

· 论 著 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2017.09.004

## MRI 参数预测聚焦超声治疗子宫肌瘤的消融效果研究\*

廖 铃<sup>1</sup>, 许永华<sup>2△</sup>, 周 崑<sup>3</sup>, 朱 辉<sup>3</sup>

(1. 重庆医科大学生物医学工程学院/省部共建国家重点实验室培育基地/重庆市超声医学工程重点实验室/重庆市生物医学工程重点实验室/重庆市微无创医学协同创新中心 400016; 2. 复旦大学附属中山医院徐汇医院医学影像科 200031; 3. 重庆医科大学附属第二医院 HIFU 肿瘤中心 400010)

**[摘要]** **目的** 探讨子宫肌瘤的相关磁共振成像(MRI)参数在预测子宫肌瘤消融效果方面的价值。**方法** 回顾性分析上海市徐汇区中心医院超声消融治疗中心 2012 年 4 月至 2013 年 12 月共 91 例患者 144 个子宫肌瘤超声消融治疗的相关数据, 分析术前靶肌瘤的血供类型、MRI-T<sub>2</sub>WI 信号强度比值(SIR)、信号均匀度、信号强度值(SI)和表观弥散系数(ADC)与超声消融疗效的关系, 设定 MRI 参数阈值并分组比较各组间治疗后肌瘤的消融率。**结果** 少血供和多血供类型的肌瘤平均消融率为 89.4%、80.9%( $P<0.05$ ); T<sub>2</sub>WI SIR<1.5、 $\geq 1.5$  的肌瘤平均消融率分别为 89.1%、83.6%( $P<0.05$ ); T<sub>2</sub>WI SI<200、 $\geq 200$  的肌瘤平均消融率分别为 89.5%、81.4%( $P<0.05$ ); ADC< $1.4 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/s、 $\geq 1.4 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/s 的肌瘤平均消融率分别为 88.3%、81.7%( $P<0.05$ ); 肌瘤为多血供伴 T<sub>2</sub>WI SIR $\geq 1.5$  的消融率低于多血供或少血供伴 T<sub>2</sub>WI SIR<1.5、少血供伴 T<sub>2</sub>WI SIR $\geq 1.5$  ( $P<0.05$ ); 肌瘤为 T<sub>2</sub>WI 均匀高信号的消融率低于均匀低信号、不均匀高信号、不均匀低信号( $P<0.05$ )。**结论** 子宫肌瘤的 MRI 参数可预测超声消融子宫肌瘤的疗效, 血供丰富和 T<sub>2</sub>WI 均匀高信号的肌瘤超声消融率较低。

**[关键词]** 磁共振成像; 参数; 预测; 分析; 超声消融; 平滑肌瘤**[中图分类号]** R737.3**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2017)09-1163-05

## Study on MRI parameters for predicting ablation effect of focused ultrasound in treating uterine fibroid\*

Liao Ling<sup>1</sup>, Xu Yonghua<sup>2△</sup>, Zhou Kun<sup>3</sup>, Zhu Hui<sup>3</sup>

(1. Biomedical Engineering College of Chongqing Medical University/Province and Ministry Coconstructing State Key Laboratory Breeding Base/Chongqing Key Laboratory of Ultrasonic Medical Engineering/Chongqing Key Laboratory of Biomedical Engineering/Chongqing Micro Noninvasive Medical Cooperative Innovation Center, Chongqing 400016, China; 2. Department of Medical Imaging, Xuhui Hospital, Affiliated Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200031, China; 3. Tumor Center of High Intensity Focused Ultrasound, Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China)

