

# 聚集超声消融治疗子宫肌瘤的优势及MRI在治疗中的应用

岳文静, 班允清\*

新疆医科大学第五附属医院影像中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年1月29日; 录用日期: 2024年2月23日; 发布日期: 2024年2月29日

## 摘要

子宫肌瘤在育龄期妇女中极为普遍, 它不仅能导致阴道异常出血, 还可能引发多种生殖系统疾病, 严重影响患者的健康。高强度聚焦超声(high-intensity focused ultrasound, HIFU)是一种微无创手术, 具有无创和保留子宫的优势, 为育龄期女性提供了一种新的选择。然而HIFU术后远期再干预率高, 具有复发风险, 利用磁共振成像(Magnetic resonance imaging, MRI)能有效评估HIFU消融子宫肌瘤的有效性和安全性, 可用于术前安全性评估和疗效预测、术中监测、术后疗效评估以及术后再干预和局部复发方面。本文就近年来磁共振在HIFU治疗子宫肌瘤方面的研究进展进行综述。

## 关键词

磁共振成像, 子宫肌瘤, 高强度聚集超声

# The Advantages of Focused Ultrasound Ablation for Uterine Fibroids and the Use of MRI in the Treatment

Wenjing Yue, Yunqing Ban\*

Imaging Center, The Fifth Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

Received: Jan. 29<sup>th</sup>, 2024; accepted: Feb. 23<sup>rd</sup>, 2024; published: Feb. 29<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Uterine fibroids are extremely prevalent in women of reproductive age, and it not only causes ab-  
\*通讯作者。

normal vaginal bleeding, but may also trigger a variety of reproductive diseases, which seriously affect patients' health. High intensity focused ultrasound (HIFU) is a micro noninvasive procedure with the advantages of being noninvasive and preserving the uterus, providing a new option for women of reproductive age. However, HIFU has a high rate of long-term re-intervention and carries a risk of recurrence, and the use of magnetic resonance imaging (MRI) to effectively assess the efficacy and safety of HIFU ablation of uterine fibroids can be used for preoperative safety assessment and efficacy prediction, intraoperative monitoring, postoperative efficacy assessment, and postoperative re-intervention and local recurrence. In this article, the recent progress of magnetic resonance in the treatment of uterine fibroids with HIFU is reviewed.

## Keywords

Magnetic Resonance Imaging, Fibroid, High Intensity Aggregation Ultrasound

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

子宫肌瘤(uterus fibroids, UFs), 良性单克隆肿瘤, 是子宫的良性病变, 由平滑肌细胞和成纤维细胞组成, 富含细胞外基质(Extracellular matrix, ECM)。它是育龄期妇女最常见的良性肿瘤, 也是妇女阴道异常出血和其他生殖疾病的常见原因。因为在许多女性中, 子宫肌瘤的发生是无症状或症状隐匿的, 所以其发病率难以准确统计, 估计育龄期妇女的患病率高达 70%~80% [1], 根据尸体解剖统计的数据可高达 50% 以上[2]。患有子宫肌瘤的女性最常见的症状是月经出血过多和经期延长, 导致社交尴尬, 还可能引起缺铁性贫血、疲劳和疼痛。其他症状包括非周期性疼痛、腹部隆起或性交疼痛, 肌瘤增大后还可压迫子宫, 导致盆腔压力增高, 出现泌尿系统症状(如尿频尿急、夜尿症或尿潴留)或胃肠道症状(如腹泻或便秘), 此外子宫肌瘤也可能与生殖问题有关, 包括生育能力受损、妊娠并发症以及复发性流产等[1] [3], 因此对于有症状的肌瘤患者, 尤其是育龄期女性, 能充分缓解症状的医疗干预非常重要。

HIFU 治疗能有效缓解临床症状、减小肌瘤体积, 并且可重复治疗、术后恢复较快、能保留子宫和生育能力, 为有生育需求的女性提供了一种新的选择[4] [5], 因而在肿瘤治疗方面备受关注, 是近年来研究和应用较多的一种无创的治疗方式[6]。

