



## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Оригинальная статья  
УДК 616.36-008.64  
<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2026-4-42-57>

### Возможности применения метода магнитно-резонансной томографии с оценкой протонной плотности фракции жира для диагностики стеатоза у пациентов в отдаленные сроки после пересадки печени

Т. А. Аносова<sup>1</sup>, Е. А. Ионова<sup>2</sup>, В. В. Капустин<sup>3</sup>, Е. И. Маткевич<sup>4</sup>, Е. А. Дубова<sup>5</sup>

<sup>1-4</sup> Кафедра лучевой диагностики с курсом радиологии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия

<sup>5</sup> Кафедра патологической анатомии и клинической патологии с курсом судебно-медицинской экспертизы МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0000-9014-2165>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6084-2061>

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1135-7430>

<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5917-7706>

<sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7115-538X>

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Александровна Аносова,  
[doc.anosovaTA@yandex.ru](mailto:doc.anosovaTA@yandex.ru)

#### Аннотация

**Цель.** Оценка эффективности выявления стеатоза у пациентов после пересадки печени с помощью магнитно-резонансной томографии с оценкой протонной плотности фракции жира (PDFF).

**Материалы и методы.** Обследовано 113 реципиентов после трансплантации печени в возрасте от 19 до 72 лет (61 женщина и 52 мужчины). Для количественной оценки стеатоза всем пациентам проводилась магнитно-резонансная томография (МРТ) с вычислением фракции жира в печени по протонной плотности (PDFF). Полученные данные по МРТ-PDFF были сопоставлены с результатами биопсии. Расчет процента жировой инфильтрации печени по данным биопсии правой доли печени был использован в качестве референсного метода.

**Результаты.** По данным биопсии стеатоз отсутствовал у 81 пациента (72 %), а у 32 (28 %) был выявлен стеатоз различной степени тяжести. Сравнение показало наличие значимых различий показателя PDFF ( $p \leq 0,001$ ) у пациентов с наличием и отсутствием стеатоза. Оптимальное пороговое значение, позволяющее различать норму и наличие стеатоза, составило 5,2 % (чувствительность 65 %, специфичность 93 %). Коэффициент корреляции методов PDFF с данными биопсии составил 0,66 ( $p \leq 0,01$ ).

**Выводы.** Таким образом, магнитно-резонансная томография с оценкой протонной плотности фракции жира (PDFF) является высокоинформативным методом диагностики жировой болезни пе-

© Аносова Т. А., Ионова Е. А., Капустин В. В., Маткевич Е. И., Дубова Е. А., 2026

чени, в том числе у пациентов после трансплантации печени. Определение пороговых значений степеней жирового гепатоза требует проведения дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** трансплантация печени, стеатоз, неинвазивная диагностика, магнитно-резонансная томография, PDFF, количественная оценка, НАЖБП

**Для цитирования:** Аносова Т. А., Ионова Е. А., Капустин В. В., Маткевич Е. И., Дубова Е. А. Возможности применения метода магнитно-резонансной томографии с оценкой протонной плотности фракции жира для диагностики стеатоза у пациентов после пересадки печени // Радиология — практика. 2026;4:42-57. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2026-4-42-57>

### Источники финансирования

Исследование не финансировалось какими-либо источниками.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Капустин Владимир Викторович, доктор медицинских наук, профессор кафедры лучевой диагностики с курсом радиологии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, является членом редакционного совета журнала «Радиология — практика». Авторам неизвестно о каких-либо других потенциальных конфликтах интересов, связанных с этой рукописью.

### Соответствие принципам этики

Работа соответствует этическим нормам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2008 года и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными приказом Минздрава РФ от 19.06.2003.

## ORIGINAL RESEARCH

Original article

## Possibilities of Using Magnetic Resonance Imaging with Proton Density Lipid Fraction Assessment for Diagnosing Steatosis Post-Liver Transplantation

Tatyana A. Anosova<sup>1</sup>, Elena A. Ionova<sup>2</sup>, Vladimir V. Kapustin<sup>3</sup>,  
Elena I. Matkevich<sup>4</sup>, Elena A. Dubova<sup>5</sup>

<sup>1-4</sup> Department of radiology Medical and biological university of innovation and continuing education of the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

<sup>5</sup> Department of Pathology with Forensic Medicine Course Medical and biological university of innovation and continuing education of the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0000-9014-2165>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6084-2061>

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1135-7430>

<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5917-7706>

<sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7115-538X>

Corresponding author: Tatyana A. Anosova, doc.anosovaTA@yandex.ru

## Abstract

**Objective.** To evaluate the effectiveness of steatosis detection in liver transplant patients using magnetic resonance imaging with proton density quantification of liver fat fraction (PDFF).

**Materials and methods.** A total of 113 liver transplant recipients (61 women and 52 men) aged 19 to 72 years were examined. All patients underwent magnetic resonance imaging (MRI) with proton density quantification of liver fat fraction. The obtained MRI (PDFF) data were compared with biopsy results. Calculation of the percentage of fatty infiltration of the liver based on right lobe liver biopsy data was used as a reference method.

**Results.** According to biopsy data, steatosis was absent in 81 patients (72 %), while steatosis of varying severity was detected in 32 patients (28 %). The comparison revealed significant differences in the PDFF ( $p \leq 0.001$ ) between patients with and without steatosis. The optimal cutoff value for distinguishing between normal and the presence of steatosis was 5.2 % (sensitivity 93 %, specificity 65 %). The correlation coefficient between PDFF methods and biopsy data was 0.66 ( $p \leq 0.01$ ).

**Conclusions.** Thus, magnetic resonance imaging with proton density lipid fraction (PDFF) assessment is a highly informative method for diagnosing fatty liver disease, including in patients after liver transplantation. Determining cutoff values for the severity of fatty liver disease requires further research.

**Keywords:** liver transplantation, steatosis, noninvasive diagnostics, magnetic resonance imaging, PDFF, quantitative assessment, NAFLD

**For citation:** Anosova T. A., Ionova E. A., Kapustin V. V., Matkevich E. I., Dubova E. A. Possibilities of Using Magnetic Resonance Imaging with Proton Density Lipid Fraction Assessment for Diagnosing Steatosis in Patients After Liver Transplantation. *Radiology — Practice*. 2026;4:42-57. (In Russ.). <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2026-4-42-57>

## Funding

The study was not funded by any sources.

## Conflicts of Interest

The authors state that this work, its topic, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the authors of the manuscript. The authors confirm the compliance of their authorship with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Kapustin Vladimir Viktorovich, MD, Professor, Medical and biological university of innovation and continuing education of the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency is a member of the Editorial Board of «Radiology — Practice». The authors are not aware of any other potential conflict of interest relating to this manuscript.

## Compliance with Ethical Standards

The work complies with the ethical standards of the Helsinki Declaration of the World Medical Association «Ethical Principles of conducting scientific medical research with human participation» as amended in 2008 and the «Rules of Clinical Practice in the Russian Federation» approved by the Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated 06/19/2003.

## Введение

Изучение жировой болезни печени является актуальным вопросом современной гепатологии ввиду высокой распространенности заболевания во всем мире, как среди пациентов с метаболическим синдромом [1, 14, 18], так и среди доноров и реципиентов трансплантированной печени в отдаленном послеоперационном периоде [12, 16, 21, 25]. Согласно литературным данным, жировая болезнь печени, ассоциированная с метаболическим синдромом, является одним из факторов развития дисфункции трансплантата в отдаленные сроки после пересадки печени [5, 22].