**[Abstract]** **Objective** To investigate the value of the magnetic resonance imaging(RMI) parameters of uterine fibroid for predicting the ablation effect of uterine fibroid. **Methods** The relevant data of 91 patients with 144 uterine fibroids treated by ultrasound ablation in the center of Shanghai Xuhui District Central Hospital from April 2012 to December 2013 were retrospectively analyzed. The relationships between the blood supply patterns, MRI T<sub>2</sub>WI signal intensity ratio(SIR), T<sub>2</sub>WI signal uniformity, T<sub>2</sub>WI signal intensity(SI) and apparent diffusion coefficient(ADC) value of preoperative uterine fibroids with the ultrasound ablation effect were analyzed. The threshold values of the MRI parameters were set and grouped for comparing the ablation rates [non-perfused volume (NPV) ratios] of uterine fibroid among various groups. **Results** The average NPV ratios of the fibroids with more blood supply and less blood supply were 89.4% and 80.9% respectively ( $P<0.05$ ), which of the fibroids with T<sub>2</sub>WI SIR<1.5 and  $\geq 1.5$  were 89.1% and 83.6% respectively, which of the fibroids with T<sub>2</sub>WI SI<200 and  $\geq 200$  were 89.5% and 81.4% respectively, which of the fibroids with ADC value< $1.4 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/s and  $\geq 1.4 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/s were 88.3% and 81.7% respectively ( $P<0.05$ ); which of the fibroids more blood supply complicating T<sub>2</sub>WI signal intensity ratio $\geq 1.5$  was lower than that of fibroids with more blood supply or less blood supply complicating T<sub>2</sub>WI signal intensity ratio<1.5, less blood supply and T<sub>2</sub>WI signal intensity ratio  $\geq 1.5$  respectively ( $P<0.05$ ); which of fibroids with T<sub>2</sub>WI homogeneous high signal intensity was lower than that of fibroids with homogeneous low signal, heterogeneous high signal and heterogeneous low signal respectively ( $P<0.05$ ). **Conclusion** The MRI parameters of uterine fibroids could predict the curative effect of ultrasound ablation for treating uterine fibroid, and the ablation efficacy is poor in the fibroids with rich blood supply and T<sub>2</sub>WI homogeneous high signal.

**[Key words]** magnetic resonance imaging; parameters; forecasting; analysis; ultrasound ablation; leiomyoma

子宫肌瘤又称子宫平滑肌瘤(uterine fibroids, UF), 是女性生殖系统中最常见的良性肿瘤, 在育龄期妇女中发病率为

20.0%~25.0%，而 40~50 岁发病率为 51.2%~60.0%<sup>[1]</sup>，它可引起经量过多、经期延长、下腹包块、贫血、不孕等一系列的临床症状及心理变化，部分患者因临床症状严重或心理因素而需要采取治疗。在 UF 的临床治疗中，高强度聚焦超声 (high intensity focused ultrasound, HIFU) 消融已逐渐推广，它在保留子宫及其生理功能和改善患者生活质量等方面具有重要意义。有研究显示临床采用超声消融技术治疗 UF 是安全有效的<sup>[2]</sup>。UF 消融后其肌瘤体积的缩小程度和肌瘤相关症状缓解的程度及症状缓解持续的时间均与肌瘤的消融率有直接的关系<sup>[3-4]</sup>，因而提高肌瘤的消融率成为目前关注的问题。本研究对治疗前 UF 的血供类型、MRI-T<sub>2</sub>WI 信号强度值 (signal intensity, SI) 及信号强度比值 (signal intensity ratio, SIR)、T<sub>2</sub>WI 信号均匀度、表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 值等参数在 HIFU 治疗 UF 消融率中的影响进行研究分析，现报道如下。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性分析 2012 年 4 月至 2013 年 12 月在中国科学院上海临床中心/上海市徐汇区中心医院进行超声引导的 HIFU (ultrasound-guided HIFU, USgHIFU) 消融治疗的 91 例 UF 患者共 144 个肌瘤的资料，患者年龄 23~57 岁，平均为 (40.3±6.6) 岁；肌瘤大小 1.7~19.8 cm，平均为 (5.0±2.4) cm；增强磁共振检查显示 UF 类型：浆膜下 6 个，肌壁间 128 个，黏膜下 10 个；肌瘤位置：宫底 6 个，前壁 57 个，侧壁 41 个，后壁 38 个及宫颈 2 个。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 磁共振成像 (MRI) 检查

仪器：西门子 3.0 T 超导高场强磁共振扫描仪 (Verio Tim, Siemens Health Co. 德国)，患者治疗前、后 24 h 内均采用相同扫描参数行 T<sub>1</sub>WI、T<sub>2</sub>WI、T<sub>1</sub>WI 对比剂增强和弥散加权成像 (diffusion weighted imaging, DWI) 扫描。测量 UF 的长径 (D1)、左右径 (D2) 及前后径 (D3) 3 个径线，计算肌瘤的体积 ( $V=0.523 \times D1 \times D2 \times D3$ ) 和 UF 消融的体积 [即完全无对比剂灌注区域的体积 (NPV)] 及靶肌瘤的消融率 (肌瘤消融体积/肌瘤体积 × 100%)。在 T<sub>2</sub>WI 加权矢状位图上测量腹直肌的 T<sub>2</sub>WI SI，取肌瘤最大层面的前、后、上、下和中 5 个点 (每个点测量面积约 40 mm<sup>2</sup>) 测量 T<sub>2</sub>WI SI (图 1) 并取其平均数，计算 T<sub>2</sub>WI SIR (肌瘤的 T<sub>2</sub>WI SI/腹直肌 T<sub>2</sub>WI SI)、T<sub>2</sub>WI 信号均匀度值 (T<sub>2</sub>WI SI 的标准差)；在 MRI DMI 横断位图上取肌瘤最大层面的前、后、左、右和中 5 个点测量 ADC 值并取其平均数 (图 2)；根据 MRI 增强扫描后肌瘤与子宫肌层的强化程度对比来判断肌瘤的血供类型 (等于或高于子宫肌层者为多血供 (血供丰富) 类型，反之为少血供类型)。依据各靶肌瘤的消融率与肌瘤 T<sub>2</sub>WI SIR、T<sub>2</sub>WI SI、信号均匀度、ADC 值的关系来确定其阈值。

