

УДК 616.36-004-073.756.8:616.411

<http://doi.org/10.22328/2079-5343-2026-17-2-51-60>

НАТИВНОЕ T1-КАРТИРОВАНИЕ И ФРАКЦИЯ ВНЕКЛЕТОЧНОГО ОБЪЕМА ПЕЧЕНИ И СЕЛЕЗЕНКИ В СТРАТИФИКАЦИИ ЦИРРОЗА ПЕЧЕНИ ПО КЛАССАМ ШКАЛЫ ЧАЙЛД-ПЬЮ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

^{1,2}Ю. Н. Савченков[✉], ³Г. Е. Труфанов[✉], ³В. А. Фокин[✉], ²Е. А. Ионова[✉], ⁴А. П. Савченкова[✉], ¹В. А. Просиков[✉],
^{1,5}С. Э. Аракелов[✉]

¹Городская клиническая больница имени В. П. Демикова, Москва, Россия

²Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна, Москва, Россия

³Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

⁴Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия

⁵Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Цирроз печени является конечной стадией хронических заболеваний печени и сопровождается развитием портальной гипертензии, что приводит к изменению количественных магнитно-резонансных (МР)-показателей печени и селезенки. Неинвазивные методики, включая нативное T1-картирование и расчет фракции внеклеточного объема (ФВО), рассматриваются как перспективные инструменты стратификации тяжести заболевания, однако их сравнительная диагностическая эффективность при распределении пациентов по классам шкалы оценки тяжести и компенсации цирроза Чайлд-Пью изучена недостаточно.

ЦЕЛЬ: Оценить и сравнить диагностическую эффективность нативного T1-картирования и ФВО печени и селезенки при стратификации цирроза печени по классам шкалы оценки тяжести и компенсации цирроза Чайлд-Пью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Ретроспективное исследование включало обследование 50 пациентов с подтвержденным циррозом печени, которым выполнена мультипараметрическая магнитно-резонансная томография (МРТ) с нативным T1-картированием (протоколы MOLLI 4(1)3(1)2 и 5(3)3) и расчетом ФВО печени и селезенки. Пациентов стратифицировали по классам Чайлд-Пью: А (n=31), В (n=13), С (n=6).

Статистика: Проведен межгрупповой анализ (критерии Крускала–Уоллиса, Манна–Уитни с поправкой Бенджамини–Хохберга, FDR), корреляционный анализ Спирмена и ROC-анализ с расчетом площади под кривой (AUROC) и попарным сравнением кривых (тест Делонга).

РЕЗУЛЬТАТЫ: Выявлены статистически значимые межгрупповые различия для всех количественных МР-показателей ($p \leq 0,002$; FDR $< 0,05$). ФВО печени продемонстрировала наивысшую дискриминационную способность (AUROC 1,000 — А vs С; 0,985 и 0,954 — А vs В; 0,986 — В vs С). Нативное T1-картирование печени характеризовалось умеренной эффективностью (AUROC 0,728–0,893). Нативное T1-картирование селезенки показало более низкие и вариабельные значения AUROC (0,436–0,857). ФВО селезенки уступала ФВО печени по диагностической эффективности (AUROC 0,812–0,971). Наиболее сильная корреляция с суммарным баллом по шкале Чайлд-Пью отмечена для ФВО печени (p 0,879–0,892; $p < 0,001$).

ОБСУЖДЕНИЕ: Полученные данные отражают более высокую специфичность ФВО печени по сравнению с интегральными показателями нативного T1-картирования в отношении функциональной тяжести цирроза печени по шкале Чайлд-Пью. ФВО селезенки преимущественно характеризует гемодинамические проявления портальной гипертензии и менее тесно связана с нарастанием печеночно-клеточной недостаточности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ФВО печени является наиболее точным и информативным количественным МР-показателем при стратификации цирроза по классам шкалы Чайлд-Пью, превосходя по диагностической ценности T1-картирование печени, ФВО селезенки и T1-картирование селезенки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цирроз печени, шкала Чайлд-Пью, фракция внеклеточного объема, T1-картирование, магнитно-резонансная томография, портальная гипертензия

* Для корреспонденции: Савченков Юрий Николаевич, e-mail: yura_savchenkov@mail.ru

Для цитирования: Савченков Ю.Н., Труфанов Г.Е., Фокин В.А., Ионова Е.А., Савченкова А.П., Просиков В.А., Аракелов С.Э. Нативное T1-картирование и фракция внеклеточного объема печени и селезенки в стратификации цирроза печени по классам шкалы Чайлд-Пью: ретроспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2026. Т. 17, № 2. С. 51–60, doi: <http://doi.org/10.22328/2079-5343-2026-17-2-51-60>.

NATIVE T1 MAPPING AND LIVER AND SPLENIC EXTRACELLULAR VOLUME FRACTION IN THE STRATIFICATION OF LIVER CIRRHOSIS ACCORDING TO CHILD-PUGH CLASSES: A RETROSPECTIVE STUDY

^{1,2}Yury N. Savchenkov[✉], ³Gennadiy E. Trufanov[✉], ³Vladimir A. Fokin[✉], ²Elena A. Ionova[✉],

⁴Alina P. Savchenkova[✉], ¹Valentin A. Prosikov[✉], ^{1,5}Sergey E. Arakelov[✉]

¹V. P. Demikhov City Clinical Hospital, Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

²A. I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

³V. A. Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg, Russia

⁴Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

⁵Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

INTRODUCTION: Liver cirrhosis represents the end stage of chronic liver diseases and is associated with the development of portal hypertension, leading to alterations in quantitative magnetic resonance (MR) parameters of the liver and spleen. Non-invasive techniques, including native T1 mapping and extracellular volume fraction (ECV) calculation, are considered promising tools for disease severity stratification; however, their comparative diagnostic performance in classifying patients according to the Child-Pugh grading system remains insufficiently investigated.

OBJECTIVE: To evaluate and compare the diagnostic performance of native T1 mapping and liver and splenic extracellular volume fraction for stratifying liver cirrhosis according to Child-Pugh classes.

MATERIALS AND METHODS: This retrospective study included 50 patients with confirmed liver cirrhosis who underwent multiparametric magnetic resonance imaging (MRI) with native T1 mapping (MOLLI 4(1)3(1)2 and 5(3)3 protocols) and calculation of liver and spleen extracellular volume fraction (ECV). Patients were stratified according to Child-Pugh classes: A (n=31), B (n=13), and C (n=6).