影像学在子宫肌瘤治疗中发挥了重要作用, 目前已使用多种成像技术对子宫肌瘤进行可视化, 包括盆腔超声、计算机断层扫描(CT)和磁共振成像(MRI)。超声检查是子宫肌瘤最常用的成像方式, 但对大体体积肌瘤、多发性肌瘤或肥胖患者的肌瘤时会受到限制。此外, 观察者之间的差异性超声检查的主要局限性之一。计算机断层扫描很少被用作子宫肌瘤的成像技术, 因为它在软组织肿块中的辨别能力较差。MRI 因其软组织分辨率较高、无电离辐射、并能多参数多方位成像等优点, 已成为子宫肌瘤治疗前后的主要评估手段。它是检测和定位肌瘤的种最准确的成像方式, 能显示肌瘤和周围软组织之间的良好对比度, 提供了子宫带状解剖结构的优越显示, 并且观察者间的差异性对结果的影响较超声更小[7]。

## 2. HIFU 治疗

### 2.1. HIFU 治疗的基本原理

自 1942 年 Lynn [8] 等人首次提出使用高强度聚焦光束以来, 人们已经对其进行了探索, 以用于许多

不同的潜在医疗应用。超声波是一种机械波,在人体组织中有良好穿透性,HIFU的治疗原理正是基于这样的生物学效应,在医学影像设备的引导下,超声换能器通常呈凹形,利用超声换能器将体外低能量超声波从不同方向精确地聚焦于体内肌瘤部位,使焦点区域的温度在短时间内迅速上升至 $60^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ ,通过热效应、空化效应及机械效应等促使子宫肌瘤发生凝固性坏死,从而抑制肌瘤生长,使其萎缩坏死而后消失,并且不损伤周围正常组织和血管系统[9]。因此,HIFU可以被认为是一把热刀,但是不必进行开放性手术去除组织。HIFU消融通常使用 $0.8\sim 4\text{ MHz}$ 范围内的频率,强度在 $400\sim 10,000\text{ W/cm}^2$ 之间(时间平均强度)和高达 $10\text{ MPa}$ 的压力幅度,具体取决于确切的应用和治疗方案[10]。

## 2.2. HIFU 治疗子宫肌瘤的优势

目前子宫肌瘤的主要治疗方式包括手术治疗(经腹手术,宫腔镜手术,经阴道手术)、子宫动脉栓塞术(uterine artery embolization, UAE)、高强度聚焦超声(high-intensity focused ultrasound, HIFU)以及药物治疗[2]。手术治疗是子宫肌瘤的传统治疗手段,也是目前子宫肌瘤最主要最彻底的治疗方式,虽然手术方法在不断进步,但仍有较大术后并发症的风险,可能影响患者生育的能力以及正常盆腔结构,这不仅对患者的身体健康造成伤害,还有损于患者的心理健康,并对生活质量造成不良影响[11]。药物治疗虽然能够减少子宫处血流,缩小子宫肌瘤体积,有效改善患者的临床症状,但药物疗法并不能彻底去除肌瘤,大部分患者停药后还会复发,长期使用也可能增加患子宫内膜癌的风险,而对于需要子宫肌瘤手术治疗的,术前用药可明显改善术中出血情况,增加手术成功率,故目前药物治疗多用于术前预处理,可纠正贫血,并能缩小子宫和肌瘤的体积[12]。随着现代医疗技术的发展和进步,越来越多的微无创手术被用于子宫肌瘤的治疗。超声(US)引导下的高强度聚焦超声(HIFU)是一种有效的无创治疗子宫肌瘤消融的策略,可显著减少肿瘤体积,HIFU治疗子宫肌瘤的结果已被证明是可重复的,并且是一种很有前途的治疗替代方法,具有精确性、无创性、快速恢复、保留子宫和生育能力的优点[4][13][14][15][16]。

