



<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2022-37-2-84-91>
УДК 616.36-072.7-073.86

Система оценки функции печени по данным магнитно-резонансной томографии с гадоксетовой кислотой

Д.Э. Сомова, Т.Н. Галян, А.С. Куличкин, А.В. Филин, В.В. Ховрин

Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского,
119991, Российская Федерация, Москва, Абрикосовский пер., 2

Аннотация

Цель исследования: разработать систему оценки функции печени у пациентов с циррозом печени по данным магнитно-резонансной томографии (МРТ) с гадоксетовой кислотой (ГК).

Материал и методы. Были проанализированы данные исследований 74 пациентов, которым была выполнена МРТ брюшной полости с внутривенным контрастированием ГК. Для проведения статистического анализа данных были сформированы две группы: I группа (22 пациента) – пациенты с неизменной паренхимой печени, с нормальной функцией печени и доброкачественными образованиями; II группа (52 пациента) – пациенты с циррозом печени, с наличием регенераторных и/или диспластических узлов и гепатоцеллюлярной карциномой (ГЦК). Оценивались количественные показатели RE (относительное усиление), CEI (индекс контрастного усиления), индексы Печень/Скелетная мускулатура (СМ), Печень/Селезенка, Печень/Почки, анализ гистограмм (АГ) и шкала визуализации функции печени (ШВФП) для оценки функции печени у пациентов двух групп.

Результаты. Критериями функционального дефицита функции печени на основании расчета данных транспорта и накопления контрастного вещества является снижение общего количества баллов по ШВФП 4 и ниже, значений RE ниже 0,85 и CEI ниже 1,38 с чувствительностью и специфичностью 100 и 75%, значений индексов Печень/СМ и Печень/Почки ниже 0,350; индекса Печень/Селезенка ниже 0,750 с чувствительностью и специфичностью 100 и 81% у пациентов с циррозом.

Выводы. Разработанная система оценки функции печени с использованием ШВФП, анализа сопоставления интенсивности (АСИ), анализа гистограмм (АГ) по данным МРТ с ГК в сопоставлении с METAVIR (шкала METAVIR – оценка стадии фиброза печени) позволяет оценить функциональный дефицит печени у пациентов с циррозом с чувствительностью и специфичностью 100 и 80% соответственно.

| | |
|--|---|
| Ключевые слова: | функция печени, гадоксетовая кислота, цирроз печени, магнитно-резонансная томография. |
| Конфликт интересов: | авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. |
| Прозрачность финансовой деятельности: | никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. |
| Соответствие принципам этики: | информированное согласие получено от каждого пациента. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБНУ РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского (протокол № 6 от 16.06.2022 г.). |
| Для цитирования: | Сомова Д.Э., Галян Т.Н., Куличкин А.С., Филин А.В., Ховрин В.В. Система оценки функции печени по данным магнитно-резонансной томографии с гадоксетовой кислотой. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2022;37(2):84–91. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2022-37-2-84-91 . |

The system for assessing liver function according to magnetic resonance imaging with gadoxetic acid

Dana E. Somova, Tatyana N. Galyan, Aleksey S. Kulichkin, Andrey V. Filin, Valeriy V. Khovrin

Petrovsky National Research Center of Surgery,
2, Abricosovskiy per., Moscow, 119991, Russian Federation

Abstract

Purpose. To develop a system for assessing liver function in patients with liver cirrhosis according to magnetic resonance imaging (MRI) with gadoxetic acid.

Material and Methods. Data from studies of 74 patients who underwent abdominal MRI with intravenous gadoxetic acid (GA) enhancement were analyzed. For statistical analysis of the data, two groups were formed: group 1 ($n = 22$) comprised patients with unchanged liver parenchyma, normal liver function, and benign tumors; group 2 ($n = 52$) comprised patients with liver cirrhosis, with the presence of regenerative and/or dysplastic nodes, and hepatocellular carcinoma (HCC). The following quantitative parameters were studied to assess liver function in patients of two groups: relative enhancement (RE), contrast enhancement index (CEI), liver/skeletal muscle (SM) index, liver/spleen index, liver/kidney index, analysis of histograms (AH), and liver function imaging scale (FLIS).

Results. The criteria for a functional deficiency of liver function based on calculated data of contrast agent transport and accumulation were a decrease in FLIS total score to 4 and below, RE values below 0.85, and CEI values below 1.38 with sensitivity and specificity of 100 and 75%, the values of liver/SM and liver/kidney indices below 0.350, liver/spleen index below 0.750 with sensitivity and specificity of 100 and 81%, respectively, in patients with cirrhosis.

Conclusion. The developed system for assessing liver function using FLIS, intensity matching analysis (IMA), and AH according to MRI with GC in comparison with METAVIR allowed for liver function assessment in patients with cirrhosis with a sensitivity and specificity of 100% and 80%, respectively.

| | |
|--|---|
| Keywords: | liver function, gadoxetic acid, liver cirrhosis, magnetic resonance imaging. |
| Conflict of interest: | the authors do not declare a conflict of interest. |
| Financial disclosure: | Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned. |
| Adherence to ethical standards: | informed consent was obtained from all patients. The study was approved by the Ethics Committee of Russian Scientific Center of Surgery named after academician B.V. Petrovsky (protocol No. 6 from 16.06.2022). |
| For citation: | Somova D.E., Galyan T.N., Kulichkin A.S., Filin A.V., Khovrin V.V. The system for assessing liver function according to magnetic resonance imaging with gadoxetic acid. <i>The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2022;37(2):84–91. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2022-37-2-84-91 . |

Введение

Хронические заболевания печени (ХЗП) встречаются во всем мире независимо от возраста, пола, региона или расы. Цирроз является конечным результатом заболеваний печени, характеризующихся нарушением архитектоники печени с образованием регенераторных узлов, и может иметь разнообразные клинические проявления вплоть до развития гепатоцеллюлярной карциномы (ГЦК) [1]. Магнитно-резонансная томография (МРТ) с контрастированием не несет лучевой нагрузки и является наиболее информативным методом диагностики при ХЗП [2–4]. МРТ исследования с введением гадолиниевого контраста (ГК) (Gd-EOB-DTPA) в дополнение к задачам определения распространенности опухолевого процесса и волюметрии печени обладает еще одной, нереализованной в полной мере возможностью – возможностью топического исследования функции печени [5–8].