#### 1.2.2 超声消融治疗

仪器：海扶刀®JC200 型聚焦超声肿瘤治疗系统 (重庆海扶医疗科技股份有限公司)，超声造影剂：六氟化硫微泡 (声诺维 Sonovue, 意大利 Bracco 公司)。所有患者治疗前均严格按超声消融治疗要求做准备，治疗时应使肌瘤充分显露出来，通过机载超声定位肌瘤靶区并将肌瘤分成若干治疗层面，通过控制焦点的三维组合运动，最终完成对靶肌瘤的适形消融治疗。治疗声功率初始为 0 W，最大功率为 400 W，依据患者的耐受程度调节治疗剂量和剂量强度。治疗前、后均行超声造影观察，最后由至少两名或以上超声消融医生

判断肌瘤的消融情况并决定结束或继续治疗。

### 1.2.3 研究分组

根据肌瘤的消融率与肌瘤 T<sub>2</sub>WI SIR、T<sub>2</sub>WI SI、信号均匀度和 ADC 值关系的散点分布图，以肌瘤完全消融和几乎完全消融的密集和疏散分布区间来选取各参数阈值。根据肌瘤的 MRI 参数及阈值进行分组：(1) 按肌瘤的 SI 分为大于或等于 T<sub>2</sub>WI SIR 阈值和小于 T<sub>2</sub>WI SIR 阈值，高信号 ( $\geq T_2WI SI$  阈值) 和低信号 ( $< T_2WI SI$  阈值)；(2) 按肌瘤的信号均匀程度分为信号不均匀 (大于或等于均匀度阈值) 和信号均匀 (小于均匀度阈值)；(3) 根据肌瘤的血供情况分为多血供 (血供丰富) 和少血供类型；(4) 按肌瘤的 ADC 值分为  $\geq ADC$  值阈值、 $< ADC$  值阈值。

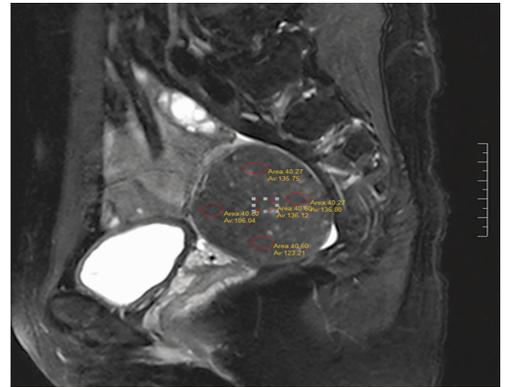


图 1 UF MRI T<sub>2</sub>WI 矢状位上 SI 测量图

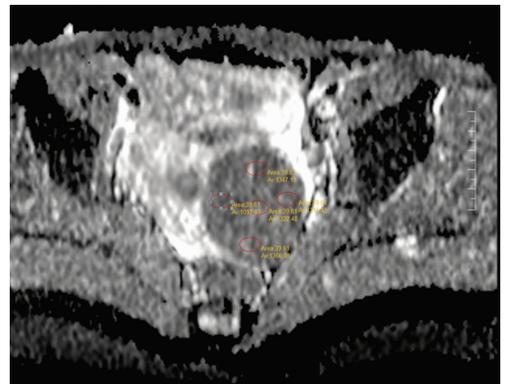


图 2 UF MRI DWI 横断位上 ADC 值测量图

### 1.3 统计学处理

应用 CS10.3 软件行统计学分析，计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示。对靶肌瘤的不同 MRI 参数组间肌瘤的消融率进行 *t* 检验 (或 *t'* 检验)、*Q* 检验分析，多因素分析采用线性 (Linest) 回归分析，以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 消融结果

UF 的平均消融率为 (86.7±15.6)% (37%~100%)，其中消融率为 100% 的肌瘤共 47 个 (32.6%)，消融率为 90%~<100% 的肌瘤共 34 个 (23.6%)，消融率为 70%~<90% 的肌瘤共 38 个 (26.4%)，消融率为 50%~<70% 的肌瘤共 20 个 (13.9%)，消融率小于 50% 的肌瘤 5 个 (3.4%)。