Tonguc 等学者[15]让 55 名有症状的子宫肌瘤患者在接受了 HIFU 治疗后,分别在术后 6 周、3、6、9 和 12 个月进行随访,根据子宫肌瘤症状和健康相关生活质量问卷(UFS-QOL)进行临床评估,根据超声造影(CEUS)和 MRI 造影进行影像学随访,发现在 HIFU 治疗后 6 周至 12 个月内,症状严重程度量表(SSS)与健康相关生活质量问卷(HRQL)的结果均显著降低,且在 HRQL 的每个分量表中都观察到显著的干预后改善,同时在大多数患者中只观察到了轻微、短暂和自我限制的副作用。证明了在子宫肌瘤患者中,高强度聚焦超声治疗能够减少与子宫肌瘤相关的临床症状,提高与健康相关的生活质量。

Li Fang 等研究者[4]比较了高强度聚焦超声消融(HIFU)、子宫肌瘤切除术和子宫动脉栓塞(UAE)三种保留生育疗法的妊娠结局,对包含 12,367 例患者的 54 项研究进行了荟萃分析,并为了评估 HIFU 前后双侧子宫动脉的血流阻抗,对 2019 年 5 月至 2020 年 12 月的 26 例子宫肌瘤患者进行回顾性自我对照研究。结果发现,在治疗方案分析中,HIFU 术后的妊娠率为 0.18,显著高于 UAE 治疗。HIFU 术后的流产率为 0.08,低于子宫肌瘤切除术后的 0.15 和 UAE 术后的 0.16。在亚组分析中发现接受超声引导的 HIFU (USgHIFU)的女性比接受磁共振成像引导的 HIFU 后更有可能有理想的妊娠结局,例如在 HIFU 后 3 个月,右侧的搏动指数和阻力指数显著高于 HIFU 前。说明了 HIFU 可能通过提高子宫血流阻抗而有助于改善妊娠率,HIFU 治疗,特别是 USgHIFU,可能是 40 岁以上子宫肌瘤患者的另一种保留生育能力的方法。

## 3. 术前检查

### 3.1. 术前诊断

恶性子宫肿瘤的术前诊断对于预防保守治疗或手术至关重要,因为不恰当的治疗手段可能对潜在恶性肿块进行粉碎,导致恶性肿瘤播散[17]。MRI 已被公认为诊断、定位和管理子宫肌瘤的一种非常有用

的方法, 常规 MRI (Conventional Magnetic resonance imaging, cMRI) 包能够全面评估定位, 形态, 边界, 血管和内部成分, 在应用顺磁造影剂后效果更佳[18]。在 MRI 上, 没有变性的普通型肌瘤通常表现为明确的子宫肌层肿块; 在 T1 和 T2 加权图像上, 与肌肉信号相比, 该肿块分别为等信号和均匀低信号, T2 高信号边缘可能存在, 这可能归因于水肿, 如外周淋巴管和静脉的阻塞或扩张, 在大多数情况下, 静脉注射钆造影剂后呈均匀强化, 在表观系数扩散(ADC)图和扩散加权(DWI)图像上通常为低信号[19]。虽然子宫肌瘤和子宫肉瘤的影像学表现存在重叠, 但有研究的结果表明, 90.9%的子宫肉瘤病变表现为边缘不明确, 明显高于子宫肌瘤; 72.7%的子宫肉瘤在 T2WI 上表现为高信号, 也显著高于子宫肌瘤; 此外, 子宫肉瘤无中心增强的比例显著高于子宫肌瘤[20]。

一些先进的 MRI 技术, 比如弥散加权 MRI (DWI), 可以补充传统成像所获得的生理和功能信息, 更有助于区分良性平滑肌瘤和恶性子宫肉瘤。在最近的一项研究中, Abdel 等人[21]开发了一种基于 DWI 的算法, 用于区分良性非典型平滑肌瘤和恶性子宫肉瘤。有学者系统地研究了 cMRI 的特征, 发现 T2WI 上的不规则形态, 边缘定义不清和高信号是最有价值的特征, 可以显著区分子宫肌瘤与子宫肉瘤或退化肌瘤, 结合 cMRI 特性和 DWI 得出的 ADC 值, 可以在区分这些肿瘤时实现最佳的灵敏度和特异性[22], 将诊断准确率提高至 92% [23]。在最近的一项 meta 分析中, 有学者验证了 T1 加权像上的高信号强度和低 ADC 值可以提高区分平滑肌肉瘤与良性平滑肌瘤的准确性[24]。同时, DWI 序列对不同病理类型的子宫肌瘤显示不同的信号特征和 ADC 值, 对肌瘤的分型诊断能提供较好的参考, 提高诊断准确率[25]。