Цель исследования: разработать систему оценки функции печени у пациентов с циррозом печени по данным МРТ с ГК.

Материал и методы

В работу включены результаты 74 исследований МРТ органов брюшной полости с в/в контрастированием ГК, выполненных в отделении рентгенодиагностики и компьютерной томографии ФГБНУ РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского. В I группу ($n = 22$) вошли пациенты с нормальной функцией печени F0 METAVIR, обследованные по поводу доброкачественных образований (фокальная нодулярная гиперплазия (ФНГ), гемангиомы, кисты). Средний возраст пациентов I группы составил $39 \pm 9,8$ лет (от 17 до 68 лет), соотношение мужчин и женщин – 5:17, в данных лабораторных исследований нет отклонений от нормальных значений аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспартатминотрансферазы (АСТ), гаммаглутамилтранспептидазы (ГГТП), щелочной фосфатазы (ЩФ). Во II группу ($n = 52$) вошли пациенты с подтвержденным циррозом печени F4 по METAVIR, у которых лабораторные показатели АЛТ, АСТ, ГГТП, ЩФ превышали нормальные значения. Средний возраст пациентов II группы составил $51,3 \pm 17,8$ лет (от 6 до 86 лет), соотношение мужчин и женщин – 28:24.

Динамические МРТ выполнялись на томографе с напряженностью магнитного поля 1,5Т (Magnetom Avanto, Siemens, Германия) с в/в введением контрастного вещества (КВ) с ГК (Gd-ЕОВ-DTPA, Primovist, Bayer Healthcare, Germany) из расчета 0,025 ммоль/кг массы тела. Протокол МРТ исследования включал: последовательности на задержке дыхания (T2 Haste – двойное преобразование Фурье, T2 взвешенных изображений (ВИ) и T2 ВИ с подавлением сигнала от жировой ткани (FS), T1 фаза/противофаза), последовательности с задержкой дыхания (T1 ВИ, диффузионно-взвешенные изображения (DWI), МРТ холангиография), последовательности T1 ВИ при в/в

введении ГК (сверхбыстрые последовательности VIBE (volumetric interpolated breath-hold examination) с получением фаз контрастирования (табл. 1). Для количественного анализа состояния паренхимы печени были отобраны серии с 3-мерным T1 взвешенным градиентным эхо.

Шкала визуализации функции печени (ШВФП) в виде 3-компонентной балльной количественной оценки используется для сравнения интенсивности (ИС) печени по отношению к ИС от паренхимы почки, ИС от воротной вены к ИС паренхимы печени; отмечалось контрастирование желчных протоков и наличие КВ в 12-перстной кишке (ДПК) [9] (рис. 1).

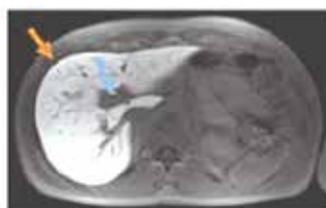
Таблица 1. Параметры импульсных последовательностей магнитно-резонансной томографии с гадооксетовой кислотой
Table 1. Parameters of magnetic resonance imaging pulse sequences with gadoxetic acid

| Параметры Parameters | Плоскость сканирования Scan plane | TR Repetition time | TE echo time | Толщина среза, мм Slice thickness, mm | FOV Field of view | Размер матрицы Matrix size |
|--|---|--------------------|--------------|--|-------------------|-------------------------------|
| T2 HASTE T2 half-Fourier acquired single-shot turbo spin-echo (HASTE) | Корональная Coronal | 1500 | 93 | 6 | 380 | 240 x 320 |
| DWI (b = 50, 400, 800) Diffusion-weighted imaging (b = 50, 400, 800) | Аксиальная Axial | 3500 | 75 | 6 | 380 | 104 x 192 |
| T1 ВИ T1 weighted imaging (WI) | Аксиальная Axial | 2000 | 7,1 | 5 | 427 | 146 x 256 |
| МРТ холангиография Magnetic Resonance cholangiography | Корональная Coronal | 2500 | 694 | 1 | 380 | 357 x 384 |
| T1 фаза/противофаза T1 in-phase/out-of-phase | Аксиальная Axial | 180 | 2738 | 6 | 380 | 308 x 512 |
| T1 vibe T1 volumetric interpolated breath-hold examination (vibe) | Корональная/ Аксиальная Coronal/Axial | 3787 | 1.52 | 275 | 380 | 262 x 448 |
| T2 ВИ T2 WI | Аксиальная Axial | 2000 | 76 | 5 | 427 | 207 x 384 |
| T2 ВИ FS T2 WI FS | Аксиальная Axial | 2000 | 84 | 5 | 427 | 207 x 384 |



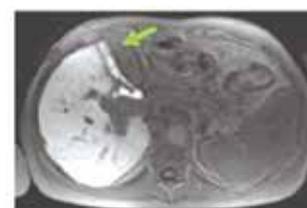
Сравнение ИС печени к ИС почки
SI liver parenchymal relative to kidney

2 балла – гиперинтенсивный МР-сигнал
2 score – hyperintense
1 балл – изоинтенсивный МР-сигнал
1 score – isointense
0 баллов – гипоинтенсивный МР-сигнал
0 score – hypointense



Сравнение ИС воротной вены к ИС печени
SI portal vena relative to liver parenchyma SI

2 балла – гиперинтенсивный МР-сигнал
2 score – hyperintense
1 балл – изоинтенсивный МР-сигнал
1 score – isointense
0 баллов – гипоинтенсивный МР-сигнал
0 score – hypointense



