

# MRI在子宫肌瘤HIFU疗效评估和预测中的价值

帕提买·阿不都克力木, 班允清\*

新疆医科大学第五附属医院CT核磁室, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年1月1日; 录用日期: 2024年1月25日; 发布日期: 2024年2月2日

## 摘要

子宫肌瘤是育龄期妇女最常见的良性肿瘤, 高强度聚焦超声(high intensity focused ultrasound)作为一种新的非侵入性手术方式在子宫肌瘤的治疗中越来越受欢迎。由于肌瘤内部结构异质性, 肌瘤直径, 技术局限性等原因不同患者的HIFU疗效有所不同, 因此患者HIFU治疗疗效的评估和术前预测非常重要。磁共振成像(MRI)以高软组织分辨率、无创无辐射等特点在子宫肌瘤诊疗中尤为重要。本文综述了MRI在高强度聚焦超声治疗子宫肌瘤疗效评价和预测中的作用。

## 关键词

子宫肌瘤, HIFU, MRI, 疗效, 纹理分析

# The Value of MRI in the Assessment and Prediction of Uterine Fibroid HIFU Efficacy

Patimai·Abudukelimu, Yunqing Ban\*

CT MRI Room, The Fifth Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

Received: Jan. 1<sup>st</sup>, 2024; accepted: Jan. 25<sup>th</sup>, 2024; published: Feb. 2<sup>nd</sup>, 2024

## Abstract

Uterine fibroids are the most common benign tumours in women of childbearing age and HIFU is an increasingly popular new non-invasive surgical treatment for uterine fibroids. The efficacy of HIFU varies from patient to patient due to the heterogeneity of the internal structure of the fibroids, fibroid diameter, and technical limitations; therefore, it is important to evaluate the efficacy of

\*通讯作者。

**HIFU treatment in patients and to predict the efficacy of HIFU in the preoperative period. Magnetic resonance imaging (MRI) is particularly important in the diagnosis and treatment of uterine fibroids because of its high soft-tissue resolution and non-invasive and radiation-free characteristics. This article reviews the role of MRI in the evaluation and prediction of the efficacy of HIFU for the treatment of uterine fibroids.**

## Keywords

Uterine Fibroids, HIFU, MRI, Efficacy, Texture Analysis

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

子宫肌瘤是最常见的女性盆腔肿瘤之一,育龄妇女的发病率几乎为70%~75% [1]。虽然大部分子宫肌瘤患者是无症状的,但其中大约30%会有月经异常、贫血、下腹部不适、尿频、尿急,不孕等症状[2]。有症状的子宫肌瘤严重影响患者的精神心理和生活质量,影响育龄期患者的妊娠结局。无症状的子宫肌瘤大多数在体检时被偶然发现,一般不进行特殊治疗,适合期待疗法观察即可。对于有症状的子宫肌瘤目前治疗方法主要以手术治疗为主,腹腔镜、宫腔镜手术及微无创治疗也逐渐成为子宫肌瘤治疗的主要手段,近年来药物治疗、射频、聚焦超声等保留子宫、保留生育能力的治疗方法,逐渐受到关注[3]。

## 2. 高强度聚焦超声消融术(HIFU)

HIFU消融原理是利用超声波的热能和机械能在监控影像的引导下将能量聚集在焦点处,使靶组织处发生不可逆的损伤,它作为一项无创伤性超声切除技术,在体内的焦点可以达到110°C的超高温,通过热效应快速消融病灶致其坏死,达到治疗目的[4]。HIFU治疗子宫肌瘤与传统的治疗手段相比,相对简单、安全可靠、无创,术后恢复快,疗效确切,且能够保留子宫,已在临床广泛应用[5]。在过去十年中,HIFU治疗子宫肌瘤的临床价值已在众多的研究中进行了调查并且这些研究都将该手术描述为安全有效,通过缓解肌瘤相关症状给患者带来显著的临床益处[6]。高强度聚焦超声(HIFU)是症状性子宫肌瘤的一种非侵入性和低风险的治疗选择,为有生育需求的子宫肌瘤患者提供了有效的症状控制,同时避免了手术的潜在风险和缺点。