### 2.2 肌瘤的血供类型与肌瘤信号强度的关系

多血供和少血供类型的肌瘤 T<sub>2</sub>WI SI 分别为 231.7±112.5、158.2±66.8，二者比较差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 肌瘤 MRI 参数阈值的选取

根据肌瘤消融率与肌瘤 MRI 相关参数关系的散点分布图 (图 3)，当肌瘤 T<sub>2</sub>WI SIR < 2.0、T<sub>2</sub>WI SI < 200、T<sub>2</sub>WI 信号均匀度值小于 20、ADC < 1.4 ×

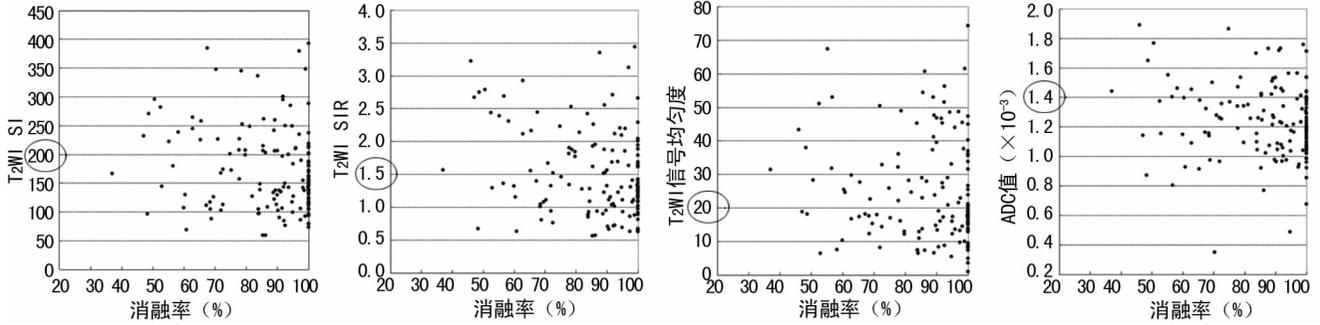


图 3 各 MRI 参数与肌瘤消融率关系的散点分布图

$10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  时肌瘤几乎完全消融 (90%~<100%) 和完全消融 (100%) 的比较集中, 分别占肌瘤总数的 34.7% (50/144)、42.4% (61/144)、29.2% (42/144)、45.8% (66/144), 因而选取  $T_2WI \text{ SIR } 1.5$ 、 $T_2WI \text{ SI } 200$ 、 $T_2WI$  信号均匀度值 20、 $ADC \ 1.4 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  为阈值。不同 MRI 参数相应阈值及各组肌瘤的消融率分布, 见表 1。

表 1 不同 MRI 参数值的肌瘤消融率情况 [n (%) ]

项目	肌瘤数(n)	肌瘤消融率	
		100%	90%~<100%
<b><math>T_2WI \text{ SI}</math></b>			
<200	94	38(40.4)	23(24.5)
$\geq 200$	50	9(18.0)	11(22.0)
<b><math>T_2WI \text{ SIR}</math></b>			
<1.5	80	30(37.5)	20(25.0)
$\geq 1.5$	64	17(26.5)	14(21.9)
<b>ADC 值(<math>10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}</math>)</b>			
<1.4	109	41(37.6)	25(22.9)
$\geq 1.4$	35	6(17.1)	9(25.7)
<b><math>T_2WI</math> 信号均匀度值</b>			
<20	68	27(39.7)	15(22.1)
$\geq 20$	76	20(26.3)	19(25.0)

表 2 不同 MRI 参数 UF HIFU 治疗消融率比较

项目	肌瘤数(n)	消融率( $\bar{x} \pm s, \%$ )	P
<b><math>T_2WI \text{ SI}</math></b>			
<200	94	89.5 ± 14.0	<0.01 <sup>a</sup>
$\geq 200$	50	81.4 ± 17.0	
<b><math>T_2WI \text{ SIR}</math></b>			
<1.5	80	89.1 ± 13.6	<0.05 <sup>b</sup>
$\geq 1.5$	64	83.6 ± 17.3	
<b>血供类型</b>			
少	98	89.4 ± 13.1	<0.05 <sup>b</sup>
多	46	80.9 ± 18.8	
<b>ADC (<math>\times 10^{-3}</math>)</b>			
<1.4	109	88.3 ± 14.3	<0.05 <sup>a</sup>
$\geq 1.4$	35	81.7 ± 18.4	