Наличие КВ в желчных протоках и длк
Contrast agent in bic ducts

2 балла – КВ в внепеченочных протоках и длк
2 – excretion into common biliary duct or duodenum
1 балл – КВ во внутрипеченочных протоках
1 score – excretion into peripheral biliary duct
0 баллов – КВ отсутствует в желчных протоках
0 score – no biliary contrast excretion

Рис. 1. Оценка функции печени по шкале визуализации паренхимы печени
Fig. 1. Evaluation of liver function according to the liver parenchyma imaging scale

Путем сопоставления интенсивности (АСИ) были проанализированы изображения до введения ГК и в гепатобилиарную фазу контрастирования (ГБФ) на 20-й мин от начала в/в введения. Средние значения ИС паренхимы печени, селезенки и скелетной мускулатуры (СМ) мышц спины обозначены стандартной областью интереса (СОИ). СОИ в диаметре около 10 мм² были установлены в печени вне зоны расположения сосудов и желчных протоков. Дополнительно устанавливался СОИ размером 0,1 мм² на корковое вещество почек:

1. Показатели RE (относительное усиление) = ИС* – ИС/ИС.
2. Показатель CEI (индекс контрастного усиления) = ИС*/ИС [5]
3. Индекс Печень/Мышцы: ИС печень* – ИС печень/ИС мышцы* [10]
4. Индекс Печень/Селезенка: ИС печень* – ИС печени/ИС селезенка*
5. Индекс Печень/Почка: ИС печень* – ИС печень/ИС корковое вещество почки*

* – Последовательности после введения КВ на 20-й мин

Анализ гистограмм (АГ) представляет собой инструмент отображения графического распределения уровней гетерогенности ИС, которая и определяет степень фиброза. Спектр пикселей на МРТ изображениях печени в ГБФ контрастирования соответствует функционирующим гепатоцитам (яркие точки) и плотным фиброзным участкам (темные точки). Сочетание неизмененных гепатоцитов и фиброза, в свою очередь, будет выглядеть как пиксели в градации серой цветовой гаммы.

Для проведения АГ определены показатели общей площади гистограммы (ОПГ), отношения общей площади окна гистограммы к общей площади гистограммы (ОПОГ/ОПГ), отношения верхушки к основанию гистограммы (В/О) и основания к верхушке гистограммы (О/В) (рис. 2).

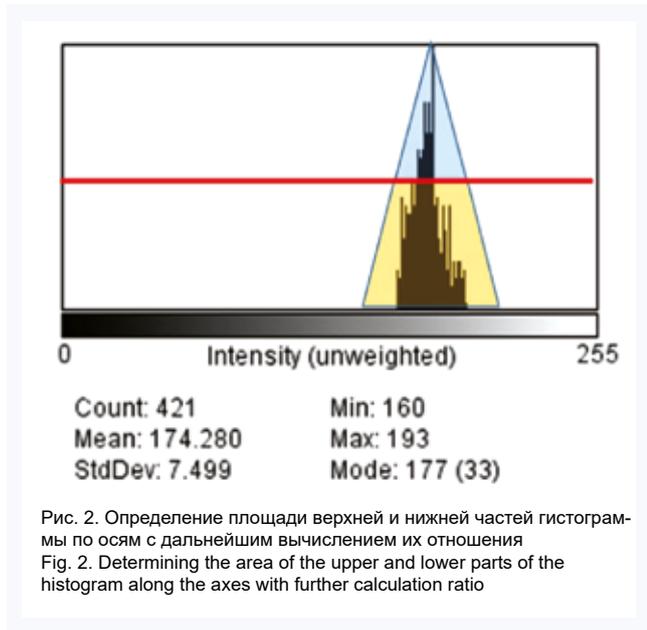


Рис. 2. Определение площади верхней и нижней частей гистограммы по осям с дальнейшим вычислением их отношения
Fig. 2. Determining the area of the upper and lower parts of the histogram along the axes with further calculation ratio

Статистическая обработка данных выполнена с использованием электронных таблиц Microsoft Excel, программ IBM SPSS STATISTIC версии 26. Оценка статистической значимости различий осуществлялась с применением критерия U-Манна – Уитни, выполнен корреляционный анализ Спирмена. Проведен ROC-анализ прогностических показателей нарушения функции печени.

Результаты

У всех пациентов I группы функция печени оценивалась в 6 баллов, используя ШВФП, тогда как у пациентов группы с циррозом печени на фоне наличия регенераторных, диспластических узлов определялось неравномерное и сниженное накопление КВ. У 36 пациентов (69%) количество баллов составило 5–6, что свидетельствует об удовлетворительной функции печени. У 16 пациентов (31%) количество баллов колебалось от 2 до 4, что свидетельствовало о снижении функции печени и замедлении выведения КВ (рис. 3).

В обеих группах выявлены статистически значимые различия показателей RE и CEI. RE составил $2,1 \pm 0,5$ у пациентов I группы и $1,3 \pm 0,6$ у пациентов II группы ($p < 0,001$). CEI в группах сравнения определен в значениях $3,3 \pm 0,5$ и $2,3 \pm 0,6$ соответственно ($p < 0,001$), рисунок 4.

