

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АБЛАЦИИ МИОМ МАТКИ ФОКУСИРОВАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОМ ПОД КОНТРОЛЕМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ: ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО СИГНАЛА ОТ МИОМЫ НА T2-ВЗВЕШЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ В КАЧЕСТВЕ КРИТЕРИЯ ПРИ ОТБОРЕ ПАЦИЕНТОК

Е.С. Загвоздкин, врач-рентгенолог;

В.Е. Синицын, д. м. н., профессор, руководитель Центра лучевой диагностики ЛРЦ;

Е.А. Мершина, к. м. н., заведующая отделением функциональных методов лучевой диагностики
Центра лучевой диагностики ЛРЦ

ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России,
Иваньковское ш., 3, Москва, 125367, Российская Федерация

INFLUENCE OF QUANTITATIVE CHARACTERISTICS ON MRI-GUIDED FOCUSED ULTRASOUND ABLATION OF UTERINE FIBROIDS: THE POTENTIAL USE OF SIGNAL INTENSITY VALUES FROM FIBROID IN T2-WI AS A CRITERION FOR PATIENT SELECTION

E.S. Zagvozdkin, Radiologist;

V.E. Sinitsyn, MD, PhD, DSc, Professor,
Head of Diagnostic Radiology Center of FCTR;

E.A. Mershina, MD, PhD, Head of Radiology Department of FCTR

Federal Center of Treatment and Rehabilitation, Ministry of Health of Russia,
Ivan'kovskoe shosse, 3, Moscow, 125367, Russian Federation

Цель исследования – определить влияние количественных показателей на эффективность аблации миом матки фокусированным ультразвуком (ФУЗ) и оценить возможность их использования для отбора пациенток перед лечением.

Материал и методы. Ретроспективно проанализированы данные 67 процедур ФУЗ-аблации миом матки (67 пациенток, 94 миомы). Оценивались характеристики миом (стандартизированная интенсивность и неоднородность магнитно-резонансного (МР) сигнала на T2-взвешенных изображениях (ВИ), максимальный диаметр, расстояние до кожи и до крестца во время ФУЗ, объем, неперфузируемый объем (NPV), МР-тип), энергия соникаций и возраст пациенток. Стандартизация значений интенсивности сигнала от миом проводилась по интенсивности сигнала от подвздошных мышц. Определялась корреляция между NPV и количественными показателями. Проведен ROC-анализ для выявления оптимального порогового значения интенсивности сигнала от миомы, необходимого для достижения NPV $\geq 50\%$. Выполнено сопоставление МР-типа миом с NPV и значениями интенсивности сигнала.

Результаты. NPV миом непосредственно после ФУЗ-аблации составил $57,1 \pm 22,5\%$. NPV для миом I МР-типа ($n = 67$) равнялся $63,4 \pm 19,7\%$, II типа ($n = 20$) – $46,8 \pm 19,5\%$ и III типа ($n = 7$) – $26,4 \pm 21\%$. Различия между группами значимы ($p < 0,05$).

Objective. To determine the effect of quantitative characteristics on the effectiveness of magnetic resonance imaging guided focused ultrasound (MRIgFUS) ablation of uterine fibroids and evaluate the possibility of their use for patient selection.

Material and methods. Retrospective analysis of 67 FUS ablations (67 women, 94 fibroids) was performed. We evaluated the characteristics of fibroids (standardized signal intensity (SSI) and signal heterogeneity in T2-WI, the maximum diameter, the distance to the skin and to the sacrum during FUS, volume, non-perfused volume (NPV), MR-type), sonication energy and patients age. Standardization of the fibroid signal intensity was performed by using the signal intensity from iliac muscle. Correlation between NPV and quantitative characteristics was calculated. ROC-analysis was performed for determination of the optimal SSI threshold value required to achieve NPV $\geq 50\%$. We evaluated the relation between MR-type of fibroids, NPV ratio and SSI.

Results. Post treatment NPV ratio was $57.1 \pm 22.5\%$. NPV for 1 type fibroids ($n = 67$) was $63.4 \pm 19.7\%$, for 2 type ($n = 20$) – $46.8 \pm 19.5\%$ and for 3 type ($n = 7$) – $26.4 \pm 21\%$. Differences between groups was significant ($p < 0.05$).

SSI showed significant correlation with NPV ratio ($R = -0.28$, $p < 0.01$). Significant correlation between NPV ratio and others quantitative characteristics was not detected.

Выявлена значимая корреляция значений NPV и стандартизированной интенсивности МР-сигнала от миомы ($R=-0,28$, $p<0,01$). Значимой корреляции между NPV и другими количественными показателями не обнаружено.

Миомы с интенсивностью сигнала $\leq 1,4$ характеризовались $NPV \geq 50\%$ (чувствительность 72,7%, специфичность 71,4%, $p<0,01$, AUC 0,72).