Биопсия печени до настоящего времени остается золотым стандартом диагностики жировой болезни печени, однако имеет свои ограничения. К их числу относятся низкая доступность, инвазивность метода, невозможность интегральной оценки жировой инфильтрации печени (особенно при неравномерно выраженном гепатозе), операторозависимость при взятии и анализе образцов, риск развития осложнений, а также непрактичность метода для рутинной оценки стеатоза в динамике [11, 28].

В настоящее время для диагностики жировой болезни печени доступны несколько неинвазивных методов визуализации, включая стандартное ультразвуковое исследование (УЗИ) в В-режиме, компьютерную и магнитно-резонансную томографию [3, 7].

Метод МРТ с оценкой фракции жира по протонной плотности (PDFF) в настоящее время принят в качестве неинвазивного эталонного стандарта для диагностики стеатоза [1, 6]. Многие зарубежные публикации демонстрируют не только приемлемость данной методики для дифференциации наличия и отсутствия стеатоза и высокую информативность метода в диагностике различных степеней стеатоза, но и показывают высокую корреляцию показателей PDFF с процентным содержанием жира при гистологическом исследовании биоптатов печени [6, 8, 27, 29]. Так, в опубликованных метаанализах

было показано, что значения AUROC для MPT-PDFF при различных степенях стеатоза, подтвержденных гистологически, составили от 0,8 до 0,99 с чувствительностью метода от 77 до 95 % и специфичностью от 83 до 98 % [6, 27, 29]. А в ходе метаанализа, проведенного в 2024 г., было также предложено пороговое значение в 5,7 % для выявления стеатоза по данным MPT-PDFF ( $p = 0,075$ ) [6], что практически совпадает с принятой гистологической классификацией стеатоза [15].

В зарубежных публикациях также имеется ряд работ, демонстрирующих высокую воспроизводимость результатов измерения протонной плотности разными исследователями с совпадением значений для каждого сегмента/доли печени и органа в целом [10, 13]. Было доказано, что метод MPT-PDFF также пригоден для динамического наблюдения и оценки количественных изменений содержания жира в печени с течением времени, так как значения протонной плотности высоко коррелируют с клиническим и лабораторным ответом [23].

Кроме того, к преимуществам MPT-PDFF относится отсутствие значимого влияния на диагностическую точность метода технических факторов, коморбидных состояний и конституциональных особенностей пациента, наличие воспаления/избыточного содержания железа в паренхиме печени [9].

Литературные данные, касающиеся пациентов с планируемой и/или выполненной ТП, в основном посвящены диагностике стеатоза у потенциальных доноров, где МРТ также показала себя как высокоинформативный метод диагностики жировой болезни печени [4, 20].

Публикаций, посвященных изучению возможностей метода МРТ с оценкой жировой фракции по протонной плотности (PDFF) в диагностике жировой болезни у реципиентов в отдаленном посттрансплантационном периоде, в доступной отечественной и зарубежной литературе нам не встречалось.

**Цель исследования:** оценка эффективности выявления жирового гепатоза у пациентов после пересадки печени с помощью МРТ с измерением фракции жира по протонной плотности (PDFF).

## Материалы и методы исследования

Общее число пациентов составило 113 человек — реципиенты после операции по поводу трансплантации печени в возрасте от 19 до 72 лет (61 женщина, 52 мужчины), обследованные в сроки более 1 года после ТП в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. Бурназяна ФМБА России в период с 2023 по 2026 г.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) выполнена на аппарате GE Signa Architect, мощность магнитного поля 3 Тл с использованием 30-канальной катушки body. Исследование проводилось с технологией IDEAL IQ — МР-последовательность для определения фракции жира в печени по методике трехточечного Диксона в фазе и противофазе в 3D аксиальной проекции со следующими параметрами: TR / TE, 6,6 / 6,0; NEX 0,5; толщина среза 10 мм; FOV 44,0; matrix, 160 × 160; bandwidth 111 Hz; flip angle 3; время выполнения 18 сек; на одной задержке дыхания. По итогам сканирования получали карту фракции жира.

При МР-оценке степени стеатоза по картам «жировой фракции» в паренхиме печени размещали по три ROI площадью 1,8–2,0 см<sup>2</sup> на трех уровнях относительно воротной вены (выше, на ее уровне и ниже). Все ROI были размещены в паренхиме печени без включения крупных сосудов, связок и желчных протоков [19]. Далее рассчитывалось их среднее значение, которое и принималось за «жировую фракцию» («Fat Fraction», PDFF), выраженную в процентах.

Материал для морфологического исследования получали при проведении трепанбиопсии печени под УЗИ-контролем. Обработку биопсийного материала осуществляли по общепринятой методи-

ке. Полученные биоптаты фиксировали в 10 % нейтральном забуференном формалине. Гистологическая проводка осуществлялась в автоматическом аппарате Leica XL(ST5010) стандартным методом с использованием изопропилового спирта, с последующей заливкой в парафин. Гистологические срезы толщиной 4–5 мкм окрашивались гематоксилином и эозином. Для визуализации соединительной ткани использовали трихромную окраску по Массону. Микроскопическое исследование проводили с использованием микроскопа для лабораторных исследований Axio Lab.A1.

Гистологическую оценку выраженности жирового гепатоза проводили количественным методом путем подсчета процентного содержания гепатоцитов с интрацитоплазматическими вакуолями липидов [15]. Степень выраженности жирового гепатоза выражали в баллах от 0 до 3, где 0 баллов соответствовало стеатозу менее 5 % гепатоцитов, что является нормой, 1 балл — стеатозу 5–33 % гепатоцитов, что соответствовало легкой степени поражения, 2 балла — стеатозу 34–66 % гепатоцитов (умеренная степень поражения), 3 балла — стеатозу более 66 % гепатоцитов, что расценивали как тяжелую степень поражения.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием программного пакета SPSS v. 16.0 с использованием методов непараметрической статистики. Статистически значимыми считали различия при значении  $p < 0,05$ .

Значения исследуемых показателей представлены в виде минимума, максимума, медианы, 25–75-го перцентилей. Для межгрупповых сравнений использовали критерий Манна — Уитни. Корреляционный анализ осуществляли с помощью коэффициента ранговой корреляции Пирсона ( $r$ ). Для оценки диагностической эффективности методики PDFF был проведен ROC-анализ с определением значений диагностической чувствительности и специфичности теста, а также площади под ROC-кривой (area under curve, AUC).

Для выбора оптимального порогового значения коэффициента использована максимальная сумма значений чувствительности и специфичности.

## Результаты исследования

В исследуемой группе ( $n = 113$ ) для статистического анализа количественных показателей нами были выбраны возраст реципиентов, индекс массы тела (ИМТ), результаты измерения PDFF по данным МРТ и процент жировой инфильтрации гепатоцитов по результатам биопсии. Медиана возраста обследуемых составила 54 года с минимальным значением 19 лет и максимальным — 72 года. Минимальный

показатель ИМТ составил 13,9, максимальный — 38,1, медиана ИМТ — 24,6 кг/м<sup>2</sup>.

Медиана фракции жира по МРТ (PDFF) оказалась равной 3,3 %, минимальное значение показателя составило 0,3 %, максимальное — 24 %. По результатам биопсии минимальное значение процента жировой инфильтрации составило 0, максимальное — 85 с медианой показателя 0.