HIFU治疗效果与术后及时消融率关系较大,消融率高提示患者症状得到明显改善,由于超声波穿透组织的异质性、肌瘤大小、肌瘤内部结构差异等因素,不同的病人HIFU疗效间存在差异[7]。有研究分析影响HIFU消融效果的因素发现子宫处于前位、子宫肌瘤及子宫体积越大、肌瘤血流分级越低、肌瘤T2WI非高信号并T1WI增强扫描信号非明显强化者越易消融[8]。准确预测子宫肌瘤HIFU消融率有助于选择合适的治疗方案,提高治疗效果。磁共振成像技术(magnetic resonance imaging, MRI)是目前HIFU疗效评估较为常用的影像学方法。

## 3. 磁共振成像技术

### 3.1. MRI 常规序列在 HIFU 疗效评估中的应用

MRI 软组织成像分辨率高,具有多参数成像、无创无辐射等特点,在评价子宫肌瘤治疗效果中具有

重要价值。磁共振成像技术可以确定子宫肌瘤的位置、大小、数量和类型等信息,同时可以清晰的观察肌瘤与周围组织的关系以及肌瘤对周围组织的侵犯程度,有助于确定治疗方案和预测治疗效果[9]。常规MRI序列通过观察子宫的位置(前位、后位),子宫肌瘤的位置(前壁、后壁、侧壁),子宫肌瘤的大小、体积、类型(粘膜下、肌壁间,浆膜下),T2WI信号强度等信息来评估HIFU治疗子宫肌瘤的疗效。一项回顾性研究将患者根据肌瘤大小分为肌瘤较大的L组( $\geq 10$  cm)和肌瘤较小的S组( $< 10$  cm),使用MRI测量患者手术前和手术后三个月的子宫和肌瘤体积来检查HIFU消融术的疗效并进行两组间的比较,发现S组的子宫和肌瘤体积显著降低( $p < 0.05$ ),USgHIFU(超声引导下聚焦超声消融术)对小于10厘米的小肌瘤最有效[10]。子宫肌瘤MRI-T2WI信号强度是目前研究较多的影响HIFU术后消融率的因素。Huang [11]等按照术前子宫肌瘤T2WI信号特征对术前肌瘤进行分组并用相同参数的HIFU照射各组标本,计算坏死组织体积并定量测定平滑肌细胞(SMC)计数和胶原纤维含量,分析它们之间的相关性,发现坏死组织体积与SMC计数呈负相关,与胶原纤维含量呈正相关,说明组织病理学特征的差异可能是HIFU消融术对T2WI上不同信号强度的子宫肌瘤治疗效果不同的原因之一。有学者根据肌瘤T2WI信号特征对肌瘤进行分组,通过分析不同子宫肌瘤T2WI信号强度和均匀度证明了高信号肌瘤用HIFU很难消融,异质性肌瘤比同质性肌瘤更难用HIFU消融[12]。HIFU消融子宫肌瘤的非灌注体积比(NPVR),是术后增强MR图像中非灌注区体积与肌瘤体积的比值,HIFU的疗效与术后即刻非灌注容积比(NPVR)密切相关[13]。杨美杰[14]等研究USgHIFU治疗子宫肌瘤NPVR  $\geq 80\%$ 时的潜在预测因子发现影响消融效率的最关键因素是T2WI上的信号强度,T1WI上的增强类型、子宫前后位和血小板计数占其次。除此之外T2-WI信号强度比值也是最近发现的与HIFU治疗疗效有关联的因素,Gong等[15]发现,子宫肌瘤/骨骼肌T2与子宫肌瘤HIFU消融疗效呈负相关。有研究发现术前T1WI呈低强化子宫肌瘤采用HIFU治疗消融率最高,且患者治疗后6个月肌瘤体积缩小率最大[16]。

