效^[20]。而超声引导 HIFU 治疗乳腺癌主要是根据治疗区域的回声改变来反馈结果,不能对病变区域的温度进行实时监控,从而导致治疗过程中不能控制能量的释放,如果出现辐射剂量不足,则不能达到消融效果最终导致残余的肿瘤复发而影像临床疗效,若辐射剂量过度则可能会引起治疗的安全相关问题^[21]。

目前,国内 MRI 引导下 HIFU 还多局限于子宫肌瘤^[22-23],但国外已有一些应用于乳腺癌^[24-25]。Huber 等^[26]于 2001 年首次报道了 MR-HIFU 应用于浸润性乳腺癌的结果,1 例 II 期浸润性导管癌患者被治疗,在消融后行增强 MRI 检查,结果显示肿瘤区域未强化,表明肿瘤已被成功消融,同时还可以看到围绕肿瘤边缘的高信号;之后手术切除肿瘤,术后病理学结果也证实了消融术后病灶处表现为不同

程度的坏死损伤。Furusawa 等^[27]的研究显示经 MRI 引导 HIFU 治疗后 53.5% 患者完全消融。Napoli 等^[28]评估 MR-HIFU 治疗浸润性乳腺癌患者的疗效, 10 例患者在消融治疗后 MRI 均提示消融灶区域无强化, 且所有患者均在 21 d 之内进行常规保乳手术, 病理分析显示 10 例病灶中有 9 例在坏死区周围至少 5 mm 的正常乳腺组织且没有残留癌症细胞。Merckel 等^[8]研究了 10 例早期浸润性乳腺癌的患者, 对其进行 MR-HIFU 后发现肿瘤坏死最大直径为 3~11 mm, 且均未出现并发症, 同时发现温度升高和外加的能量没有相关性而肿瘤坏死的大小与能量有关。Knüttel 等^[29]评估了 MR-HIFU 及 BCT 的经济效应, 显示 MR-HIFU 相对于 BCT 花费较高, 但如果未来的研究中减少治疗的时间并且可以达到相同或更好的治疗效果, 那么成本效益就会大大增加。MR-HIFU 的优势包括非侵入性、MRI 对肿瘤区域及周边组织显示的高分辨率, 缺点包括治疗时间长(平均时间在 78~171 min), 定位易受呼吸影响, 需要适度镇静。

2.3 MWA

MRI 引导下 MWA 是在 MRI 引导下通过发射频率 >900 MHz 的电磁波, 引起组织内水分子及蛋白质分子等高速震荡, 通过分子间的碰撞及摩擦导致局部温度增高, 最终杀灭含水量较多的肿瘤细胞^[30]。2002 年 Gardner 等^[31]首次将 MWA 技术应用于乳腺, 认为其在乳腺癌治疗上是安全有效的。MRI 具备在进行三维导航多平面成像和同时可对肿瘤组织进行实时温度检测, 对温度改变的敏感和强烈的组织对比使其成为较理想的 MWA 的引导方式。但由于设备问题, 操作困难且成本较高, 目前还没有 MRI 引导下 MWA 治疗乳腺癌的报道。

与其他消融方式相比, MWA 耗时短, 仅需要局部麻醉, 其可以使肿瘤区域在短时间内达到治疗温度, 具有创伤小、消融体积大、受热沉效应影响小、传导性好、易止血等优点。然而, 一些患者不能忍受 2~3 min 的治疗, 从而中断治疗, 此时则应考虑治疗时间减少是否能达到有效的治疗效果或者可以考虑全身麻醉继续治疗。对皮肤和胸肌的热损伤是该治疗的潜在的副作用。

2.4 LA

LA 具有与 MRI 完全兼容的优点, 其利用近红外波段的高能激光与靶组织产生的热效应, 导致肿瘤区域发生致死性热损伤, 之后坏死的肿瘤组织逐渐被机体吸收, 最终达到治疗乳腺癌的目的。同时

光凝效应可以有效地减少治疗过程中的出血。虽然超声或者立体定位仪均可用于引导, 但均不能很好地可视化治疗区域, 因而 MRI 引导下激光治疗或许更有用。热消融区通常由中央坏死区构成, 宏观上还包含环绕在其周边的苍白组织及出血区。由于血红蛋白及水的吸收率较低, 通常穿透乳腺组织使用的激光波长范围为 590~1 064 nm。目前常用的激光器有两种类型: 二极管激光器和 Nd:YAG 激光器。Nd:YAG 激光器在 1 064 nm 的波长处激光能产生更高的能量, 在波长为 1 000~1 100 nm 可以实现更高层次的组织穿透, 主要被用于高血流灌注的软组织。二极管激光器波长在 800~980 nm, 比起 Nd:YAG 消融时间减少, 这得益于其更高的水吸收系数^[32]。