На рис. 1 представлены результаты МРТ с использованием последовательности для определения фракции жира в печени по методике трехточечного Диксона в фазе и противофазе у пациента с отсутствием стеатоза (а) и наличием стеатоза умеренной степени (б).

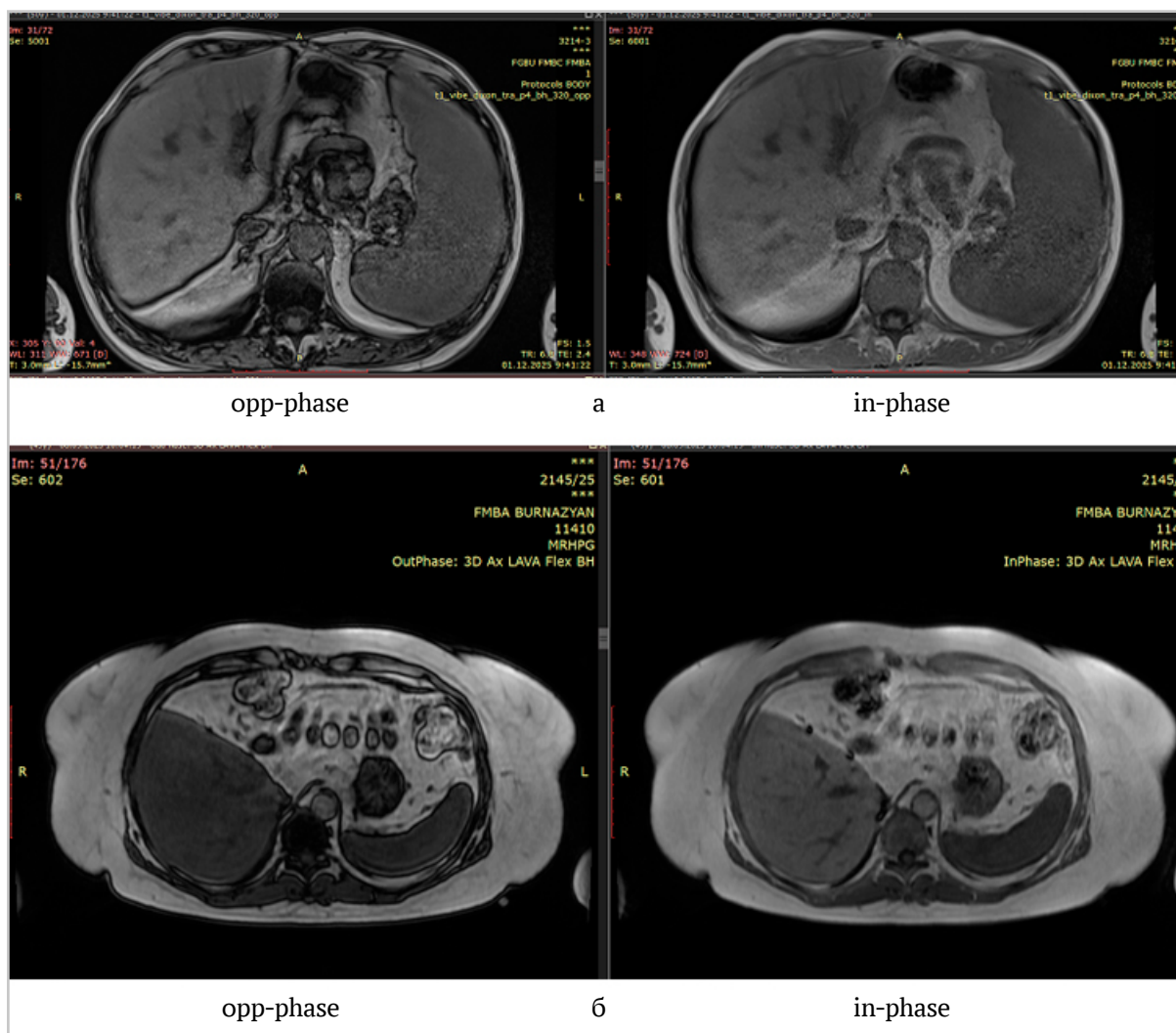


Рис. 1. МРТ печени с технологией IDEAL IQ — МР-последовательность для определения фракции жира в печени по методике трехточечного Диксона в фазе (in-phase) и противофазе (opp-hase) у пациента с отсутствием стеатоза (а) и у пациента с наличием выраженного стеатоза (б)

У пациента с наличием стеатоза (1, б) визуально определяется разница в интенсивности T1-сигнала на изображениях in-phase и opp-phase за счет снижения интенсивности T1-сигнала на opp-phase, у пациента с отсутствием стеатоза (1, а) различий в интенсивности T1-сигнала на изображениях in-phase и opp-phase нет.

На рис. 2 представлены результаты расчета фракции жира (PDFF) в рамках МРТ.

С использованием ранее перечисленных параметров нами проведена оценка связи между исследуемыми признаками (табл. 1).

Как видно из табл. 1, коэффициент корреляции Пирсона ( $r$ ) между значения-

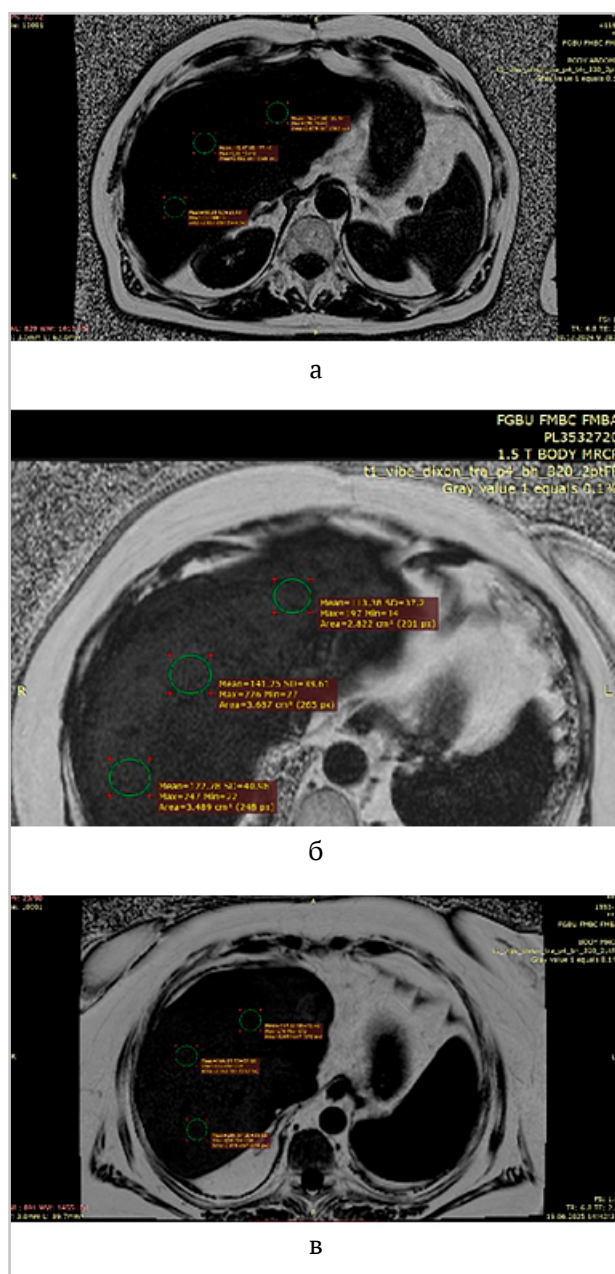


Рис. 2. МРТ печени с технологией IDEAL IQ — МР-последовательность для определения фракции жира в печени по методике трехточечного Диксона с расчетом показателя PDFF. Показатели PDFF (МРТ) у пациентов с отсутствием (а) и наличием (б, в) стеатоза: а — среднее значение PDFF составило 4,9 %, что соответствует отсутствию жирового гепатоза; б — среднее значение PDFF составило 12,6 %, что соответствует наличию у пациента стеатоза легкой степени; в — среднее значение PDFF составило 24 %, что соответствует наличию у пациента жирового гепатоза высокой степени