Выявлено различие значений интенсивности сигнала от миом разных МР-типов ($p<0,05$). Значения интенсивности МР-сигнала $\leq 1,4$ характерны только для миом I МР-типа.

Заключение. Количественный показатель интенсивности МР-сигнала от миомы на T2-ВИ может применяться в качестве дополнительного объективного критерия для прогнозирования непосредственных результатов лечения и отбора пациенток для ФУЗ-абляции. Хорошие результаты лечения миом матки ($NPV \geq 50\%$) в большинстве случаев могут быть достигнуты при значении данного показателя $\leq 1,4$.

Ключевые слова: миома матки; магнитно-резонансная томография; стандартизованная интенсивность сигнала; фокусированный ультразвук; абляция.

Для цитирования: Загвоздкин Е.С., Синецких В.Е., Мершина Е.А. Влияние количественных характеристик на эффективность абляции миом матки фокусированным ультразвуком под контролем магнитно-резонансной томографии: целесообразность использования значений интенсивности магнитно-резонансного сигнала от миомы на T2-взвешенных изображениях в качестве критерия при отборе пациенток. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2017; 98 (4): 185–91. DOI: 10.20862/0042-4676-2017-98-4-185-191

Для корреспонденции: Загвоздкин Евгений Сергеевич; E-mail: bbmensh@yandex.ru

Введение

Миомы относятся к наиболее распространенным доброкачественным опухолям женской репродуктивной системы, клинические проявления миом отмечаются у 25% женщин в общей возрастной группе и у 30–40% женщин после 40 лет. В подавляющем числе случаев пациенткам с клиническими проявлениями миом матки требуется лечение [1, 2].

С 2004 г. в клинической практике начал использоваться новый метод лечения миом матки – абляция фокусированным ультразвуком под контролем МРТ (МРТкФУЗ) [3–5]. В основе данного метода лежит дистанционное воздействие ультразвуковых волн, фокусированных в прицельном участке внутри организма, под контролем МРТ, приводящее к локальному нагреванию и некрозу ткани миоматозного узла. По сравнению с другими методами лечения миомы матки МРТкФУЗ-абляция обладает рядом преимуществ: неинвазивность, органосохраняющий характер лечения, отсутствие кли-

нически значимого общего воздействия на организм и временной утраты трудоспособности, необходимости в реабилитации [3–8]. Результаты ряда исследований свидетельствуют о безопасности использования данного метода у пациенток, планирующих беременность [3].

Эффективность МРТкФУЗ-абляции в лечении миом матки подтверждена во многих научных работах, тем не менее наблюдается значительный разброс как непосредственных (значения неперфузируемого объема), так и отдаленных (степень уменьшения объема миоматозного узла) результатов [4, 9–16]. Ключевым моментом для достижения хороших результатов лечения является правильный отбор пациенток. В настоящее время продолжается изучение факторов, влияющих на эффективность ФУЗ-абляции миом матки. Актуальным представляется поиск объективных количественных характеристик, которые могут использоваться для прогнозирования результата лечения и отбора пациенток для ФУЗ-абляции.

Fibroids with $SSI \leq 1.4$ characterized $NPV \geq 50\%$ (sensitivity 72.7%, specificity 71.4%, $p<0.01$, AUC 0.72).

MR-types of fibroids were characterized by different SSI ($p<0.05$). $SSI \leq 1/4$ was characteristic only for 1 type fibroids.

Conclusion. SSI can be used as an additional objective criterion for prediction of FUS results and patient selection. Good results of FUS ($NPV \geq 50\%$) in most cases can be achieved for fibroids with $SSI \leq 1.4$.

Index terms: uterine fibroid; magnetic resonance imaging; standardized signal intensity; focused ultrasound; ablation.

For citation: Zagvozdkin E.S., Sinitsyn V.E., Mershina E.A. Influence of quantitative characteristics on MRI-guided focused ultrasound ablation of uterine fibroids: the potential use of signal intensity values from fibroid in T2-WI as a criterion for patient selection. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii (Russian Journal of Radiology)*. 2017; 98 (4): 185–91 (in Russ.). DOI: 10.20862/0042-4676-2017-98-4-185-191

For correspondence: Evgeniy S. Zagvozdkin; E-mail: bbmensh@yandex.ru

Information about authors:

Zagvozdkin E.S., orcid.org/0000-0002-0754-3409

Sinitsyn V.E., orcid.org/0000-0002-5649-2193

Mershina E.A., orcid.org/0000-0002-1266-4926

Acknowledgements. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received February 1, 2017

Accepted March 6, 2017

Материал и методы

Работа выполнена на базе ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России. Ретроспективно проанализированы результаты 67 процедур ФУЗ-абляции миом матки (67 пациенток), проведенных в период с 2010 по 2015 г. На момент лечения все пациентки находились в репродуктивном или пременопаузальном периоде. Критерием исключения являлось лечение миом матки до выполнения ФУЗ-абляции (в том числе ранее выполненная абляция). Количество миоматозных узлов, подвергшихся лечению, составило 94.