**2.4 MRI 影像参数与肌瘤消融率的关系**  $T_2WI$  高、低信号的肌瘤,  $T_2WI \text{ SIR} \geq 1.5$ 、 $< 1.5$  的肌瘤, 多血供、少血供类型的肌瘤,  $ADC \geq 1.4 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $< 1.4 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  的肌瘤各组间消融率比较, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 2。  $T_2WI$  信号不均匀和信号均匀的肌瘤平均消融率为 85.3% 及 88.3% ( $P > 0.05$ )。多血供伴信号不均匀的肌瘤平均消融率低于少血供伴信号均匀或信号不均匀的肌瘤 ( $P < 0.01$ ), 多血供伴  $T_2WI \text{ SIR} \geq 1.5$  的肌瘤平均消融率低于多血供或少血供伴  $T_2WI \text{ SIR} < 1.5$ 、少血供伴  $T_2WI \text{ SIR} \geq 1.5$  ( $P < 0.05$ ), 见表 3、图 4。多血供伴  $T_2WI$  高信号的肌瘤平均消融率低于多血供伴  $T_2WI$  低信号和少血供伴  $T_2WI$  低信号的肌瘤 ( $P < 0.05$ ),  $T_2WI$  均匀高信号的肌瘤平均消融率低于不均匀高信号、均匀低信号和不均匀低信号肌瘤 ( $P < 0.05$ ), 见表 4、图 5。

表 3 不同血供类型的 UF 消融率比较

项目	少血供(n=98)		多血供(n=46)	
	n	消融率( $\bar{x} \pm s, \%$ )	n	消融率( $\bar{x} \pm s, \%$ )
<b><math>T_2WI \text{ SIR}</math></b>				
<1.5	66	89.4 ± 12.5 <sup>a</sup>	14	87.6 ± 18.6 <sup>b</sup>
$\geq 1.5$	32	89.4 ± 14.3 <sup>a</sup>	32	77.9 ± 18.4
<b><math>T_2WI</math> 信号</b>				
信号均匀	51	89.1 ± 13.8 <sup>c</sup>	17	86.0 ± 17.6
信号不均匀	47	89.8 ± 12.3 <sup>c</sup>	29	77.8 ± 19.1

<sup>a</sup>:  $P < 0.01$ , <sup>b</sup>:  $P < 0.05$ , 与多血供伴  $T_2WI \text{ SIR} \geq 1.5$  比较; <sup>c</sup>:  $P < 0.01$ , 与多血供伴信号不均匀比较。

表 4 不同  $T_2WI$  信号强度的 UF 消融率比较

项目	高信号(n=50)		低信号(n=94)	
	n	消融率( $\bar{x} \pm s, \%$ )	n	消融率( $\bar{x} \pm s, \%$ )
<b>血供类型</b>				
少供血	24	86.3 ± 15.8	74	90.5 ± 11.9 <sup>a</sup>
多供血	26	76.8 ± 17.1	20	86.1 ± 20.0 <sup>b</sup>
<b><math>T_2WI</math> 信号</b>				
信号均匀	11	73.0 ± 18.3	57	91.3 ± 12.1 <sup>c</sup>
信号不均匀	39	83.7 ± 16.1 <sup>d,e</sup>	37	86.8 ± 16.5 <sup>d</sup>

<sup>a</sup>:  $P < 0.01$ , <sup>b</sup>:  $P < 0.05$ , 与多血供伴  $T_2WI$  高信号比较; <sup>c</sup>:  $P < 0.01$ , <sup>d</sup>:  $P < 0.05$ , 与  $T_2WI$  均匀高信号比较; <sup>e</sup>:  $P < 0.05$ , 与  $T_2WI$  均匀低信号比较。

**2.5 肌瘤消融率的多因素分析** 由于 MRI 参数  $T_2WI \text{ SIR}$ 、 $T_2WI$  信号均匀度、ADC 值和血供类型 4 个因素既彼此孤立又相

<sup>a</sup> 两组比较行 t 检验; <sup>b</sup> 两组比较行 t 检验

互联系,存在混杂因素影响,导致假阳性和假阴性可能性。为此,进一步对资料做多因素回归分析,选取以上参数变量  $X_1$  ( $T_2WI$  SIR)、 $X_2$  ( $T_2$  信号均匀度)、 $X_3$  (ADC 值) 和  $X_4$  (血供类型:少血供=1,多血供=2) 进行 Linest 线性回归分析,得出肌瘤 HIFU 治疗消融率的模型表达式:

$$Y = -2.3 \times 10^{-2} \times X_1 - 8.3 \times 10^{-6} \times X_2 - 2.7 \times 10^{-2} \times X_3 - 6.8 \times 10^{-2} \times X_4 + 1.0$$