## Корреляция исследуемых признаков в основной группе (n = 113)

| Показатель | r, p | PDFF | Биопсия | Возраст | ИМТ  |
|------------|------|------|---------|---------|------|
| PDFF       | r    | 1    | 0,66    | 0,11    | 0,36 |
|            | p    | –    | 0       | 0,24    | 0,00 |
| Биопсия    | r    | 0,66 | 1       | 0,1     | 0,23 |
|            | p    | 0    | –       | 0,30    | 0,03 |
| Возраст    | r    | 0,11 | 0,1     | 1       | 0,25 |
|            | p    | 0,24 | 0,300   | –       | 0,00 |
| ИМТ        | r    | 0,36 | 0,23    | 0,25    | 1    |
|            | p    | 0,00 | 0,03    | 0,00    | –    |

*Примечание:* расчет коэффициента корреляции Пирсона ( $r$ );  $p$  — уровень достоверности результатов.

ми PDFF по данным МРТ и стадиями стеатоза по данным биопсии составил 0,66 ( $p < 0,001$ ), что указывает на статистически значимую прямую корреляцию умеренной степени между исследуемыми показателями. Нами также была обнаружена прямая, но слабая достоверная корреляция между показателями PDFF и индексом массы тела реципиента и очень слабая связь между результатами биопсии и ИМТ обследуемых. Достоверной корреляции между результатами биопсии и возрастом реципиентов нами выявлено не было ( $p \geq 0,05$ ).

Среди 113 обследуемых по данным биопсии гепатостеатоз отсутствовал у 81 пациента (72 %), а у 32 (28 %) был выявлен стеатоз различной степени тяжести. Сравнение двух независимых групп путем расчета критерия Манна — Уитни показало, что значения PDFF (МРТ) статистически значимо различаются в двух подгруппах ( $p < 0,001$ ) (рис. 3).

Результаты биопсии согласно используемой системе оценки стеатоза NAFLD [15] распределились следующим образом: у 81 пациента (72 %) степень стеатоза соответствовала S0, у 24 реципиентов (21 %) — S1, у 6 пациентов (5 %) — S2 и лишь у

одного реципиента была выявлена высокая степень стеатоза (S3). Среди самой многочисленной подгруппы реципиентов с наличием легкой степени стеатоза (S1) у 19 (79 %) преобладал крупнокапельный вариант стеатоза, а у 5 пациентов (21 %) отмечалось или равное соотношение, или преобладание мелкокапельного варианта стеатоза. У пациентов с диагностированной умеренной и высокой степенью жировой инфильтрации печени (S2, S3) в 100 % случаев стеатоз был представлен крупнокапельным вариантом.

На рис. 4 представлены биоптаты с различной степенью и вариантом жировой инфильтрации.

Для определения показателей диагностической эффективности расчета значений PDFF для выявления стеатоза нами был применен ROC-анализ (рис. 5).

Площадь под кривой (AUC) составила 0,8. Оптимальное пороговое значение PDFF составило 5,2 % с чувствительностью 65 %, специфичностью 93 %. Для получения высокой чувствительности (84 %) мы предлагаем пороговое значение PDFF, равное 2,8 %, для получения высокой специфичности теста (99 %) — пороговый уровень 5,9 %.

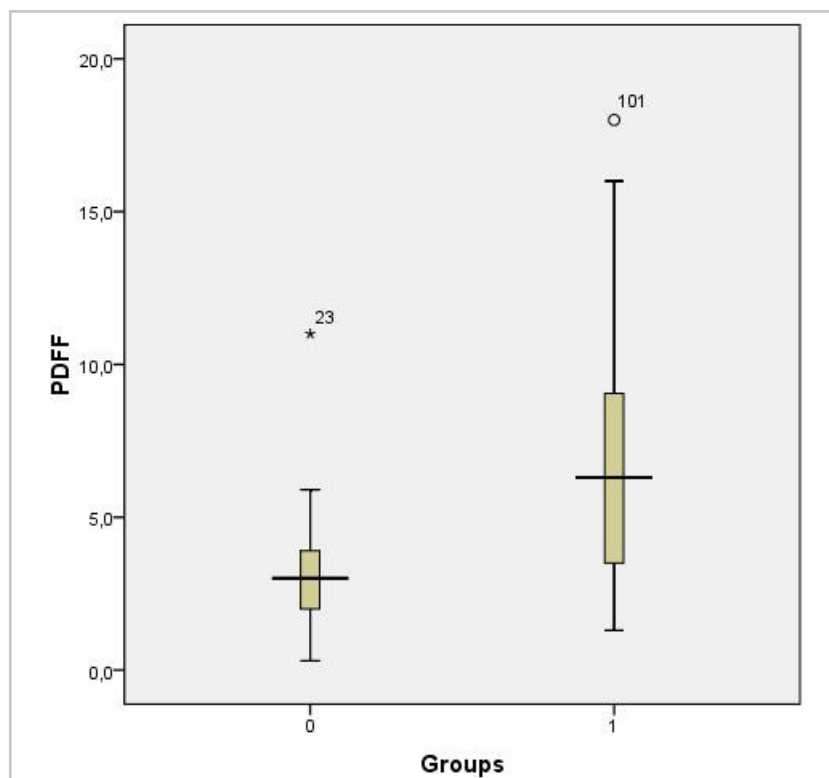


Рис. 3. Статистический метод (расчет критерия Манна — Уитни). Сравнение значений показателя PDFF (%) у пациентов с отсутствием (0), наличием (1) гепатостеатоза

