



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья.

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2021-5-39-53>

Приоритет проведения исследования печени на свободном дыхании на 3,0 Тл магнитно-резонансном томографе у детей с тяжелой перегрузкой железом

Э. Э. Манжурцева*,¹, Г. В. Терещенко¹, Д. А. Куприянов^{1,2}, Г. А. Новичкова¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева»

Минздрава России, Москва

² Philips «Здравоохранение», Москва

Реферат

Целью исследования являлось сравнение информативности и особенностей сканирования импульсных последовательностей 3Тл-mGRE на задержке дыхания и 3Тл-uTE на свободном дыхании в определении содержания железа в печени у детей с различными степенями перегрузки железом. 108 пациентам в возрасте от 3 до 17 лет с вторичной перегрузкой железом на фоне регулярных гемотрансфузий было проведено МРТ-исследование на 3Тл МР-томографе с использованием специализированных последовательностей для получения релаксометрических карт, на основании которых определялось содержание железа в печени: 3Тл-mGRE и 3Тл-uTE. Была выполнена оценка качества изображений, полученных при помощи последовательностей 3Тл-mGRE и 3Тл-uTE путем определения соотношения сигнал-шум (SNR). Было получено, что SNR 3Тл-uTE был выше в 8 раз, чем SNR 3Тл-mGRE. Помимо этого было выявлено, что для пациентов с перегрузкой железом менее 25 мг/г последовательности 3Тл-mGRE и 3Тл-uTE показали одинаковую эффективность в определении железа в печени ($r = 0,99$, $p = 0,54$). Концентрацию железа в печени у пациентов с крайне тяжелой перегрузкой железом удалось посчитать только по релаксометрическим картам 3Тл-uTE вследствие высокой ошибки аппроксимации результатов при получении карт 3Тл-mGRE. Полученные данные демонстрируют возможность исполь-

* Манжурцева Эвелина Эдуардовна, младший научный сотрудник, врач-рентгенолог рентгенологического отделения ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Минздрава России.

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Саморы Машела, 1.

Тел.: +7 (916) 113-39-45. Электронная почта: evelina.manzhurceva@fccho-moscow.ru

ORCID.org/0000-0002-0014-9345

Manzhurtseva Evelina Eduardovna, junior researcher, Radiologist, Radiology department, Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology

Address: 1, Samory Mashela, 117997, Moscow, Russia.

Phone number: +7 (916) 113-39-45. E-mail: evelina.manzhurceva@fccho-moscow.ru

ORCID.org/0000-0002-0014-9345

© Э. Э. Манжурцева, Г. В. Терещенко, Д. А. Куприянов, Г. А. Новичкова.

зования последовательности 3Тл-mGRE для определения концентрации железа в печени ниже 25 мг/г. Однако при крайне тяжелой перегрузке железом целесообразнее использовать последовательность 3Тл-uTE.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, перегрузка железом, T2*-картирование, магнитно-резонансная релаксометрия, количественная оценка.

ORIGINAL ARTICLES

Scientific article.

Secondary Iron Overload in Pediatric Hematology: the Priority of Free-Breathing Liver Study at 3.0 T Magnetic Resonance Scanner in Children with Severe Iron Overload

E. E. Manzhurtseva^{*,1}, G. V. Tereshchenko¹, D. A. Kupriyanov², G. A. Novichkova¹

¹ Dmitry Rogachev National Medical Research Center Of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology

² Philips Healthcare, Moscow, Russia

Abstract

The aim of the study was to compare the effectiveness and scanning features of iron detection in the liver based on 3T MR scanner data using a breath holding and free breathing sequences in children with iron overload. 108 patients aged of 3 to 17 years with secondary iron overload associated with the regular blood transfusions underwent an MRI study on a 3.0 T MR scanner using specialized sequences for obtaining relaxometric maps: 3T-mGRE and 3T-uTE. The quality of the images received by the 3T-mGRE and 3T-uTE sequences was assessed by determining the signal-to-noise ratio (SNR). The SNR of 3T-uTE was found to be 8 times higher than the SNR of 3T-mGRE. In addition, it was found that for patients with an iron overload less than 25 mg/g the 3T-mGRE and 3T-uTE sequences showed the same efficacy in iron detection in the liver ($r = 0.99$, $p = 0.54$). The concentration of iron in the liver in patients with extremely severe iron overload could be calculated only using 3T-uTE relaxometric maps due to the high approximation error of the results obtaining by 3T-mGRE maps. These data demonstrate the possibility of using the 3T-mGRE sequence to determine the concentration of iron in the liver below 25 mg/g. However, with extremely severe iron overload, it is better to use the 3T-uTE sequence.

Key words: Magnetic Resonance Imaging, Iron Overload, T2*-Mapping, Magnetic Resonance Relaxometry, Quantitative Assessment.

Актуальность

Перегрузка железом (МКБ-10: E83.1 – нарушения обмена железа) ведет к серьезным проблемам со здоровьем у пациентов, находящихся на регулярной трансфузионной терапии. Перегрузка железом — это состояние, обусловлен-

ное аномальным накоплением железа в печени, сердце, селезенке, гипофизе, поджелудочной железе, паращитовидных железах и гонадах, что приводит к токсичности и дисфункции данных органов и может приводить к возникно-

вению таких заболеваний, как кардиомиопатия, цирроз печени, диабет, артрит, гипогонадизм и др. [5]. При таких заболеваниях крови, как β -талассемия, апластическая анемия, серповидноклеточная анемия, миелодиспластический синдром и др., необходимы регулярные переливания крови с целью предотвращения развития жизнеугрожающих осложнений [12, 13]. Поскольку метаболизм железа отличается от метаболизма других металлов, а именно отсутствует физиологический механизм его выведения из организма, множественные гемотрансфузии приводят к токсическому накоплению железа в органах-мишенях, а особенно в печени. Для выведения избыточного количества железа из организма применяется хелаторная терапия, для определения эффективности которой требуется постоянный мониторинг железа в организме [2].