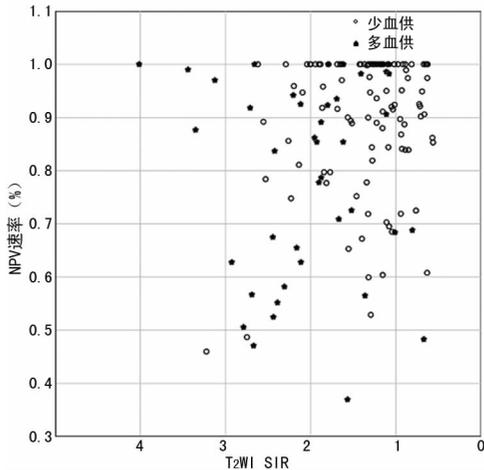


图 4 不同血供类型的 UF 消融率散点分布图

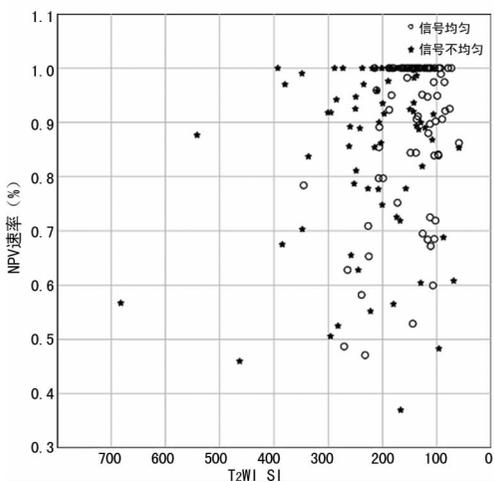


图 5 不同  $T_2WI$  信号强度的 UF 消融率散点分布图

### 3 讨论

HIFU 治疗肿瘤的机制是以其热效应为基础,由于受生物组织结构、功能的影响,在传播路径上会产生反射、折射、散射、衍射,干扰能量在组织内的沉积,因肌瘤存在结构和功能上的不均质性 & 血液供应差异,导致对超声的吸收能力相差可能很大,进而影响了消融效率。有报道不同大小、类型、位置的 UF<sup>[5]</sup> 及患者的年龄、腹壁厚度、辐照的平均功率<sup>[6]</sup> 与肌瘤消融率无关。本研究对相关临床数据的总结,分析肌瘤 MRI 参数对其 USgHIFU 治疗 UF 消融率的影响,从而可通过术前肌瘤 MRI 参数预测肌瘤消融疗效,有助于指导临床为患者制订个性化的治疗方案。

UF 的纤维结缔组织、平滑肌细胞的水平和比例,细胞的形状、排列、分布及是否变性决定了肌瘤的 MRI 信号特点。有研究表明由平滑肌纤维束构成为主的肌瘤的 MRI 信号特征为  $T_2WI$  均匀低信号,以均匀强化为主;由排列致密的细胞团构成为主的肌瘤以  $T_2WI$  均匀稍高信号及均匀强化多见,此类型

肌瘤为  $T_2WI$  不均匀高信号,以周边或轻度强化为主<sup>[7-9]</sup>。UF 的  $T_2WI$  信号强度与其所含的平滑肌细胞数目之间存在线性正相关关系<sup>[10]</sup>, $T_2WI$  高信号的肌瘤其平滑肌细胞水平所占比重较大,且含有相对丰富的血管,而  $T_2WI$  低信号的肌瘤其纤维组织所占比重较大,且血管成分相对较少<sup>[11-13]</sup>,因而 UF 的不同 MRI 参数值取决于肌瘤的结构和功能。本研究中  $T_2WI$  SIR $\geq 1.5$  的肌瘤平均消融率低于  $T_2WI$  SIR $< 1.5$  的肌瘤, $T_2WI$  高信号的肌瘤平均消融率低于低信号肌瘤,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),与王婷等<sup>[5]</sup> 报道相似。Zhao 等<sup>[14]</sup> 研究报道轻度均匀高信号的肌瘤消融率(55.8%)低于不均匀高信号(77.7%)和明显均匀高信号(74.0%)。本研究中  $T_2WI$  不均匀高信号的肌瘤平均消融率(85.3%)低于  $T_2WI$  均匀高信号(88.3%), $T_2WI$  均匀高信号的肌瘤平均消融率低于不均匀高信号、不均匀低信号、均匀低信号的肌瘤( $P < 0.05$ ),且均匀低信号的肌瘤消融率为最佳。由此分析表明,HIFU 治疗 UF 的消融疗效会受到肌瘤的内部成分及其分布情况的影响, $T_2WI$  高信号的肌瘤因含平滑肌细胞比重大且含水量高,导致超声能量不易沉积,且因水的比热容较高,吸收相同的热量而温度上升缓慢,因而短时间内发生凝固性坏死的难度就大。

