



# Возможности магнитно-резонансной томографии в оценке эффективности фокального лечения рака предстательной железы

Абуладзе Л.Р.<sup>1, 2</sup>, Говоров А.В.<sup>3</sup>, Сеницын В.Е.<sup>1, 4</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий» Департамента здравоохранения г. Москвы, ул. Петровка, 24, стр. 1, Москва, 127051, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России, ул. Большая Серпуховская, 27, Москва, 115093, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, ул. Делегатская, 20, стр. 1, Москва, 127473, Российская Федерация

<sup>4</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Ленинские горы, 1, Москва, 119991, Российская Федерация

**Абуладзе Лия Руслановна**, мл. науч. сотр. сектора стандартизации и контроля качества отдела инновационных технологий ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий» ДЗМ, ординатор кафедры рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России; <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>

**Говоров Александр Викторович**, д. м. н., профессор кафедры урологии ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0003-3299-0574>

**Сеницын Валентин Евгеньевич**, д. м. н., профессор, руководитель по развитию международного научного партнерства ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий» ДЗМ, заведующий кафедрой лучевой диагностики факультета фундаментальной медицины ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»; <http://orcid.org/0000-0002-5649-2193>

## Резюме

Рак предстательной железы (РПЖ) занимает второе место в структуре онкологической заболеваемости среди мужчин, причем частота встречаемости локализованных форм выше в странах с высоким уровнем дохода. На настоящий момент существует множество вариантов лечения локализованного РПЖ: начиная с тактики активного наблюдения и заканчивая методами фокальной терапии или радикальными подходами к лечению. С учетом того что многие пациенты заинтересованы в сохранении исходного уровня жизни и минимизации побочных эффектов, фокальная терапия представляет большой интерес не только для самих больных, но и для практикующих врачей-урологов. Магнитно-резонансная томография является одним из ведущих методов как первичной диагностики РПЖ, так и последующей оценки эффективности лечения, в т.ч. и после фокальной терапии. Мы предлагаем обобщенные данные анализа актуальной медицинской литературы по указанной теме.

**Ключевые слова:** рак предстательной железы; магнитно-резонансная томография; сфокусированный ультразвук с высокой интенсивностью; криотерапия; фокальная лазерная абляция; радиочастотная абляция; необратимая электропорация; фотодинамическая терапия; фокальная брахитерапия.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Финансирование

Статья подготовлена в рамках научно-исследовательской работы «Научное обеспечение стандартизации, безопасности и качества магнитно-резонансной томографии» (ЕГИСУ № 123031500007-6).

**Для цитирования:** Абуладзе Л.Р., Говоров А.В., Сеницын В.Е. Возможности магнитно-резонансной томографии в оценке эффективности фокального лечения рака предстательной железы. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2023; 104(1): 90–100. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-1-90-100>

**Для корреспонденции:** Абуладзе Лия Руслановна, E-mail: [drliaabuladze@gmail.com](mailto:drliaabuladze@gmail.com)

Статья поступила 29.09.2022

После доработки 06.02.2023

Принята к печати 07.02.2023

# Magnetic Resonance Imaging Evaluation of Focal Therapy Efficacy for Prostate Cancer

Liya R. Abuladze<sup>1, 2</sup>, Alexander V. Govorov<sup>3</sup>, Valentin E. Sinitsyn<sup>1, 4</sup>

<sup>1</sup> Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, ul. Petrovka, 24, str. 1, Moscow, 127051, Russian Federation

<sup>2</sup> Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, ul. Bolshaya Serpukhovskaya, 27, Moscow, 115093, Russian Federation

<sup>3</sup> Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, ul. Delegatskaya, 20, str. 1, Moscow, 127473, Russian Federation

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russian Federation

**Liya R. Abuladze**, Junior Researcher, Standardization and Quality Control Sector, Department of Innovative Technologies, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; Resident Physician, Chair of Radiology and Magnetic Resonance Research, Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery; <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>

**Alexander V. Govorov**, Dr. Med. Sc., Professor, Chair of Urology, Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry; <http://orcid.org/0000-0003-3299-0574>

**Valentin E. Sinitsyn**, Dr. Med. Sc., Professor, Head for Development of International Scientific Partnership, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; Chief of Chair of Radiation Diagnostics, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University; <http://orcid.org/0000-0002-5649-2193>

## Abstract

Prostate cancer (PCa) is one of the leading causes of cancer morbidity in men. The incidence of localized PCa is higher in high-income countries. There are different types of treatment for localized PCa: from active surveillance to focal therapy or radical treatment. Both patients and urologists are interested in minimizing side effects of treatment, so focal therapy is an alternative option. Magnetic resonance imaging is one of the leading tools either for primary diagnosis or for following evaluation of treatment efficacy, including focal therapy. Therefore, we summarized literature data published on this topic.

**Keywords:** prostate cancer; magnetic resonance imaging; high-intensity focused ultrasound; cryotherapy; focal laser ablation; radiofrequency ablation; irreversible electroporation; photodynamic therapy; focal brachytherapy.

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

## Funding

The paper was prepared as a part of the research and development effort titled “Research program to further the standardization, safety and quality of magnetic resonance imaging” (USIS No. 123031500007-6).

**For citation:** Abuladze LR, Govorov AV, Sinitsyn VE. Magnetic resonance imaging evaluation of focal therapy efficacy for prostate cancer. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023; 104(1): 90–100 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-1-90-100>

**For corresponding:** Liya R. Abuladze, E-mail: [drliaabuladze@gmail.com](mailto:drliaabuladze@gmail.com)

Received September 29, 2022

Revised February 6, 2023

Accepted February 7, 2023

## Введение

### Рак предстательной железы

Рак предстательной железы (РПЖ) занимает второе место в структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями среди мужчин [1]. Несмотря на улучшение методов диагностики РПЖ и проведение мониторинга простатического специфического антигена (ПСА), заболеваемость в России остается высокой: в структуре заболеваемости мужского населения РПЖ стоит на втором месте после онкологических заболеваний бронхо-

легочной системы и составляет 14,9%, причем за период с 2010 по 2019 гг. количество впервые выявленных случаев увеличилось практически вдвое (26 тыс. и 45 тыс. соответственно). Однако показатели за 2020 г. (38 тыс.) не соответствуют тенденции роста заболеваемости [2] – вероятно, ввиду реорганизации системы здравоохранения Российской Федерации в условиях эпидемии новой коронавирусной инфекции.

В настоящий момент к установленным факторам риска РПЖ относят возраст, расовую (негроидную) и этническую принадлежность, а также

семейный анамнез: если установлено, что у ближайших родственников был диагностирован РПЖ в раннем возрасте или есть несколько родственников с верифицированным диагнозом, риск развития РПЖ выше [3]. По данным А. Bleyer et al., РПЖ чаще встречается у молодых мужчин и отличается более агрессивным течением [4]. Безусловную роль в развитии РПЖ в последнее время отводят иммунным факторам [5], что привлекает активное внимание профессиональных сообществ.