В последние два десятилетия для измерения концентрации железа в печени стали использовать метод магнитно-резонансной томографии (МРТ), который в отличие от общепринятого метода биопсии печени является неинвазивным, легко воспроизводимым и доступным [7]. Гемосидерин обладает парамагнитными свойствами и вызывает локальные возмущения магнитного поля, что увеличивает скорость релаксации протонов [7]. Следовательно, чем больше содержание железа в ткани, тем меньше значение $T2^*$ [1].

Существует несколько методик оценки содержания железа в печени при помощи МРТ [1, 4, 10]. Одна из них основана на оценке концентрации железа в печени путем измерения скорости поперечной релаксации в ткани печени $R2^*$ [8]. Сопоставление значений концентрации железа по данным биопсии и МРТ в

режиме $T2^*$ на 1,5 Тл МР-томографе показало отличную линейную корреляцию для перегрузки железом не более 25 мг/г сух. веса [1]. Однако технологии не стоят на месте, и в клинической практике все больше используются томографы с напряженностью магнитного поля 3,0 Тл.

Согласно литературным данным, для диагностики перегрузки железом чаще всего используют 1,5 Тл МР-томографы, поскольку на 3 Тл МР-томографах затухание сигнала происходит быстрее [4]. Тем не менее для обследования пациентов с перегрузкой железом выше 25 мг/г необходимо использовать последовательности с большим динамическим диапазоном, которые доступны для 3,0 Тл МР-томографов, что говорит о необходимости создания достоверных методик подсчета на 3,0 Тл [6]. Использование томографа с индукцией магнитного поля 3,0 Тл позволяет применять быстрые последовательности с малыми значениями времени эха, что дает возможность с более высокой точностью определять концентрацию железа в паренхиме печени у пациентов с высокой степенью перегрузки железом [9].

Главный недостаток метода МРТ в педиатрии — это необходимость проведения исследования маленьким пациентам с использованием анестезиологического пособия. В клинической практике для получения $T2^*$ релаксометрических карт используется последовательность мультиградиентного эха-mGRE, которая требует от пациента задерживать дыхание. Основываясь на нашем опыте, пациенты до 7 лет за редким исключением способны методично задерживать дыхание на 8–12 с. Как следствие, для данной группы пациентов использование последовательности mGRE без применения анестезиологического пособия

невозможно ввиду наличия большого количества артефактов от дыхания, затрудняющих обработку данных релаксометрических карт [11].

Последовательности с ультракоротким временем эха-иTE — позволяют проводить исследование печени на свободном дыхании, а ввиду малых значений времени эха подходят для мониторинга концентрации железа в печени у пациентов с тяжелой перегрузкой железом [15].

Цель: сравнение информативности и особенностей сканирования импульсных последовательностей 3Тл-mGRE на задержке дыхания и 3Тл-иTE на свободном дыхании в определении содержания железа в печени у детей с различными степенями перегрузки железом.

Материалы и методы

Характеристика исследуемой группы

В исследовании принимали участие 108 пациентов в возрасте от 2 до 17 лет (медиана — 8 лет), находившихся на лечении в Национальном медицинском исследовательском центре детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева Минздрава России в период с 2017 по 2020 г. с диагнозами: бета-талассемия ($n = 55$), анемия Даймонда – Блекфана ($n = 16$), наследственная гемолитическая анемия неуточненная ($n = 16$), дизэритропоэтическая анемия 1-го типа ($n = 7$), приобретенная апластическая анемия ($n = 14$). Соотношение между мальчиками и девочками составило 2 : 1. Перед началом исследования было получено разрешение на его проведение от локального этического комитета Национального медицинского исследовательского центра детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева Минздрава России. Родители

всех пациентов предоставили письменное информированное согласие на участие в исследовании.

На основании классификации степеней гемосидероза печени пациенты были распределены на 4 группы: I группа ($\{Fe\} \leq 2,0$ мг/г) — 16 пациентов, II ($\{Fe\} = 2 - 7,0$ мг/г) — 28 пациентов, III ($\{Fe\} = 7,01 - 15,0$ мг/г) — 30 пациентов, IV ($\{Fe\} \geq 15,1$ мг/г) — 34 больных. Пациенты с IV грейдом сидероза были разделены на подгруппы, основываясь на тяжести перегрузки железом: а (менее 25 мг/г) — 28 человек, б (более 25 мг/г) — 11 человек.

Протокол сканирования

Всем пациентам было проведено исследование на МР-томографе Philips Achieva с индукцией магнитного поля 3,0 Тл, с использованием поверхностной 16-канальной катушки для сканирования тела.

Сканирование проводилось на свободном дыхании с использованием программы ультракороткого градиентного эха (иTE – ultra-fast gradient echo). Сравнение данных пациентов проводилось с данными сканирования на задержке дыхания с использованием последовательности быстрого градиентного эха (mGRE – multi-phase fast gradient echo) путем создания множественных эхосигналов. Последовательность 3Тл-иTE выполнялась на свободном дыхании, углом наклона вектора намагниченности 25° , 8 эхосигналами, радиальным заполнением k-пространства (рис. 1), временем повтора $TR \approx 16$ мс, временем эха $TE = 0,14$ мс, $\Delta TE \approx 0,9$ мс и разрешением $0,8 \times 0,8 \times 4$ мм. Последовательность 3Тл-mGRE выполнялась с 12-секундной задержкой дыхания, углом наклона вектора намагниченности 25° , 8 эхосигналами, де-

картовым заполнением k -пространства (рис. 2), временем повтора $TR \approx 75$ мс, временем эха $TE = 1$ мс, $TE \approx 0,9$ мс и разрешением $1,5 \times 1,5 \times 7$ мм.

Анализ изображений

Анализ $T2^*$ -карты был проведен автоматически с помощью программного приложения на базе IDL 6.3 (рис. 3).

Средние значения $T2^*$ были измерены в областях интереса одинакового размера в паренхиме печени на уровне 10 межреберья для обеих исследуемых методик для всех пациентов.