Процедура ФУЗ-абляции проводилась на интегрированной системе, включающей магнитно-резонансный томограф Signa EchoSpeed 1,5T EXCITE (General Electric Medical Systems) и систему ФУЗ-абляции ExAblate 2000 (InSightec Ltd.). МР-исследования выполнялись в трех стандартных взаимно перпендикулярных плоскостях с получением перед абляцией T2-взвешенных изображений (TR 4200, TE 102, матрица 384×224 , толщина среза

4 мм, интервал между срезами 1 мм, поле обзора 36) и T1-ВИ с подавлением сигнала от жира (TR 300, TE 70, матрица 384×224, толщина среза 4 мм, интервал между срезами 1 мм, поле обзора 36), после абляции – T1-ВИ с подавлением сигнала от жира после внутривенного введения контрастного препарата (аналогичные характеристики).

При помощи МРТ оценивались следующие характеристики миом: МР-тип, стандартизированная интенсивность и неоднородность МР-сигнала, максимальный диаметр, расстояние от узла до кожи и до крестца во время ФУЗ-абляции, объем и неперфузируемый объем (NPV) после лечения. МР-тип миом определялся в зависимости от преобладающей интенсивности МР-сигнала на T2-ВИ по отношению к миометрию и скелетным мышцам. I МР-тип («темные» миомы) характеризовался преобладанием сигнала низкой интенсивности, II МР-тип («серые» миомы) – преобладанием сигнала промежуточной интенсивности и III МР-тип («белые» миомы) – сигнала высокой интенсивности (рис. 1).

Тип миом оценивался на этапе отборочного МР-исследования 7 рентгенологами (одним врачом в каждом конкретном случае). Стандартизированная интенсивность МР-сигнала от миомы определялась как отношение средней интенсивности сигнала на T2-ВИ от всего объема миоматозного узла к интенсивности сигнала от подвздошных мышц. Неоднородность МР-сигнала миоматозного узла вычислялась как разность значений стандартного отклонения интенсивности сигнала от миомы и интенсивности сигнала от окружающего пациентку воздуха (шум). Объемы и средние значения интенсивности МР-сигнала от миоматозных узлов определялись полуавтоматическим методом на рабочей станции Advantage Workstation AW4.6 (General Electric, США).

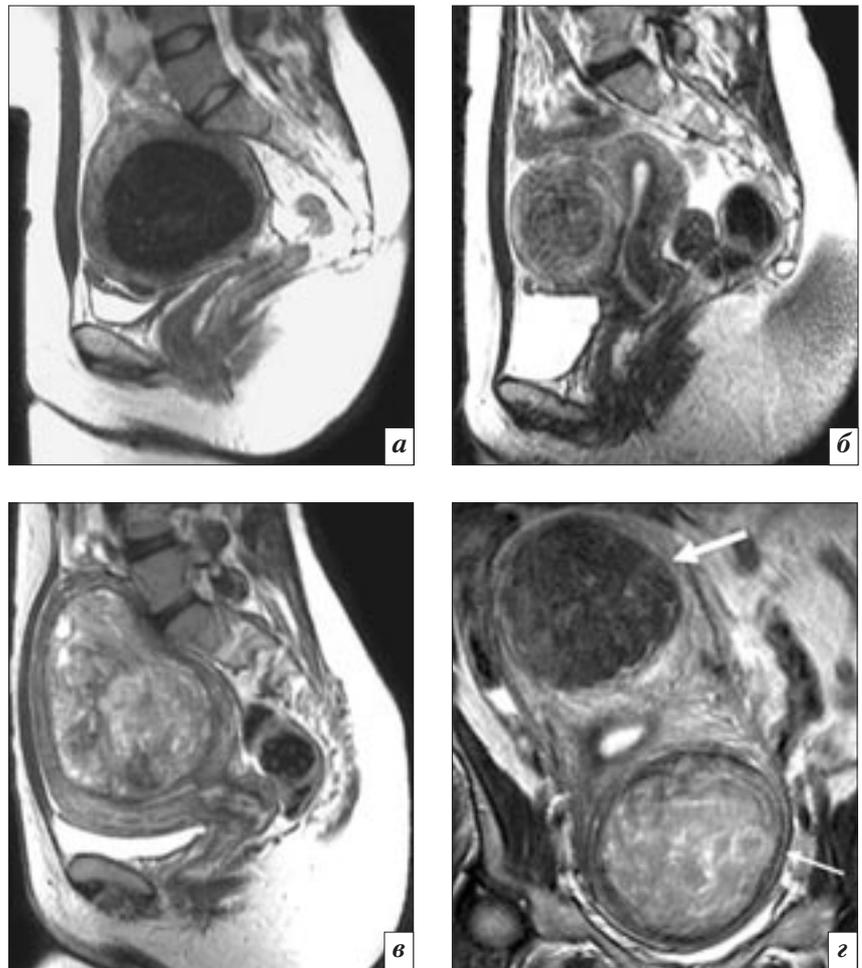


Рис. 1. МРТ малого таза, T2-ВИ: а – сагиттальная плоскость, миома I МР-типа («темная»); б – сагиттальная плоскость, миома II МР-типа («серая»); в – сагиттальная плоскость, миома III МР-типа («белая»); г – корональная плоскость, сочетание миом I (толстая стрелка) и III (тонкая стрелка) МР-типов