### Фокальная терапия

Согласно клиническим рекомендациям American Urological Association (AUA), American Society for Radiation Oncology (ASTRO) и Society of Urologic Oncology (SUO) [6] фокальная терапия (ФТ) рекомендована только пациентам с локализованными формами РПЖ низкого и промежуточного риска. Выявление локализованного РПЖ выше в странах с высоким уровнем дохода, что, наиболее вероятно, связано с проведением ПСА-скрининга, позволяющего выявлять заболевание на более ранних стадиях [7]. Локализованный РПЖ согласно критериям TNM (tumor, nodus, metastasis) не распространяется за пределы капсулы, не метастазирует в лимфатические узлы, другие органы и ткани (T1-2N0M0).

На настоящий момент ФТ не является методом выбора в лечении РПЖ, что отражено в различных клинических рекомендациях. AUA/ASTRO/SUO [6] предлагают информировать пациентов о том, что ФТ не имеет надежной доказательной базы и что локализованный РПЖ может быть мультифокальным, ввиду чего ФТ может оказаться нецелесообразной и потребуются дальнейшее лечение. То же актуально и для российских клинических рекомендаций [8]. В рекомендациях European Association of Urology (EAU) предлагается применять ФТ только в контексте клинических испытаний или в рамках проспективных когортных исследований. Также следует отметить, что рекомендации по диагностической оценке или последующему наблюдению после ФТ отсутствуют [9].

К методам ФТ РПЖ относят сфокусированный ультразвук с высокой интенсивностью (high-intensity focused ultrasound, HIFU), криотерапию, брахитерапию (БТ), фокальную лазерную абляцию (ФЛА), радиочастотную абляцию (РЧА), необратимую электропорацию (НЭП), или «нано-нож», и фотодинамическую терапию (ФДТ) [10]. Методы малоинвазивны, призваны сократить время пребывания пациентов в стационаре, улучшить качество их жизни, минимизировав побочные эффекты лечения. Это, бесспорно, вызывает высокий интерес со стороны не только практикующих врачей-урологов и онкологов, но и самих пациентов.

### Магнитно-резонансная томография

Магнитно-резонансная томография (МРТ) позволяет четко визуализировать контуры простаты, а также проследить ее зональную анатомию. Кроме того, посредством МРТ можно проводить и функциональную оценку состояния железы с помощью таких методов, как диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ), МР-спектроскопия и МРТ с динамическим контрастным усилением (ДКУ) [11].

В 2012 г. были опубликованы первые рекомендации PI-RADS v1 для оценки результатов мультипараметрической МРТ (мпМРТ) [12], в 2015 г. они были обновлены [12]. Однако оценка по PI-RADS v2 была недостаточно совершенной: чувствительность и специфичность оказались относительно низкими: 77,0–77,3% и 71,4–73,8% соответственно [13]. В 2019 г. PI-RADS v2 была обновлена до PI-RADS v2.1, что позволило упростить оценку и снизить вариабельность интерпретации мпМРТ [14]. Также для диагностики РПЖ применяется бипараметрическая МРТ (бпМРТ), протокол которой включает только T2-взвешенные изображения (T2-ВИ) и ДВИ с картами измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). Принято проводить биопсию всех подозрительных на злокачественные образований с PI-RADS  $\geq 3$  [15]. Т. Tamada et al. показали, что для выявления клинически значимого РПЖ по PI-RADS v2.1 бпМРТ сопоставима с мпМРТ [16]. В последнее время наблюдается тенденция к более активному внедрению в рутинную практику подобных протоколов [17].

В исследовании International Delphi Consensus Project (2017 г.) отмечено, что мпМРТ является стандартным инструментом визуализации для отбора пациентов на ФТ, однако при наличии на МРТ подозрительного очага перед ФТ необходимо гистологическое подтверждение. ФТ может быть рекомендована при РПЖ низкого и промежуточного риска, включая балл по Глисона 7 (4 + 3). Очаг, имеющий оценку по шкале Глисона 3 + 4, если он локализован, ограничен и имеет малые размеры (до 1,5 мл или до 20% всего объема предстательной железы / до 3 мл или 25% всего объема, если локализован в одной доле предстательной железы), также может быть рассмотрен как таргетный для ФТ [18].

Оценка рецидива после ФТ действительна сложна и напрямую зависит от опыта врача-рентгенолога. Зачастую последующие исследования проводятся и интерпретируются в разных организациях по различным протоколам, что обуславливает дополнительную диагностическую сложность.

Согласно недавнему исследованию мпМРТ обладает ограниченной возможностью выявлять рецидивы заболевания в течение первых 4–8 мес после ФТ, однако является чувствительным методом в поздние сроки наблюдения, когда раннее накопление контрастного препарата и ограничение диффузии подозрительны на рецидив [19].

## Фокальные методы терапии РПЖ и оценка результатов магнитно-резонансной терапии

### HIFU-терапия

HIFU-терапия – это метод лечения локализованных форм РПЖ, при котором используется сфокусированный ультразвук для генерации областей интенсивного тепла с целью разрушения опухолевой ткани [20]. HIFU вызывает повышение температуры выше порогового уровня денатурации белка ( $> 43\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что приводит к коагуляционному некрозу тканей. Главными преимуществами метода являются неинвазивность и отсутствие ионизирующего излучения, что позволяет использовать его неоднократно ввиду отсутствия отрицательных кумулятивных эффектов [20]. Также HIFU выгодно отличается от остальных методов термической абляции отсутствием необходимости введения зондов в органы-мишени: источник размещается либо поверхностно (для лечения опухолей печени, почек, молочных желез, матки, поджелудочной железы, головного мозга и костей), либо трансректально (для лечения РПЖ), обеспечивая тем самым быстрый нагрев только целевого очага, что позволяет оставлять близлежащие ткани относительно интактными [21].

HIFU рекомендовано применять в следующих случаях: пациентам с локализованным раком простаты, которые не являются кандидатами на радикальную простатэктомию (РПЭ) из-за пожилого возраста, общего состояния здоровья или наличия сопутствующих заболеваний, а также больным, предпочитающим альтернативный вариант радикальной операции [22]. HIFU можно использовать повторно, а также в качестве спасительной терапии у пациентов с местным рецидивом после лучевой терапии (ЛТ) и БТ [22]. Среди ограничений метода выделяют то, что объем простаты не должен превышать 40 мл, хотя с целью его уменьшения перед HIFU можно провести трансуретральную резекцию (ТУР) или короткий курс андроген-депривационной терапии (АДТ) [23]. Отрицательные факторы включают возможное необратимое нарушение эректильной функции, неоднозначность в определении ответа на лечение, более трудный доступ к передним отделам железы [24]. В недавнем исследовании показано, что у пациентов с опухолями в передних отделах терапия может быть менее эффективной: практически 40% больных понадобилось дальнейшее лечение [25].

В исследовании L. Mearini et al. 5-летняя безрецидивная выживаемость у пациентов с низким риском составляла 85,7%, с промежуточным – 74,5%, в то время как у больных с высоким и очень высоким риском – 39,3% и 46,2% соответственно [26]. Схожие данные продемонстрированы

и в другом крупном исследовании: 8-летняя безрецидивная выживаемость составила 76%, 63% и 57% у пациентов с низким, промежуточным и высоким риском соответственно [27].