Качество изображения оценивалось путем измерения соотношения сигнал-шум (SNR) по следующей формуле:

$$SNR = SI (\text{печень}) / SD (\text{фон}),$$

где SI (печень) — значение измеренной интенсивности сигнала в области интереса в паренхиме печени, SD (фон) — стандартное отклонение фонового шума.

Статистическая обработка

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программного пакета GraphPad Prism 8.0.1 (GraphPad, США) и Office Excel 2018 (Microsoft, США). Среднее значение $T2^*$ и стандартное отклонение (SD) были рассчитаны для каждой области интереса. Среднее значение для каждого случая использовалось как оптимальная величина $T2^*$, а SD использовалось как мера неопределенности. Для всех пациентов было получено графическое соответствие между значениями $T2^*$. Для определения нормальности распределения были использованы тест Шапиро — Уилка и гистограмма распределения частот. Для данных, не подчиняющихся нормальному закону, был применен Т-критерий Вилкоксона и корреляционный анализ по Спирмену. Порог статистической значимости был установлен на уровне 0,001.

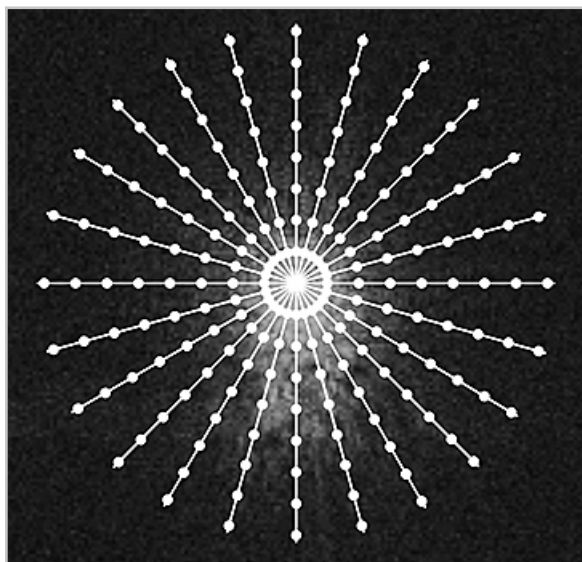


Рис. 1. 3Тл-иТЕ, радиальное заполнение k -пространства, $TR = 16$ мс, $TE = 0,14$ мс, $\Delta TE = 0,9$ мс; разрешение $0,8 \times 0,8 \times 4$ мм; на свободном дыхании

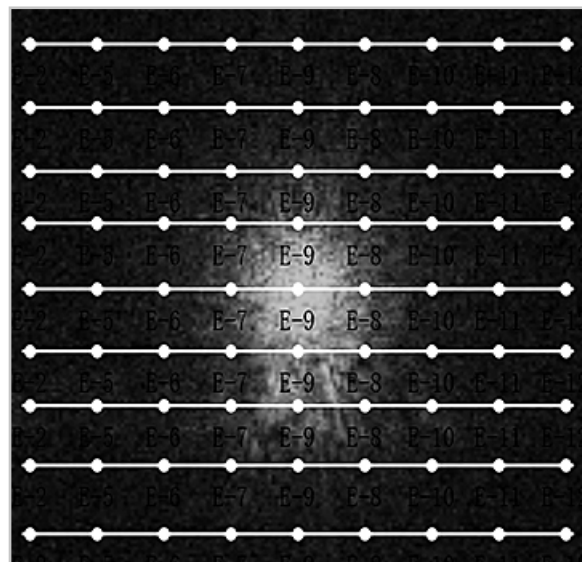


Рис. 2. 3Тл-mGRE, декартовое заполнение k -пространства, $TR = 350$ мс, $TE = 0,9$ мс, $\Delta TE = 0,9$ мс; разрешение $1,5 \times 1,5 \times 7$ мм; задержка дыхания 12 с