UF 因压迫周围肌层而形成假包膜,子宫动脉分支穿入假包膜后围绕肌瘤边缘形成其外层血管网后再发出许多细小分支供应肌瘤内部,因而肌瘤内部为分支供血,周边部分血液供应相对较丰富。陈锦云等<sup>[15]</sup> 研究发现缺乏血供肌瘤的体积消融率高于血供丰富肌瘤,本研究结果也显示血供丰富的肌瘤消融率低于少血供类型的肌瘤,多血供伴信号不均匀的肌瘤平均消融率低于少血供伴信号不均匀或信号均匀的肌瘤,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。因组织的凝固性坏死与超声能量沉积密切相关,而肿瘤的血流灌注调节冷却效应可影响超声能量沉积,组织内温度升高时可发生血管扩张、血流加速、血流量增多进而带走一部分热量,因而热凝固性坏死范围主要受肿瘤与正常组织交界处及肿瘤边缘的血流影响,而血流-冷却效应对少血管性肿瘤及相对缺血的肿瘤中心影响较小<sup>[16]</sup>,因而少血供类型肌瘤的消融率高于血供丰富的肌瘤。

对于血供丰富的肌瘤而言不同信号强度的肌瘤消融率比较有明显差异,而不同信号均匀度的肌瘤比较无明显差异;而缺乏血供肌瘤,不同信号强度、信号均匀度的肌瘤消融率比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ );对于  $T_2WI$  信号强度高的肌瘤,信号均匀与信号不均匀肌瘤的消融率比较差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),血供丰富的肌瘤其消融率低于缺乏血供肌瘤,但并非均有统计学意义,这可能与术中使用了缩宫素减少了肌瘤的部分血供,和术前的超声造影剂改变了肌瘤组织的声环境有关;而低信号的肌瘤,不同血供类型、信号均匀度的肌瘤消融率比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

肿瘤的 ADC 值代表其组织内水分子布朗运动的弥散状况,当组织内自由水多、细胞膜完整的细胞少时,ADC 值增高,反之则 ADC 值降低。本研究中肌瘤 ADC $\geq$ 阈值的肌瘤消融率低于 ADC $<$ 阈值的肌瘤,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),当肌瘤的 ADC 值增高时,表明其组织内含有较多的自由水,因而超声能量容易丢失。超声消融 UF 的疗效是受多因素相互影响的,祝保让等<sup>[6]</sup> 认为肌瘤的消融率与肌瘤的位置及肌瘤  $T_2WI$  增强信号有关,本研究通过对 UF HIFU 治疗消融率的相关因素进行 Linest 线性回归分析表明,反映肌瘤平滑肌细胞和胶原纤维水平的  $T_2WI$  信号强度、反映肌瘤血流-冷却效

应的供血类型及反映组织内自由水水平的 ADC 值对肌瘤消融率影响权重较大,而反映肌瘤内部成分分布、排列的 T<sub>2</sub>WI 信号均匀度等对肌瘤消融率的影响权重较小。

综上所述,HIFU 治疗 UF 的消融率与代表 UF 特性的 MRI 参数如血供类型、T<sub>2</sub>WI SIR、T<sub>2</sub>WI SI、T<sub>2</sub>WI 信号均匀度和 ADC 值等有关,因此 HIFU 消融治疗前可通过分析靶肌瘤的 MRI 影像参数来初步预测该肌瘤的消融效果,辅助临床为患者制订个性化的治疗方案。