### MPT после лечения

Вопрос о пользе применения MPT после проведения HIFU с целью выявления рецидива не так однозначен. После HIFU простата представлена фиброзной и доброкачественной тканью. Учитывая, что местный рецидив после HIFU можно лечить посредством повторного лечения или ЛТ, ранняя диагностика предельно важна.

В 2014 г. в результате мультидисциплинарного обсуждения был достигнут консенсус, в котором определены следующие рекомендации, позволяющие отобрать того или иного пациента для HIFU по данным мпMPT [28]:

- мпMPT рекомендуется выполнять на сверхвысокопольных томографах (3 Тл), где применение эндоректальной катушки опционально, в то время как для томографов с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл использование эндоректальной катушки является обязательным условием;

- мпMPT рекомендуется интерпретировать опытному врачу-рентгенологу;

- протокол сканирования и протокол описания рекомендуется стандартизировать.

Также важно отметить, что авторы рекомендуют проводить биопсию всех подозрительных по данным MPT очагов [28].

Тема применения MPT в обследовании пациентов, подвергшихся HIFU по поводу РПЖ, освещается в различных работах. В одной из самых ранних исследований (2001 г.) O. Rouvière et al. демонстрируют пользу MPT с применением гадолиния у больных после HIFU для оценки степени поражения тканей, однако прогностической ценности в отношении гистологических результатов выявлено не было [29]. В одной из самых поздних публикаций (2021 г.) авторы оценивали изменения предстательной железы на MPT у пациентов без рецидива: уменьшение размеров железы, остаточная доброкачественная ткань простаты, парауретральные жидкостные полости и фиброз были самыми частыми признаками [30] (см. рисунок).

Работы отечественных авторов, посвященные данной теме, немногочисленны. Например, в одной из релевантных публикаций оценивали динамику уменьшения объема предстательной железы у пациентов, перенесших HIFU: более выраженное его снижение происходило в первые 3 мес после лечения (до 28,4%), а к 6-му месяцу он уменьшался в среднем еще на 18,1% от первоначального значения [31]. И.А. Абоян и др. показали, что мпMPT – эффективный метод в диагностике рецидива после



Магнитно-резонансная томография органов малого таза, T2-взвешенные изображения, аксиальная проекция. Состояние после трансуретральной резекции от 2012 г., состояние после биопсии от 2020 г. (Глисон 3+3): ацинарная аденокарцинома. Состояние после HIFU-абляции правой доли железы по поводу новообразования от 2021 г.: предстательная железа уменьшена в размерах, зональная дифференцировка правой доли нарушена, определяется гипоинтенсивная область фиброзных изменений (стрелка)

Pelvic T2-weighted axial magnetic resonance image. Transurethral resection from 2012, biopsy from 2020 (Gleason 3+3): acinar adenocarcinoma. HIFU-ablation of the prostate right lobe for neoplasm from 2021: the gland is reduced in size, the right lobe zonal differentiation is impaired, the hypointensive area of fibrous changes is determined (arrow)

HIFU при обследовании пациентов с биохимическим рецидивом [32].

MPT, в частности с использованием ДКУ, позволяет обеспечить раннее выявление рецидива, однако С. Kim et al. продемонстрировали, что MPT с применением контрастного препарата более чувствительна в отношении рецидива, но менее специфична, нежели комбинация импульсных последовательностей T2-ВИ и ДВИ [33]. В исследовании, где ретроспективно оценивали необходимость добавления контрастного вещества для диагностики рецидива после проведения HIFU, статистически значимых различий между T2-ВИ и ДВИ, а также T2-ВИ, ДВИ и ДКУ выявлено не было [34].

Известно, что у пациентов с биохимическим рецидивом (БХР) после HIFU ни ДВИ, ни ДКУ не позволили достоверно отличить доброкачественные узлы гиперплазии от рецидива, поэтому все подозрительные на рецидив очаги должны подвергаться биопсии [21]. Показано, что пре-

и пост-HIFU MPT проводить необходимо, поскольку такие признаки, как количество пораженных секторов предстательной железы и степень деваскуляризации опухолевого образования, после лечения имеют клиническую ценность. Только пациенты с полной деваскуляризацией имели хороший исход, в отличие от тех, у которых обнаружилось небольшое периферическое накопление контрастного препарата. Чем больше секторов было поражено изначально, тем более неблагоприятный исход имели больные после проведения HIFU, что актуально и в отношении развития последующего БХР: чем больше размер образования и выше уровень ПСА до проведения HIFU, тем выше риск развития БХР [35].

При проведении MPT в течение 1–3 мес после HIFU подвергшаяся абляции область будет иметь низкий сигнал на T2-ВИ, что обусловлено коагуляционным некрозом. Область будет окружена ободком, накапливающим контрастный препарат и представляющим собой отек. Это так называемый признак double rim [36]. Вышеописанные изменения, как правило, проходят в течение 6 мес, что позволяет дифференцировать нормальные для пост-HIFU изменения ткани предстательной железы от потенциального рецидива [37]. Далее формируется фиброз, морфологически представляющий собой плотный стромальный компонент и депо гемосидерина после среднего периода наблюдения около 15 мес, причем по мере увеличения продолжительности наблюдения фиброз становится более обширным [38]. Р. Martino et al. отмечают, что MPT оказалась полезной при значениях ПСА лишь выше 1 нг/мл, при которых выявленный рецидив не поддавался успешному лечению, а также показала ограниченную клиническую значимость в ранней диагностике рецидива после операции, поскольку позволяла выявить образования только при размерах более 0,5 см<sup>3</sup> [39].

Было предложено использовать наиболее низкое значение ПСА (надир) в качестве прогностического фактора после проведения HIFU: у пациентов с ПСА < 0,5 нг/мл показатели отрицательной биопсии спустя 3 мес после вмешательства составили 89%, при ПСА 0,51–1 нг/мл – 76%, при ПСА > 1,1 нг/мл – 68% [40]. Уровень ПСА после проведения HIFU менее показателен в отношении выявления рецидива по сравнению с MPT (в среднем 6 мес) [41].

### Криоабляция

Криоабляция (КА) – альтернативный метод лечения РПЖ, ведущий механизм гибели злокачественных клеток, который заключается в чередовании фаз замораживания и оттаивания, что приводит к термическому шоку и сосу-

дистому стазу, индуцирующему клеточный апоптоз [42]. В недавнем метаанализе показано, что положительная биопсия после КА встречается лишь в 20% случаев, безрецидивная выживаемость (БРВ) достигает 75,7% [43], что говорит о применимости и эффективности метода. Российские авторы сообщают, что при медиане наблюдения 30,5 мес выживаемость без биохимического рецидива составляет 90% у пациентов низкого риска, 77% – промежуточного и 63% – высокого риска [44].