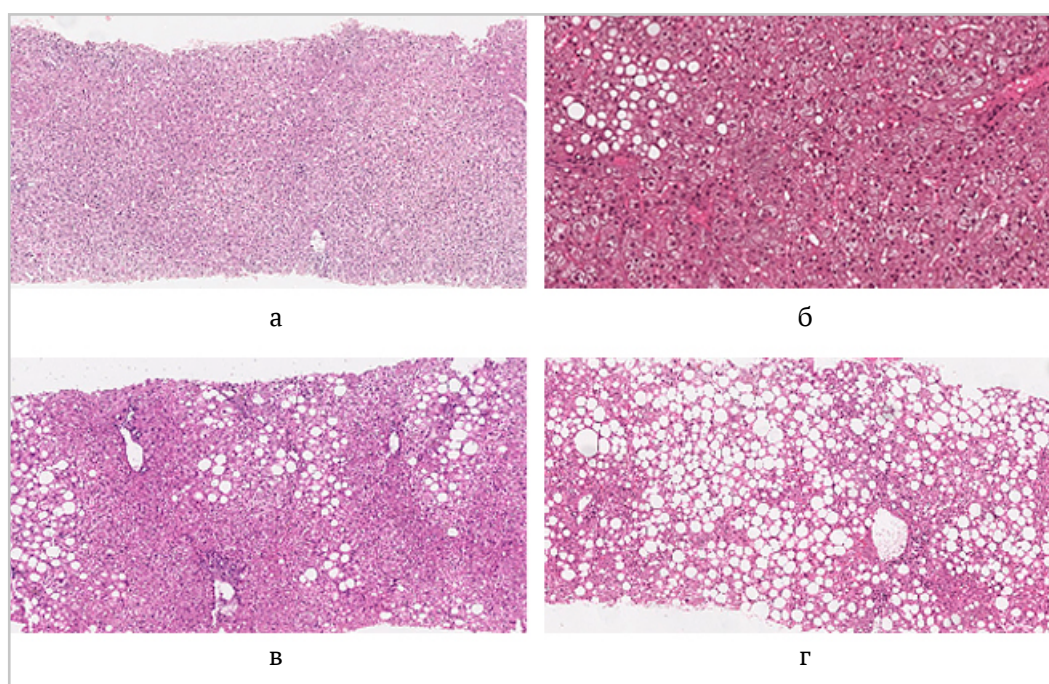


Рис. 4. Биоптат правой доли печени: *а* — ткань печени нормального гистологического строения, без признаков жирового гепатоза (0 баллов). Окраска гематоксилином и эозином, ув. 100; *б* — очаговая купно- и мелкокапельная жировая дистрофия гепатоцитов, охватывающая до 10 % площади дольки (S1). Окраска гематоксилином и эозином, ув. 150; *в* — крупнокапельная жировая дистрофия гепатоцитов централобулярных и промежуточных зон печеночной дольки, охватывающая до 60 % площади дольки (S2). Окраска гематоксилином и эозином, ув. 100; *г* — крупно- и мелкокапельная панацинарная жировая дистрофия гепатоцитов, охватывающая до 85 % площади дольки (S3). Окраска гематоксилином и эозином, ув. 100

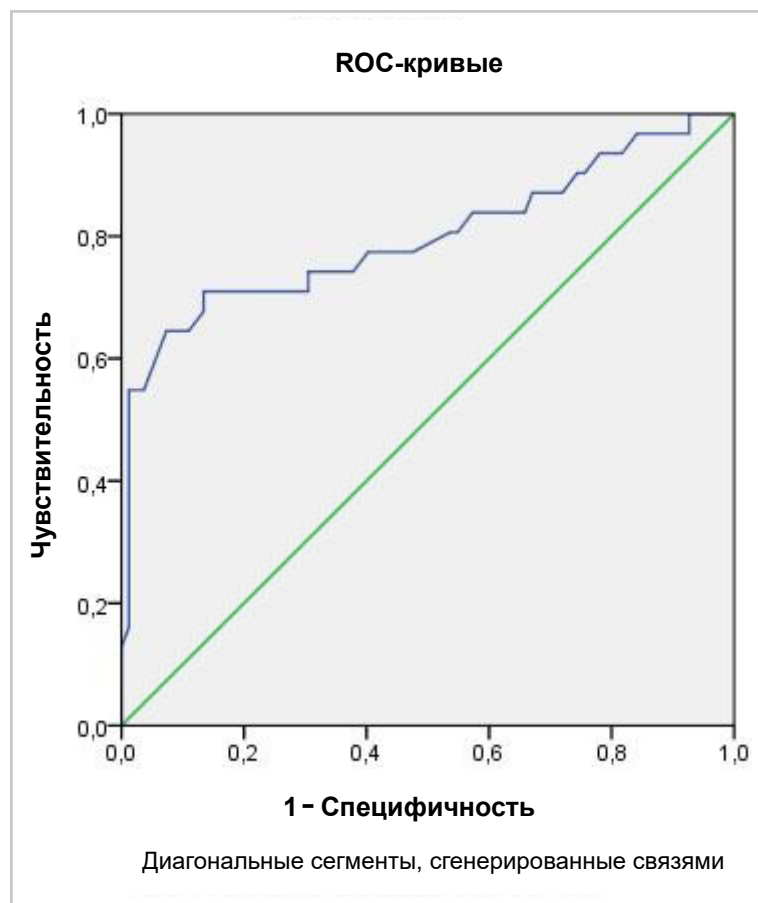


Рис. 5. ROC-кривая с определением значений чувствительности и специфичности PDFF (%) в диагностике гепатостеатоза

## Обсуждение

В современной отечественной и зарубежной литературе изучается роль различных лучевых методов для количественной оценки степени жировой инфильтрации печени. В настоящее время определение протонной плотности жировой фракции посредством МРТ принято в качестве неинвазивного эталонного стандарта для диагностики стеатоза [1, 6].

При использовании импульсных последовательностей на основе двухточечного метода Диксона существуют способы оценки жировой фракции, основанные на измерении интенсивности МР-сигнала на изображениях в фазе (in-phase) и противофазе (opp-phase), а также изображениях с подавлением сигнала от воды и жира. На их основе разработаны формулы для ручного расчета фракции жира в паренхиме печени, а также программные решения с

автоматическим расчетом фракции жира [6]. По данным отечественных авторов, показатель жировой фракции, рассчитанный с помощью формул с использованием стандартных последовательностей Диксона, продемонстрировал линейную зависимость с автоматически вычисленным показателем PDFF [2].

В настоящем исследовании мы впервые изучили возможности метода МРТ с оценкой фракции жира по протонной плотности (PDFF) с целью диагностики жировой болезни печени у реципиентов в отдаленном посттрансплантационном периоде, основываясь на результатах биопсии печени в качестве референсного метода.

Таблица 2 отражает сравнительные результаты исследования диагностической эффективности МРТ PDFF у пациентов с отсутствием и наличием стеатоза по дан-

Таблица 2

**Сравнительные результаты оценки стеатоза с использованием показателя  
PDFF и биопсии печени в качестве референсного метода  
по данным зарубежной литературы и в настоящем исследовании**