#### 参考文献

- [1] 曹泽,郎景和,王临虹,等.中华妇产科学[M].3版,北京:人民卫生出版社,2014:2224-2234
- [2] 陈文直,唐良菖,杨武威,等.超声消融治疗子宫肌瘤的安全性及有效性[J].中华妇产科杂志,2010,45(12):909-912.
- [3] 彭松,张炼,王智彪,等.高强度聚焦超声治疗子宫肌瘤的现状分析[J].中华医学教育探索杂志,2011,10(9):1148-1149.
- [4] Fennessy FM, Tempany CM, McDannold NJ, et al. Uterine leiomyomas: MR imaging-guided focused ultrasound surgery-results of different treatment protocols[J]. Radiology, 2007, 243(3):885-893.
- [5] 王婷,陈文直,陈锦云,等.聚焦超声消融不同 MRI 图像表现的子宫肌瘤的疗效[J].重庆医科大学学报,2011,36(5):539-541.
- [6] 祝宝让,杨武威,李静,等.高强度聚焦超声消融子宫肌瘤疗效相关因素分析[J/CD].中华临床医师杂志(电子版),2012,6(2):374-377.
- [7] 张嵘,梁碧玲,付加平,等.子宫肌瘤的 MRI 表现与临床病理相关性研究[J].中华放射学杂志,2003,37(10):954-959.
- [8] 杨新月,沈钧康,陆之安,等.子宫平滑肌瘤的磁共振研究[J].放射学实践,2003,18(4):246-248.
- [9] 陈加优,廖江,郑祥,等.富细胞性子宫平滑肌瘤 MRI 表现与病理对照分析[J].实用放射学杂志,2013,29(11):1803-1806.
- [10] 李亚军,白人驹,孙浩然,等. MRI 对子宫肌瘤病理类型的诊断价值[J].天津医药,2006,34(1):22-25.
- [11] DeSouza NM, Williams AD. Uterine arterial embolization for leiomyomas: perfusion and volume changes at MR imaging and relation to clinical outcome [J]. Radiology, 2002, 222(2):367-374.
- [12] Burn PR, McCall JM, Chinn RJ, et al. Uterine fibroleiomyoma: MR imaging appearances before and after embolization of uterine arteries [J]. Radiology, 2000, 214(3):729-734.
- [13] 张伟国,罗香国,严景恩,等.子宫肌瘤的 MR 成像研究——以 DSA 为参照[J].临床放射学杂志,2005,24(3):242-245.
- [14] Zhao WP, Chen JY, Zhang L, et al. Feasibility of ultrasound-guided high intensity focused ultrasound ablating uterine fibroids with hyperintense on T2-weighted MR imaging [J]. Eur J Radiol, 2013, 82(1):43-49.
- [15] 陈锦云,陈文直,朱丽,等.子宫肌瘤的血液供应特征对超声消融治疗剂量的影响[J].中华妇产科杂志,2011,46(6):403-406.
- [16] 牟玮,巫北海.肝肿瘤经皮局部高温固化治疗进展[J].国外医学临床放射学分册,2001,24(4):200-203.

(收稿日期:2016-08-13 修回日期:2016-11-11)

(上接第 1162 页)

- damage and apoptosis in early brain injury following subarachnoid hemorrhage: possible role of the Akt/GSK3 $\beta$  signaling pathway [J]. PLoS One, 2014, 9(4):e96212.
- [7] Tabas I, Ron D. Integrating the mechanisms of apoptosis induced by endoplasmic reticulum stress [J]. Nat Cell Biol, 2011, 13(3):184-190.
  - [8] Grall S, Prunier-Mirebeau D, Tamareille S, et al. Endoplasmic reticulum stress pathway involvement in local and remote myocardial ischemic conditioning [J]. Shock, 2013, 39(5):433-439.
  - [9] Nakka VP, Gusain A, Raghubir R. Endoplasmic reticulum stress plays critical role in brain damage after cerebral ischemia/reperfusion in rats [J]. Neurotox Res, 2010, 17(2):189-202.
  - [10] Zhu G, Lee AS. Role of the unfolded protein response, GRP78 and GRP94 in organ homeostasis [J]. J Cell Physiol, 2015, 230(7):1413-1420.
  - [11] Neve EP, Ingelman-Sundberg M. Cytochrome P450 proteins: retention and distribution from the endoplasmic reticulum [J]. Curr Opin Drug Discov Devel, 2010, 13(1):78-85.
  - [12] De La Cadena SG, Hernández-Fonseca K, Camacho-Arroyo I, et al. Glucose deprivation induces reticulum stress by the PERK pathway and caspase-7- and calpain-mediated caspase-12 activation [J]. Apoptosis, 2014, 19(3):414-427.
  - [13] 高轩,陈荔枝,刘振红,等.白藜芦醇通过抑制内质网应激减轻大鼠脑缺血/再灌注损伤 [J].中国免疫学杂志,2016,32(1):92-96.
  - [14] 朱海英,孙红玉,冯光坤,等.姜黄素抑制大鼠脑缺血再灌注损伤内质网应激的研究 [J].中华老年心脑血管病杂志,2015,17(4):416-420.
  - [15] Yoshida H. ER stress and diseases [J]. FEBS J, 2007, 274(3):630-658.

(收稿日期:2016-07-18 修回日期:2016-11-16)