Предварительная ТУР с наличием большого ТУР-дефекта является противопоказанием к КА [45]. Примечательно, что в исследовании С. Sze et al. при локализации РПЖ в передних отделах эректильная функция после КА не пострадала [46]. Следует отметить, что у больных с рецидивом после ЛТ КА может рассматриваться как эффективный метод лечения: граница «ледяного шара» должна превышать 5 мм. Показано, что БРВ в течение 1 года после КА у пациентов с границей > 10 мм составила 100%, с границей 5–10 мм – 84%, а с границей < 5 мм – лишь 15% [47].

#### *МРТ после лечения*

Как и при остальных методах ФТ, показательными являются постконтрастные серии. Зона абляции выглядит как гипоинтенсивная на Т2-ВИ область, окруженная ободком периферического контрастного усиления (отеком) [48].

Однозначная интерпретация найденных изменений после КА сложна, потому что, по данным литературы, добавление гадолиния не позволяет точно предсказать успех лечения: отсутствие накопления не всегда означает полную гибель опухолевых клеток, и, наоборот, его наличие не может быть использовано для однозначной дифференциации остаточной доброкачественной ткани и рецидива. Хотя М. Kongnyuy et al. продемонстрировали на небольшой выборке пациентов, что в 45,5% случаев мпМРТ оказалась эффективной в плане выявления рецидива [49].

В другом недавнем исследовании сообщается, что наличие отека характерно для ранних сроков (16–25 дней) после КА наряду с гипоинтенсивным ободком на Т2-ВИ, демонстрирующим накопление контрастного препарата вокруг зоны абляции. Однако авторы отмечают, что в некоторых случаях аналогичные изменения наблюдались и в более поздние сроки (53–58 дней). Вероятно, они были обусловлены хроническим кровоизлиянием. На более поздних стадиях можно увидеть развитие рубцовой ткани, определяемой как гипоинтенсивные линейные области на Т2-ВИ (514–553 дня), а также неравномерное накопление контраста зоной абляции (553–731 день) [50].

#### **Фокальная лазерная абляция**

ФЛА проводится при помощи введения в простату диодного лазера с длиной волны 980 нм через ректальный или перинеальный доступ. Интраоперационный мониторинг ФЛА осуществляется посредством трансректального ультразвукового исследования или МРТ в режиме реального времени. После позиционирования лазера происходит активация и проведение инфракрасного света в очаг поражения. Энергия, излучаемая наконечником лазера, приводит к нагреванию ткани-мишени и последующему термическому некрозу [51].

Одним из преимуществ метода является то, что он не имеет ограничений по глубине проникновения энергии в ткани, в отличие от HIFU (около 4 см), а также такое осложнение, как ректоуретральный свищ, при трансперинеальном доступе практически не встречается. По данным В. Chaو et al., у 40% больных после ФЛА развился рецидив, хотя ни одного летального исхода в этой когорте не наблюдалось [52]. Безусловным плюсом данного метода можно считать то, что его проведение существенно не влияет на эректильную и мочевыделительную функции [53].

#### *МРТ после лечения*

Наиболее часто в зоне абляции на Т2-ВИ и ДВИ, полученных на ранних сроках после ФЛА (3 мес), отмечается нечеткое, неоднородное или полосовидное снижение сигнала (66,7% случаев). Примечательно, что раннее накопление контрастного препарата диагностировали лишь в 11% исследований, проведенных через 3 мес после ФЛА [54].

Важно также понимать, что край опухоли может быть недооценен на первоначальной МРТ и, как следствие, недостаточно подвержен абляции. Зачастую местные рецидивы возникают именно у границ подвергшейся абляции области (в 27% случаев – внутри, в 73% – вне зоны абляции), следовательно, рекомендуется иметь край не менее 9 мм вокруг видимой опухоли [55].

В другом исследовании авторы демонстрируют пользу мпМРТ в динамическом наблюдении за пациентами после ФЛА для прогнозирования развития рецидива, причем мпМРТ значительно превосходила показатели измерения ПСА (89% и 61% соответственно) [56].

#### **Фотодинамическая терапия**

ФДТ предполагает воздействие света на ткани-мишени после введения специального фотосенсибилизирующего агента (ФСА), что стимулирует выработку реактивных форм кислорода, приводя к гибели клеток. Используют различные ФСА, которые структурно происходят от порфиринов, феофорбидов и хлоринов: м-тетрагидрокси-

фенилхлорид, протопорфирин IX, мотексафин лютеций, падопорфин, паделипорфин [57].

ФДТ часто применяют при рецидиве после ДЛТ. J. Trachtenberg et al. продемонстрировали, что при высоких дозах и лечебном воздействии не менее чем на 90% ткани простаты наблюдался положительный эффект в виде отсутствия рецидивов [58]. В исследовании по сравнению эффектов лечения мужчин с низким риском РПЖ, подвергшихся ФДТ паделипорфином, и мужчин, находившихся под активным наблюдением, 49% пациентов имели отрицательные результаты биопсии через 2 года после лечения по сравнению с 14% в группе активного наблюдения [59].

#### *МРТ после лечения*

М. Kulik et al. детально описали МРТ-картину после ФДТ. Спустя 7 дней после ФДТ области воздействия демонстрируют неоднородный сигнал на T2-ВИ за счет фокальных зон отека и ишемических изменений, вызванных фототерапией, также определяется увеличение объема доли, подвергшейся ФДТ. На T1-ВИ до введения гадолиния можно выявить гиперинтенсивные, плохо очерченные зоны – участки острых кровоизлияний. Некроз лучше всего визуализировать на T1-ВИ с подавлением сигнала от жира: участки с неровными, четкими, расширенными краями. Следует помнить о воспалительных изменениях на T2-ВИ – они, как правило, регрессируют в течение 3 мес после ФДТ [60].

Относительно последующего наблюдения авторы не рекомендуют проводить повторное МРТ ранее чем через 6 мес после ФДТ, потому что МРТ-картина будет недостаточно информативна. Таким образом, спустя 6 мес после ФДТ подвергшаяся лечению область представляет собой гипоинтенсивную на T2-ВИ рубцовую зону со снижением объема вплоть до меньших размеров, чем до лечения. Также часто наблюдаются кистозные полости различной формы и размеров, связанные с атрофией [60].

Говоря о рецидиве, можно отметить, что абсолютных МРТ-признаков рецидива нет и однозначная трактовка любого подозрительного очага остается сложной задачей, поэтому таковой обязательно должен быть подвергнут биопсии [61].

#### **Необратимая электропорация («нано-нож»)**

Главным отличием НЭП от других методов ФТ является то, что электропорация основана на не-тепловом механизме, вызывающем гибель клеток. При НЭП используются игольчатые электроды, которые размещаются в целевой зоне или вокруг нее для подачи серии коротких электрических импульсов постоянного тока, что приводит к клеточному апоптозу.

Было показано, что метод эффективен: лишь у 19% пациентов выявлены рецидивы, причем большая их часть обнаружена в областях, прилегающих к границе лечебного воздействия [62]. Отмечается, что расширение границы предполагаемого лечебного воздействия не менее чем на 9 мм имеет потенциал для более эффективного лечения [62].