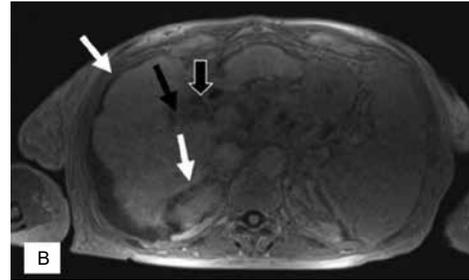
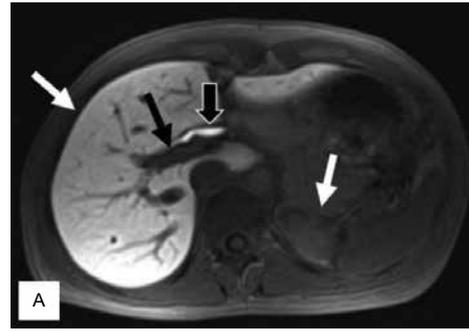


Рис. 3. Определение функции печени по системе ШВФП в гепатобилиарную фазу на 20-й мин после контрастирования. А. ШВФП = 6 баллов, нормальная функция печени. Белые стрелки – показатель ПП – 2 балла, Черная стрелка – ВВ (воротная вена) – 2 балла, Черная стрелка с белым контуром – ЖП – 2 балла; В. ШВФП = 3 балла, сниженная функция печени, цирроз печени. Белые стрелки – показатель ПП – 1 балл, Черная стрелка – ВВ – 2 балла, Черная стрелка с белым контуром – ЖП – 0 баллов

Fig. 3. Determination of liver function according to the FLIS in the hepatobiliary phase at 20 minutes after intravenous enhancement. A. FLIS = 6 points, normal liver function. White arrows: PL index – 2 points. Black arrow: portal vein (VP) – 2 points. Black arrow with a white outline: BD – 2 points. B. FLIS = 3 points, reduced liver function, liver cirrhosis. White arrows: PL indicator – 1 point. Black arrow: VP – 2 points. Black arrow with a white outline: BD – 0 points

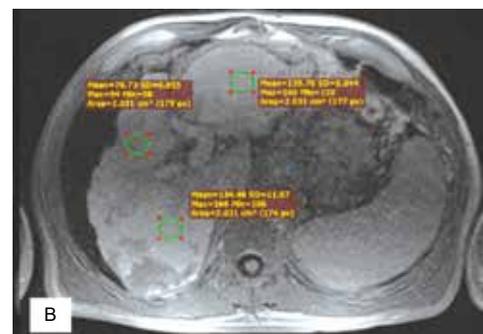
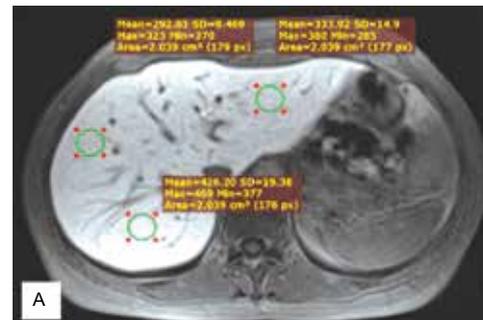


Рис. 4. А. Пациент 44 лет. Структура и функция печени не изменена. В. Пациент 56 лет, цирроз печени, функция печени снижена
Fig. 4. A. Patient aged 44 years. The structure and function of the liver are unchanged. B. Patient aged 56 years, liver cirrhosis, reduced liver function

Индекс Печень/СМ у пациентов I группы $1,5 \pm 0,3$ отличался от значений во II группе $0,7 \pm 0,4$ ($p < 0,001$), превышая его почти в 2 раза. Разница наблюдалась в индексах Печень/Селезенка и Печень/Почки: в I группе $2,6 \pm 0,6$ и $1,5 \pm 0,4$, против $1,4 \pm 0,7$ и $0,6 \pm 0,4$, $p < 0,001$ во II группе (табл. 2).

Таблица 2. Средние значения показателей RE, CEI, индексов Печень/Скелетная мускулатура М, Печень/Селезенка, Печень/Почки у пациентов двух групп

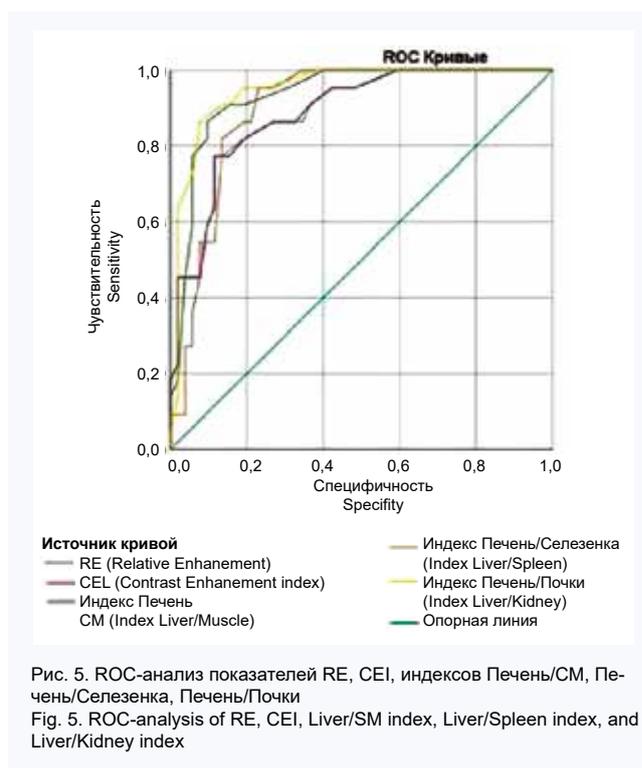
Table 2. Average values of RE, CEI, Liver/SM index, Liver/Spleen index, and Liver/Kidney index in patients of two groups

| Показатели Parameters | I группа Group I | II группа Group II | <i>p</i> |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|------------|
| RE Relative enhancement | $2,1 \pm 0,5$; | $1,3 \pm 0,6$ | $< 0,0001$ |
| CEI Contrast enhancement index | $3,3 \pm 0,5$ | $2,3 \pm 0,6$ | $< 0,0001$ |
| Печень/СМ Liver/Muscle | $1,5 \pm 0,3$ | $0,7 \pm 0,4$ | $< 0,0001$ |
| Печень/Селезенка Liver/Spleen | $2,6 \pm 0,6$ | $1,4 \pm 0,7$ | $< 0,0001$ |
| Печень/Почки Liver/Kidney | $1,5 \pm 0,4$ | $0,6 \pm 0,4$ | $< 0,0001$ |

У пациентов с циррозом были выявлены статистически значимые прямые корреляционные связи ИС паренхимы печени с индексами Печень/СМ ($r_{xy} = 0,915$; $p = 0,001$), Печень/Селезенка ($r_{xy} = 0,842$; $p = 0,001$), Печень/Почки ($r_{xy} = 0,822$; $p = 0,001$). При визуальной оценке МР томограмм в ГБФ у них наблюдалась узловая структура печени и обширные зоны сливного фиброза, в которых не было зафиксировано накопления гепатотропного КВ.