Statistics: Intergroup analysis was performed using the Kruskal-Wallis and Mann-Whitney tests with Benjamini-Hochberg correction (FDR), along with Spearman correlation analysis and ROC analysis with calculation of the area under the curve (AUROC) and pairwise comparison of ROC curves using the DeLong test.

RESULTS: Statistically significant intergroup differences were observed for all quantitative MRI parameters ($p < 0.002$; FDR < 0.05). Liver extracellular volume fraction (ECV) demonstrated the highest discriminative performance (AUROC 1.000 for A vs C; 0.985 and 0.954 for A vs B; 0.986 for B vs C). Native liver T1 mapping showed moderate diagnostic efficiency (AUROC 0.728–0.893). Native spleen T1 mapping yielded lower and more variable AUROC values (0.436–0.857). Spleen ECV was inferior to liver ECV in diagnostic performance (AUROC 0.812–0.971). The strongest correlation with the total Child-Pugh score was observed for liver ECV (ρ 0.879–0.892; $p < 0.001$).

DISCUSSION: The findings indicate higher specificity of liver ECV compared with integral native T1 mapping parameters in reflecting the functional severity of cirrhosis according to the Child-Pugh classification. Spleen ECV primarily reflects hemodynamic manifestations of portal hypertension and is less closely associated with progression of hepatocellular insufficiency.

CONCLUSION: Liver ECV is the most accurate and informative quantitative MR parameter for stratifying cirrhosis according to Child-Pugh classes, outperforming native liver T1 mapping, spleen ECV, and spleen T1 mapping in diagnostic value.

KEYWORDS: liver cirrhosis, Child-Pugh score, extracellular volume fraction, T1 mapping, magnetic resonance imaging, portal hypertension

* For correspondence: Yury N. Savchenkov, e-mail: yura_savchenkov@mail.ru

For citation: Savchenkov Yu.N., Trufanov G.E., Fokin V.A., Ionova E.A., Savchenkova A.P., Prosikov V.A., Arakelov S.E. NATIVE T1 mapping and liver and splenic extracellular volume fraction in the stratification of liver cirrhosis according to Child-Pugh classes: a retrospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2026. Vol. 17, No. 2. P. 51–60, <http://doi.org/10.22328/2079-5343-2026-17-2-51-60>.

Введение. Цирроз печени представляет собой терминальную стадию хронических заболеваний печени и характеризуется выраженным нарушением архитектоники паренхимы, развитием портальной гипертензии и прогрессированием печеночно-клеточной недостаточности [1]. Прогноз заболевания определяется не только наличием цирроза как такового, но и степенью функциональной недостаточности печени [2, 3]. В клинической практике стратификация цирроза осуществляется по шкале оценки

тяжести и компенсации цирроза Чайлд-Пью, включающей совокупность клинических и лабораторных критериев. Данная шкала широко используется для оценки прогноза и определения тактики ведения пациентов [4, 5].

При этом шкала Чайлд-Пью отражает преимущественно функциональное состояние печени и не дает количественной характеристики структурных и гемодинамических изменений. В этой связи представляет интерес сопоставление клинической стра-

тификации по классам Чайлд-Пью с количественными МР-показателями, отражающими морфологические и микроциркуляторные изменения [6, 7].

Мультипараметрическая МРТ обеспечивает независимую количественную оценку тканевых характеристик печени и селезенки. Нативное T1-картирование печени отражает интегральные изменения времени продольной релаксации, связанные с тканевым составом, воспалительными изменениями и перестройкой внеклеточного матрикса [8, 9]. ФВО рассчитывается по данным T1-картирования до и после внутривенного контрастирования с учетом гематокрита и позволяет количественно оценить долю интерстициального пространства в ткани. Поскольку прогрессирование фиброза сопровождается накоплением внеклеточного матрикса, увеличение данного показателя закономерно связано с выраженностью структурной перестройки паренхимы печени. В условиях цирроза это делает ФВО потенциально более специфичным количественным маркером тяжести морфологических изменений, чем интегральные показатели нативного T1-картирования [10, 11]. Аналогичные показатели селезенки могут отражать системные и гемодинамические проявления портальной гипертензии при циррозе печени [12].

Возможности количественных МР-показателей в стратификации цирроза печени по классам шкалы Чайлд-Пью и их сравнительная диагностическая эффективность остаются недостаточно изученными и требуют уточнения. Анализ доступной отечественной литературы не выявил публикаций, непосредственно посвященных сравнительной оценке нативного T1-картирования и ФВО печени и селезенки при стратификации цирроза печени по классам шкалы Чайлд-Пью.

С учетом различий в патофизиологической основе анализируемых показателей сформулирована гипотеза о том, что ФВО печени, непосредственно связанная с увеличением внеклеточного пространства при фиброзной перестройке паренхимы, будет точнее соответствовать клинической стратификации цирроза по шкале Чайлд-Пью, чем нативное T1-картирование печени. В то же время показатели селезенки, отражающие преимущественно гемодинамические проявления портальной гипертензии, будут обладать меньшей специфичностью в отношении функциональной тяжести цирроза.

Цель. Оценить и сравнить диагностическую эффективность нативного T1-картирования и ФВО печени и селезенки при стратификации цирроза печени по классам шкалы оценки тяжести и компенсации цирроза Чайлд-Пью.

Материалы и методы. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом ГБУЗ «ГКБ им. В. П. Демикова ДЗМ» (протокол № 4 от 19.11.2025). Информированное согласие было получено от всех участников, включенных в исследование.

Проанализированы данные 50 пациентов с циррозом печени, обследованных на высокопольном

МР-томографе Magnetom Vida 3 Тл (Siemens, Германия) в ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России. Всем пациентам выполнена мультипараметрическая МРТ с получением количественных показателей T1-картирования и ФВО печени и селезенки. Мужчины составили 52% (n=26), женщины — 48% (n=24); медианный возраст — 50 [45; 58,8] лет.

Этиологию цирроза устанавливали на основании совокупности данных анамнеза, лабораторных показателей и результатов инструментальных методов исследования: вирусные гепатиты В и С — 38 пациентов (76%), аутоиммунные заболевания печени — 6 пациентов (12%), метаболически-ассоциированная жировая болезнь печени — 6 пациентов (12%). Пациенты стратифицированы по шкале оценки тяжести и компенсации цирроза Чайлд-Пью (класс А — 31 пациент, 62%; В — 13 человек, 26%; С — 6 пациентов, 12%) на основании клинико-лабораторных данных на момент МР-исследования. Медианный суммарный балл составил 7 [6; 9] (диапазон 5–13).