### 3.2. 术前预测

不同信号特点的肌瘤对 HIFU 治疗敏感度不同, 消融过程中效能不同, 相应手术风险和并发症也不同, 对应的治疗方案也会相应发生改变和调整[26] [27]。有研究证明, 患者的子宫肌瘤直径 > 50 mm、子宫前壁肌瘤、T2WI 信号强度较低和 T1WI 强化程度低等因素, 均会影响患者进行高强度聚焦超声治疗的效果[28]。所以术前 MRI 检查对预测 HIFU 消融子宫肌瘤疗效和安全性有一定价值。

目前现有预测模型多倾向于基于传统的 T2 加权成像(T2WI), 在治疗前评估子宫肌瘤的组织学特征时高度敏感[29]。例如, 丰富的细胞含量、高含水量或子宫肌瘤变性会导致 T2WI 上的高信号强度, 而 HIFU 很难治疗高 T2 信号的肌瘤, 同时异质性肌瘤比均质性肌瘤更难用 HIFU 治疗。一项回顾性研究[30]分析了 172 例 MRI-T2WI 和超声引导下高强度聚焦超声(USgHIFU)治疗不同外观的子宫肌瘤的临床资料, 根据 MRI-T2WI 信号强度, 子宫肌瘤分为低强度、等强度和高强度 3 种类型, 以评估不同类型肌瘤消融的临床安全性和有效性, 结果发现高强度子宫肌瘤的非灌注体积百分比和消融效率均低于等强度和低强度子宫肌瘤, 可能是因为 T2 信号高强度组的肌瘤组织细胞更丰富, 增殖率更高。还有一项研究[31]将 401 名接受 HIFU 治疗的孤立性子宫肌瘤患者被分为四组, 包括极低强度, 低强度, 等强和高信号肌瘤, 同时根据肌瘤的信号同质性, 每组进一步分为两种亚型: 同质性和异质性, 比较治疗剂量和长期随访结果, 发现异质肌瘤患者的治疗时间明显长于等强肌瘤患者的均质肌瘤治疗时间。

除 T2WI 高信号外, 造影剂增强 T1 加权成像(CE-T1WI)的明显增强可表明血液供应丰富, 这是限制子宫肌瘤 HIFU 消融率的另一个重要因素[32]。这种抵抗的理论基础是子宫肌瘤细胞由含水量高、胶原纤维稀疏、声阻抗低的丰富平滑肌细胞组成, 同时供血可吸收 HIFU 能量, 随循环运动离开治疗区域, 导致能量沉积效率低, 因此超声波能量的吸收和随后的组织变暖效应降低, 从而降低了消融效应。

### 4. 术中监测

聚集超声消融治疗根据引导方式的不同, 目前在临床上主要通过超声(US-HIFU)和磁共振成像(MR-HIFU) 2 种成像方式提供综合治疗计划, 实时控制(空间和温度指导)和评估, 这两种引导方式各有其