Исследуемые в АСИ параметры показали высокую предсказательную способность по данным ROC-анализа (рис. 5, табл. 3).

По данным ROC-анализа, предсказательная способность модели была высокой для среднего значения



гистограмм при пороговом значении 76,8 с чувствительностью 100% и специфичностью 70%. Площадь под кривой была 1,0; ДИ 95% [1,0; 1,0], что соответствует высокой прогностической модели по шкале экспертных оценок. Площадь под кривой у О/В составила 0,865 [0,698; 1,032] при пороговом значении 2,2 с чувствительностью 100% и специфичностью 70%. Площадь под кривой у ОПОГ/В – 0,76 [0,531; 0,989] при пороговом значении 719,9 с чувствительностью 90% и специфичностью 100%.

При АГ значимое различие отношения О/В и В/О гистограммы наблюдалось у пациентов I и II групп: $4,8 \pm 1,6$ и $2,7 \pm 1,1$; ($p < 0,05$); $0,2 \pm 0,08$ и $0,5 \pm 0,5$ ($p < 0,05$), рисунок 6.

Таблица 3. Данные ROC-анализа показателей RE, CEI, индексов Печень/Скелетная мускулатура, Печень/Селезенка, Печень/Почки у пациентов обеих групп

Table 3. ROC analysis data of RE, CEI, Liver/SM index, Liver/Spleen index, and Liver/Kidney index in patients of two groups

| Параметры Options | AUC ¹ Area under the curve | 95% ДИ ² 95% confidence interval | Пороговое значение Cut-off value | Чувствительность, % Sensitivity, % | Специфичность, % Specificity, % |
|-----------------------------------|--|--|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| RE Relative enhancement | 0,886 | [0,809; 0,964] | 0,850 | 100 | 75 |
| CEI Contrast enhancement index | 0,886 | [0,809; 0,964] | 1,850 | 100 | 75 |
| Печень/СМ Liver/Muscle | 0,934 | [0,877; 0,990] | 0,35 | 100 | 80 |
| Печень/Селезенка Liver/Spleen | 0,899 | [0,829; 0,968] | 0,75 | 100 | 81 |
| Печень/Почки Liver/Kidney | 0,950 | [0,901; 0,999] | 0,35 | 100 | 71 |

¹ AUC – площадь под кривой.

² ДИ – доверительный интервал.

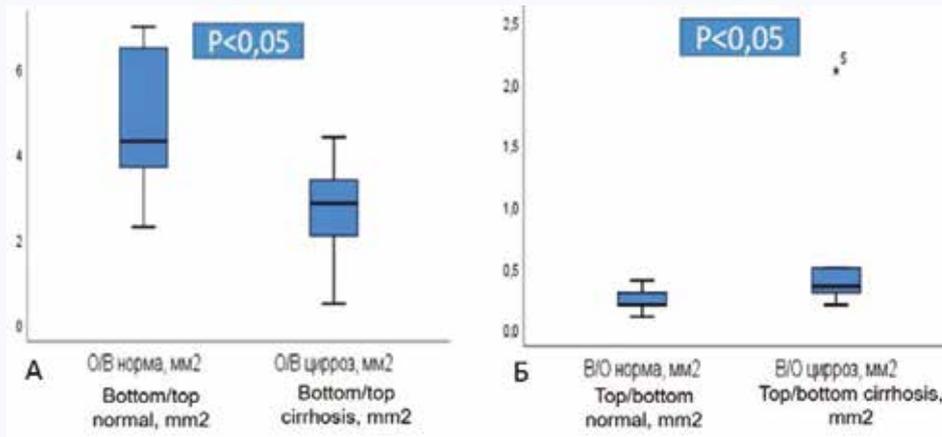


Рис. 6. Ящечные диаграммы для независимых выборок для I и II групп ($p < 0,005$). А. Основание/верхушка гистограммы, В. Верхушка/основание гистограммы
 Fig. 6. Box plots for independent samples for groups 1 and 2 ($p < 0.005$).
 A. Histogram bottom/top. B. Histogram top/bottom

Обсуждение

Высокие показатели заболеваемости ХЗП, приводящие к развитию фиброза и цирроза, определяют поиск своевременных и современных подходов к их диагностике. Для уточнения степени изменений и динамического наблюдения с помощью МРТ печени с ГК предложены методики определения функции печени. Вычислением параметров RE, CEI, индексов Печень/СМ, Печень/Селезенка, Печень/Почки количественно отображается степень снижения функции печени, а построенные гистограммы визуально представляют распределение ГК в печени с демонстрацией выраженности фиброзных изменений.

При сохраненной функции печень на МР-изображениях с ГК в ГБФ выглядит яркой и однородной. При ге-

патите за счет некроза в печени происходит уменьшение количества гепатоцитов, появляется воспалительная инфильтрация клеток в паренхиме, структура печени изменяется, происходит перестройка печеночных долек, а при прогрессировании процесса формируется фиброз. Это находит свое отражение в неоднородном накоплении ГК паренхимой печени [11–13].

МРТ с ГК доказала свою эффективность для оценки как глобальной, так и региональной функции, и исследования показали, что она является более надежным прогностическим фактором, чем клиренс индоцианина зеленого (ICG) [14, 15]. Принимая во внимание полученные результаты, разработан алгоритм (рис. 7), по которому после проведения мультипараметрического МРТ можно оценить функцию печени.