Оценку времени T1-релаксации проводили с применением модифицированной последовательности восстановления инверсии Лука-Локепа (Modified Look-Locker Inversion Recovery, MOLLI) с кардиосинхронизацией по пульсу на одной задержке дыхания. Использовали протоколы MOLLI 4(1)3(1)2 и MOLLI 5(3)3, отличающиеся схемой инверсионных импульсов и распределением сердечных циклов между фазами регистрации сигнала и его восстановления. Количество сердечных циклов, в течение которых осуществляется сбор изображений после инверсионного импульса, обозначается цифрами вне скобок, тогда как значения в скобках соответствуют числу циклов, отведенных на восстановление продольной намагниченности перед следующей инверсией (recovery time). Выбор анализируемых протоколов T1-картирования определялся возможностями программного обеспечения МР-томографа с включением обоих вариантов, реализованных на данной платформе.

Такое распределение фаз измерения и восстановления сигнала определяет длительность задержки дыхания, чувствительность методики к частоте сердечных сокращений и потенциальную точность расчета времени T1-релаксации.

Значения T1-релаксации печени рассчитывали как среднее по зонам измерения в сегментах S2, S4a, S7 и S8 (10–20 см²) с исключением сосудов и очаговых образований. В селезенке формировали три зоны интереса (5–10 см²). Зоны измерения с сохранением геометрии переносили на постконтрастные карты для расчета ФВО (рис. 1).

ФВО рассчитывали по формуле:

$$\text{ФВО} = (1 - \text{Hct}) \times (\Delta R1_{\text{органа}} / \Delta R1_{\text{аорты}}),$$
 где Hct — гематокрит, представленный в долях единицы (л/л). Параметр $\Delta R1$ отражает изменение скорости продольной релаксации ткани после введения

контрастного вещества и определяется как разность величин $R1_{post}$ и $R1_{pre}$. Скорость продольной релаксации ($R1$) вычисляли как величину, обратную времени $T1$ ($R1=1/T1$; c^{-1}) до и через 10 минут после внутривенного контрастирования. Расчет

(AUROC) с определением 95% доверительных интервалов методом бутстрэп-перестановок (2000 итераций) и сравнением кривых по тесту Делонга (DeLong). Рассчитывали чувствительность (Se), специфичность (Sp), положительную (PPV) и отрица-

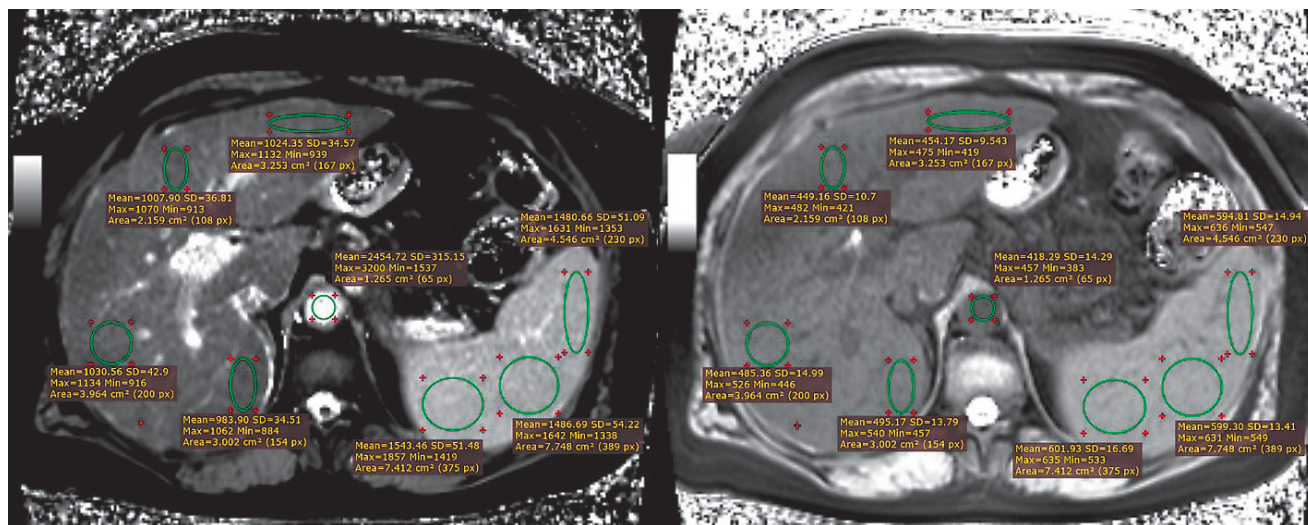


Рис. 1. Пример измерений до и после контрастирования по протоколу MOLLI 5(3)3, используемых для расчета фракции внеклеточного объема

Fig. 1. Example of T1 measurements before and after intravenous contrast administration using the MOLLI 5(3)3 protocol for extracellular volume fraction calculation

выполняли отдельно для печени и селезенки в рамках каждого примененного протокола картирования. Показатели гематокрита в исследуемой выборке находились в физиологически допустимом диапазоне и не характеризовались выраженными различиями между стадиями фиброза, что исключает значимое влияние данного параметра на межгрупповое сопоставление ФВО.

В исследовании применялись два внеклеточных гадолинийсодержащих контрастных средства — гадопентетат димеглюмин (Магневист®) и гадодиамид (Омнискан®). Оба препарата характеризуются близкими значениями продольной релаксивности при напряженности магнитного поля 3 Тл — 3,8 и 3,9 $л \times ммоль^{-1} \times c^{-1}$ соответственно. Различие между указанными величинами не превышает 3%, что указывает на практически идентичные релаксационные свойства и не предполагает клинически значимого влияния типа контрастного средства на расчет ФВО в рамках данной работы. Контрастирование выполняли внутривенно болюсно в стандартной дозе 0,1 ммоль/кг массы тела с последующим введением 0,9% раствора натрия хлорида.

Статистическую обработку проводили в IBM SPSS 23.0. Данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха. Межгрупповые различия оценивали с использованием критерия Крускала–Уоллиса (Kruskal-Wallis) с последующими попарными сравнениями по Манна–Уитни (Mann-Whitney). Диагностическую эффективность определяли методом ROC-анализа при разграничении классов А–В, В–С и А–С с расчетом площади под ROC-кривой

тельную (NPV) прогностическую ценность, а также пороги для стратегий исключения (rule-out) и подтверждения (rule-in). Для учета множественных сравнений применяли коррекцию Бенджамини–Хохберга (Benjamini-Hochberg) ($FDR < 0,05$).