### 3.2. 磁共振动态增强扫描(Dynamic Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Imaging, DCE-MRI)

磁共振动态增强扫描(DCE)相比普通增强扫描对于血流动力学要求更高,需要了解细微的血流差异。它是一种MRI灌注技术,它通过评估组织中钆造影剂(GBCA)的浓度作为推注GBCA后时间的函数来计算灌注参数[17]。子宫肌瘤血供越丰富,会从靶区带走的热量越多,导致肌瘤组织升温不足,从而影响高强度聚焦超声治疗子宫肌瘤的即刻消融效果。孙丽[18]等研究发现术前DCE-MRI参数 $K_{EP}$ 系列, $K^{反式}$ , $V_e$ 和SER<sub>麦克斯</sub>可以有效预测HIFU的疗效。WEI [19]等探讨定量DCE-MRI对子宫肌瘤HIFU治疗反应的预测价值研究中发现定量灌注参数 $K^{反式}$ ,血流量(BF)和血容量(BV)与HIFU治疗症状性子宫肌瘤的即刻NPVR呈负相关,为预测HIFU治疗反应提供了重要消息,丰富了血流因素对HIFU消融子宫肌瘤效果影响的理论基础。李晨霞[20]等采用全肿瘤感兴趣区(ROIwt)和单层感兴趣区(ROIsl)对MR-HIFU治疗前获得的定量灌注参数( $K^{反式}$ , $K_{EP}$ 系列和 $V_p$ )进行定量灌注分析,并用类内相关系数(ICC)对其进行一致性检验,发现ROIwt定量灌注参数的观察者内和观察者间ICC均高于ROIsl, $K^{反式}$ 的ROIwt是即刻消融反应的预测因子。

### 3.3. 弥散加权成像(DWI)

部分学者寻找一种无需使用造影剂就可评估HIFU治疗即时效果的MR技术以减少钆对比剂的注射带给患者的经济负担和不良反应。DWI是一种非对比剂增强功能成像技术,它通过计算表观扩散系数值(ADC)反映组织内水分子的扩散情况。它在妇科恶性和非恶性疾病中具有广泛的应用,在诊断或辅助诊断方面发挥着重要作用,并为它们的管理提供有用的补充信息[21]。符孔[22]等应用三种b值( $b = 200$ ,  $b =$

600,  $b = 1000$ )下的 DWI 评估 HIFU 消融子宫肌瘤, 结果显示较低的  $b$  值区分 HIFU 术后消融区和非消融区的诊断效能更高, 能够更好的反应消融后灌注情况。廖东方[23]等测量 HIFU 消融操作前和操作后 ADC 和 DWI 信号值, 比较术后 DWI 信号变化区和造影剂后增强肌瘤坏死区的体积, 发现术前平均 ADC 值和 DWI 信号值均高于术后, DWI 测量 HIFU 术后消融坏死区与非灌注区体积(NPV)无显著差异, 因此它可有效评估大多数子宫肌瘤患者的消融率。Sainio [24]等探讨用 ADC 分类法预测磁共振引导下高强度聚焦超声(MRgHIFU)治疗症状性子宫肌瘤技术结果的可行性, 并将其与 Funaki 分类进行比较, 发现治疗前较低的 ADC 值与较高的 NPV 比率相关, 并得出 ADC 分类似乎能够预测 NPV 比率, 甚至可能优于 Funaki 分类的结论。

### 3.4. 磁共振纹理分析(MRTA)

纹理分析(TA)是一种图像分析技术, 通过数学分析对图像像素的灰度和空间分布信息进行量化[25], 其基本原理是将不同结构的复杂微观异质性间接反映在诊断图像(如 CT 和 MRI)上的灰度级别或像素强度的分布上(即宏观异质性)。因为 TA 可量化病灶异质性, 在鉴别良恶性肿瘤、评估预后, 分级分期, 预测治疗反应等方面的研究越来越深入和广泛[26]。有部分学者也开始将其应用于子宫肌瘤的诊治当中, 苏佰燕[27]等比较 MRI 纹理参数在 HIFU 术前、术后即刻和术后 12 个月图像中的差异并进行其与肌瘤评价参数间的相关性分析, 发现术前纹理参数熵与非灌注区体积比 NPV%呈显著正相关, 说明治疗前后 MRI 图像纹理特征与 HIFU 消融子宫肌瘤的疗效有一定相关性。吴国华[28]等用一阶统计直方图分析和二阶统计灰度共生矩阵回顾性分析 49 例子子宫肌瘤和 34 例子宫腺肌病 MRI 图像纹理特征发现其在鉴别子宫肌瘤与子宫腺肌病中具有一定意义。有研究分析经病理证实的子宫内质肉瘤患者和退行性子宫肌瘤患者的临床及术前 MRI 直方图发现 T2WI 直方图中均值、第 10 个百分位数和第 50 个百分位数的参数具有良好的诊断效果[29]。以上研究说明 MRI 图像纹理分析在子宫肌瘤的鉴别诊断, 治疗反应预测等方面为临床提供了新的方法和思路。