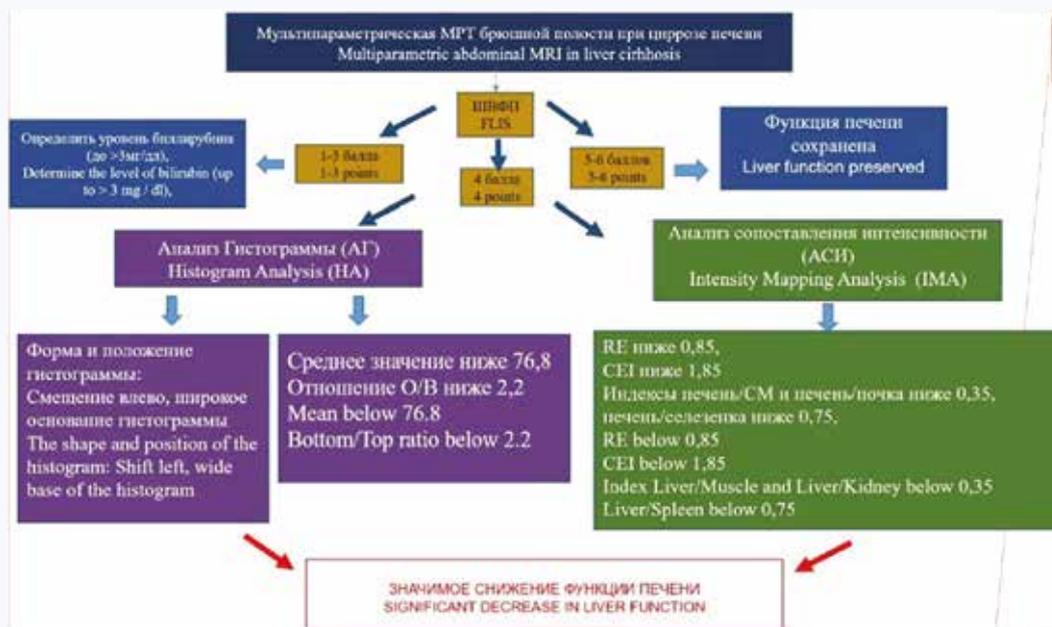


Рис. 7. Алгоритм оценки функции печени по данным мультипараметрического МРТ исследования
 Fig. 7. Algorithm for assessing liver function based on data of multiparametric MRI study

С учетом уровня билирубина и степени билиарной гипертензии по данным МРТ в ГБФ на 20-й мин производится последовательный анализ ШВФП, АИС и АГ. При сумме баллов 1–3 стоит говорить о сниженной функции печени и необходимости принятия лечебных мер по восстановлению функции печени. Сумма баллов 4 является пограничным значением, что требует более детального дальнейшего обследования на большей группе пациентов. ШВФП 5–6 баллов говорит о сохранной функции печени.

У пациентов с суммой баллов 4–1 вычисляются показатели RE, CEI, индексы Печень/СМ, Печень/Селезенка, Печень/Почка, проводится построение и анализ гистограмм. При пороговых значениях RE ниже 0,85; CEI ниже 1,85 (чувствительность – 100%, специфичность – 75%), индексов Печень/СМ, Печень/Селезенка, Печень/Почки 0,35; 0,75; 0,35 соответственно следует сделать вывод

о наличии функционального дефицита (чувствительность – 100%, специфичность – 81%).

Выводы

Разработанная система оценки функции печени с использованием ШВФП, анализа сопоставления интенсивности (АСИ), анализа гистограмм (АГ) по данным МРТ с ГК позволяет определить наличие функционального дефицита у пациентов с циррозом для формирования дальнейшей тактики лечения. Критериями функционального дефицита печени на основании данных МРТ с ГК является снижение общего количества баллов по системе ШВФП 4 и ниже, значений RE ниже 0,85 и CEI ниже 1,38 с чувствительностью и специфичностью 100 и 75%, значений индексов Печень/СМ и Печень/Почки ниже 0,350, индекса Печень/Селезенка ниже 0,750 с чувствительностью и специфичностью 100 и 81% у пациентов с циррозом.

Литература

1. Moon A.M., Singal A.G., Tapper E.B. Contemporary epidemiology of chronic liver disease and Cirrhosis. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* 2020;18(12):2650–2666. DOI: 10.1016/j.cgh.2019.07.060.
2. Шимановский Н.Л. Оценка морфологических изменений и функции гепатобилиарной системы функции гепатобилиарной системы с помощью гадоксетовой кислоты (Примовиста). *Анналы хирургической гепатологии.* 2014;19(2):42–48.
3. Шориков М.А., Сергеева О.Н., Кашкадаева А.В., Аверина С.Г., Лаптева М.Г., Францев Д.Ю. и др. Функциональная оценка печени у пациентов с заболеваниями желчных протоков с помощью гадоксетовой кислоты по сравнению с «золотым стандартом» – гепатобилисцинтиграфией. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2019;100(4):200–208. DOI: 10.20862/0042-4676-2019-100-4-200-208.
4. Verloh N., Haimerl M., Zeman F., Schlaebek M., Barreiros A., Loss M. et al. Assessing liver function by liver enhancement during the hepatobiliary phase with Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI at 3 Tesla. *Eur. Radiol.* 2014;24(5):1013–1019. DOI: 10.1007/s00330-014-3108-y.
5. Kim H., Park S.H., Kim E.K., Kim M.J., Park Y.N., Park H.J. et al. Histogram analysis of gadoxetic acid-enhanced MRI for quantitative hepatic fibrosis measurement. *PLoS One.* 2014;9(12):e114224. DOI: 10.1371/journal.pone.0114224.
6. Арутюнянц Д.Э., Ховрин В.В., Галян Т.Н., Куличкин А.С., Тарба Н.С., Филин А.В. и др. Определение функции печени с помощью магнитно-резонансной томографии. Современная объективная реальность. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2021;(6-2):89–94. DOI: 10.17116/hirurgia202106289.
7. Ba-Ssalamah A., Bastati N., Wibmer A., Fragner R., Hodge J., Trauner M. et al. Hepatic gadoxetic acid uptake as a measure of diffuse liver disease: Where are we? *J. Magn. Reson. Imaging.* 2017;45(3):646–659. DOI: 10.1002/jmri.25518.