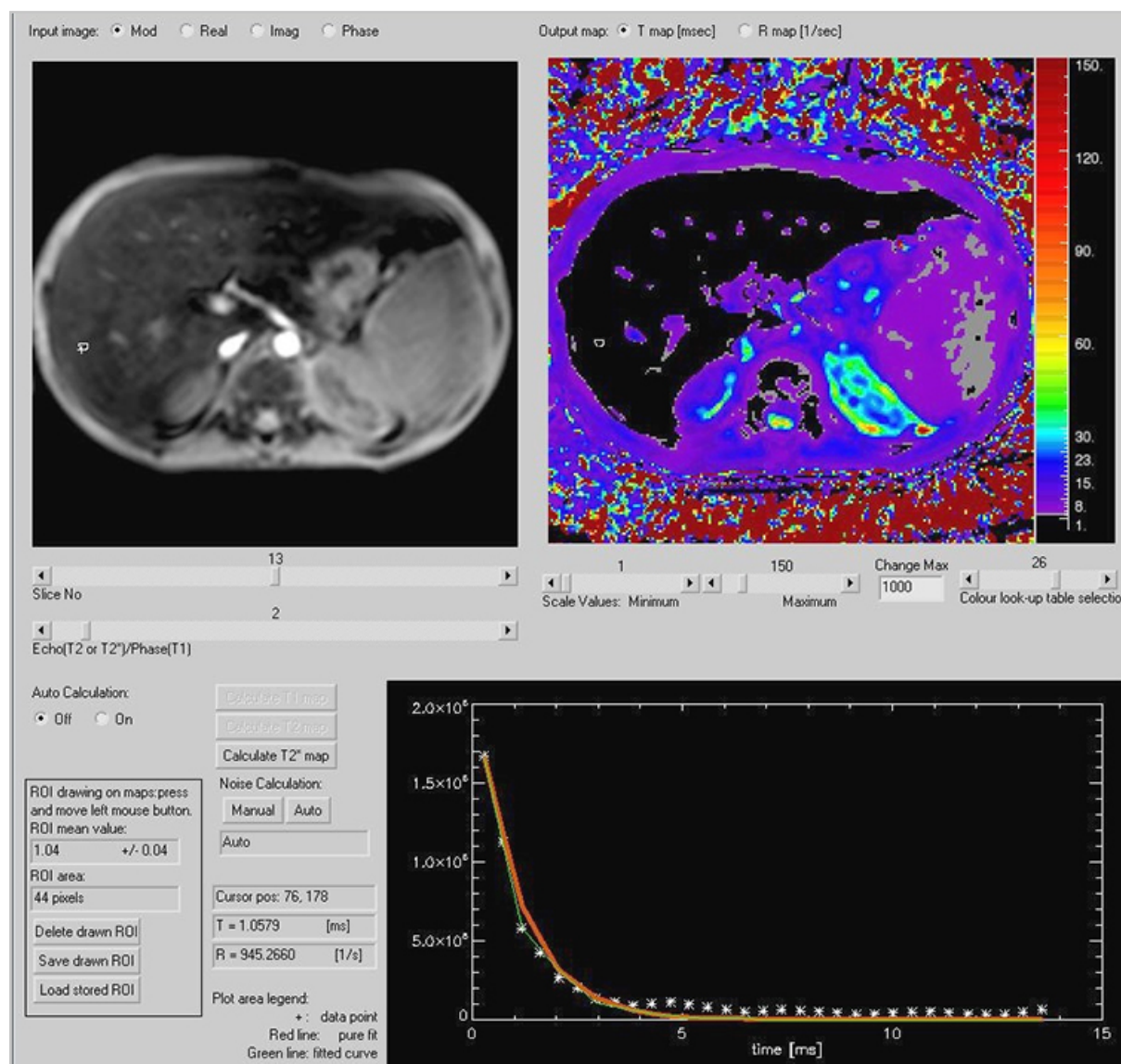


Рис. 3. Интерфейс программного приложения на базе IDL 6.3

Результаты и их обсуждение

Все пациенты успешно прошли МРТ-исследование без осложнений. Все данные были проанализированы, исключенных из анализа не было.

Первым этапом было проведение оценки качества изображений, полученных при помощи импульсных последовательностей 3Тл-mGRE и 3Тл-uTE путем определения SNR. Было получено, что SNR исследуемых импульсных

последовательностей отличались между собой с высоким уровнем значимости. Согласно значениям медиан и межквартильному размаху соотношение сигнал-шум импульсной последовательности 3Тл-uTE оказался выше в 8 раз, чем у импульсной последовательности 3Тл-mGRE, что говорит о более высоком качестве расчетных изображений, полученных с использованием импульсной последовательности 3Тл-uTE (рис. 4).

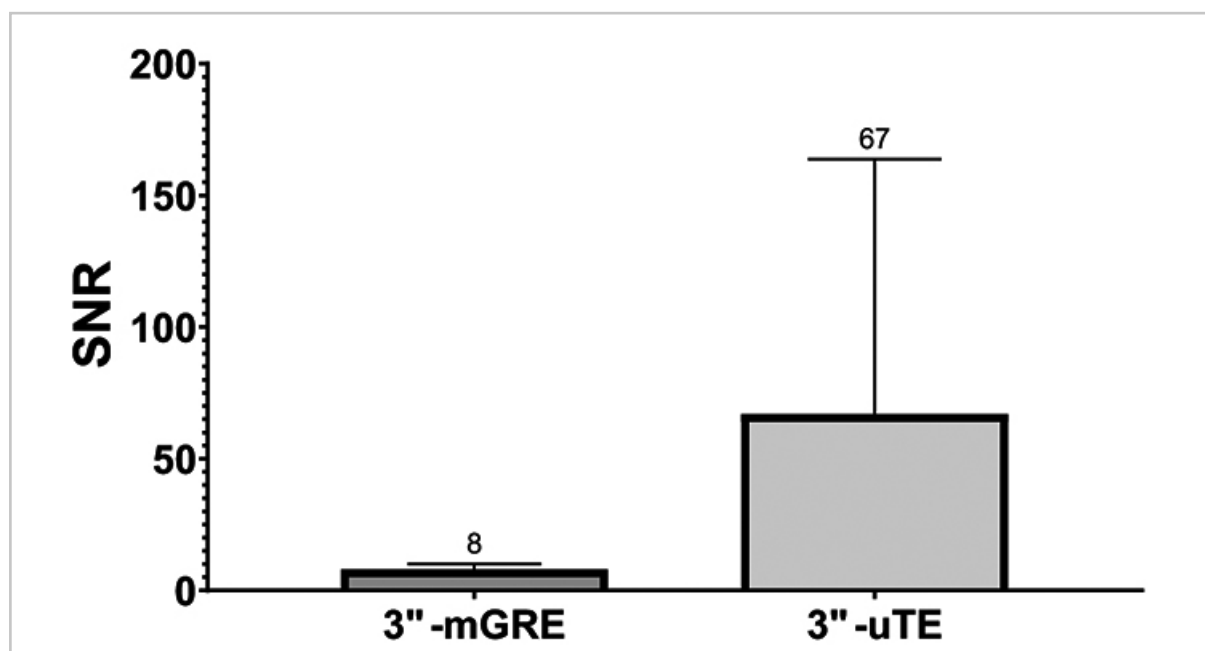


Рис. 4. SNR импульсных последовательностей 3Тл-mGRE и 3Тл-uTE. Планки погрешностей отражают межквартильный размах. Значения медиан указаны над планками погрешностей

**Значения T2* печени для импульсных последовательностей
3Тл-mGRE и 3Тл-uTE для четырех распределенных по клинической классификации
группах сидероза печени**

Группа пациентов согласно классификации сидероза печени	Медиана значений T2* для 3Тл-mGRE, мс	Интерквартильный размах (25 %, 75 %) значений T2* для 3Тл-mGRE, мс	Медиана значений T2* для 3Тл-uTE, мс	Интерквартильный размах (25 %, 75 %) значений T2* для 3Тл-uTE, мс)
Группа 1	10,7	8,5–11,9	10,9	8,4–11,3
Группа 2	3,1	2,6–3,8	3,0	2,8–3,8
Группа 3	1,1	0,95–1,4	1,1	0,92–1,3
Группа 4	0,73	0,6–0,86	0,7	0,6–0,8