В недавнем исследовании на большей когорте пациентов продемонстрировано, что лишь у 10% больных наблюдался рецидив РПЖ в течение 5 лет после НЭП. Примечательно, что в срок 12 мес после НЭП все побочные эффекты в виде гематурии, преходящей задержки мочи, дизурии наблюдались в 3,8%, 9,1% и 6,8% случаев соответственно и полностью исчезли у всех пациентов, не имевших указанной патологии изначально, причем стойкая эректильная дисфункция наблюдалась лишь у 11% больных [63].

#### *МРТ после лечения*

МРТ в диагностике рецидивов после проведения НЭП обсуждается в разных работах. Так, было показано, что МРТ обладает высокой специфичностью (82%) и умеренной чувствительностью (58%) для этих целей [64].

В другой работе получены следующие данные по специфичности и чувствительности МРТ: 70% и 38% соответственно для образований размером  $\geq 6$  мм или  $\geq 4 + 3$  по шкале Глисона и 72% и 44% для образований  $\geq 4$  мм или  $\geq 3 + 4$  по шкале Глисона. Также в этом исследовании исходные значения ПСА не имели прогностической ценности в плане развития рецидива после проведенной НЭП. Через 4 нед после НЭП на T2-ВИ зоны вмешательства имели неоднородную интенсивность сигнала, также встречались гипоинтенсивные края (фиброз), а у части пациентов – гиперинтенсивные на T1-ВИ зоны кровоизлияний [65].

При применении контрастного препарата зона аблации гипоинтенсивна по отношению к интактной части предстательной железы [66]. В одном из новых исследований исходов лечения посредством НЭП отмечено, что последующее наблюдение с помощью МРТ следует осуществлять через 1 и 6 мес после лечения, однако данный пример приведен как частный случай [67].

#### **Радиочастотная аблация**

РЧА – это метод термической аблации, осуществляемый путем подачи высокочастотного переменного тока через электрод в ткань. Переменный ток приводит к нагреванию ткани с последующей денатурацией белка. Основной проблемой РЧА при лечении РПЖ является контроль распространения энергии на нейроваскулярные пучки, уретру, уретральный сфинктер и прямую кишку [68].

Хотя в лечении РПЖ метод используется редко, в исследовании на небольшой выборке пациентов ( $n = 10$ ) подтверждено, что РЧА эффективна: у 70% больных не было обнаружено рецидива через 12 мес после лечения, причем более чем у половины из них – даже спустя 3,5 года наблюдения [68].

#### *МРТ после лечения*

МРТ-изменения спустя 6 мес после РЧА, как правило, представляют собой типичные для РЧА кисты различного размера и формы с тонкими стенками, накапливающими контрастный препарат. Также нередко можно встретить резидуальные скопления жидкости, рубцовую ткань [68].

Данные литературы немногочисленны. Интересной представляется работа 2017 г. по изучению возможностей МРТ и ультразвукового исследования с контрастным усилением в диагностике рецидива опухолей после РЧА на собаках: оба метода способны выявлять прогрессирование поражений, коррелируя при этом с результатами морфологических заключений [69].

#### **Фокальная брахитерапия**

В лечении используется имплантация постоянных или временных радиоактивных источников пациентам с РПЖ различных групп риска [67]. Показатели БРВ у больных низкого, промежуточного и высокого риска составляют 85%, 69–97% и 63–80% соответственно [70].

Авторы исследования, в котором сравнивали фокальную БТ и РПЭ у пациентов с локализованным РПЖ, сообщают, что БРВ после БТ существенно не уступает РПЭ (79% и 94% соответственно), а также превосходит последнюю по сохранению мочеполовой функции: у 67% больных сохранилась эякуляция после БТ (после РПЭ – 0%), а также 100% пациентов воздержались от использования средств личной гигиены после БТ, в противовес РПЭ (81%) [71].

#### *МРТ после лечения*

По данным литературы, мпМРТ не может быть панацеей для выявления рецидива после проведенной БТ и иногда представляет собой

диагностическую проблему ввиду артефактов от имплантатов зерен, однако может быть выполнена. L. Valle et al. сообщают о чувствительности и специфичности мпМРТ 88% и 75% соответственно. Рецидивы, выявленные с помощью мпМРТ в указанном исследовании, часто располагались в переходной зоне (41%) и семенных пузырьках (32,3%) [71].

Было показано, что чувствительность и специфичность ДВИ для выявления рецидива – 68% и 95% соответственно, что подтверждает необходимость включения данной импульсной последовательности в протокол сканирования [72], однако в течение 6 нед после БТ применение ДВИ может быть малоинформативно ввиду воспалительных изменений железы на фоне лечения [73]. Для рецидива после БТ характерны следующие характеристики: гипоинтенсивный на T2-ВИ очаг, демонстрирующий низкий сигнал на ИКД и высокий – на ДВИ, а также раннее накопление контрастного препарата при ДКУ [73].

S. Gaur et al. предложили критерии оценки местного рецидива РПЖ после РПЭ или БТ – PI-RR (Prostate Magnetic Resonance Imaging for Local Recurrence Reporting). Цель применения данных критериев – стандартизация и уменьшение вариабельности интерпретации результатов врачами-рентгенологами после лечения [74].

#### **Заключение**

С учетом растущей популярности фокальных методов терапии РПЖ лучевая диагностика выходит на новый уровень оценки. Мультипараметрическая МРТ важна при первичной диагностике РПЖ, но также с успехом может применяться и в оценке локальных рецидивов после ФТ – например, применение контрастного препарата является критически важным. Результаты МРТ после лечения варьируют в зависимости от срока и вида проведенной терапии. Отсутствие четких рекомендаций по последующему МРТ-наблюдению за пациентами, подвергшимися фокальному лечению, диктует необходимость актуализации данной проблемы. В представленном обзоре проанализирована роль МРТ в разные сроки после основных видов ФТ.

## **Литература [References]**

1. Ferlay J, Soerjomataram I, Dikshit R, et al. Cancer incidence and mortality worldwide: sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012. *Int J Cancer*. 2015; 136(5): E359–86. <http://doi.org/10.1002/ijc.29210>.
2. Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. (ред.) Злокачественные новообразования в России в 2020 году (заболеваемость и смертность).

URL: [https://glavonco.ru/cancer\\_register/Забол\\_2020\\_Электр.pdf](https://glavonco.ru/cancer_register/Забол_2020_Электр.pdf) (дата обращения 10.02.2023).

[Kaprin AD, Starinskiy VV, Shakhzadova AO (Eds). *Malignant neoplasms in Russia in 2020 (morbidity and mortality)*.

Available at:

[https://glavonco.ru/cancer\\_register/Забол\\_2020\\_Электр.pdf](https://glavonco.ru/cancer_register/Забол_2020_Электр.pdf) (in Russ.) (accessed February 10, 2023).]