| № | Авторы                      | Год                | Методы исследования | Число пациентов | Коэффициент корреляции методов, $r$                                                                       | Пороговые значения MPT PDFF, %                                                                                                      | AUROC                                      | Se, %                            | Sp, %                            |
|---|-----------------------------|--------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Tang A. и соавт.            | 2015               | MRI-PDFF и биопсия  | n = 89          | $r = 0,87-0,91^*$ ,<br>$p < 0,001$                                                                        | 6,9 % (S0 vs S1),<br>16,4 % (S0-1 vs S2-3),<br>23,5 % (S0-2 vs S3),                                                                 | 0,961<br>0,947<br>0,921                    | 84<br>73<br>64                   | 83<br>91<br>93                   |
| 2 | Middleton M. и соавт.       | 2018               | MRI-PDFF и биопсия  | n = 169 (дети)  | $p < 0,001$                                                                                               | 17,5 % (S1 vs S2-S3),<br>23,3 % (S1-2 vs S3),                                                                                       | 0,87<br>0,79                               | 74<br>60                         | 90<br>90                         |
| 3 | Wibulpolprasert P. и соавт. | 2024               | MRI-PDFF и биопсия  | n = 50          | $r = 0,82$ ,<br>$p < 0,001$                                                                               | 16,8 % (S0-1 vs S2-S3),                                                                                                             | 0,88                                       | 90,9                             | 85,7                             |
| 4 | Shuzhen Wu и соавт.         | 2025 (мета-анализ) | MRI-PDFF и биопсия  | n = 5056        | $r = 0,69$ и $0,701^{**}$ ,<br>$p < 0,001$<br>(Kim, 2022)<br>$r = 0,53$ ,<br>$p < 0,001$<br>(Bayer, 2021) | $\geq S$<br>$\geq S2$<br>$\geq S3$<br>S0 vs S1-S3<br>S0-1 vs S2-3<br>S0-2 vs S3                                                     | 0,99<br>0,89<br>0,9<br>0,95<br>0,89<br>0,9 | 95<br>81<br>87<br>95<br>81<br>87 | 98<br>87<br>83<br>98<br>87<br>83 |
| 5 | Azizi N. и соавт.           | 2025 (мета-анализ) | MRI-PDFF и биопсия  | n = 2844        |                                                                                                           | S0 vs S $\geq 1$<br>S $\leq 1$ vs S $\geq 2$<br>S $\leq 2$ vs S3<br>5,7% (S0 vs S $\geq 1$ ),<br>$p < 0,075$                        | 0,97<br>0,91<br>0,93                       |                                  |                                  |
| 6 | Zhang Y. X. и соавт.        | 2025 (мета-анализ) | MRI-PDFF и биопсия  | n = 939         | $r = 0,858$ ,<br>$p < 0,001$<br>(Hu F., 2019)                                                             | (S0 vs S1-S3),<br>(S0-1 vs S2-3),<br>(S0-1 vs S2-3),<br>5,04 % S $\geq 1$<br>13,34 % S $\geq 3$                                     | 0,93<br>0,92<br>0,9<br>0,989<br>0,986      | 92<br>77<br>78<br>95<br>94       | 94<br>87<br>93<br>95<br>99       |
| 7 | Настоящее исследование      | 2026               | MRI-PDFF и биопсия  | N = 113         | $r = 0,7$ ,<br>$p < 0,001$                                                                                | 5,2 % (S0 vs S $\geq 1$ ),<br>$p < 0,001$<br>2,8 % (S0 vs S $\geq 1$ ),<br>$p < 0,001$<br>5,9 % (S0 vs S $\geq 1$ ),<br>$p < 0,001$ | 0,8                                        | 65<br>84                         | 93<br>99                         |

*Примечание:* MPT-PDFF — оценка протонной плотности фракции жира в рамках MPT; AUROC — площадь под кривой (ROC-анализ); Se — чувствительность, Sp — специфичность; S0 — отсутствие стеатоза, S1, S2, S3 — степени стеатоза; \* — различия обусловлены учетом временного промежутка между MPT и взятием биопсии; \*\* — различия  $r$  обусловлены подсчетом вручную и с помощью искусственного интеллекта соответственно.

ным зарубежной литературы [6, 17, 24, 26, 27, 29] и в настоящем исследовании.

Во всех представленных работах, включая настоящую, оценка жировой фракции печени по МРТ проводилась на основании расчета % PDFF, а биопсия правой доли печени была выбрана в качестве референсного метода. Как видно из таблицы, количество пациентов в зарубежных публикациях варьировало от 50 до 5056 человек в рамках крупных метаанализов, при этом наша выборка ( $n = 113$ ) по количеству обследуемых не уступала одноцентровым исследованиям.

Как и в других работах, нами была отмечена прямая статистически значимая корреляция между исследуемыми методами ( $r = 0,66$   $p < 0,001$ ), однако практически во всех представленных исследованиях коэффициент корреляции ( $r$ ) был выше полученного нами значения, отражал сильную связь между группами и варьировал от 0,53 до 0,91 ( $p < 0,001$ ).

Вычисленное нами оптимальное пороговое значение PDFF, позволяющее дифференцировать пациентов с отсутствием и наличием стеатоза у реципиента, составило 5,2 % с чувствительностью 65 % и специфичностью 93 %. Наши результаты практически идентичны данным Tang A. (2015), Azizi N. (2025) и Zhang Y.X. (2025), где пороговое значение PDFF составило 6,9, 5,7, 5,04 % соответственно. При этом показатель специфичности в этих работах был также сопоставим с нашими данными и варьировал от 83 до 95 %. Более высокий показатель специфичности, например, в работе Tang A. (2015) (83 %), вероятнее всего, связан с тем, что из 89 обследуемых отсутствие стеатоза (S0) было отмечено всего у 6 пациентов. Стоит отметить, что, несмотря на обилие представленных работ, только в трех был рассчитан диагностический порог для PDFF. В большинстве представленных исследований также оценивались пороги для дифференциации различных степеней стеатоза, где метод PDFF также оказался высокоинформативным без существенных различий в диагно-

стической точности в зависимости от гистологической степени стеатоза.

У нашего исследования были ограничения: относительно небольшое количество наблюдений, а также отсутствие учета степеней жирового гепатоза, что требует продолжения исследования и представляется нам перспективным направлением дальнейших научных исследований.

## Выводы

С учетом результатов проведенного нами исследования, оценка фракции жира по протонной плотности (PDFF) в рамках МРТ является информативной методикой для диагностики жировой болезни печени. Согласованность результатов настоящего исследования с зарубежными публикациями, посвященными изучению эффективности PDFF в диагностике стеатоза, дает основание применять полученные результаты и для реципиентов после трансплантации печени.

С нашей точки зрения, особенно актуальным является возможность внедрения МРТ-PDFF не только для первичной диагностики стеатоза, но и для динамического наблюдения пациентов после пересадки печени в различные сроки после операции.

## Список источников / References

1. Ивашкин В. Т., Драпкина О. М., Маевская М. В., Райхельсон К. Л., Оковитый С. В., Жаркова М. С., Гречишников В. Р., Абдулганиева Д. И., Алексеенко С. А., Ардатская М. Д., Бакулин И. Г., Бакулина Н. В., Богомолов П. О., Бредер В. В., Винницкая Е. В., Гейвандова Н. И., Голованова Е. В., Гриневич В. Б., Дощицин В. Л., Дудинская Е. Н., Ершова Е. В., Кодзоева Х. Б., Козлова И. В., Комшилова К. А., Конев Ю. В., Корочанская Н. В., Котовская Ю. В., Кравчук Ю. А., Лоранская И. Д., Маев И. В., Мартынов А. И., Мехтиев С. Н., Мишина Е. Е., Надинская М. Ю., Никитин И. Г., Осипенко М. Ф., Остроумова О. Д., Павлов Ч. С., Погосова Н. В., Радченко В. Г., Ройтберг Г. Е., Сайфутдинов

Р. Г., Самсонов А. А., Селиверстов П. В., Ситкин С. И., Тарасова Л. В., Тарзимова А. И., Ткачева О. Н., Ткаченко Е. И., Трошина Е. А., Туркина С. В., Успенский Ю. П., Фоминых Ю. А., Хлынова О. В., Цыганова Ю. В., Шамхалова М. Ш., Шархун О. О., Шестакова М. В. Клинические рекомендации Российского общества по изучению печени, Российской гастроэнтерологической ассоциации, Российского общества профилактики неинфекционных заболеваний, Российской ассоциации эндокринологов, Российского научного медицинского общества терапевтов, Национального общества профилактической кардиологии, Российской ассоциации геронтологов и гериатров по неалкогольной жировой болезни печени // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2025. Т. 35, № 1. С. 94–152.