Интенсивность МР-сигнала от подвздошных мышц на T2-ВИ определялась с помощью установки области интереса (ROI) на левой и правой подвздошных мышцах на нескольких последовательных аксиальных срезах и по-

следующего вычисления среднего значения интенсивности сигнала (рис. 2). Показатель NPV вычислялся как отношение объема миомы без накопления контрастного препарата к общему объему миомы, выраженное в процентах.



Рис. 2. МРТ малого таза, T2-ВИ, аксиальная плоскость. Измерение средней интенсивности (A_v) и стандартного отклонения интенсивности (Std) МР-сигнала от миомы (ROI 1) и интенсивности сигнала от подвздошных мышц (ROI 2, 3)

Статистическая обработка осуществлялась с помощью пакета программ Statistica 8.0 (США). Для оценки взаимосвязи между количественными переменными вычисляли коэффициент корреляции Спирмена. Поиск порогового значения интенсивности МР-сигнала от миомы с наибольшими значениями чувствительности и специфичности в рамках рассматриваемой модели проводился по результатам ROC-анализа. Для сравнения групп по значениям количественного признака использовался U-критерий Манна–Уитни. Полученные результаты считались статистически значимыми при значениях $p < 0,05$.

Результаты

Средний возраст пациенток составил $40,6 \pm 6,1$ года; ФУЗ-абляция миоматозных узлов у каждой пациентки продолжалась в среднем 245 ± 66 мин, среднее количество соникаций на одну процедуру составило 64 ± 29 ($n=67$). У 48 (71,6%) пациенток выполнено лечение 1 миоматозного узла, у 14 (20,9%) – 2 узлов, у 4 (6%) – 3 узлов и у 1 (1,5%) пациентки – 6 миоматозных узлов.

Среди миоматозных узлов, подвергшихся ФУЗ-абляции, 67 миом относились к I МР-типу («темные» миомы), 20 – ко II МР-типу («серые» миомы) и 7 – к III МР-типу («белые» миомы).

Миоматозные узлы ($n=94$) обладали следующими количественными характеристиками: максимальный диаметр $51,1 \pm 21$ мм (медиана 50,5 мм, диапазон 17–102 мм); объем перед лечением $74,4 \pm 88,1$ см³ (медиана 46,9 см³, диапазон 2–509 см³); расстояние до кожи $39,9 \pm 16,6$ мм (медиана 38,5 мм, диапазон 16–84 мм); расстояние до крестца $38,4 \pm 23,2$ мм (медиана 37 мм, диапазон 2–98 мм); стандартизованное значение интенсивности МР-сигнала на T2-ВИ $1,5 \pm 0,6$ (медиана 1,3, диапазон 0,8–3,8); неоднородность МР-сигнала на T2-ВИ $6,8 \pm 4,5$ (медиана 5,5, диа-

Коэффициент корреляции Спирмена между значениями NPV (%) миом непосредственно после ФУЗ-абляции и другими количественными показателями

Показатель	R	p
Возраст пациентки	0,04	>0,05
Максимальный диаметр миомы перед ФУЗ-абляцией	0,09	>0,05
Объем миомы перед ФУЗ-абляцией	0,08	>0,05
Интенсивность МР-сигнала от миомы	-0,28	<0,01
Неоднородность МР-сигнала от миомы	-0,03	>0,05
Расстояние до кожи	-0,09	>0,05
Расстояние до крестца	-0,09	>0,05
Средняя энергия соникаций	0,11	>0,05
Максимальная энергия соникаций	0,09	>0,05

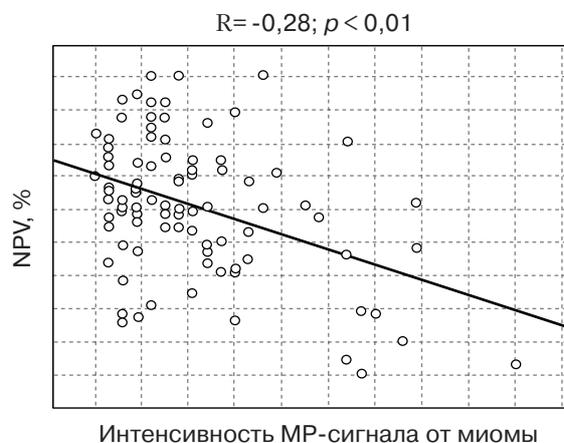


Рис. 3. Корреляционная зависимость между показателями NPV и интенсивностью МР-сигнала от миомы

пазон 1,4–24,5). Средняя энергия соникаций при лечении миом составила 2755 ± 1221 Дж (медиана 2215 Дж, диапазон 1100–6050 Дж), максимальная энергия соникаций 3230 ± 1527 Дж (медиана 2600 Дж, диапазон 1202–6400 Дж).