MRI 引导下 LA 允许在治疗过程中使用 MRI 实时监测组织内的温度变化, 从而实现精确的热凝固, 使周围的正常组织免受伤害。激光的热效应不仅可以破坏肿瘤细胞, 还可以减少其增殖。Mumtaz 等^[33]首次报道了用 MRI 和激光治疗乳腺癌患者, 在该研究中, 20 例患者接受 LA 后手术切除病灶, MRI 没有用来实时监控只是在激光治疗前后应用。MRI 和组织病理学结果表明二者发现残余肿瘤的相关系数为 0.86。Vogl 等^[34]对 1 例复发性转移性乳腺癌的患者行 MRI 引导下 LA 术, 在治疗后 1 d 和 4 个月 MRI 结果均显示肿瘤完全消融且无残留或复发征兆。Korourian 等^[35]对 29 例乳腺癌患者在组织内激光凝固治疗(magnetic resonance-guided interstitial laser photocoagulation, MR-GILP)后进行手术切除, 发现 76% 肿瘤完全消融, 标本的增殖细胞核抗原的活动性出现不同程度的降低, 表明 MRI 引导下激光治疗可以安全有效地治疗小于 1 cm 的单一病灶的乳腺癌患者。MRI 可以成功地显示激光治疗后残余的肿瘤病灶, 同时其对于术前评估肿瘤大小和患者选择也很有帮助。除了皮肤灼烧, 肿瘤破裂则是 LA 导致的严重的并发症。

2.5 冷冻消融

冷冻消融是唯一应用冷冻代替热导致肿瘤坏死的消融技术, 其分为冷冻和解冻两步^[36]。首先, 通过快速降温等方法使得肿瘤组织迅速降至零下 40℃, 反复的冻-融循环使得肿瘤细胞的细胞壁破坏从而导致微血栓生成, 最终使得病变组织发生不可逆改变进而坏死。其破坏肿瘤细胞的机制包括: 细胞内冰晶形成、渗透性脱水、血管损伤、免疫反应, 其中前两者为直接损伤, 后两者为间接损伤。该技

术最初用于结直肠癌肝转移,相对于其他技术对麻醉的要求较低,显微镜下结果与 RFA 和激光消融相似,中央区为透明坏死,周围为正常活细胞。

基于前期转移性肝肿瘤和乳腺良性肿瘤的重要治疗经验,MRI 引导下冷冻消融作为非手术技术用来治疗乳腺癌的前景值得研究,目前已有研究者证实了冷冻消融治疗小浸润性乳腺癌的可行性。Morin 等^[37]于 2004 年报道了 25 例浸润性乳腺癌患者应用 MRI 引导下冷冻消融的结果。由于仅有 2 个小于 2 cm 的病灶,其所治疗的 25 例中 13 例(52%)完全消融,所有组织均被破坏并无组织学残留,且均未出现局部还全身性的严重并发症,而其余 12 例治疗无效,其中有 10 例是因为试验早期没有合适的冷冻针,或者是因为冷冻针在操作过程中形成泪滴样冰球,而另外 2 例是因为治疗不充分。因此认为 MRI 引导下冷冻消融可安全有效地对侵袭性乳腺癌进行治疗,且在手术过程中可以根据 MRI 成像对阴性结果进行预测。Pusztaszeri 等^[38]对 11 例早期乳腺癌患者行 MRI 引导下冷冻消融,仅有 2 例完全缓解,6 例部分缓解。其因此认为冷冻消融不适合于导管内乳腺癌的治疗,消融后残余肿瘤组织相对于同等情况下的浸润性乳腺癌较高,原因可能是导管内乳腺癌可以很好地耐受局部的组织缺血,因此针对不同类型肿瘤需要不同的治疗方案。经消融后仅有部分坏死组织被人体吸收,但残留肿瘤组织与坏死组织的难以区分,导致疗效很难评估。除此之外,该消融方式比其他方法更加耗时。