References

1. Moon A.M., Singal A.G., Tapper E.B. Contemporary epidemiology of chronic liver disease and Cirrhosis. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* 2020;18(12):2650–2666. DOI: 10.1016/j.cgh.2019.07.060.
2. Shimanovsky N.L. Evaluation of morphological and functional changes of hepatobiliary system with gadoxetic acid (Primovist). *Annaly Khirurgicheskoy Gepatologii.* 2014;19(2):42–48. (In Russ.).
3. Shorikov M.A., Sergeeva O.N., Kashkadaeva A.V., Averina S.G., Lapteva M.G., Frantsev D.Yu. et al. Liver functional evaluation using gadoxetic acid versus the gold standard hepatobiliary scintigraphy in patients with bile duct diseases. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine.* 2019;100(4):200–208. DOI: 10.20862/0042-4676-2019-100-4-200-208. (In Russ.).
4. Verloh N., Haimerl M., Zeman F., Schlaebek M., Barreiros A., Loss M. et al. Assessing liver function by liver enhancement during the hepatobiliary phase with Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI at 3 Tesla. *Eur. Radiol.* 2014;24(5):1013–1019. DOI: 10.1007/s00330-014-3108-y.
5. Kim H., Park S.H., Kim E.K., Kim M.J., Park Y.N., Park H.J. et al. Histogram analysis of gadoxetic acid-enhanced MRI for quantitative hepatic fibrosis measurement. *PLoS One.* 2014;9(12):e114224. DOI: 10.1371/journal.pone.0114224.

8. Verloh N., Utpatel K., Haimerl M., Zeman F., Fellner C., Fichtner-Feig S. et al. Liver fibrosis and Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI: A histopathologic correlation. *Sci. Rep.* 2015;5:15408. DOI: 10.1038/srep15408.
9. Fujita N., Nishie A., Asayama Y., Ishigami K., Nakayama T., Ushijima Y. et al. Increased and more heterogeneous gadoxetic acid uptake of the liver parenchyma after hepatitis C virus eradication by direct antiviral A. *Magn. Reson. Med. Sci.* 2020;19(4):389–393. DOI: 10.2463/mrms.tn.2019-0183.
10. Asayama Y., Nishie A., Ishigami K., Ushijima Y., Takayama Y., Okamoto D. et al. Histogram analysis of noncancerous liver parenchyma on gadoxetic acid-enhanced MRI: Predictive value for liver function and pathology. *Abdom. Radiol (NY).* 2016;41(9):1751–1757. DOI: 10.1007/s00261-016-0753-4.
11. Wibmer A., Prusa A.M., Nolz R., Gruenberger T., Schindl M., Ba-Ssalamah A. Liver failure after major liver resection: Risk assessment by using preoperative gadoxetic acid-enhanced 3-T MR. *Imag. Radiol.* 2013;269(3):777–786. DOI: 10.1148/radiol.13130210.
12. Asenbaum U., Kaczirek K., Ba-Ssalamah A., Ringl H., Schwarz C., Waneck F. et al. Post-hepatectomy liver failure after major hepatic surgery: Not only size matters. *Eur. Radiol.* 2018;28(11):4748–4756. DOI: 10.1007/s00330-018-5487-y.
13. Poetter-Lang S., Bastati N., Messner A., Kristic A., Herold A., Hodge J.C. et al. Quantification of liver function using gadoxetic acid-enhanced MRI. *Abdom. Radiol (NY).* 2020;45(11):3532–3544. DOI: 10.1007/s00261-020-02779-x.
14. Yamada A., Hara T., Li F., Fujinaga Y., Ueda K., Kadoya M. et al. Quantitative evaluation of liver function with use of gadoxetate disodium-enhanced MR imaging. *Radiology.* 2011;260(3):727–733. DOI: 10.1148/radiol.11100586.
15. Kim D.K., Choi J.I., Choi M.H., Park M.Y., Lee Y.J., Rha S.E. et al. Prediction of posthepatectomy liver failure: MRI with hepatocyte-specific contrast agent versus indocyanine green clearance test. *AJR. Am. J. Roentgenol.* 2018;211(3):580–587. DOI: 10.2214/AJR.17.19206.

6. Arutyunyan D.E., Khovrin V.V., Galyan T.N., Kulichkin A.S., Tarba N.S., Filin A.V. et al. Magnetic resonance imaging in liver function analysis. Modern objective reality. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2021;(6-2):89–94. (In Russ.). DOI: 10.17116/hirurgia202106289.
7. Ba-Ssalamah A., Bastati N., Wibmer A., Fragner R., Hodge J., Trauner M. et al. Hepatic gadoxetic acid uptake as a measure of diffuse liver disease: Where are we? *J. Magn. Reson. Imaging.* 2017;45(3):646–659. DOI: 10.1002/jmri.25518.
8. Verloh N., Utpatel K., Haimerl M., Zeman F., Fellner C., Fichtner-Feig S. et al. Liver fibrosis and Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI: A histopathologic correlation. *Sci. Rep.* 2015;5:15408. DOI: 10.1038/srep15408.
9. Fujita N., Nishie A., Asayama Y., Ishigami K., Nakayama T., Ushijima Y. et al. Increased and more heterogeneous gadoxetic acid uptake of the liver parenchyma after hepatitis C virus eradication by direct antiviral A. *Magn. Reson. Med. Sci.* 2020;19(4):389–393. DOI: 10.2463/mrms.tn.2019-0183.