При оценке результатов лечения 94 миом матки среднее значение NPV непосредственно после ФУЗ-абляции равнялось $57,1 \pm 22,5\%$. Проведен корреляционный анализ для оценки влияния вышеописанных количественных показателей на величину неперфузируемого объема (см. таблицу).

Выявлена значимая ($p < 0,01$) обратная корреляция значений NPV после ФУЗ-абляции и показателя интенсивности МР-сигнала от миомы (рис. 3). Таким образом, более высокие значения

неперфузируемого объема наблюдались у миом с более низкой интенсивностью МР-сигнала.

Значимой корреляции между показателем NPV и другими рассматриваемыми количественными показателями не обнаружено ($p > 0,05$).

Для определения порогового значения показателя интенсивности МР-сигнала от миомы, которое может использоваться в качестве дополнительного критерия при отборе пациенток для ФУЗ-абляции, проведен ROC-анализ (рис. 4). В качестве благоприятного исхода лечения рассматривалось значение неперфузируемого объема после ФУЗ $\geq 50\%$. По результатам анализа, миомы со значениями стандартизованной интенсивности МР-сигнала $\leq 1,4$ характеризовались

NPV $\geq 50\%$ (чувствительность 72,7%, специфичность 71,4%, $p < 0,01$). Значение площади под кривой (AUC) составило 0,72, что соответствует хорошему качеству модели.

При сопоставлении интенсивности МР-сигнала с МР-типом (рис. 5) установлено, что медиана значений стандартизированной интенсивности МР-сигнала от миом составила: 1,1 (диапазон 0,8–2) для миом I МР-типа ($n=67$), 1,85 (диапазон 1,5–2,7) для миом II типа ($n=20$) и 3 (диапазон 2,6–3,8) для миом III типа ($n=7$). Значения показателя значительно различались между группами ($p < 0,05$). Значения интенсивности МР-сигнала в интервале от 1,5 до 2 наблюдались одновременно у миом I и II МР-типов, от 2,6 до 2,7 – у миом II и III МР-типов. Следует отметить, что полученные по результатам ROC-анализа пороговое и более низкие значения интенсивности МР-сигнала ($\leq 1,4$) характерны только для миом I МР-типа, при этом данные значения МР-сигнала наблюдались у 56 (83,6%) из них.

Среднее значение NPV непосредственно после ФУЗ-абляции составило: $63,4 \pm 19,7\%$ для миом I МР-типа ($n=67$), $46,8 \pm 19,5\%$ для миом II типа ($n=20$) и $26,4 \pm 21\%$ для миом III типа ($n=7$). Данные группы значительно отличались друг от друга по значениям неперфузируемого объема ($p < 0,05$). Наибольшие значения NPV наблюдались у миом I МР-типа (рис. 6).

Обсуждение

В исследованиях, посвященных оценке результатов МРТкФУЗ-абляции, установлено, что значение показателя NPV непосредственно после абляции определяет степень последующего уменьшения объема миоматозного узла и выраженности клинических проявлений, а также отрицательно коррелирует с частотой возникновения необходимости повторного лечения [4, 12, 17, 18].

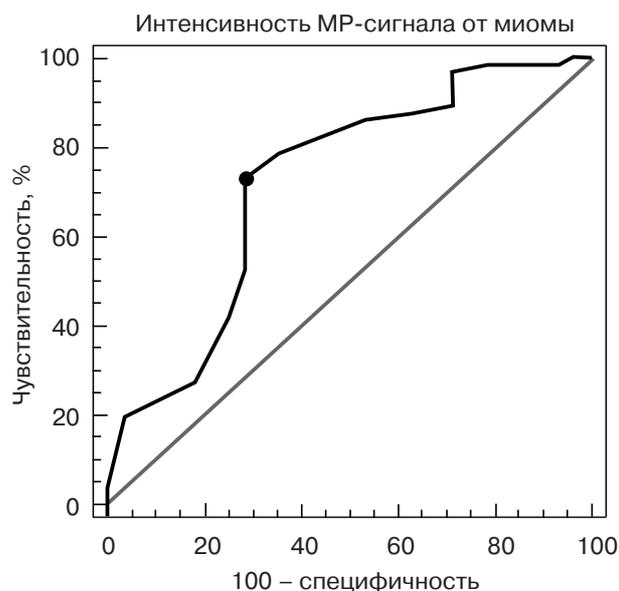


Рис. 4. ROC-кривая. Точкой отмечена локализация порогового значения показателя интенсивности МР-сигнала от миомы (1,4)