3. Patel AR, Klein EA. Risk factors for prostate cancer. *Nat Clin Pract Urol*. 2009; 6(2): 87–95. <http://doi.org/10.1038/ncpuro1290>.
4. Bleyer A, Spreafico F, Barr R. Prostate cancer in young men: an emerging young adult and older adolescent challenge. *Cancer*. 2020; 126(1): 46–57. <http://doi.org/10.1002/cncr.32498>.
5. Wang C, Zhang Y, Gao WQ. The evolving role of immune cells in prostate cancer. *Cancer Lett*. 2022; 525: 9–21. <http://doi.org/10.1016/j.canlet.2021.10.027>.
6. Lowrance W, Breaux R, Chou R, et al. AUA / ASTRO / SUO Guideline. Part I. *J Urol*. 2021; 205(1): 14–21. <http://doi.org/10.1097/JU.0000000000001375>.
7. Pernar CH, Ebot EM, Wilson KM, Mucci LA. The epidemiology of prostate cancer. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2018; 8(12): a030361. <http://doi.org/10.1101/cshperspect.a030361>.
8. Клинические рекомендации. Рак предстательной железы. 2021. URL: [https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/12\\_3](https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/12_3) (дата обращения 10.02.2023). [Clinical guidelines. Prostate cancer. 2021. Available at: [https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/12\\_3](https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/12_3) (in Russ.) (accessed February 10, 2023).]
9. Borkowetz A, Blana A, Böhmer D, et al. German S3 evidence-based guidelines on focal therapy in localized prostate cancer: the first evidence-based guidelines on focal therapy. *Urol Int*. 2022; 106(5): 431–9. <http://doi.org/10.1159/000521882>.
10. Hopstaken JS, Bomers JGR, Sedelaar MJP, et al. An updated systematic review on focal therapy in localized prostate cancer: what has changed over the past 5 years? *Eur Urol*. 2022; 81(1): 5–33. <http://doi.org/10.1016/j.eururo.2021.08.005>.
11. Turkbey B, Albert PS, Kurdziel K, Choyke PL. Imaging localized prostate cancer: current approaches and new developments. *AJR Am J Roentgenol*. 2009; 192(6): 1471–80. <http://doi.org/10.2214/AJR.09.2527>.
12. Barentsz JO, Richenberg J, Clements R, et al. ESUR prostate MR guidelines 2012. *Eur Radiol*. 2012; 22(4): 746–57. <http://doi.org/10.1007/s00330-011-2377-y>.
13. Park SY, Jung DC, Oh YT, et al. Prostate cancer: PI-RADS version 2 helps preoperatively predict clinically significant cancers. *Radiology*. 2016; 280(1): 108–16. <http://doi.org/10.1148/radiol.16151133>.
14. Turkbey B, Rosenkrantz AB, Haider MA, et al. Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2.1: 2019 Update of Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2. *Eur Urol*. 2019; 76(3): 340–51. <http://doi.org/10.1016/j.eururo.2019.02.033>.
15. Callender T, Emberton M, Morris S, et al. Benefit, harm, and cost-effectiveness associated with magnetic resonance imaging before biopsy in age-based and risk-stratified screening for prostate cancer. *JAMA Netw Open*. 2021; 4: 1–12. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.37657>.
16. Tamada T, Kido A, Yamamoto A, et al. Comparison of biparametric and multiparametric MRI for clinically significant prostate cancer detection with PI-RADS version 2.1. *J Magn Reson Imaging*. 2021; 53: 283–91. <https://doi.org/10.1002/jmri.27283>.
17. Абуладзе Л.Р., Семенов Д.С., Панина О.Ю., Васильев Ю.А. Оптимизированный протокол бипараметрической магнитно-резонансной томографии для диагностики рака предстательной железы. *Digital Diagnostics*. 2022; 3(3): 166–77. <http://doi.org/10.17816/DD108484>. [Abuladze LR, Semenov DS, Panina OYu, Vasilev YuA. Optimized biparametric magnetic resonance imaging protocol for prostate cancer detection. *Digital Diagnostics*. 2022; 3(3): 166–77 (in Russ.). <http://doi.org/10.17816/DD108484>.]
18. Tay KJ, Scheltema MJ, Ahmed HU, et al. Patient selection for prostate focal therapy in the era of active surveillance: an International Delphi Consensus Project. *Prostate Cancer Prostatic Dis*. 2017; 20(3): 294–9. <http://doi.org/10.1038/pcan.2017.8>.
19. Paxton M, Barbalat E, Perlis N, et al. Role of multiparametric MRI in long-term surveillance following focal laser ablation of prostate cancer. *Br J Radiol*. 2022; 95(1131): 20210414. <http://doi.org/10.1259/bjr.20210414>.
20. Cordeiro ER, Cathelineau X, Thüroff S, et al. High-intensity focused ultrasound (HIFU) for definitive treatment of prostate cancer. *BJU Int*. 2012; 110(9): 1228–42. <http://doi.org/10.1111/j.1464-410X.2012.11262.x>.
21. Escoffre JM, Bouakaz A (Eds). *Therapeutic ultrasound*. Springer; 2016: 476 pp. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-22536-4>.
22. Azzouz H, de la Rosette JJ. HIFU: local treatment of prostate cancer. *EAU-EBU Updat Ser*. 2006; 4: 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.eeus.2006.01.002>.
23. He Y, Tan P, He M, et al. The primary treatment of prostate cancer with high-intensity focused ultrasound: a systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2020; 99(41): e22610. <http://doi.org/10.1097/MD.00000000000022610>.
24. Mearini L, Porena M. Transrectal high-intensity focused ultrasound for the treatment of prostate cancer: past, present, and future. *Indian J Urol*. 2010; 26(1): 4–11. <http://doi.org/10.4103/0970-1591.60436>.
25. Huber PM, Afzal N, Arya M, et al. Focal HIFU therapy for anterior compared to posterior prostate cancer lesions. *World J Urol*. 2021; 39(4): 1115–9. <http://doi.org/10.1007/s00345-020-03297-7>.
26. Mearini L, D'Urso L, Collura D, et al. High-intensity focused ultrasound for the treatment of prostate cancer: a prospective trial with long-term follow-up. *Scand J Urol*. 2015; 49(4): 267–74. <http://doi.org/10.3109/21681805.2014.988174>.
27. Crouzet S, Chapelon JY, Rouvière O, et al. Whole-gland ablation of localized prostate cancer with high-intensity focused ultrasound: oncologic outcomes and morbidity in 1002 patients. *Eur Urol*. 2014; 65(5): 907–14. <http://doi.org/10.1016/j.eururo.2013.04.039>.
28. Muller BG, Fütterer JJ, Gupta RT, et al. The role of magnetic resonance imaging (MRI) in focal therapy for prostate cancer: recommendations from a consensus panel. *BJU Int*. 2014; 113(2): 218–27. <http://doi.org/10.1111/bju.12243>.
29. Rouvière O, Lyonnet D, Raudrant A, et al. MRI appearance of prostate following transrectal HIFU ablation of localized cancer. *Eur Urol*. 2001; 40(3): 265–74. <http://doi.org/10.1159/000049786>.
30. Schaudinn A, Michaelis J, Franz T, et al. High-intensity focused ultrasound (HIFU) hemiablation of the prostate: late follow-up MRI findings in non-recurrent patients. *Eur J Radiol*. 2021; 144: 109957. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.109957>.
31. Возможности магнитно-резонансной томографии в оценке состояния предстательной железы после проведенной HiFu терапии у больных раком предстательной железы. URL: <https://uroweb.ru/article/vozmozhnosti-magnitno-rezonansnoi-tomografii-v-otsenke-sostoyaniya-predstatelnoi-zhelezy-posle-provedennoi-hifu-terapii> (дата обращения 12.09.2022). [The possibilities of magnetic resonance imaging in assessing the state of the prostate gland after HiFu therapy in patients with prostate cancer. Available at: <https://uroweb.ru/article/>