3 总结及展望

综上所述,MRI 引导下消融技术凭借其微创、安全性高、疗效显著和不影响外观等优点,逐渐被更多的患者熟知和接受,其似乎是治疗小乳腺癌颇具应用前景的非手术技术。然而目前针对该技术还没有统一的适应证和禁忌证,但大部分研究认为其适应证包括:①拒绝做传统手术或传统手术不耐受;②单发肿瘤、边界清楚且无广泛导管内癌;③肿瘤直径 <2 cm、距皮肤表面及胸肌边缘 >1 cm。禁忌证包括:有手术及 MRI 禁忌、不愿意手术的患者。并发症主要包括疼痛、肌肉及皮肤烧伤等,其中皮肤损伤最常见,可通过控制肿瘤与皮肤的距离及术中注射生理盐水进行控制。作为一种新兴的微创技术,其疗效显著且安全性高,但其仍存在一些不足:①MRI 操作较复杂,手术过程中需反复进出检查,从而使得手术时间变长;②价格昂贵,治疗过程中

所使用的装置设备均需要 MR 兼容;③不能用于有 MRI 禁忌,如装有心脏起搏器的患者。目前,MRI 引导下消融技术治疗乳腺癌还处于前期研究阶段,其疗效是否等同于传统保乳术尚需更大规模的多中心临床试验证实。随着 MRI 设备的不断更新及不同成像序列的不断开发,MRI 已成为十分精确的动态监测和介入引导方式,相信在以后的研究中能有更大的突破性进展。

[参考文献]

- [1] Ferlay J, Soerjomataram I, Dikshit R, et al. Cancer incidence and mortality worldwide: sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012[J]. *Int J Cancer*, 2015, 136: E359-E386.
- [2] Moran MS, Schnitt SJ, Giuliano AE et al. Society of Surgical Oncology - American Society for Radiation Oncology consensus guideline on margins for breast-conserving surgery with whole-breast irradiation in stages I and II invasive breast cancer[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2014, 88: 553-564.
- [3] 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.
- [4] Yu J, Wu H, Meng XW, et al. Ultrasound-guided percutaneous microwave ablation of central intraductal papilloma: a prospective pilot study[J]. *Int J Hyperthermia*, 2019, 36: 606-612.
- [5] Xu J, Wu H, Han Z, et al. Microwave ablation of benign breast tumors: a prospective study with minimum 12 months follow-up[J]. *Int J Hyperthermia*, 2018, 35: 253-261.
- [6] Peek MCL, Ahmed M, Scudder J, et al. High-intensity focused ultrasound in the treatment of breast fibroadenomata (HIFU-F trial)[J]. *Int J Hyperthermia*, 2018, 34: 1002-1009.
- [7] Pusceddu C, Melis L, Ballicu N, et al. Cryoablation of primary breast cancer in patients with metastatic disease: considerations arising from a single-centre data analysis[J]. *Biomed Res Int*, 2017, 2017:3839012.
- [8] Merckel LG, Knüttel FM, Deckers R, et al. First clinical experience with a dedicated MRI-guided high-intensity focused ultrasound system for breast cancer ablation[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26: 4037-4046.
- [9] Pediconi F, Marzocca F, Cavallo Marincola B, et al. MRI-guided treatment in the breast[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2018, 48: 1479-1488.
- [10] Zhao Z, Wu F. Minimally-invasive thermal ablation of early-stage breast cancer: a systemic review[J]. *Eur J Surg Oncol*, 2010, 36: 1149-1155.
- [11] Zhang Q, Chung YC, Lewin JS, et al. A method for simultaneous RF ablation and MRI[J]. *J Magn Reson Imaging*, 1998, 8: 110-114.
- [12] Ito T, Oura S, Nagamine S, et al. Radiofrequency ablation of