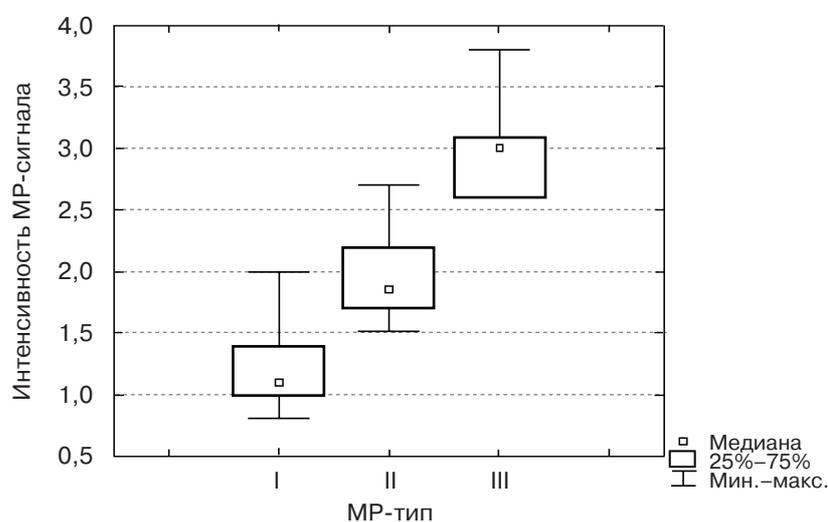


Рис. 5. Диаграмма размаха значений стандартизированной интенсивности МР-сигнала на T2-ВИ для групп миом разных МР-типов

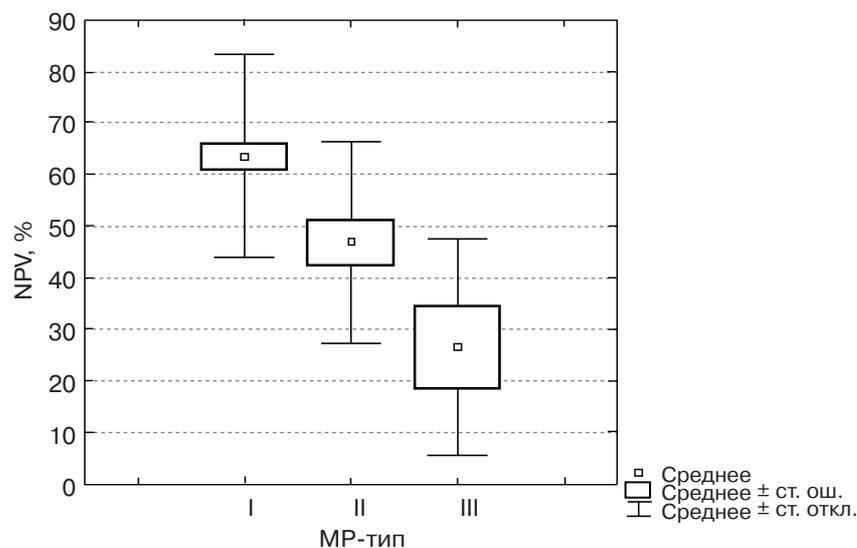


Рис. 6. Диаграмма размаха значений NPV для групп миом разных МР-типов

Таким образом, показатель NPV считается единственным критерием эффективности ФУЗ-абляции непосредственно после процедуры, а также предиктором успеха лечения.

Интенсивность МР-сигнала на Т2-ВИ отражает морфологические особенности миоматозного узла (преобладание соединительной или гладкомышечной ткани), наличие отека, дегенеративных изменений и в ряде случаев позволяет оценить пролиферативную активность миомы [6, 19, 20]. Во многих научных работах продемонстрировано влияние интенсивности МР-сигнала от миомы на Т2-ВИ на значения NPV непосредственно после ФУЗ-абляции [4, 12, 14, 15, 18, 21–23]. Оценка интенсивности МР-сигнала от миомы в большинстве исследований проводилась на качественном субъективном уровне, с разделением миоматозных узлов на две или три группы в зависимости от интенсивности МР-сигнала от скелетных мышц или миометрия. Наилучшие непосредственные результаты лечения отмечались в случае однородных гипоинтенсивных на Т2-ВИ узлов, то есть узлов I МР-типа («темные» миомы).

В недавнем исследовании Н. Park et al. проведены количественная оценка интенсивности МР-сигнала от 43 миом со стандартизацией относительно скелетных мышц и жировой ткани и сопоставление со значениями NPV после ФУЗ-абляции [24]. По результатам исследования показана возможность применения количественного показателя интенсивности МР-сигнала при отборе пациенток для ФУЗ-абляции миом матки. Основным ограничением исследования являлось отсутствие миом с высокой интенсивностью МР-сигнала.