В таблице продемонстрированы интерквартильные интервалы и медианы значений T2* печени, полученные методиками на задержке дыхания и свободном дыхании для четырех распределенных

по клинической классификации группах сидероза печени. На рисунке 5 (а, б) представлены примеры картирования, выполненные методиками на свободном дыхании с использованием импульсной

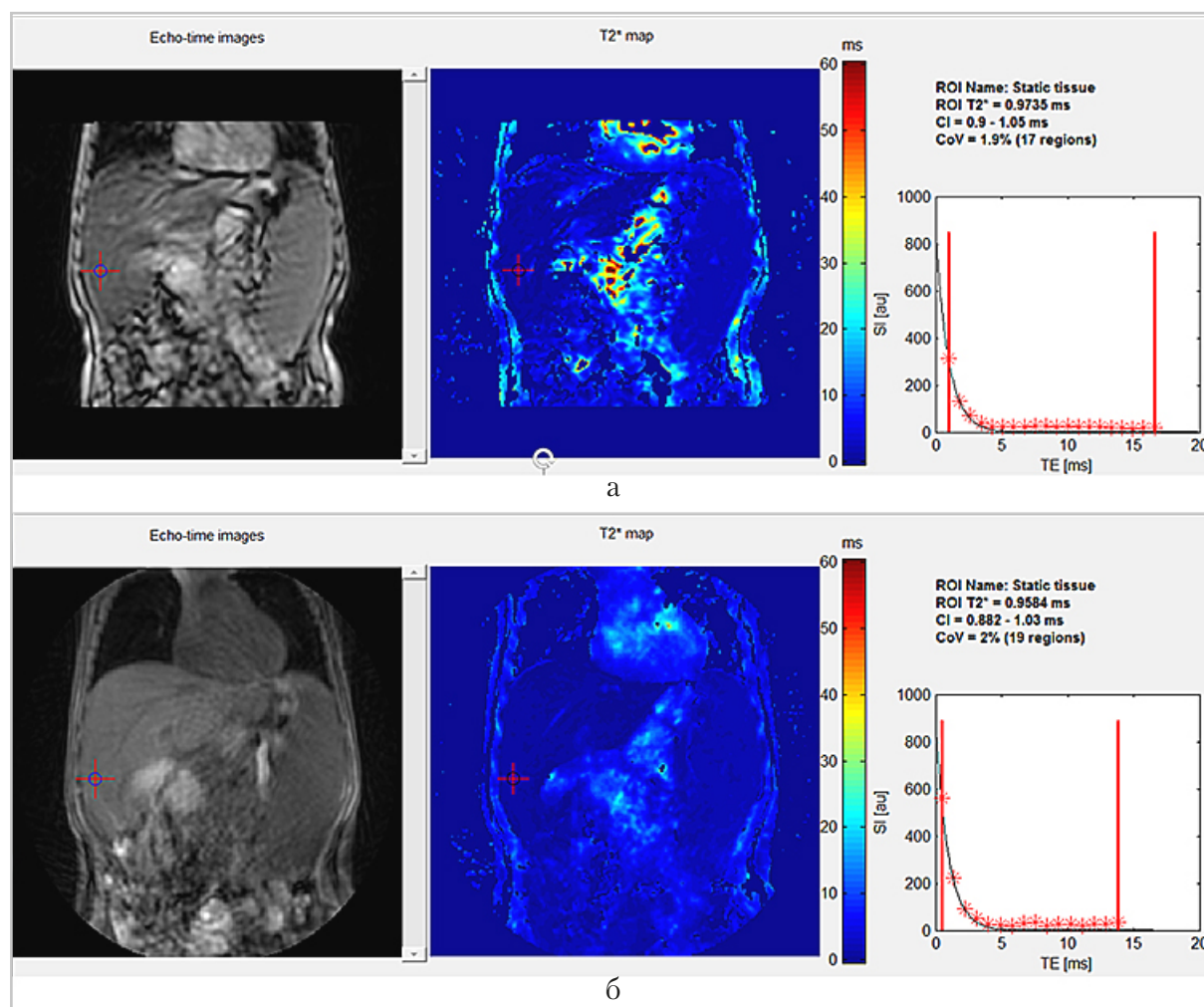


Рис. 5. T2*-карта печени, *а* — сканирование на задержке дыхания с использованием импульсной последовательности 3Тл-mGRE; *б* — сканирование на свободном дыхании с использованием импульсной последовательности 3Тл-uTE

последовательности 3Тл-uTE и на задержке дыхания с использованием импульсной последовательности 3Тл-mGRE.

Были выявлены зависимости между значениями T2*, полученные с использованием импульсных последовательностей 3Тл-mGRE и 3Тл-uTE для всех групп пациентов согласно клинической классификации степеней перегрузки железом (рис. 6, *а* — *з*).

Коэффициент корреляции в 1-й группе составил $r = 0,86$ ($n = 16$, $R^2 = 0,74$; $p < 0,001$, ДИ = 95 %).

Во 2-й группе — $r = 0,99$ ($n = 28$, $R^2 = 0,98$; $p < 0,001$, ДИ = 95 %).

В 3-й группе — $r = 0,96$ ($n = 30$, $R^2 = 0,92$; $p < 0,001$, ДИ = 95 %).

Количество пациентов с тяжелой перегрузкой железом, относящихся к 4-й группе, составило 31,0 % от общего числа обследуемых.