Результаты. Анализ количественных МР-показателей печени и селезенки у пациентов с циррозом печени выявил статистически значимые различия в зависимости от класса по шкале Чайлд–Пью (табл. 1). При межгрупповом анализе по критерию Крускала–Уоллиса для всех количественных показателей выявлен статистически значимый эффект межгрупповых различий ($p \leq 0,009$), сохранявшийся после коррекции уровня значимости по методу Бенджамини–Хохберга ($FDR < 0,05$). Величина эффекта (ϵ^2) для всех количественных МР-показателей превышала порог крупного эффекта ($\epsilon^2 > 0,14$). Значения ϵ^2 составили 0,22–0,23 для T1-картирования печени, 0,17–0,24 для T1-картирования селезенки, 0,33–0,47 для ФВО селезенки и 0,63–0,67 для ФВО печени.

Для нативного T1-картирования печени по протоколу MOLLI 4(1)3(1)2 медианные значения последовательно увеличивались от 852,2 мс в классе А до 994,0 мс в классе С ($p = 0,002$; $FDR = 0,002$). Аналогичная направленность зарегистрирована для протокола MOLLI 5(3)3 ($p = 0,001$; $FDR = 0,002$). При попарном сопоставлении для нативного T1-картирования печени статистически значимые различия сохранялись при сравнении классов А–В и А–С по обоим протоколам ($FDR < 0,05$), тогда как различия между классами В–С статистической устойчивости не демонстрировали.

Таблица 1

Количественные МР-показатели печени и селезенки в зависимости от классов по шкале оценки тяжести и компенсации цирроза Чайлд-Пью

Table 1

Quantitative MRI parameters of the liver and spleen according to Child-Pugh classes of liver cirrhosis severity and compensation

Показатель	Чайлд-Пью А	Чайлд-Пью В	Чайлд-Пью С	Н	р	FDR
T1 печени, MOLLI 4(1)3(1)2, мс	852,2 [820,4; 910,4]	936,8 [911,5; 962,3]	994,0 [945,3; 1071,4]	13,12	0,002	0,002
T1 печени, MOLLI 5(3)3, мс	946,0 [899,5; 1004,2]	1004,0 [990,2; 1071,0]	1116,5 [1045,2; 1133,3]	12,55	0,001	0,002
T1 селезенки, MOLLI 4(1)3(1)2, мс	1255,5 [1203,4; 1321,8]	1350,7 [1284,6; 1412,3]	1383,7 [1315,2; 1470,6]	9,34	0,009	0,012
T1 селезенки, MOLLI 5(3)3, мс	1331,2 [1260,7; 1402,5]	1431,3 [1372,6; 1506,2]	1470,3 [1395,4; 1538,8]	12,56	0,002	0,004
ФВО печени, MOLLI 4(1)3(1)2, %	32,1 [31,6; 33,9]	37,5 [36,9; 37,7]	44,7 [44,3; 46,3]	32,35	<0,001	<0,001
ФВО печени, MOLLI 5(3)3, %	34,1 [32,6; 34,8]	39,4 [37,5; 40,7]	46,4 [45,3; 47,9]	30,22	<0,001	<0,001
ФВО селезенки, MOLLI 4(1)3(1)2, %	30,9 [30,4; 33,9]	37,3 [35,4; 40,2]	39,8 [37,2; 41,8]	23,84	<0,001	<0,001
ФВО селезенки, MOLLI 5(3)3, %	31,0 [30,1; 31,7]	35,8 [33,6; 37,8]	35,7 [34,9; 36,6]	17,05	<0,001	<0,001

Для нативного T1-картирования селезенки по протоколу MOLLI 4(1)3(1)2 медианные значения увеличивались от 1255,5 мс в классе А до 1383,7 мс в классе С (р=0,009; FDR=0,012). По протоколу MOLLI 5(3)3 значения изменялись с 1331,2 до 1470,3 мс (р=0,002; FDR=0,004). При попарном сопоставлении различия между классами В-С статистической устойчивости не демонстрировали.

ФВО печени характеризовалась наиболее выраженным межклассовым градиентом. По протоколу MOLLI 4(1)3(1)2 медианные значения возрастали с 32,1% в классе А до 44,7% в классе С (р<0,001; FDR<0,001). По протоколу MOLLI 5(3)3 — с 34,1% до 46,4% (р<0,001; FDR<0,001). При попарном анализе значений ФВО печени статистически значимые различия сохранялись для всех пар сравнения (А–В, В–С и А–С) по обоим протоколам T1-картирования (р≤0,004; FDR≤0,006) (рис. 2).

Для ФВО селезенки по протоколу MOLLI 4(1)3(1)2 медианные значения увеличивались с 30,9% в классе А до 39,8% в классе С (р<0,001; FDR<0,001). По протоколу MOLLI 5(3)3 значения составили 31,0% и 35,7% соответственно (р<0,001; FDR<0,001). При попарном сопоставлении различия между классами В-С статистической устойчивости не сохранялись.

Для количественной оценки дискриминативной способности исследуемых показателей при разграничении классов Чайлд-Пью выполнен ROC-анализ. При разграничении классов А и В ФВО печени демонстрировала наиболее высокую диагностическую эффективность. По протоколу MOLLI 4(1)3(1)2 AUROC для ФВО печени составила 0,985 (95% ДИ 0,944–1,000), по протоколу MOLLI

5(3)3 — 0,954 (95% ДИ 0,858–1,000). Нативное T1-картирование печени характеризовалось умеренной дискриминативной способностью: AUROC 0,747 и 0,728 соответственно. ФВО селезенки занимала промежуточное положение (AUROC 0,898 и 0,855). Для нативного T1-картирования селезенки AUROC составила 0,687 и 0,795 соответственно.