В нашем исследовании проведен анализ ряда количественных показателей, при этом единственным показателем, значимо влияющим на NPV после ФУЗ-абляции, оказалась стандартизи-

рованная интенсивность МР-сигнала от миомы ($p < 0,01$). Установлено, что миомы с меньшей интенсивностью МР-сигнала характеризуются большими значениями NPV. Наилучшие непосредственные результаты ФУЗ-абляции (на основании показателя NPV) отмечены у миом I МР-типа, что согласуется с данными других исследований. Выявлено пороговое значение стандартизированной интенсивности МР-сигнала от миоматозных узлов на Т2-ВИ: при значениях данного показателя $\leq 1,4$ неперфузируемый объем миом после ФУЗ составил 50% и более (чувствительность 72,7%, специфичность 71,4%, $p < 0,01$), что является хорошим результатом лечения. При этом все миомы с интенсивностью сигнала $\leq 1,4$ являлись миомами I МР-типа и интенсивность сигнала от 83,6% «темных» миом находилась в данных пределах, что позволяет использовать выявленное пороговое значение в качестве количественного критерия для миом I МР-типа.

Заключение

Количественный показатель интенсивности МР-сигнала от миомы на Т2-ВИ может применяться в качестве дополнительного объективного критерия для прогнозирования непосредственных результатов лечения и отбора пациенток для ФУЗ-абляции. Хорошие результаты лечения миом матки ($NPV \geq 50\%$) в большинстве случаев могут быть достигнуты при значении данного показателя $\leq 1,4$.

Возраст пациентки, диаметр и объем миомы перед лечением, расстояние от миомы до кожи и крестца, неоднородность МР-сигнала от миомы на Т2-ВИ и величина энергии соникаций не оказывают статистически значимого влияния на величину неперфузируемого объема и, следовательно, не могут использоваться для прогнозирования непосредственных результатов ФУЗ-абляции миоматозных узлов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература [References]

1. Okolo S. Incidence, aetiology and epidemiology of uterine fibroids. *Best Pract. Res. Clin. Obstet. Gynaecol.* 2008; 22 (4): 571–88.
2. Савицкий Г.А., Савицкий А.Г. Миома матки: проблемы патогенеза и патогенетической терапии. 3-е изд. СПб.: ЭЛБИ-СПб; 2003. [Savitskiy G.A., Savitskiy A.G. Uterine fibroids: problems of pathogenesis and pathogenetic therapy. 3rd edn. St. Petersburg: ELBI-SPb; 2003 (in Russ.).]
3. Clark N.A., Mumford S.L., Segars J.H. Reproductive impact of MRI-guided focused ultrasound surgery for fibroids: a systematic review of the evidence. *Curr. Opin. Obstet. Gynecol.* 2014; 26 (3): 151–61.
4. Gizzo S., Saccardi C., Patrelli T.S., Ancona E., Noventa M., Fagherazzi S. et al. Magnetic resonance-guided focused ultrasound myomectomy: safety, efficacy, subsequent fertility and quality-of-life improvements, a systematic review. *Reprod. Sci. Thousand Oaks Calif.* 2014; 21 (4): 465–76.
5. Chapman A., ter Haar G. Thermal ablation of uterine fibroids using MR-guided focused ultrasound – a truly non-invasive treatment modality. *Eur. Radiol.* 2007; 17 (10): 2505–11.
6. Лядов К.В., Сидорова И.С., Курашвили Ю.Б., Степанов А.В. Дистанционная неинвазивная абляция тканей фокусированным ультразвуком под контролем магнитно-резонансной томографии в лечении миомы матки (руководство для врачей). М.: Лечебно-реабилитационный центр Росздрава; 2008. [Lyadov K.V., Sidorova I.S., Kurashvili Yu.B., Stepanov A.V. Remote non-invasive focused ultrasound ablation under magnetic resonance imaging guidance in the treatment of uterine fibroids (a guide for physicians). Moscow: Federal Center of Treatment and Rehabilitation; 2008 (in Russ.).]