В 4-й группе получили умеренную связь, коэффициент корреляции составил $r = 0,6$ ($n = 34$, $R^2 = 0,36$; $p < 0,001$, ДИ = 95 %). При интерпретации значений, полученных на задержке

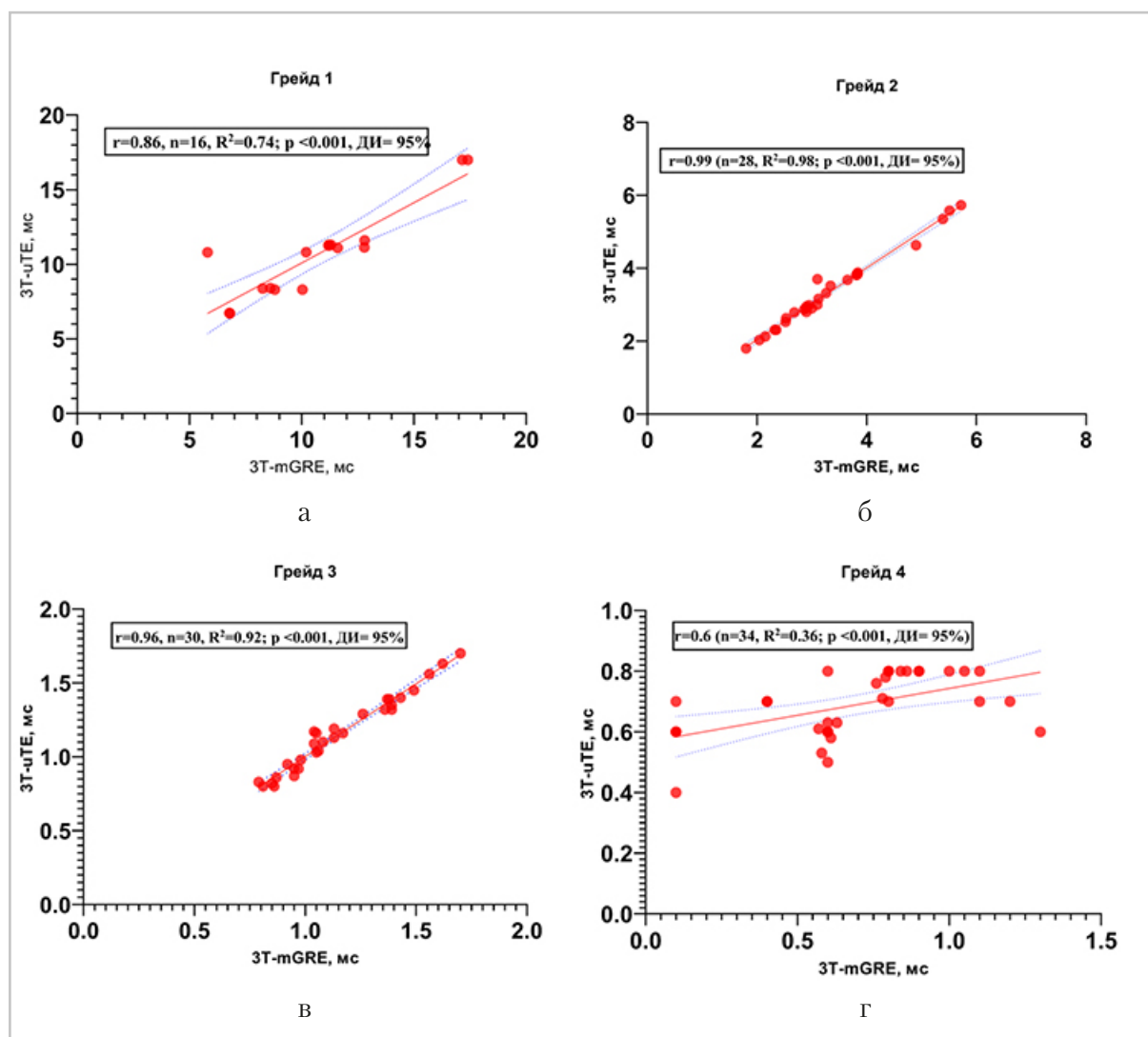


Рис. 6. Зависимости между значениями $T2^*$, полученные с использованием импульсных последовательностей ЗТл-mGRE и ЗТл-uTE, для четырех групп пациентов согласно клинической классификации степеней перегрузки железом: а — результаты в 1-й группе, б — результаты во 2-й группе, в — результаты в 3-й группе, г — результаты в 4-й группе

дыхания, у 28% пациентов из данной группы с перегрузкой железом выше 25 мг/г наблюдалась высокая средняя ошибка.

На рис. 7 представлен пример картирования с высокой средней ошибкой у пациента с крайне тяжелой перегрузкой железом. У 7 % пациентов из 4-й группы было получено выпадение МР-сигнала (рис. 8).

При исследовании на свободном дыхании вследствие маленького времени эха выпадения сигнала у пациентов из четвертой группы не наблюдалось.

Многие исследователи, как и мы в данной работе, сталкивались с выпадением МР-сигнала при оценке концентрации железа в печени у пациентов с перегрузкой железом выше 20–25 мг/г [9, 15].