## 4. 总结与展望

磁共振在评估子宫肌瘤的大小、位置和数目等方面具有较高的准确性和可重复操作性, 为术前评估提供了有用的参考信息。磁共振还可以有效地判断治疗效果和并发症, 以评估术后治疗效果。此外在评估治疗安全性方面磁共振可以检测到 HIFU 治疗对周围组织和器官的影响。磁共振可以检测到子宫肌瘤经 HIFU 治疗前后的信号和血供改变, 这些数据帮助临床达到更好的治疗效果, 提高治疗的准确性和安全性。纹理分析(TA)对图像像素强度的异质性进行量化, 从而解释病变与正常组织, 以及不同病变之间人眼无法识别的细微结构之间的差异。目前 MRTA 在子宫肌瘤诊治方面的研究仍处在一个探索性阶段, 在子宫肌瘤 HIFU 治疗疗效预测方面的研究更为少见, 因此需要我们进一步的深入研究。MRTA 有望成为评价 HIFU 治疗子宫肌瘤疗效具有重要临床应用价值的手段。

## 参考文献

- [1] Wang, Y., Zhang, S., Li, C., et al. (2020) Minimally Invasive Surgery for Uterine Fibroids. *Ginekologia Polska*, **91**, 149-157. <https://doi.org/10.5603/GP.2020.0032>
- [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] 高逸龙, 刘义彬. 子宫肌瘤治疗研究进展[J]. 临床医学进展, 2020(3): 260-264.
- [4] 蒋立文. HIFU 控制恶性肿瘤腹膜后淋巴结转移所致疼痛的疗效分析[J]. 中国医疗器械信息, 2023, 29(12): 137-139.
- [5] Cheung, V.Y.T., Lam, T.P.W., Jenkins, C.R., et al. (2019) Efficacy and Safety of Ultrasound-Guided High-Intensity

- Focused Ultrasound for Uterine Fibroids: A Preliminary Experience. *Journal of Obstetrics and Gynaecology*, **39**, 833-839. <https://doi.org/10.1080/01443615.2019.1581740>
- [6] Matlac, D.M., Tonguc, T., Mutschler, N., *et al.* (2023) Study Protocol of A Prospective, Monocentric, Single-Arm Study Investigating the Safety and Efficacy of Local Ablation of Symptomatic Uterine Fibroids with US-Guided High-Intensity Focused Ultrasound (HIFU). *Journal of Clinical Medicine*, **12**, Article No. 5926. <https://doi.org/10.3390/jcm12185926>
- [7] 周野, 李成海, 陈思瑶, 等. 基于 MRI 影像预测高强度聚焦超声治疗子宫肌瘤疗效的研究进展[J]. 医学研究杂志, 2021, 50(8): 16-19.
- [8] 黄婷. 高强度聚焦超声治疗子宫肌瘤的短期疗效及影响因素分析[D]: [硕士学位论文]. 赣州: 赣南医学院, 2023.
- [9] 刘搏, 曹晨, 丁春学, 等. 对比超声造影与磁共振在子宫肌瘤的检测和定性中的应用研究[J]. 现代生物医学进展, 2022, 22(19): 3694-3698.
- [10] Chang, C.T., Jeng, C.J., Long, C.Y., *et al.* (2022) High-Intensity Focused Ultrasound Treatment for Large and Small Solitary Uterine Fibroids. *International Journal of Hyperthermia: The Official Journal of European Society for Hyperthermic Oncology, North American Hyperthermia Group*, **39**, 485-489. <https://doi.org/10.1080/02656736.2022.2039788>
- [11] Huang, H., Ran, J., Xiao, Z., *et al.* (2019) Reasons for Different Therapeutic Effects of High-Intensity Focused Ultrasound Ablation on Excised Uterine Fibroids with Different Signal Intensities on T2-Weighted MRI: A Study of Histopathological Characteristics. *International Journal of Hyperthermia: The Official Journal of European Society for Hyperthermic Oncology, North American Hyperthermia Group*, **36**, 477-84. <https://doi.org/10.1080/02656736.2019.1592242>
- [12] 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: The Official Journal of European Society for Hyperthermic Oncology, North American Hyperthermia Group*, **40**, 2194594. <https://doi.org/10.1080/02656736.2023.2194594>
- [13] Zhou, Y., Zhang, J., Li, C., *et al.* (2023) Prediction of Non-Perfusion Volume Ratio for Uterine Fibroids Treated with Ultrasound-Guided High-Intensity Focused Ultrasound Based on MRI Radiomics Combined with Clinical Parameters. *BioMedical Engineering OnLine*, **22**, Article No. 123. <https://doi.org/10.1186/s12938-023-01182-z>
- [14] 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 ID: 663128. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.663128>
- [15] Gong, C., Lin, Z., Lv, F., *et al.* (2021) Magnetic Resonance Imaging Parameters in Predicting the Ablative Efficiency of High-Intensity Focused Ultrasound for Uterine Fibroids. *International Journal of Hyperthermia: The Official Journal of European Society for Hyperthermic Oncology, North American Hyperthermia Group*, **38**, 523-531. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1904152>
- [16] 徐林刚, 朱秀益, 邱勇钢, 等. 增强 MRI 检查在高强度聚焦超声消融术治疗子宫肌瘤疗效评估中的价值[J]. 浙江医学, 2023, 45(13): 1427-1430.
- [17] Lacerda, S., Barisano, G., Shiroishi, M.S., *et al.* (2023) Clinical Applications of Dynamic Contrast-Enhanced (DCE) Permeability Imaging. In: Faro, S.H. and Mohamed, F.B., Eds., *Functional Neuroradiology: Principles and Clinical Applications*, Springer, Berlin, 175-200. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-10909-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-10909-6_7)
- [18] 孙丽, 高毅. DCE-MRI 在高强度聚焦子宫肌瘤消融术疗效评估中的应用价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2021, 19(3): 107-109.
- [19] Wei, C., Fang, X., Wang, C.B., *et al.* (2018) The Predictive Value of Quantitative DCE Metrics for Immediate Therapeutic Response of High-Intensity Focused Ultrasound Ablation (HIFU) of Symptomatic Uterine Fibroids. *Abdominal Radiology (New York)*, **43**, 2169-2175. <https://doi.org/10.1007/s00261-017-1426-7>
- [20] Li, C., Jin, C., Liang, T., *et al.* (2020) Magnetic Resonance-Guided High-Intensity Focused Ultrasound of Uterine Fibroids: Whole-Tumor Quantitative Perfusion for Prediction of Immediate Ablation Response. *Acta Radiologica (Stockholm, Sweden: 1987)*, **61**, 1125-1133. <https://doi.org/10.1177/0284185119891692>
- [21] Bonde, A., Andreazza, D.A.L., Lago, E., Foster, B., *et al.* (2022) Utility of the Diffusion Weighted Sequence in Gynecological Imaging: Review Article. *Cancers*, **14**, Article No. 4468. <https://doi.org/10.3390/cancers14184468>
- [22] 符孔, 郑桦, 黄素静. 不同 B 值的弥散加权成像评价子宫肌瘤高能聚焦超声术后消融疗效的效果观察[J]. 中国性科学, 2018, 27(11): 52-55.
- [23] 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>