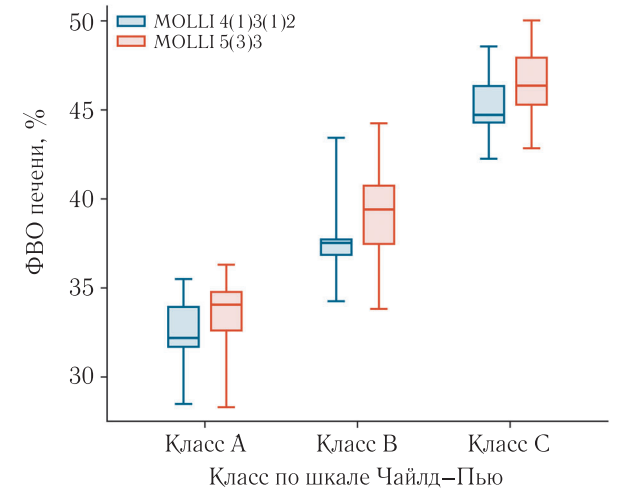


Рис. 2. Распределение значений фракции внеклеточного объема печени по классам шкалы Чайлд-Пью по данным протоколов MOLLI 4(1)3(1)2 и MOLLI 5(3)3

Fig. 2. Distribution of liver extracellular volume fraction across Child-Pugh classes using the MOLLI 4(1)3(1)2 and MOLLI 5(3)3 protocols

При разграничении классов В и С ФВО печени сохраняла высокую диагностическую эффективность по обоим протоколам (AUROC 0,986). Нативное T1-картирование печени демонстрировало более низкие

показатели (AUROC 0,718 и 0,776). ФВО селезенки характеризовалась умеренной дискриминативной способностью (AUROC 0,653 и 0,528), тогда как T1-картирование селезенки показало переменные и более низкие значения AUROC (0,705 и 0,436 соответственно).

Наиболее выраженное разграничение зарегистрировано при сравнении классов А и С. ФВО печени обеспечивала максимальную диагностическую эффективность (AUROC 1,000 по обоим протоколам). Нативное T1-картирование печени демонстрировало AUROC 0,899 и 0,893, а ФВО селезенки — 0,988 и 0,889. Для T1-картирования селезенки AUROC составила 0,857 и 0,833 соответственно (рис. 3).

обеспечивало $Se \geq 85\%$ и $Sp \geq 95\%$ при порогах 717 мс и 701 мс соответственно, тогда как для ФВО селезенки и T1-картирования селезенки одновременное достижение указанных показателей не обеспечивалось.

Прямое сравнение площадей под ROC-кривыми по тесту Делонга подтвердило статистически более высокую диагностическую эффективность ФВО печени по сравнению с нативным T1-картированием печени во всех вариантах попарного сопоставления классов Чайлд-Пью. Для протокола MOLLI 4(1)3(1)2 различия AUROC между нативным T1-картированием и ФВО печени составили $-0,238$ при сравнении классов А–В ($p < 0,001$), $-0,205$ при сравнении классов В–С ($p = 0,006$) и $-0,095$ при

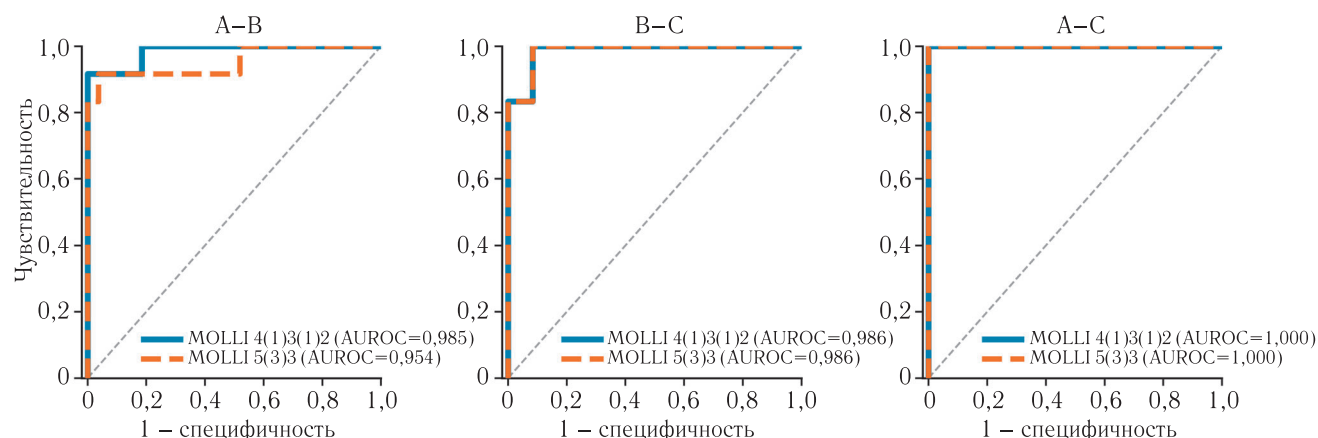


Рис. 3. ROC-кривые фракции внеклеточного объема печени при разграничении классов Чайлд-Пью А-В, В-С и А-С по данным протоколов MOLLI 4(1)3(1)2 и MOLLI 5(3)3

Fig. 3. ROC curves of liver extracellular volume fraction for discrimination between Child-Pugh classes A-B, B-C, and A-C using the MOLLI 4(1)3(1)2 and MOLLI 5(3)3 protocols

Анализ стратегий исключения и подтверждения принадлежности к более высокому классу Чайлд-Пью показал наибольшую стабильность ФВО печени. Для разграничения классов А и В по протоколу MOLLI 4(1)3(1)2 порог 35,52% обеспечивал одновременно чувствительность 91,7% и специфичность 100% (PPV 100%; NPV 96,4%). При использовании протокола MOLLI 5(3)3 специфичность составляла 96,3%, NPV — 96,3%. Сопоставление классов В и С также подтвердило высокую устойчивость показателя: ФВО печени позволяла реализовать стратегию подтверждения ($Sp = 100\%$) при порогах 45,10% и 45,70% соответственно (PPV 100%; NPV 92,3%). Максимальная диагностическая эффективность зарегистрирована при сравнении классов А и С: при пороговых значениях 40,6% (MOLLI 4(1)3(1)2) и 41,2% (MOLLI 5(3)3) достигались $Se = 100\%$ и $Sp = 100\%$ по обоим протоколам картирования.

Для нативного T1-картирования печени, ФВО селезенки и T1-картирования селезенки выполнение критериев $Se \geq 85\%$ и $Sp \geq 95\%$ зависело от сравниваемых классов. При разграничении А–В и В–С данные критерии не достигались. При сравнении А–С нативное T1-картирование печени

сравнении классов А–С ($p = 0,015$). Для протокола MOLLI 5(3)3 соответствующие различия составили $-0,226$ ($p < 0,001$), $-0,210$ ($p = 0,004$) и $-0,107$ ($p = 0,012$), что также подтверждало преимущество ФВО печени.