Ivashkin V. T., Drapkina O. M., Maevskaya M. V., Raikhelson K. L., Okovityi S. V., Zharkova M. S., Grechishnikova V. R., Abdulganieva D. I., Alekseenko S. A., Ardatskaya M. D., Bakulin I. G., Bakulina N. V., Bogomolov P. O., Breder V. V., Vinnitskaya E. V., Geyvandova N. I., Golovanova E. V., Grinevich V. B., Doshchitsin V. L., Dudinskaya E. N., Ershova E. V., Kodzoeva Kh. B., Kozlova I. V., Komshilova K. A., Konev Yu. V., Korochanskaya N. V., Kotovskaya Yu. V., Kravchuk Yu. A., Loranskaya I. D., Maev I. V., Martynov A. I., Mekhtiev S. N., Mishina E. E., Nadinskaia M. Yu., Nikitin I. G., Osipenko M. F., Ostroumova O. D., Pavlov Ch. S., Pogosova N. V., Radchenko V. G., Roytberg G. E., Saifutdinov R. G., Samsonov A. A., Seliverstov P. V., Sitkin S. I., Tarasova L. V., Tarzimanova A. I., Tkacheva O. N., Tkachenko E. I., Troshina E. A., Turkina S. V., Uspenskiy Yu. P., Fominykh Yu. A., Khlynova O. V., Tsyganova Yu. V., Shamkhalova M. Sh., Sharkhun O. O., Sheshtakova M. V. Clinical Guidelines of the Russian Society for the Study of the Liver, Russian Gastroenterological Association, Russian Society for the Prevention of

Non-Communicable Diseases, Russian Association of Endocrinologists, Russian Scientific Medical Society of Therapists, National Society of Preventive Cardiology, Russian Association of Gerontologists and Geriatricians on Non-Alcoholic Fatty Liver Disease. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology*. 2025;35(1): 94–152. (In Russ.). [DOI](#)

2. Панина О. Ю., Ахмад Е. С., Васильев Ю. А., Петрайкин А. В. Подходы повышения точности количественной оценки стеатоза печени при магнитно-резонансной томографии у онкологических пациентов // Вестник рентгенорадиологии. 2025;2025(1):53–67. EDN: OHBZSX  
Panina O. Yu., Akhmad E. S., Vasilev Yu. A., Petraikin A. V. Enhancing the Accuracy of Quantitative Liver Steatosis Assessment Using Magnetic Resonance Imaging in Cancer Patients. *Vestnik of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology*. 2025; 2025(1):53–67. (In Russ.). EDN: OHBZSX
3. Abdelhameed F., Kite C., Lagojda L., Dallaway A., Chatha K. K., Chaggar S. S., Dalamaga M., Kassi E., Kyrou I., Randeva H. S. Non-invasive Scores and Serum Biomarkers for Fatty Liver in the Era of Metabolic Dysfunction-associated Steatotic Liver Disease (MASLD): A Comprehensive Review From NAFLD to MAFLD and MASLD. *Curr Obes Rep*. 2024;13(3):510–531. [DOI](#)
4. Ahn J., Choi H. J., Park S. E., Seo C. H., Hong T. H., You Y. K. Noninvasive Evaluations to Estimate Graft Steatosis in Living Donor Liver Transplant for Donor Safety and Successful Outcome. *Transplant Proc*. 2022;54(2):374–379. [DOI](#)
5. Alsaqa M., Sierra L., Marenco-Flores A., Parraga X., Barba R., Goyes D., Ozturk N. B., Curry M. P., Bonder A., Saberi B. Metabolic Dysfunction-Associated Steatotic Liver Disease Correlates With Higher Lower Graft Survival in Liver Transplant Recipients with Hepatocellular Carcinoma. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol*. 2025;37(4):497–504. [DOI](#)
6. Azizi N., Naghibi H., Shakiba M., Morsali M., Zarei D., Abbastabar H., Ghanaati H.

- Curr. *Obes. Evaluation of MRI Proton Density Fat Fraction in Hepatic Steatosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. Eur. Radiol.* 2025;35(4):1794-1807. [DOI](#)
7. Bae J. S., Lee D. H., Suh K. S., Kim H., Lee K. B., Lee J. Y., Han J. K. Noninvasive Assessment of Hepatic Steatosis Using A Pathologic Reference Standard: Comparison of CT, MRI, and USbased Techniques. *Ultrasonography.* 2022;41(2):344-354. [DOI](#)
  8. Bannas P., Kramer H., Hernando D., Agni R., Cunningham A. M., Mandal R., Moto-sugi U., Sharma S. D., Munoz del Rio A., Fernandez L., Reeder S. B. Quantitative Magnetic Resonance Imaging of Hepatic Steatosis: Validation in ex vivo Human Livers. *Hepatology.* 2015;62(5):1444-1455. [DOI](#)
  9. Bydder M., Shiehorteza M., Yokoo T., Sugay S., Middleton M. S., Girard O., Schroeder M. E., Wolfson T., Gamst A., Sirlin C. Assessment of Liver fat Quantification in the Presence of Iron. *Magn. Reson. Imaging.* 2010;28:767-776. [DOI](#)
  10. Caussy C., Johansson L. Magnetic Resonance-Based Biomarkers in Nonalcoholic Fatty Liver Disease and Nonalcoholic Steatohepatitis. *Endocrinol Diabetes Metab.* 2020;3(4):e00134. [DOI](#)
  11. Chowdhury A. B., Mehta K. J. Liver Biopsy for Assessment of Chronic Liver Diseases: a Synopsis. *Clin. Exp. Med.* 2023;23(2):273-285. [DOI](#)
  12. Dumortier J., Giostra E., Belbouab S., Morard I., Guillaud O., Spahr L., Boillot O., Rubbia-Brandt L., Scoazec J., Hadengue A. Non-alcoholic Fatty Liver Disease in Liver Transplant Recipients: Another Story of «seed and soil». *Am. J. Gastroenterol.* 2010;105(3):613-620. [DOI](#)
  13. Hu F., Yang R., Huang Z., Wang M., Yuan F., Xia C., Wei Y., Song B. 3D Multi-Echo Dixon Technique for Simultaneous Assessment of Liver Steatosis and Iron Overload in Patients with Chronic Liver Diseases: a Feasibility Study. *Quant Imaging Med. Surg.* 2019;9(6):1014-1024. [DOI](#)
  14. Jichitu A., Bungau S., Stanescu A. M. A., Vesca C. M., Toma M. M., Bustea C., Iurciuc S., Rus M., Bacalbasa N., Diaconu C. C. Non-Alcoholic Fatty Liver Disease and Cardiovascular Comorbidities: Pathophysiological Links, Diagnosis, and Therapeutic Management. *Diagnostics (Basel).* 2021;11(4):689. [DOI](#)
  15. Kleiner D. E., Brunt E. M., Van Natta M., Behling C., Contos M. J., Cummings O. W., Ferrell L. D., Liu Y. C., Torbenson M. S., Unalp-Arida A., Yeh M., McCullough A. J., Sanyal A. J. Design and Validation of a Histological Scoring System for Nonalcoholic Fatty Liver Disease. Nonalcoholic Steatohepatitis Clinical Research Network. *Hepatology.* 2005;41(6):1313-21. [DOI](#)
  16. Malik S. M., Devera M. E., Fontes P., Shaikh O., Sasatomi E., Ahmad J. Recurrent Disease Following Liver Transplantation for Nonalcoholic Steatohepatitis Cirrhosis. *Liver Transpl.* 2009;15(12):1843-1851. [DOI](#)
  17. Middleton M. S., Heba E. R., Hooker C. A., Bashir M. R., Fowler K. J., Sandrasegaran K., Brunt E. M., Kleiner D. E., Doo E., Van Natta M. L., Lavine J. E. Agreement Between Magnetic Resonance Imaging Proton Density Fat Fraction Measurements and Pathologist-Assigned Steatosis Grades of Liver Biopsies from Adults with Nonalcoholic Steatohepatitis. *Gastroenterology.* 2017;153(3):753-761. [DOI](#)
  18. Nath P. Effect of Exercise on NAFLD and Its Risk Factors: Comparison of Moderate versus Low Intensity Exercise P. Nath. *Journal of Clinical and Translational Hepatology.* 2020;28;8(2):120-126. [DOI](#)
  19. Qayyum A., Nystrom M., Noworolski S. M., Chu P., Mohanty A., Merriman R. MRI Steatosis Grading: Development and Initial Validation of a Color Mapping System. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2012;198(3):582-588. [DOI](#)
  20. Qi Q., Weinstock A. K., Chupetlovska K., Borhani A. A., Jorgensen D. R., Furlan A., Behari J., Molinari M., Ganesh S., Humar A., Duarte-Rojo A. Magnetic Resonance Imaging-Derived Proton Density Fat Fraction (MRI-PDFF) is a Viable Alternative to Liver Biopsy for Steatosis Quantification in Living Liver Donor Transplantation. *Clin. Transplant.* 2021;35(7):e14339. [DOI](#)