优势和局限性。MR-HIFU 基于具有清晰解剖细节和软组织高对比度的磁共振图像进行超声规划; 同时, MR 测温法在超声处理过程中提供近乎实时的温度图, 以跟踪焦点和周围组织中的加热模式, 可用作 HIFU 传感器的反馈; 此外, 通过对比增强 T1 扫描为后续治疗评估提供了可能性, 后者在手术后通过对比 MR 成像测量计算非灌注体积(NPV)用于评估消融效果[33]。MR 测温提供了接近实时的温度图, 该温度图可对 HIFU 换能器进行反馈, 以确保在目标组织中沉积明确的热剂量, 或者在恒定温度下维持长时间的热疗。负责的放射科医生可以访问所有解剖图像以及叠加的温度图, 并可以通过嵌入复杂软件的规划控制台计划每个超声处理, 以实现最佳能量配置。使用电子光束转向可以加热不同大小的组织体积, 甚至可以通过在运动机器人的帮助下移动或倾斜换能器来达到更大的体积[34]。在一项 meta 分析中, 有学者对比评估了 MR-HIFU 和 US-HIFU 在治疗体积  $< 300 \text{ cm}^3$  症状性子宫肌瘤的有效性和安全性, US-HIFU 组在术后第 3 个月、第 6 个月和第 12 个月的平均非灌注容积率(NPVR)均比 MR-HIFU 组高, 并且 US-HIFU 组术后腹痛和阴道异常分泌物的发生率低于 MRI-HIFU 组, 然而与 MRI-HIFU 组相比, US-HIFU 组术后皮肤烧伤和坐骨神经疼痛更常见, MR-HIFU 后的一年再干预率为 13.4%, 高于 US-HIFU 组的 5.2%, 总体来说, US-HIFU 在治疗体积  $< 300 \text{ cm}^3$  的症状性肌瘤方面可能比 MR-HIFU 表现出更好的效率和安全性 [35]。

## 5. 术后评估

治疗子宫肌瘤的基本原理是将高强度超声能量转化为目标区域的热能, 增强磁共振成像上的非增强区域与病理坏死区域基本一致, 在常规核磁中表现为 T1WI 高信号, T2WI 低信号。组织病理学上, T2WI 信号高的子宫肌瘤比信号低的子宫肌瘤细胞多、血管多、变性大。组织病理学特征的差异是引起 HIFU 消融术对不同子宫肌瘤治疗效果差异的重要因素, 消融速率与胶原纤维含量呈负相关, 但与平滑肌细胞含量呈正相关[36]。寸江平等人[37]根据术后第 3 天肌瘤非灌注区域内 T2WI 信号强度的不同, 将其分为低、等、混杂和高信号组 4 组, 对比了术后第 3 和第 6 个月肌瘤残余体积的差异, 发现高信号组肌瘤残余体积均高于其余 3 组, 这与国外学者[30] [31]认为高 T2 信号和异质性肌瘤在 HIFU 治疗后消融效果不佳的观点一致。不过最近有研究显示, 与单独使用 HIFU 相比, 用 GnRH-a 预处理的 HIFU 治疗可以增强异质性高信号肌瘤的治疗效果[27]。还有研究人员[38]测量术前、术后的表观扩散系数(ADC)和 DWI 信号值, 比较术后 DWI 信号改变区和增强肌瘤坏死区体积, 发现 HIFU 治疗前 ADC、DWI 平均信号值均高于术后, 78.09%的肌瘤术后 DWI 表现为完整的规则或不规则高信号环, 结合术前 T2WI 和术后 DWI, 非增强 MRI 可有效评估大多数子宫肌瘤患者的消融率。充足的血供可防止子宫肌瘤超声能量沉积, 减少热沉, 从而影响消融效果, 动态对比增强 MRI 能够反映子宫肌瘤的血流。有研究显示, 动态对比增强 MRI 动脉期轻度和不规则强化的高信号子宫肌瘤更适用于 US-HIFU 治疗[39]。

## 6. MRI 在 HIFU 治疗子宫肌瘤中应用的展望

现代医学专注于开发个性化的治疗方法和技术, 最大限度地减少对患者的干预和住院时间, HIFU 非常符合这一理念。热消融疗法为癌症治疗提供了一种微创方法, 正迅速获得临床认可, HIFU 是现有消融技术中侵入性最小的, 因此应该是最具吸引力的。MRI 凭借自身优势已成为 HIFU 治疗子宫肌瘤各个环节必不可少的检查和评估手段, 并且不同序列的成像原理、优势和应用不同, 能为临床提供不同方面的信息。但是在术中监测的应用中, 超声引导的 HIFU 治疗比 MRI 应用更广泛, 并且 MRI 在远期疗效评估和复发再干预中的研究较少, 大部分为早中期评估, 远期疗效评价方面还有待更多研究人员和学者的探索。希望未来还会开发出更好的 MRI 功能成像技术, 为患者呈现更优质的图像, 为临床医生提供更多有用的信息, 有助于术前术后的评估和疗效预测。