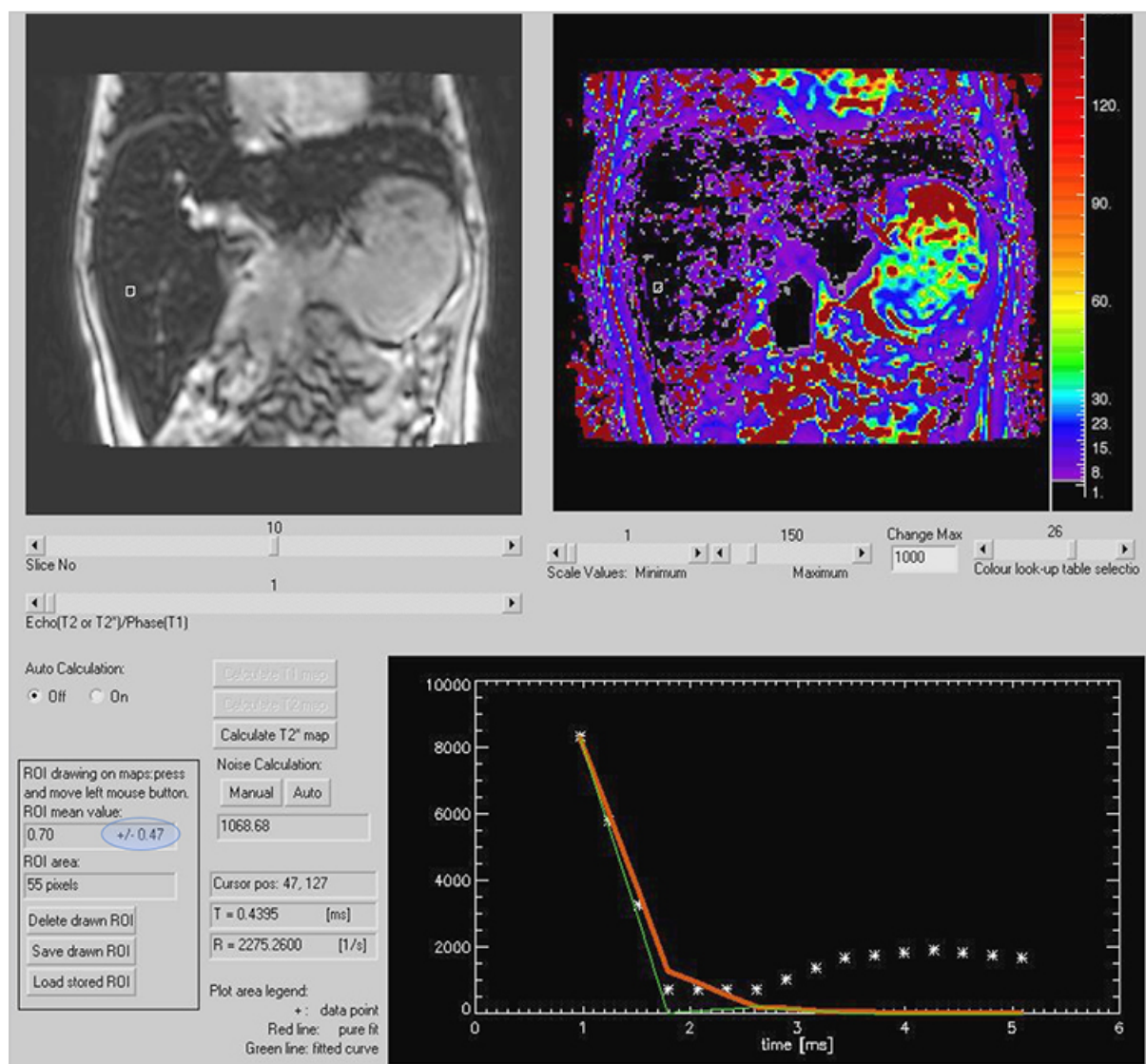


Рис. 7. Высокая средняя ошибка значения $T2^*$ на карте, полученной с использованием импульсной последовательности 3Тл-mGRE, у пациента с тяжелой перегрузкой железом

В 2018 году Eamon K. Doyle с соавт. опубликовали работу, выполненную на 23 пациентах, в которой была использована аналогичная последовательность 3Тл-uTE на свободном дыхании [6]. В данной работе авторы столкнулись проблемой заниженных результатов $T2^*$ -картирования, полученных с использованием импульсной последовательности на свободном дыхании для пациентов без перегрузки,

а также с легкой и средней перегрузкой железом печени [6]. Существует и несколько других публикаций, подтверждающих возможность использования данной методики, однако все они были выполнены на маленькой выборке [9, 14]. В нашей работе на большей выборке пациентов мы не выявили статистически достоверных различий между результатами картирования (значениями $T2^*$) у пациентов как