При сравнении ФВО селезенки и ФВО печени статистически значимое снижение AUROC для ФВО селезенки выявлено только при разграничении классов В–С по обоим протоколам T1-картирования: $\Delta AUROC$ составила $-0,333$ для MOLLI 4(1)3(1)2 ($p = 0,010$) и $-0,458$ для MOLLI 5(3)3 ($p < 0,001$). При сопоставлении классов А–В и А–С различия между ФВО селезенки и ФВО печени не были статистически значимыми.

Нативное T1-картирование селезенки демонстрировало умеренную дискриминативную способность при стратификации классов Чайлд-Пью, однако величины AUROC были ниже по сравнению с ФВО печени и сопоставимы либо несколько ниже значений, полученных для нативного T1-картирования печени. При попарном сравнении AUROC нативного T1-картирования селезенки и нативного T1-картирования печени статистически значимых различий не выявлено ($p > 0,05$ после FDR-коррекции), что

указывает на сопоставимую, но ограниченную прогностическую ценность данных параметров по сравнению с ФВО печени.

Прямое сравнение AUROC ФВО селезенки и нативного T1-картирования печени не выявило статистически значимых различий ни в одном варианте попарного сопоставления ($p \geq 0,109$; $FDR \geq 0,292$). Аналогичная закономерность отмечалась и при сопоставлении нативного T1-картирования селезенки с ФВО селезенки, где различия носили количественный, но не статистически значимый характер.

При корреляционном анализе выявлена статистически значимая положительная связь между суммарным баллом по шкале Чайлд-Пью и количественными МР-показателями (табл. 2). Наиболее высокая сила корреляции зарегистрирована для ФВО печени (ρ 0,879–0,892; $p < 0,001$; $FDR < 0,001$). Для ФВО селезенки коэффициент корреляции составил 0,632–0,709, для нативного T1-картирования печени — 0,589–0,602, а для нативного T1-картирования селезенки — 0,495–0,550.

печени, ФВО селезенки и T1-картирование селезенки демонстрировали более ограниченную диагностическую эффективность, прежде всего при разграничении смежных классов.

Последовательное увеличение медианных значений T1-картирования печени и ФВО печени по мере перехода от класса А к классу С отражает нарастание структурной перестройки паренхимы печени при нарастании печеночно-клеточной недостаточности. Для T1-картирования печени ограничение разделения смежных классов может быть связано с интегральной природой T1-релаксации и зависимостью показателя от совокупности факторов, включая объем внеклеточного матрикса, воспалительные изменения и жировую инфильтрацию, что ранее обсуждалось в контексте влияния тканевого состава на значения T1 печени [13, 14]. В отличие от этого, ФВО печени обеспечивала статистически значимые различия для всех пар сравнения и максимальные значения AUROC, включая полное разграничение классов А и С по обоим протоколам картирования,

Связь количественных МР-показателей с суммарным баллом по шкале оценки тяжести и компенсации цирроза Чайлд-Пью

Таблица 2

Table 2

Association between quantitative MRI parameters and the total score according to the Child-Pugh classification of liver cirrhosis severity and compensation

Показатель	Протокол	ρ	p	FDR
T1 печени	MOLLI 4(1)3(1)2	0,589	<0,001	<0,001
T1 печени	MOLLI 5(3)3	0,602	<0,001	<0,001
T1 селезенки	MOLLI 4(1)3(1)2	0,495	<0,001	<0,001
T1 селезенки	MOLLI 5(3)3	0,550	<0,001	<0,001
ФВО печени	MOLLI 4(1)3(1)2	0,879	<0,001	<0,001
ФВО печени	MOLLI 5(3)3	0,892	<0,001	<0,001
ФВО селезенки	MOLLI 4(1)3(1)2	0,632	<0,001	<0,001
ФВО селезенки	MOLLI 5(3)3	0,709	<0,001	<0,001

Во всех вариантах попарного сопоставления клинических классов цирроза печени по шкале Чайлд-Пью максимальные значения AUROC последовательно регистрировались для ФВО печени. Нативное T1-картирование печени демонстрировало более умеренную дискриминативную способность. ФВО селезенки характеризовалась промежуточными либо сниженными значениями AUROC в зависимости от сравниваемых классов, тогда как T1-картирование селезенки демонстрировало наименьшие и наиболее вариабельные показатели диагностической эффективности, особенно при разграничении смежных клинических классов.

Обсуждение. В настоящем исследовании показано, что количественные МР-показатели печени и селезенки характеризуются различной дискриминативной способностью при стратификации цирроза печени по классам шкалы Чайлд-Пью. Наиболее выраженные и устойчивые различия зарегистрированы для ФВО печени, тогда как T1-картирование

что согласуется с опубликованными данными о применении ФВО для оценки тяжести цирроза [15, 16].

Преимущество ФВО печени по сравнению с T1-картированием печени может быть объяснено большей биологической специфичностью показателя [17, 18]. Используемые внеклеточные контрастные препараты в поздней интерстициальной фазе распределяются преимущественно во внеклеточном пространстве, вследствие чего расчет ФВО основывается на фармакокинетически детерминированной модели распределения контрастного вещества и обеспечивает более прямую связь с морфологической перестройкой паренхимы печени, чем интегральные показатели T1. Дополнительным подтверждением клинической релевантности ФВО печени является высокая сила корреляции данного показателя с суммарным баллом по шкале Чайлд-Пью, превосходящая соответствующие коэффициенты для ФВО селезенки и показателей T1-картирования печени и селезенки [15, 16].

Селезенка является органом, структурные изменения которого при циррозе во многом обусловлены портальной гипертензией и гемодинамическими перестройками. ФВО селезенки демонстрировала межгрупповой градиент при переходе от класса А к классам В и С, однако при разграничении смежных классов ее дискриминативная способность была менее устойчивой, чем у ФВО печени. С учетом того, что шкала Чайлд-Пью преимущественно отражает функциональную оценку печени, полученные результаты позволяют предположить, что ФВО селезенки в большей степени отражает вклад системных гемодинамических изменений, чем нарастание печеночно-клеточной недостаточности [19]. Т1-картирование селезенки также демонстрировало статистически значимые межгрупповые различия и умеренную корреляцию с суммарным баллом по шкале Чайлд-Пью, однако его дискриминативная способность уступала ФВО печени и была наименее устойчивой при разграничении смежных клинических классов, что соответствует представлению о преимущественно вторичном характере изменений паренхимы селезенки при циррозе печени [12].