10. Asayama Y., Nishie A., Ishigami K., Ushijima Y., Takayama Y., Okamoto D. et al. Histogram analysis of noncancerous liver parenchyma on gadoxetic acid-enhanced MRI: Predictive value for liver function and pathology. *Abdom. Radiol (NY)*. 2016;41(9):1751–1757. DOI: 10.1007/s00261-016-0753-4.
11. Wibmer A., Prusa A.M., Nolz R., Gruenberger T., Schindl M., Ba-Ssalamah A. Liver failure after major liver resection: Risk assessment by using preoperative gadoxetic acid-enhanced 3-T MR. *Imag. Radiol*. 2013;269(3):777–786. DOI: 10.1148/radiol.13130210.
12. Asenbaum U., Kaczirek K., Ba-Ssalamah A., Ringl H., Schwarz C., Waneck F. et al. Post-hepatectomy liver failure after major hepatic surgery: Not only size matters. *Eur. Radiol*. 2018;28(11):4748–4756. DOI: 10.1007/s00330-018-5487-y.
13. Poetter-Lang S., Bastati N., Messner A., Kristic A., Herold A., Hodge J.C. et al. Quantification of liver function using gadoxetic acid-enhanced MRI. *Abdom. Radiol (NY)*. 2020;45(11):3532–3544. DOI: 10.1007/s00261-020-02779-x.
14. Yamada A., Hara T., Li F., Fujinaga Y., Ueda K., Kadoya M. et al. Quantitative evaluation of liver function with use of gadoxetate disodium-enhanced MR imaging. *Radiology*. 2011;260(3):727–733. DOI: 10.1148/radiol.11100586.
15. Kim D.K., Choi J.I., Choi M.H., Park M.Y., Lee Y.J., Rha S.E. et al. Prediction of posthepatectomy liver failure: MRI with hepatocyte-specific contrast agent versus indocyanine green clearance test. *AJR. Am. J. Roentgenol*. 2018;211(3):580–587. DOI: 10.2214/AJR.17.19206.

Информация о вкладе авторов

Сомова Д.Э. – концепция и разработка дизайна исследования, сбор, статистическая обработка полученных данных, проведение МРТ-исследований, интерпретация полученных данных, подготовка исходного варианта рукописи.

Галян Т.Н. – планирование методов получения результатов, проведение МРТ-исследований.

Куличкин А.С. – сбор, статистическая обработка полученных данных, подготовка исходного варианта рукописи.

Филин А.В. – редактирование текста рукописи.

Ховрин В.В. – концепция и разработка дизайна исследования, редактирование текста рукописи.

Все авторы дали окончательное согласие на подачу рукописи и согласились нести ответственность за все аспекты работы, ругаясь за их точность и безупречность.

Сведения об авторах

Сомова Дана Эдуардовна, врач-рентгенолог, аспирант отделения рентгенодиагностики и компьютерной томографии, Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского. ORCID 0000-0002-7596-4029.

E-mail: dana.aryt@yandex.ru.

Галян Татьяна Николаевна, канд. мед. наук, заведующий отделением рентгенодиагностики и компьютерной томографии, Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского. ORCID 0000-0003-4751-5119.

E-mail: galmedi05@gmail.com.

Куличкин Алексей Станиславович, врач-рентгенолог, Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского. ORCID 0000-0003-1256-560X.

E-mail: a.kulichkin@yandex.ru.

Филин Андрей Валерьевич, д-р мед. наук, заведующий отделением пересадки печени, Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского. ORCID 0000-0003-4205-5627.

E-mail: docfilin@inbox.ru.

Ховрин Валерий Владиславович, д-р мед. наук, главный научный сотрудник, отделения рентгенодиагностики и компьютерной томографии, Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского. ORCID 0000-0002-6720-4126.

E-mail: mdct2001@yandex.ru.

 **Сомова Дана Эдуардовна**, e-mail: dana.aryt@yandex.ru.

Information on author contributions

Somova D.E. – concept and design of the study, collecting clinical data, carrying out MRI studies, statistical processing of data, interpretation of obtained data, and preparation of the initial version of the manuscript.

Galyan T.N. – methodological support and carrying out MRI studies.

Kulichkin A.S. – collecting clinical data and preparation of the initial version of the manuscript.

Filin A.V. – editing the manuscript.

Khovrin V.V. – concept and design of the study and editing the manuscript.

All authors have given their final consent to the submission of manuscript and agreed to be responsible for all aspects of work vouching for their accuracy and flawlessness.

Information about the authors

Dana E. Somova, Radiologist, Postgraduate, Department of Diagnostic Radiology and Computed Tomography, Petrovsky National Research Center of Surgery. ORCID 0000-0002-7596-4029.

E-mail: dana.aryt@yandex.ru.

Tatyana N. Galyan, Cand. Sci. (Med.), Head of Department of Diagnostic Radiology and Computed Tomography, Petrovsky National Research Center of Surgery. ORCID 0000-0003-4751-5119.

E-mail: galmedi05@gmail.com.

Aleksey S. Kulichkin, Radiologist, Department of Diagnostic Radiology and Computed Tomography, Petrovsky National Research Center of Surgery. ORCID 0000-0003-1256-560X.

E-mail: a.kulichkin@yandex.ru.

Andrey V. Filin, Dr. Sci. (Med.), Head of Liver Transplant Department, Petrovsky National Research Center of Surgery. ORCID 0000-0003-4205-5627.

E-mail: docfilin@inbox.ru.

Valeriy V. Khovrin, Dr. Sci. (Med.), Chief Researcher, Department of Diagnostic Radiology and Computed Tomography, Petrovsky National Research Center of Surgery. ORCID 0000-0002-6720-4126.

E-mail: mdct2001@yandex.ru.

 **Dana E. Somova**, e-mail: dana.aryt@yandex.ru.

Received April 22, 2022

Поступила 22.04.2022