- vozmozhnosti-magnitno-rezonansnoi-tomografii-v-otsenke-sostoyniya-predstatelnoi-zhelezy-posle-provedennoi-hifu-terapii (in Russ.) (accessed September 12, 2022).]
32. Абоян И.А., Бадьян К.И., Маликов Л.Л. МРТ в диагностике рецидива рака предстательной железы после HIFU и криоабляции. В кн.: Сборник трудов XV конгресса «Мужское здоровье». Сочи; 2019.  
[Aboyan IA, Badyan KI, Malikov LL. MRI in the diagnosis of prostate cancer recurrence after HIFU and cryoablation. In: Proceedings of the XV Congress "Men's health". Sochi; 2019 (in Russ.)]
  33. Kim CK, Park BK, Lee HM, et al. MRI techniques for prediction of local tumor progression after high-intensity focused ultrasonic ablation of prostate cancer. *AJR Am J Roentgenol.* 2008; 190(5): 1180–6. <http://doi.org/10.2214/AJR.07.2924>.
  34. Lotte R, Lafourcade A, Mozer P, et al. Multiparametric MRI for suspected recurrent prostate cancer after HIFU: is DCE still needed? *Eur Radiol.* 2018; 28(9): 3760–9. <http://doi.org/10.1007/s00330-018-5352-z>.
  35. Rosset R, Bratan F, Cruzet S, et al. Can pre- and postoperative magnetic resonance imaging predict recurrence-free survival after whole-gland high-intensity focused ablation for prostate cancer? *Eur Radiol.* 2017; 27(4): 1768–75. <http://doi.org/10.1007/s00330-016-4491-3>.
  36. Kirkham AP, Emberton M, Hoh IM, et al. MR imaging of prostate after treatment with high-intensity focused ultrasound. *Radiology.* 2008; 246(3): 833–44. <http://doi.org/10.1148/radiol.2463062080>.
  37. Bui TL, Glavis-Bloom J, Chahine C, et al. Prostate minimally invasive procedures: complications and normal vs. abnormal findings on multiparametric magnetic resonance imaging (mpMRI). *Abdom Radiol (NY).* 2021; 46(9): 4388–400. <http://doi.org/10.1007/s00261-021-03097-6>.
  38. Evans AJ. Treatment effects in prostate cancer. *Mod Pathol.* 2018; 31(1): 110–21. <https://doi.org/10.1038/modpathol.2017.158>.
  39. Martino P, Scattoni V, Galosi AB, et al. Role of imaging and biopsy to assess local recurrence after definitive treatment for prostate carcinoma (surgery, radiotherapy, cryotherapy, HIFU). *World J Urol.* 2011; 29(5): 595–605. <http://doi.org/10.1007/s00345-011-0687-y>.
  40. Poissonnier L, Chapelon JY, Rouvière O, et al. Control of prostate cancer by transrectal HIFU in 227 patients. *Eur Urol.* 2007; 51(2): 381–7. <http://doi.org/10.1016/j.eururo.2006.04.012>.
  41. Dickinson L, Ahmed HU, Hindley RG, et al. Prostate-specific antigen vs. magnetic resonance imaging parameters for assessing oncological outcomes after high intensity-focused ultrasound focal therapy for localized prostate cancer. *Urol Oncol.* 2017; 35(1): 30.e9–15. <http://doi.org/10.1016/j.urolonc.2016.07.015>.
  42. Говоров А.В., Пушкарь Д.Ю., Васильев А.О. Криоабляция предстательной железы. Методические рекомендации № 20. 2015: 8–10.  
[Govorov AV, Pushkar DY, Vasiliev AO. Prostate cryoablation. Methodological recommendations No. 20. 2015: 8–10 (in Russ.)]
  43. Guo RQ, Guo XX, Li YM, et al. Cryoablation, high-intensity focused ultrasound, irreversible electroporation, and vascular-targeted photodynamic therapy for prostate cancer: a systemic review and meta-analysis. *Int J Clin Oncol.* 2021; 26(3): 461–84. <http://doi.org/10.1007/s10147-020-01847-y>.
  44. Говоров А.В., Васильев А.О., Пушкарь Д.Ю. Криохирургия рака предстательной железы. *Consilium Medicum.* 2015; 17(7): 29–32.  
[Govorov AV, Vasiliev AO, Pushkar DY. Cryosurgery for prostate cancer. *Consilium Medicum.* 2015; 17(7): 29–32 (in Russ.)]
  45. Sze C, Tsivian E, Tay KJ, et al. Anterior gland focal cryoablation: proof-of-concept primary prostate cancer treatment in select men with localized anterior cancers detected by multiparametric magnetic resonance imaging. *BMC Urol.* 2019; 19(1): 127. <http://doi.org/10.1186/s12894-019-0562-5>.
  46. Overduin CG, Jenniskens SFM, Sedelaar JPM, et al. Percutaneous MR-guided focal cryoablation for recurrent prostate cancer following radiation therapy: retrospective analysis of iceball margins and outcomes. *Eur Radiol.* 2017; 27(11): 4828–36. <http://doi.org/10.1007/s00330-017-4833-9>.
  47. Patel P, Mathew MS, Trilisky I, Oto A. Multiparametric MR imaging of the prostate after treatment of prostate cancer. *Radiographics.* 2018; 38(2): 437–49. <http://doi.org/10.1148/rg.2018170147>.
  48. De Visschere PJ, De Meerleer GO, Fütterer JJ, Villeirs GM. Role of MRI in follow-up after focal therapy for prostate carcinoma. *AJR Am J Roentgenol.* 2010; 194(6): 1427–33. <http://doi.org/10.2214/AJR.10.4263>.
  49. Kongnyuy M, Halpern DM, Liu CC, et al. 3-T multiparametric MRI characteristics of prostate cancer patients suspicious for biochemical recurrence after primary focal cryosurgery (hemiblation). *Int Urol Nephrol.* 2017; 49(11): 1947–54. <http://doi.org/10.1007/s11255-017-1670-3>.
  50. Hötter AM, Meier A, Mazaheri Y, et al. Temporal changes in MRI appearance of the prostate after focal ablation. *Abdom Radiol (NY).* 2019; 44(1): 272–8. <http://doi.org/10.1007/s00261-018-1715-9>.
  51. Rastinehad AR, Siegel DN, Wood BJ, McClure T (Eds). *Interventional urology.* Springer; 2022. <http://doi.org/10.1007/978-3-030-73565-4>.
  52. Chao B, Lepor H. 5-year outcomes following focal laser ablation of prostate cancer. *Urology.* 2021; 155: 124–9. <http://doi.org/10.1016/j.urology.2021.03.054>.
  53. Walsler E, Nance A, Ynalvez L, et al. Focal laser ablation of prostate cancer: results in 120 patients with low- to intermediate-risk disease. *J Vasc Interv Radiol.* 2019; 30(3): 401–9.e2. <http://doi.org/10.1016/j.jvir.2018.09.016>.
  54. Westin C, Chatterjee A, Ku E, et al. MRI findings after MRI-guided focal laser ablation of prostate cancer. *AJR Am J Roentgenol.* 2018; 211(3): 595–604. <http://doi.org/10.2214/AJR.17.19201>.
  55. Koopman AG, Jenniskens SF, Fütterer JJ. Magnetic resonance imaging assessment after therapy in prostate cancer. *Top Magn Reson Imaging.* 2020; 29(1): 47–58. <http://doi.org/10.1097/RMR.0000000000000231>.
  56. Felker ER, Raman SS, Lu DS, et al. Utility of multiparametric MRI for predicting residual clinically significant prostate cancer after focal laser ablation. *AJR Am J Roentgenol.* 2019; 213(6): 1253–8. <http://doi.org/10.2214/AJR.19.21637>.
  57. Osuchowski M, Bartusik-Aebischer D, Osuchowski F, Aebischer D. Photodynamic therapy for prostate cancer – a narrative review. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2021; 33: 102158. <http://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.102158>.
  58. Trachtenberg J, Weersink RA, Davidson SR, et al. Vascular-targeted photodynamic therapy (padoporfin, WST09) for recurrent prostate cancer after failure of external beam radiotherapy: a study of escalating light doses. *BJU Int.* 2008; 102(5): 556–62. <http://doi.org/10.1111/j.1464-410X.2008.07753.x>.