В совокупности полученные данные подтверждают, что ФВО печени является наиболее информативным количественным МР-показателем при стратификации цирроза печени по классам шкалы Чайлд-Пью. Т1-картирование печени, ФВО селезенки и Т1-картирование селезенки отражают дополнительные аспекты структурных и системных

изменений при циррозе печени, однако их вклад в разграничение клинических классов уступает ФВО печени, особенно при сравнении смежных групп.

Ограничения исследования. Исследование включало ограниченное число пациентов с циррозом печени. Распределение по классам Чайлд-Пью было неравномерным, что могло повлиять на устойчивость оценки дискриминативной способности показателей при сравнении смежных клинических групп. Оценка показателей выполнялась в рамках одного томографа и двух протоколов Т1-картирования, что ограничивает экстраполяцию результатов на другие платформы и импульсные последовательности Т1-картирования с иными параметрами и алгоритмами постпроцессинга.

Заключение. Фракция внеклеточного объема печени продемонстрировала наибольшую диагностическую эффективность при стратификации цирроза по классам шкалы оценки тяжести и компенсации цирроза Чайлд-Пью и обеспечивала устойчивое разграничение клинических групп.

Нативное Т1-картирование печени, ФВО селезенки и Т1-картирование селезенки характеризовались более ограниченной дискриминативной способностью, особенно при сравнении смежных классов, при этом показатели селезенки демонстрировали большую вариабельность и меньшую устойчивость диагностических характеристик по сравнению с ФВО печени.

Сведения об авторах:

Савченков Юрий Николаевич — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры лучевой диагностики с курсом радиологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России; 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, д. 23; заведующий отделением лучевой диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени В.П. Демихова Департамента здравоохранения города Москвы»; 109263, Москва, ул. Шкулева, д. 4; e-mail: yura_savchenkov@mail.ru; ORCID 0000-0002-8258-522X;

Труфанов Геннадий Евгеньевич — доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник НИО лучевой диагностики, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; e-mail: trufanovge@mail.ru; ORCID 0000-0002-1611-5000;

Фокин Владимир Александрович — доктор медицинских наук, профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; e-mail: vladfokin@mail.ru; ORCID 0000-0002-2937-6322;

Ионова Елена Александровна — доктор медицинских наук, заведующий кафедрой лучевой диагностики с курсом радиологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России; 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, д. 23; e-mail: ionela60@mail.ru; ORCID 0000-0002-6084-2061;

Савченкова Алина Петровна — врач-рентгенолог государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: alinc-hik25@mail.ru; ORCID 0009-0005-0100-0306;

Просиков Валентин Андреевич — врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени В.П. Демихова Департамента здравоохранения города Москвы»; 109263, Москва, ул. Шкулева, д. 4; e-mail: prosikov92@mail.ru; ORCID 0009-0004-6719-4900;

Араkelов Сергей Эрнестович — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой семейной медицины с курсом паллиативной медицинской помощи федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса

Лумумбы», главный врач государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени В. П. Демикова Департамента здравоохранения города Москвы»; 109263, Москва, ул. Шкулева, д. 4; e-mail: arakelov-s@yandex.ru; ORCID 0000-0003-3911-8543.

Information about the authors:

Yury N. Savchenkov — Cand. of Sci. (Med.), assistant of the Dept of Radiation Diagnostics with a course in Radiology Diagnostics at the Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education of the Federal State Budgetary Institution «State Research Center — Burnazyan Federal Biophysical Medical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia»; Head of the Dept of Radiation Diagnostics of the State Budgetary Healthcare Institution of Moscow «V. P. Demikhov City Clinical Hospital of the Moscow Department of Health»; 109263, Moscow, Shkuleva str., 4; e-mail: yura_savchenkov@mail.ru; ORCID 0000-0002-8258-522X;

Gennadiy E. Trufanov — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of the Research Institute of Radiation Diagnostics, Head of the Dept of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with the clinic of the Federal State Budgetary Institution «Almazov National Medical Research Center» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 197341, St. Petersburg, Akkuratova str., 2; e-mail: trufanovge@mail.ru; ORCID 0000-0002-1611-5000;

Vladimir A. Fokin — Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Dept of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with the clinic of the Federal State Budgetary Institution «Almazov National Medical Research Center» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 197341, St. Petersburg, Akkuratova str., 2; e-mail: vladfokin@mail.ru; ORCID 0000-0002-2937-6322;

Elena A. Ionova — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Dept of Radiation Diagnostics with a course in Radiology Diagnostics at the Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education of the Federal State Budgetary Institution «State Research Center — Burnazyan Federal Biophysical Medical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia»; 123098, Moscow, Marshala Novikova str., 23; e-mail: ionela60@mail.ru; ORCID 0000-0002-6084-2061;

Alina P. Savchenkova — radiologist at the State Budgetary Healthcare Institution of Moscow «Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health»; 127051, Moscow, Petrovka str., 24, building 1; e-mail: alinchik25@mail.ru; ORCID 0009-0005-0100-0306;

Valentin A. Pronikov — radiologist at the Dept of Radiation Diagnostics of the State Budgetary Healthcare Institution of Moscow «V. P. Demikhov City Clinical Hospital of the Moscow Department of Health»; 109263, Moscow, Shkuleva str., 4; e-mail: pronikov92@mail.ru; ORCID <https://orcid.org/0009-0004-6719-4900>;

Sergey E. Arakelov — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Family Medicine with a Palliative Care Course at the Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, Chief Physician of the Moscow State Budgetary Healthcare Institution V. P. Demikhov City Clinical Hospital of the Moscow Department of Health; 109263, Moscow, Shkuleva str., 4; e-mail: arakelov-s@yandex.ru; ORCID 0000-0003-3911-8543.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — Ю. Н. Савченков, Г. Е. Труфанов, В. А. Фокин, Е. А. Ионова, С. Э. Араkelов; сбор и анализ данных — Ю. Н. Савченков, А. П. Савченкова, В. А. Просиков; подготовка рукописи — Ю. Н. Савченков, Г. Е. Труфанов, В. А. Фокин.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria (All authors made a significant contribution to the concept development, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contribution: concept and design development — YuNS, GET, VAF, EAI, SEA; data collection and analysis — YuNS, APS, VAP; preparation of the manuscript — YuNS, GET, VAF.

Потенциальный конфликт интересов: авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов, который необходимо обнародовать.

Disclosure: the authors confirm that there is no conflict of interest that needs to be made public.