- [24] Sainio, T., Saunavaara, J., Komar, G., *et al.* (2021) Feasibility of Apparent Diffusion Coefficient in Predicting the Technical Outcome of MR-Guided High-Intensity Focused Ultrasound Treatment of Uterine Fibroids—A Comparison with the Funaki Classification. *International Journal of Hyperthermia: The Official Journal of European Society for Hyperthermic Oncology, North American Hyperthermia Group*, **38**, 85-94. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1874545>
- [25] Ghalati, M.K., Nunes, A., Ferreira, H., *et al.* (2021) Texture Analysis and Its Applications in Biomedical Imaging: A Survey. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, **15**, 222-246. <https://doi.org/10.1109/RBME.2021.3115703>
- [26] 陈国钰, 沈桂权, 高波. 纹理分析在肿瘤影像组学中的临床应用[J]. 贵州医药, 2019, 43(7): 1037-1039.
- [27] 苏佰燕, 周慷, 石海峰, 等. 纹理分析对磁共振引导下聚焦超声治疗症状性子宫肌瘤疗效的预测价值[J]. 中国医学科学院学报, 2018, 40(5): 673-679.
- [28] 吴国华. MRI 图像纹理分析对子宫肌瘤与子宫腺肌病的鉴别诊断价值研究[J]. 磁共振成像, 2021, 12(4): 72-74+81.
- [29] Zhang, X.N., Bai, M., Ma, K.R., *et al.* (2021) The Value of Magnetic Resonance Imaging Histograms in the Preoperative Differential Diagnosis of Endometrial Stromal Sarcoma and Degenerative Hysteromyoma. *Frontiers in Surgery*, **8**, Article ID: 726067. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.726067>