## 参考文献

- [1] 中国医师协会介入医师分会超声介入专委会, 中国中医药信息学会中西医结合分会超声介入学组, 上海医学会超声分会介入学组, 等. 超声引导子宫肌瘤化学消融治疗中国专家共识(2022版) [J]. 中华超声影像学杂志, 2022, 31(6): 478-489.
- [2] 子宫肌瘤的诊治中国专家共识专家组. 子宫肌瘤的诊治中国专家共识[J]. 中华妇产科杂志, 2017, 52(12): 793-800.
- [3] Stewart, E., Cookson, C., Gandolfo, R. and Schulze-Rath, R. (2017) Epidemiology of Uterine Fibroids: A Systematic Review. *BJOG: An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, **124**, 1501-1512. <https://doi.org/10.1111/1471-0528.14640>
- [4] Li, F., Chen, J., Yin, L., et al. (2023) HIFU as an Alternative Modality for Patients with Uterine Fibroids Who Require Fertility-Sparing Treatment. *International Journal of Hyperthermia*, **40**, Article ID: 2155077. <https://doi.org/10.1080/02656736.2022.2155077>
- [5] Zhou, Y., Chen, P., Ji, X., et al. (2023) Long-Term Efficacy of Fibroid Devascularization with Ultrasound-Guided High-Intensity Focused Ultrasound. *Academic Radiology*. <https://doi.org/10.22541/au.169022089.91015356/v1>
- [6] 刘海红, 史小荣. 高强度聚焦超声治疗子宫肌瘤的研究进展[J]. 国际妇产科学杂志, 2022, 49(5): 540-544, 564.
- [7] Kim, Y., Kim, K., Lee, S., et al. (2017) Preoperative 3-Dimensional Magnetic Resonance Imaging of Uterine Myoma and Endometrium before Myomectomy. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, **24**, 309-314. <https://doi.org/10.1016/j.jmig.2016.10.021>
- [8] Lynn, J., Zwemer, R., Chick, A., et al. (1942) A New Method for the Generation and Use of Focused Ultrasound in Experimental Biology. *The Journal of General Physiology*, **26**, 179-193. <https://doi.org/10.1085/jgp.26.2.179>
- [9] Elhelf, I., Albahar, H., Shah, U., et al. (2018) High Intensity Focused Ultrasound: The Fundamentals, Clinical Applications and Research Trends. *Diagnostic and Interventional Imaging*, **99**, 349-359. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2018.03.001>
- [10] Shaw, A. and Ter Haar, G. (2006) Requirements for Measurement Standards in HIFU Fields. NPL Report DQL AC015.
- [11] 林静霞, 马利国. 子宫黏膜下肌瘤治疗方法的研究进展[J]. 中国现代医生, 2017, 55(2): 161-164.
- [12] 刘亚贤, 兰淑海. 米非司酮治疗子宫肌瘤药理学机制及临床应用研究进展[J]. 中国药物滥用防治杂志, 2022, 28(10): 1354-1357.
- [13] Jeng, C.J., Ou, K.Y., Long, C.Y., et al. (2020) 500 Cases of High-Intensity Focused Ultrasound (HIFU) Ablated Uterine Fibroids and Adenomyosis. *Taiwanese Journal of Obstetrics and Gynecology*, **59**, 865-871. <https://doi.org/10.1016/j.tjog.2020.09.013>
- [14] Yu, S.C., Cheung, E.C., Leung, V.Y., et al. (2019) Oxytocin-Augmented and Non-Sedating High-Intensity-Focused Ultrasound (HIFU) for Uterine Fibroids Showed Promising Outcome as Compared to HIFU Alone or Uterine Artery Embolization. *Ultrasound in Medicine and Biology*, **45**, 3207-3213. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2019.07.410>
- [15] Tonguc, T., Recker, F., Ganslmeier, J., et al. (2022) Improvement of Fibroid-Associated Symptoms and Quality of Life after US-Guided High-Intensity Focused Ultrasound (HIFU) of Uterine Fibroids. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 21155. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24994-w>
- [16] Akhatova, A., Aimagambetova, G., Bapayeva, G., et al. (2023) Reproductive and Obstetric Outcomes after UAE, HIFU, and TFA of Uterine Fibroids: Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **20**, Article 4480. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054480>
- [17] Giuliani, E., As-Sanie, S. and Marsh, E.E. (2020) Epidemiology and Management of Uterine Fibroids. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, **149**, 3-9. <https://doi.org/10.1002/ijgo.13102>
- [18] Demulder, D. and Ascher, S.M. (2018) Uterine Leiomyosarcoma: Can MRI Differentiate Leiomyosarcoma from Benign Leiomyoma before Treatment? *American Journal of Roentgenology*, **211**, 1405-1415. <https://doi.org/10.2214/AJR.17.19234>
- [19] Lin, Y., Wu, R.C., Huang, Y.L., et al. (2022) Uterine Fibroid-Like Tumors: Spectrum of MR Imaging Findings and Their Differential Diagnosis. *Abdominal Radiology*, **47**, 2197-2208. <https://doi.org/10.1007/s00261-022-03431-6>
- [20] Wang, Q., Wu, X., Zhu, X., et al. (2021) MRI Features and Clinical Outcomes of Unexpected Uterine Sarcomas in Patients Who Underwent High-Intensity Focused Ultrasound Ablation for Presumed Uterine Fibroids. *International Journal of Hyperthermia*, **38**, 39-45. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1921288>
- [21] Abdel Wahab, C., Jannot, A.S., Bonaffini, P.A., et al. (2020) Diagnostic Algorithm to Differentiate Benign Atypical Leiomyomas from Malignant Uterine Sarcomas with Diffusion-Weighted MRI. *Radiology*, **297**, 361-371. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020191658>