7. Назаренко Г.И., Чен В.Ш., Хитрова А.Н. Ультразвуковая абляция HIFU – высокотехнологичная органосохраняющая альтернатива хирургического лечения опухолей. М.: МЦ Банка России; 2008. [Nazarenko G.I., Chen V.Sh., Khitrova A.N. Ultrasound ablation HIFU – high-technology organ-preserving alternative to surgical treatment of tumors. Moscow: Medical Center of Bank of Russia; 2008 (in Russ.).]
8. Самойлова Т.Е. Неоперативные методы лечения миомы матки. *Лечащий врач*. 2010; 3: 53–60. [Samoylova T.E. Non-operational treatment of uterine fibroids. *Lechashchiy Vrach (Attending Doctor, Russian journal)*. 2010; 3: 53–60 (in Russ.).]
9. Hesley G.K., Gorny K.R., Woodrum D.A. MR-guided focused ultrasound for the treatment of uterine fibroids. *Cardiovasc. Interv. Radiol.* 2013; 36 (1): 5–13.
10. Stewart E.A., Gostout B., Rabinovici J., Kim H.S., Regan L., Tempny C.M. Sustained relief of leiomyoma symptoms by using focused ultrasound surgery. *Obstet. Gynecol.* 2007; 110 (2): 279–87.
11. Funaki K., Fukunishi H., Sawada K. Clinical outcomes of magnetic resonance-guided focused ultrasound surgery for uterine myomas: 24-month follow-up. *Ultrasound Obstet. Gynecol. Off. J. Int. Soc. Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2009; 34 (5): 584–9.
12. Лазуткина В.Ю., Чунаева Е.А., Азнауров В.Г., Синицын В.Е., Мершина Е.А. Отдаленные результаты лечения «темных» миом матки методом ФУЗ-абляции. *Лучевая диагностика*. 2013; 2: 28–31. [Lazutkina V.Yu., Chunaeva E.A., Aznaurov V.G., Sinityn V.E., Mershina E.A. Long-term results of the “dark” uterine fibroids treatment by FUS ablation. *Luchevaya diagnostika (Diagnostic Radiology, Russian journal)*. 2013; 2: 28–31 (in Russ.).]
13. LeBlang S.D., Hoctor K., Steinberg F.L. Leiomyoma shrinkage after MRI-guided focused ultrasound treatment: report of 80 patients. *Am. J. Roentgenol.* 2010; 194 (1): 274–80.
14. Gorny K.R., Woodrum D.A., Brown D.L., Henrichsen T.L., Weaver A.L., Amrami K.K. et al. Magnetic resonance-guided focused ultrasound of uterine leiomyomas: review of a 12-month outcome of 130 clinical patients. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2011; 22 (6): 857–64.
15. Kim H.S., Baik J.H., Pham L.D., Jacobs M.A. MR-guided high-intensity focused ultrasound treatment for symptomatic uterine leiomyomata: long-term outcomes. *Acad. Radiol.* 2011; 18 (8): 970–6.
16. Trumm C.G., Stahl R., Clevert D.A., Herzog P., Mindjuk I., Kornprobst S. et al. Magnetic resonance imaging-guided focused ultrasound treatment of symptomatic uterine fibroids: impact of technology advancement on ablation volumes in 115 patients. *Invest. Radiol.* 2013; 48 (6): 359–65.
17. Stewart E.A. Clinical practice. Uterine fibroids. *N. Engl. J. Med.* 2015; 372 (17): 1646–55.
18. Gorny K.R., Borah B.J., Brown D.L., Woodrum D.A., Stewart E.A., Hesley G.K. Incidence of additional treatments in women treated with MR-guided focused US for symptomatic uterine fibroids: review of 138 patients with an average follow-up of 2.8 years. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2014; 25 (10): 1506–12.
19. Hudson S.B.A., Stewart E.A. Magnetic resonance-guided focused ultrasound surgery. *Clin. Obstet. Gynecol.* 2008; 51 (1): 159–66.
20. Swe T.T., Onitsuka H., Kawamoto K., Ueyama T., Tsuruchi N., Masuda K. Uterine leiomyoma: correlation between signal intensity on magnetic resonance imaging and pathologic characteristics. *Radiat. Med.* 1992; 10 (6): 235–42.
21. Rueff L.E., Raman S.S. Clinical and technical aspects of MR-guided high intensity focused ultrasound for treatment of symptomatic uterine fibroids. *Semin. Interv. Radiol.* 2013; 30 (4): 347–53.
22. Fennessy F.M., Tempny C.M., McDannold N.J., So M.J., Hesley G., Gostout B. et al. Uterine leiomyomas: MR imaging-guided focused ultrasound surgery – results of different treatment protocols. *Radiology*. 2007; 243 (3): 885–93.
23. Funaki K., Fukunishi H., Funaki T., Sawada K., Kaji Y., Maruo T. Magnetic resonance-guided focused ultrasound surgery for uterine fibroids: relationship between the therapeutic effects and signal intensity of preexisting T2-weighted magnetic resonance images. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2007; 196 (2): 184.e1–e6.
24. Park H., Yoon S.-W., Sokolov A. Scaled signal intensity of uterine fibroids based on T2-weighted MR images: a potential objective method to determine the suitability for magnetic resonance-guided focused ultrasound surgery of uterine fibroids. *Eur. Radiol.* 2015; 25 (12): 3455–8.

Поступила 01.02.2017
Принята к печати 06.03.2017