- breast cancer: a retrospective study[J]. Clin Breast Cancer, 2018, 18: e495-e500.
- [13] 赵玉年,沈文荣,李健,等.磁共振导向技术在乳腺癌射频消融治疗中的应用[J].实用放射学杂志,2017,33:1088-1091.
- [14] van den Bosch M, Daniel B, Rieke V, et al. MRI - guided radiofrequency ablation of breast cancer: preliminary clinical experience[J]. J Magn Reson Imaging, 2008, 27: 204-208.
- [15] Yamamoto N, Fujimoto H, Nakamura R, et al. Pilot study of radiofrequency ablation therapy without surgical excision for T1 breast cancer: evaluation with MRI and vacuum-assisted core needle biopsy and safety management[J]. Breast Cancer, 2011, 18: 3-9.
- [16] Sanderink WG, Mann RM. Advances in breast intervention: where are we now and where should we be? [J]. Clin Radiol, 2018, 73: 724-734.
- [17] Moncion A, Harmon JS, Li Y et al. Spatiotemporally-controlled transgene expression in hydroxyapatite-fibrin composite scaffolds using high intensity focused ultrasound[J]. Biomaterials, 2019, 194: 14-24.
- [18] 易根发,赵卫,范宏杰,等.不同子宫位置子宫肌瘤的高强度聚焦超声消融效果分析[J].介入放射学杂志,2019,28:280-283.
- [19] van den Bijgaart RJ, Eikelenboom DC, Hoogenboom M, et al. Thermal and mechanical high - intensity focused ultrasound: perspectives on tumor ablation, immune effects and combination strategies[J]. Cancer Immunol Immunother, 2017, 66: 247-258.
- [20] Merckel LG, Knuttel FM, Deckers R, et al. First clinical experience with a dedicated MRI-guided high-intensity focused ultrasound system for breast cancer ablation[J]. Eur Radiol, 2016, 26: 4037-4046.
- [21] 王湘杰,褚永华.磁共振引导高强度聚焦超声的乳腺射频线圈研究进展[J].医疗装备,2019,32:193-195.
- [22] 刘佳,张晓东,容蓉,等. MR 引导下高强度聚焦超声消融子宫肌瘤温度曲线参数与治疗效果的关系[J].中国介入影像与治疗学,2018,15:268-272.
- [23] 黄耀渠,周守国,王娟,等.磁共振引导聚焦超声术消融症状性子宫肌瘤的效果[J].广东医学,2019,40:1409-1413.
- [24] Gianfelice D, Khiat A, Mourad A, et al. MR imaging - guided focused US ablation of breast cancer: histopathologic assessment of effectiveness: initial experience[J]. Radiology, 2003, 227: 849-855.
- [25] Gianfelice D, Khiat A, Boulanger Y, et al. Feasibility of magnetic resonance imaging-guided focused ultrasound surgery as an adjunct to tamoxifen therapy in high - risk surgical patients with breast carcinoma[J]. J Vasc Interv Radiol, 2003, 14: 1275-1282.
- [26] Huber PE, Jenne JW, Rastert R, et al. A new noninvasive approach in breast cancer therapy using magnetic resonance imaging-guided focused ultrasound surgery[J]. Cancer Res, 2001, 61: 8441-8447.
- [27] Furusawa H, Namba K, Thomsen S, et al. Magnetic resonance-guided focused ultrasound surgery of breast cancer: reliability and effectiveness[J]. J Am Coll Surg, 2006, 203: 54-63.
- [28] Napoli A, Anzidei M, Ciolina FA, et al. MR - guided high - intensity focused ultrasound: current status of an emerging technology[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2013, 36: 1190-1203.
- [29] Knuttel FM, Huijsse SEM, Feenstra TL, et al. Early health technology assessment of magnetic resonance - guided high intensity focused ultrasound ablation for the treatment of early - stage breast cancer[J]. J Ther Ultrasound, 2017, 5: 23.
- [30] 田慧,叶欣.微波消融治疗早期非小细胞肺癌现状[J].介入放射学杂志,2018,27:1102-1106.
- [31] 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.
- [32] Kerbage Y, Betrouni N, Collinet P, et al. Laser interstitial thermotherapy application for breast surgery: current situation and new trends[J]. Breast, 2017, 33: 145-152.
- [33] Mumtaz H, Hall - Craggs MA, Wotherspoon A, et al. Laser therapy for breast cancer: MR imaging and histopathologic correlation[J]. Radiology, 1996, 200: 651-658.
- [34] Vogl TJ, Mark MG, Straub R, et al. MR-guided laser-induced thermotherapy with a cooled power laser system: a case report of a patient with a recurrent carcinoid metastasis in the breast[J]. Eur Radiol, 2002, 12(Suppl 3): S101-S104.
- [35] Korourian S, Suzanne K, Henry-Tillman R, et al. Assessment of proliferating cell nuclear antigen activity using digital image analysis in breast carcinoma following magnetic resonance - guided interstitial laser photocoagulation[J]. Breast J, 2003, 9: 409-413.
- [36] Peek MCL, Douek M. Ablative techniques for the treatment of benign and malignant breast tumours[J]. J Ther Ultrasound, 2017, 5: 18.
- [37] Morin J, Traore A, Dionne G et al. Magnetic resonance-guided percutaneous cryosurgery of breast carcinoma: technique and early clinical results[J]. Can J Surg, 2004, 47: 347-351.
- [38] Pusztaszeri M, Vlastos G, Kinkel K, et al. Histopathological study of breast cancer and normal breast tissue after magnetic resonance - guided cryotherapy ablation[J]. Cryobiology, 2007, 55: 44-51.

(收稿日期:2019-10-09)

(本文编辑:俞瑞纲)