- [22] Wang, C., Zheng, X., Zhou, Z., *et al.* (2022) Differentiating Cellular Leiomyoma from Uterine Sarcoma and Atypical Leiomyoma Using Multi-Parametric MRI. *Frontiers in Oncology*, **12**, Article 1005191. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.1005191>
- [23] H elage, S., Vandeventer, S., Buy, J.N., *et al.* (2021) Uterine Sarcomas: Are There MRI Signs Predictive of Histopathological Diagnosis? A 50-Patient Case Series with Pathological Correlation. *Sarcoma*, **2021**, Article ID: 8880080. <https://doi.org/10.1155/2021/8880080>
- [24] Virarkar, M., Diab, R., Palmquist, S., *et al.* (2020) Diagnostic Performance of MRI to Differentiate Uterine Leiomyosarcoma from Benign Leiomyoma: A Meta-Analysis. *Journal of the Belgian Society of Radiology*, **104**, 69. <https://doi.org/10.5334/jbsr.2275>
- [25] 缪慧, 王晶晶, 范恒亮. MR-DWI 对不同病理类型子宫肌瘤的鉴别诊断价值研究[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2022(7): 129-131.
- [26] Andrews, S., Yuan, Q., Bailey, A., *et al.* (2019) Multiparametric MRI Characterization of Funaki Types of Uterine Fibroids Considered for MR-Guided High-Intensity Focused Ultrasound (MR-HIFU) Therapy. *Academic Radiology*, **26**, E9-E17. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2018.05.012>
- [27] Jiang, L., Yu, J.W., Yang, M.J., *et al.* (2022) Ultrasound-Guided HIFU for Uterine Fibroids of Hyperintense on T2-Weighted MR Imaging with or without GnRH-Analogue-Pretreated: A Propensity Score Matched Cohort Study. *Frontiers in Surgery*, **9**, Article 975839. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.975839>
- [28] 周玉珍, 钱以琳, 束长珍, 等. 子宫肌瘤妇女高强度聚焦超声治疗前后 MRI 影像参数变化及疗效影响因素分析[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2022, 20(10): 112-114.
- [29] Zhao, W.P., Chen, J.Y. and Chen, W.Z. (2015) Effect of Biological Characteristics of Different Types of Uterine Fibroids, as Assessed with T2-Weighted Magnetic Resonance Imaging, on Ultrasound-Guided High-Intensity Focused Ultrasound Ablation. *Ultrasound in Medicine and Biology*, **41**, 423-431. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2014.09.022>
- [30] Zhao, W.P., Zhang, J., Han, Z.Y., *et al.* (2017) A Clinical Investigation Treating Different Types of Fibroids Identified by MRI-T2WI Imaging with Ultrasound Guided High Intensity Focused Ultrasound. *Scientific Reports*, **7**, Article No. 10812. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11486-5>