Соответствие принципам этики: исследование одобрено локальным этическим комитетом ГБУЗ «ГКБ им. В. П. Демикова ДЗМ» (протокол № 4 от 19.11.2025). Информированное согласие получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards: the study was approved by the local ethics committee of the State Budgetary Healthcare Institution of Moscow «V. P. Demikhov City Clinical Hospital of the Moscow Department of Health» (protocol No. 4 of November 19, 2025). Informed consent was obtained from each patient.

Поступила/Received: 02.03.2026

Принята к печати/Accepted: 29.05.2026

Опубликована/Published: 29.06.2026

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Tham E.K.J., Tan D.J.H., Danpanichkul P. et al. The Global Burden of Cirrhosis and Other Chronic Liver Diseases in 2021 // *Liver Int.* 2025 Vol. 45. P. e70001. doi: 10.1111/liv.70001.
2. Cerrito L., Galasso L., Iaccarino J. et al. Present and Future Perspectives in the Treatment of Liver Fibrosis // *Pharmaceuticals*. 2025. Vol. 18, No. 9. P. 1321. doi: 10.3390/ph18091321.
3. Zeng X., Huang D., Zhu Z. et al. Mechanism-guided drug development and treatment for liver fibrosis: a clinical perspective // *Front. Pharmacol.* 2025 Vol. 16. P. 1574385. doi: 10.3389/fphar.2025.1574385.
4. Tarannum S., Ilyas T., Tarannum Shaik S. et al. Assessment of the Child-Pugh Score, Model for End-Stage Liver Disease Score, Fibrosis-4 Index, and AST to Platelet Ratio Index as Non-endoscopic Predictors of the Presence of Esophageal Varices and Variceal Bleeding in Chronic Liver Disease Patients // *Cureus*. 2024. Vol. 16, No. 11. P. e73768. doi: 10.7759/cureus.73768.
5. Costa F., Wiedenmann B., Roderburg C., Mohr R., Abou-Alfa G.K. Systemic treatment in patients with Child-Pugh B liver dysfunction and advanced hepatocellular carcinoma // *Cancer Med.* 2023. Vol. 12, No. 12. P. 12766–12778. doi: 10.1002/cam4.6033.
6. Huang W., Peng Y., Kang L. Advancements of non-invasive imaging technologies for the diagnosis and staging of liver fibrosis: Present and future // *VIEW*. 2024. doi: 10.1002/VIW.20240010.

7. Xue S., Zhu Y., Shao M. et al. T1/T2 mapping as a non-invasive method for evaluating liver fibrosis based on correlation of biomarkers: a preclinical study // *BMC Gastroenterol.* 2025. Vol. 25, No. 1. P. 122. doi: 10.1186/s12876-025-03701-9.
8. Serai S.D., Robson M.D., Tirkes T., Trout A.T. T1 Mapping of the Abdomen, From the AJR «How We Do It» Special Series // *AJR Am. J. Roentgenol.* 2025. Vol. 224. P. 6. doi: 10.2214/AJR.24.31643.
9. Mesrobian N., Chang J., Lutz P. et al. Clinical validation of T1ρ mapping for the assessment of hepatic fibrosis in patients with chronic liver disease // *Eur. Radiol.* 2025. doi: 10.1007/s00330-025-12225-5.
10. Obmann V.C., Ardoino M., Klaus J. et al. MRI Extracellular Volume Fraction in Liver Fibrosis-A Comparison of Different Time Points and Blood Pool Measurements // *J. Magn. Reson. Imaging.* 2024. Vol. 60, No. 4. P. 1678–1688. doi: 10.1002/jmri.29259.
11. Mesrobian N., Kupczyk P., Dold L. et al. Non-invasive assessment of liver fibrosis in autoimmune hepatitis: Diagnostic value of liver magnetic resonance parametric mapping including extracellular volume fraction // *Abdom. Radiol. (NY).* 2021. Vol. 46, No. 6. P. 2458–2466. doi: 10.1007/s00261-020-02822-x.
12. Mesrobian N., Isaak A., Faron A. et al. Magnetic resonance parametric mapping of the spleen for non-invasive assessment of portal hypertension // *Eur. Radiol.* 2021. Vol. 31, No. 1. P. 85–93. doi: 10.1007/s00330-020-07080-5.
13. Khan F., Dsouza S., Khamis A.H. et al. Noninvasive Assessment of the Severity of Liver Fibrosis in MASLD Patients with Long-Standing Type 2 Diabetes // *J. Gen. Intern. Med.* 2025. Vol. 40, No. 10. P. 2309–2318. doi: 10.1007/s11606-025-09348-2.
14. Higashi M., Tanabe M., Yamane M. et al. Impact of fat on the apparent T1 value of the liver: assessment by water-only derived T1 mapping // *Eur Radiol.* 2023. Vol. 33, No. 10. P. 6844–6851. doi: 10.1007/s00330-023-10052-0.
15. Mesrobian N., Kupczyk P.A., Dold L. et al. Assessment of liver cirrhosis severity with extracellular volume fraction MRI // *Sci Rep.* 2022. Vol. 8, No. 12. P. 9422. doi: 10.1038/s41598-022-13340-9.
16. Zhang H., Hao E., Xia D. et al. Estimating liver cirrhosis severity with extracellular volume fraction by spectral CT // *Sci Rep.* 2025. Vol. 26, No. 15. P. 18343. doi: 10.1038/s41598-025-03717-x.
17. Maino C., Vernuccio F., Cannella R. et al. Non-invasive imaging biomarkers in chronic liver disease // *Eur. J. Radiol.* 2024. Vol. 181. P. 111749. doi: 10.1016/j.ejrad.2024.111749.
18. Mazzola M., Cannella R., Pilato G. et al. Quantitative liver MRI biomarkers: what the radiologist should know // *J. Med. Imaging Interv. Radiol.* 2024. Vol. 11. P. 13. doi: 10.1186/s44326-024-00013-3.
19. Catucci D., Obmann V.C., Berzigotti A. et al. Noninvasive assessment of clinically significant portal hypertension using ΔT1 of the liver and spleen and ECV of the spleen on routine Gd-EOB-DTPA liver MRI // *Eur. J. Radiol.* 2021. Vol. 144. P. 109958. doi: 10.1016/j.ejrad.2021.109958.

Открыта подписка на 2-е полугодие 2026 года.

Подписной индекс:

«Урал Пресс» (Пресса России) **014023**