59. Azzouzi AR, Vincendeau S, Barret E, et al. Padeliporfin vascular-targeted photodynamic therapy versus active surveillance in men with low-risk prostate cancer (CLIN1001 PCM301): an open-label, phase 3, randomised controlled trial. *Lancet Oncol.* 2017; 18(2): 181–91. [http://doi.org/10.1016/S1470-2045\(16\)30661-1](http://doi.org/10.1016/S1470-2045(16)30661-1).
60. Kulik M, Nedelcu C, Martin F, et al. Post-treatment MRI aspects of photodynamic therapy for prostate cancer. *Insights Imaging.* 2014; 5(6): 697–713. <http://doi.org/10.1007/s13244-014-0359-8>.
61. Ting F, Tran M, Böhm M, et al. Focal irreversible electroporation for prostate cancer: functional outcomes and short-term oncological control. *Prostate Cancer Prostatic Dis.* 2016; 19(1): 46–52. <http://doi.org/10.1038/pcan.2015.47>.
62. Guenther E, Klein N, Zapf S, et al. Prostate cancer treatment with irreversible electroporation (IRE): safety, efficacy and clinical experience in 471 treatments. *PLoS One.* 2019; 14(4): e0215093. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0215093>.
63. Blazeviski A, Scheltema MJ, Yuen B, et al. Oncological and quality-of-life outcomes following focal irreversible electroporation as primary treatment for localised prostate cancer: a biopsy-monitored prospective cohort. *Eur Urol Oncol.* 2020; 3(3): 283–90. <http://doi.org/10.1016/j.euo.2019.04.008>.
64. Scheltema MJ, Chang JI, van den Bos W, et al. Preliminary diagnostic accuracy of multiparametric magnetic resonance imaging to detect residual prostate cancer following focal therapy with irreversible electroporation. *Eur Urol Focus.* 2019; 5(4): 585–91. <http://doi.org/10.1016/j.euf.2017.10.007>.
65. van den Bos W, de Bruin DM, van Randen A, et al. MRI and contrast-enhanced ultrasound imaging for evaluation of focal irreversible electroporation treatment: results from a phase I-II study in patients undergoing IRE followed by radical prostatectomy. *Eur Radiol.* 2016; 26(7): 2252–60. <http://doi.org/10.1007/s00330-015-4042-3>.
66. Wang H, Xue W, Yan W, et al. Extended focal ablation of localized prostate cancer with high-frequency irreversible electroporation: a nonrandomized controlled trial. *JAMA Surg.* 2022; 157(8): 693–700. <http://doi.org/10.1001/jamasurg.2022.2230>.
67. Aydin AM, Gage K, Dhillon J, et al. Focal bipolar radiofrequency ablation for localized prostate cancer: safety and feasibility. *Int J Urol.* 2020; 27(10): 882–9. <http://doi.org/10.1111/iju.14321>.
68. Feng C, Hu B, Hu B, et al. Comparative study of conventional US, contrast enhanced US and enhanced MR for the follow-up of prostatic radiofrequency ablation. *Exp Ther Med.* 2017; 13(6): 3535–42. <http://doi.org/10.3892/etm.2017.4399>.
69. Zaorsky NG, Davis BJ, Nguyen PL, et al. The evolution of brachytherapy for prostate cancer. *Nat Rev Urol.* 2017; 14(7): 415–39. <http://doi.org/10.1038/nrurol.2017.76>.
70. Matsuoka Y, Uehara S, Toda K, et al. Focal brachytherapy for localized prostate cancer: 5.7-year clinical outcomes and a pair-matched study with radical prostatectomy. *Urol Oncol.* 2022; 40(4): 161.e15–23. <http://doi.org/10.1016/j.urolonc.2021.11.009>.
71. Valle LF, Greer MD, Shih JH, et al. Multiparametric MRI for the detection of local recurrence of prostate cancer in the setting of biochemical recurrence after low dose rate brachytherapy. *Diagn Interv Radiol.* 2018; 24(1): 46–53. <http://doi.org/10.5152/dir.2018.17285>.
72. Tamada T, Sone T, Jo Y, et al. Locally recurrent prostate cancer after high-dose-rate brachytherapy: the value of diffusion-weighted imaging, dynamic contrast-enhanced MRI, and T2-weighted imaging in localizing tumors. *AJR Am J Roentgenol.* 2011; 197(2): 408–14. <http://doi.org/10.2214/AJR.10.5772>.
73. Panebianco V, Villeirs G, Weinreb JC, et al. Prostate magnetic resonance imaging for local recurrence reporting (PI-RR): international consensus-based guidelines on multiparametric magnetic resonance imaging for prostate cancer recurrence after radiation therapy and radical prostatectomy. *Eur Urol Oncol.* 2021; 4(6): 868–76. <http://doi.org/10.1016/j.euo.2021.01.003>.
74. Gaur S, Turkbey B. Prostate MR imaging for posttreatment evaluation and recurrence. *Urol Clin North Am.* 2018; 45(3): 467–9. <http://doi.org/10.1016/j.ucl.2018.03.011>.