- [31] Wang, Y., Gong, C., He, M., *et al.* (2023) Therapeutic Dose and Long-Term Efficacy of High-Intensity Focused Ultrasound Ablation for Different Types of Uterine Fibroids Based on Signal Intensity on T2-Weighted MR Images. *International Journal of Hyperthermia*, **40**, Article ID: 2194594. <https://doi.org/10.1080/02656736.2023.2194594>
- [32] Yang, M.J., Yu, R.Q., Chen, W.Z., *et al.* (2021) A Prediction of NPVR  $\geq 80\%$  of Ultrasound-Guided High-Intensity Focused Ultrasound Ablation for Uterine Fibroids. *Frontiers in Surgery*, **8**, Article 663128. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.663128>
- [33] Siedek, F., Yeo, S.Y., Heijman, E., *et al.* (2019) Magnetic Resonance-Guided High-Intensity Focused Ultrasound (MR-HIFU): Technical Background and Overview of Current Clinical Applications (Part 1). *Rofo*, **191**, 522-530. <https://doi.org/10.1055/a-0817-5645>
- [34] Hijnen, N., Langereis, S. and Gr ull, H. (2014) Magnetic Resonance Guided High-Intensity Focused Ultrasound for Image-Guided Temperature-Induced Drug Delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, **72**, 65-81. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2014.01.006>
- [35] Yu, L., Zhu, S., Zhang, H., *et al.* (2021) the Efficacy and Safety of MR-HIFU and US-HIFU in Treating Uterine Fibroids with the Volume  $< 300 \text{ Cm}^3$ : A Meta-Analysis. *International Journal of Hyperthermia*, **38**, 1126-1132. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1954245>
- [36] Zhang, D.L., Wu, S.S., Chen, S., *et al.* (2020) Differences in the Therapeutic Effects of High-Intensity Focused Ultrasound (HIFU) Ablation on Uterine Fibroids with Different Shear Wave Velocity (SWV): A Study of Histopathological Characteristics. *International Journal of Hyperthermia*, **37**, 1322-1329. <https://doi.org/10.1080/02656736.2020.1849827>
- [37] 寸江平, 范宏杰, 赵卫, 等. 非灌注区域 MR T2WI 信号评估 HIFU 消融子宫肌瘤的疗效[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(9): 1381-1385.
- [38] Liao, D., Xiao, Z., Lv, F., *et al.* (2020) Non-Contrast Enhanced MRI for Assessment of Uterine Fibroids' Early Response to Ultrasound-Guided High-Intensity Focused Ultrasound Thermal Ablation. *European Journal of Radiology*, **122**, Article ID: 108670. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2019.108670>
- [39] Zhao, W., Chen, J. and Chen, W. (2016) Dynamic Contrast-Enhanced MRI Serves as a Predictor of HIFU Treatment Outcome for Uterine Fibroids with Hyperintensity in T2-Weighted Images. *Experimental and Therapeutic Medicine*, **11**, 328-334. <https://doi.org/10.3892/etm.2015.2879>