21. Rozani S., Dalamaga M., Weber G., Grtzmann R. Liver Transplantation in the Era of Obesity: A Metabolic Public Health Crisis Meets A Surgical Frontier. *Metabol Open.* 2025;27;28:100410. [DOI](#)
22. Savino A., Loglio A., Neri F., Camagni S., Pasulo L., Luca M. G., Trevisan R., Fagiuoli S., Vigant M. Metabolic-Dysfunction-Associated Steatotic Liver Disease (MASLD) after Liver Transplantation: A Narrative Review of an Emerging Issue. *J. Clin. Med.* 2024 ;13(13):3871. [DOI](#)
23. Stine J. G., Munaganuru N., Barnard A., Wang J. L., Kaulback K., Argo C. K., Singh S., Fowler K. J., Sirlin C. B., Loomba R. Change in MRI-PDFF and Histologic Response in Patients with Nonalcoholic Steatohepatitis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* 2021; 19(11):2274-2283.e5. [DOI](#)
24. Tang A., Desai A., Hamilton G., Wolfson T., Gamst A., Lam J., Clark L., Hooker J., Chavez T., Ang B. D., Middleton M. S., Peterson M., Loomba R., Sirlin C. B. Accuracy of MR Imaging-Estimated Proton Density Fat Fraction for Classification of Dichotomized Histologic Steatosis Grades In Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Radiology.* 2015;274(2):416-425. [DOI](#)
25. Tejedor-Tejada J., Valenzuela E. F., Muñoz R. N., Gómez L. H., García-Pajares F., Álvarez C. A., Sánchez-Martín F., Alonso-Martín C., Sánchez-Antolín G. De-novo Nonalcoholic Fatty Liver Disease at 5 Years After Liver Transplantation: Prevalence And Predictive Factors. *Eur. J. Gastroenterol Hepatol.* 2021;33(3):399-406. [DOI](#)
26. Wibulpolprasert P., Subpinyo B., Chirnakorn S., Shantavasinkul P. C., Putadechakum S., Phongkitkarun S., Sritara C., Angkathunyakul N., Sumritpradit P. Correlation Between Magnetic Resonance Imaging Proton Density Fat Fraction (MRI-PDFF) and Liver Biopsy to Assess Hepatic Steatosis in Obesity. *Sci. Rep.* 2024; 22;14(1):6895. [DOI](#)
27. Wu S., Pan J., Song M., Zhao Y., Chen W., Huang H., Zhu Y. Chen F. Performance of Magnetic Resonance Imaging and Ultrasound for Identifying the Different Degrees of Hepatic Steatosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Acad Radiol.* 2025;32(11):6528-6540. [DOI](#)
28. Xian Y. X., Weng J. P., Xu F. MAFLD vs. NAFLD: Shared Features and Potential Changes in Epidemiology, Pathophysiology, Diagnosis, and Pharmacotherapy. *Chin. Med. J.* 2020;134(1):8-19. [DOI](#)
29. Zhang Y. X., Feng Y. P., You C. L., Zhang L. Y. The Diagnostic Value of MRI-PDFF in Hepatic Steatosis of Patients with Metabolic Dysfunction-Associated Steatotic Liver Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *BMC Gastroenterology, Gastroenterol.* 2025;1;25(1):451. [DOI](#)

## Сведения об авторах / Information about the authors

**Аносова Татьяна Александровна**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры лучевой диагностики с курсом радиологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия.

Вклад автора в публикацию: сбор и обработка материала, написание статьи, подготовка статьи к публикации.

**Anosova Tatyana Aleksandrovna**, PhD, associate professor, Medical and biological university of innovation and continuing education of the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia.

Author's contribution to the publication: data collection and processing, article writing, article preparation for publication.

**Ионова Елена Александровна**, доктор медицинских наук, и. о. заведующей кафедрой лучевой диагностики с курсом радиологии Медико-биологического университета инноваций и не-

прерывного образования ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, заведующая отделением ультразвуковой диагностики ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия.

Вклад автора в публикацию: сбор материала.

**Elena Aleksandrovna Ionova**, MD, acting head of the department of radiology, Medical and biological university of innovation and continuing education of the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, head of the ultrasound diagnostics department, State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia.

Author's contribution to the publication: collection of materials.

**Капустин Владимир Викторович**, доктор медицинских наук, профессор кафедры лучевой диагностики с курсом радиологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, заведующий отделением ультразвуковой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия.

Вклад автора в публикацию: разработка концепции статьи, статистическая обработка материала, подготовка статьи к публикации.

**Kapustin Vladimir Viktorovich**, MD, professor, Medical and biological university of innovation and continuing education of the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia.

Author's contribution to the publication: article concept development, statistical analysis of the material, article preparation for publication.

**Маткевич Елена Ивановна**, кандидат медицинских наук, заведующая отделением магнитно-резонансной томографии ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, доцент кафедры лучевой диагностики с курсом радиологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия.

Вклад автора в публикацию: сбор материала.

**Matkevich Elena Ivanovna**, PhD, head of the Magnetic Resonance Imaging department, State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, associate professor, Medical and biological university of innovation and continuing education of the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia.

Author's contribution to the publication: material collection.

**Дубова Елена Алексеевна**, доктор медицинских наук, врач-патологоанатом патологоанатомического отделения ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, профессор кафедры патологической анатомии и клинической патологии с курсом судебно-медицинской экспертизы Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия.

Вклад автора в публикацию: сбор материала.

**Dubova Elena Alekseevna**, MD, pathologist, State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, professor, Medical and biological university of innovation and continuing education of the State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia.

Author's contribution to the publication: collection of material.

Статья поступила в редакцию 20.03.2026;  
одобрена после рецензирования 19.06.2026;  
принята к публикации 19.06.2026.

The article was submitted 20.03.2026;  
approved after reviewing 19.06.2026;  
accepted for publication 19.06.2026.