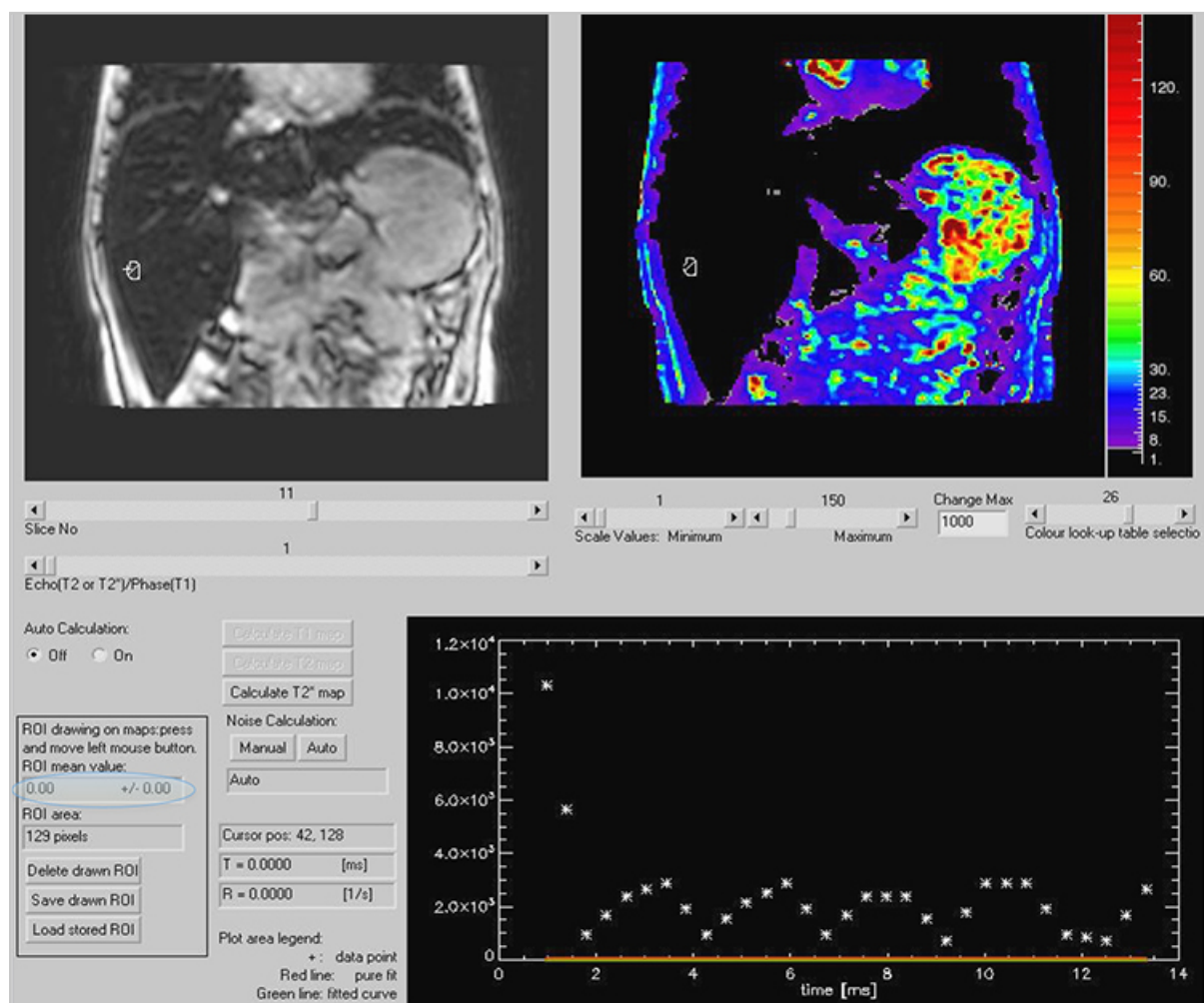


Рис. 8. Выпадение МР-сигнала на карте, полученной с использованием импульсной последовательности 3Тл-mGRE, у пациента с крайне тяжелой перегрузкой железом

без перегрузки, так и с легкой и средней перегрузкой железом печени.

Данный протокол сканирования помог в оптимизации исследований пациентов в возрасте от 2 до 7 лет, а в некоторых случаях позволил отказаться от использования анестезиологического пособия.

Наше исследование демонстрирует, что благодаря чувствительности последовательности 3Тл-uTE к высокой перегрузке железом печени стало возможно более точное определение концентрации железа в печени у детей. Проведение

МРТ на свободном дыхании позволит в дальнейшем сократить время и глубину наркоза, что является крайне важным в педиатрической практике [3, 8].

Заключение

Исследуемая в данной работе импульсная последовательность 3Тл-uTE позволяет получать хорошее качество расчетных изображений T2* на томографе с индукцией магнитного поля 3,0 Тл для пациентов как с высокой степенью перегрузки железом, так и для пациентов с низкой и средней степенью перегруз-

ки железом. Радиальное картирование с ультракоротким эхо на свободном дыхании существенно облегчает проведение исследования у детей младшего возраста под анестезиологическим пособием и в ряде случаев может позволить отказаться от проведения исследования под наркозом.

Список литературы

1. Назарова Э. Э., Куприянов, Д. А., Новичкова, Г. А., Терещенко, Г. В. Неинвазивная диагностика перегрузки железом методом магнитно-резонансной гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии. 2020. Т. 19. № 3. С. 158–163.
2. Назарова Э. Э., Терещенко Г. В., Абакумов М. А., Сманцер В. А., Куприянов Д. А., Сметанина, Н. С. Методика проведения T2*-картирования печени у пациентов с вторичной перегрузкой железом // Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии. 2017. Т. 16. № 3. С. 23–27.
3. Ahmad R., Hu H. H., Krishnamurthy R. & Krishnamurthy R. Reducing sedation for pediatric body MRI using accelerated and abbreviated imaging protocols. // Pediatric radiology. 2018. V. 48. No. 1. P. 37–49.
4. Alam M. H., Auger D., McGill L. A., Smith G. C., He T., Izgi C., Pennell D. J. Comparison of 3 T and 1.5 T for T2* magnetic resonance of tissue iron. Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance, 2016. V. 18 No. 1. P. 40.
5. Brissot P. Optimizing the diagnosis and the treatment of iron overload diseases. // Expert review of gastroenterology & hepatology, 2016. V. 10 No. 3. P. 359–370.
6. Doyle E. K., Toy K., Valdez B., Chia J. M., Coates T., Wood J. C. Ultra short echo time images quantify high liver iron. // Magnetic resonance in medicine, 2018. V. 79 No. 3: P. 1579–1585.
7. Hernando D. et al. Quantification of liver iron with MRI: state of the art and remaining challenges // Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2014. V. 40 No. 5. P. 1003–1021.
8. Jaimes C., Kirsch J. E., Gee M. S. Fast, free-breathing and motion-minimized techniques for pediatric body magnetic resonance imaging // Pediatric radiology, 2018. V. 48 No. 9. P. 1197–1208.
9. Krafft A. J., Loeffler R. B., Song R., Tipirneni Sajja A., McCarville M. B., Robson, M. D., Hillenbrand C. M. Quantitative ultrashort echo time imaging for assessment of massive iron overload at 1.5 and 3 Tesla // Magnetic resonance in medicine. 2017. V. 78. No. 5. P. 1839–1851.
10. Labranche R., Gilbert G., Cerny M., Vu K. N., Soulires D., Olivi D., Tang A. Liver Iron Quantification with MR Imaging: A Primer for Radiologists. RadioGraphics, 2018. V. 38 No. 2. P. 392–412.
11. Nazarova E. E., Tereshchenko G. V., Kupriyanov D. A., Smetanina N. S., Novichkova G. A. Free-breathing T2* mapping for MR myocardial iron assessment at 3 T. European radiology experimental. 2020. V. 4. P. 1–9.
12. Origa R. Thalassemia. Genetics in Medicine, 2017. 19 (6). P. 609.
13. Porter J. B., Garbowski M. The pathophysiology of transfusional iron overload. Hematology/oncology clinics. 2014. V. 28. No. 4. P. 683–701.
14. Tipirneni-Sajja A., Krafft A. J., McCarville M. B., Loeffler R. B., Song R., Hankins J. S., Hillenbrand C. M. Radial ultrashort TE imaging removes the need for breath-holding in hepatic iron overload quantification by R2* MRI. Am. J. of Roentgenol. 2017. V. 209 No. 1. P. 187–194.

References

1. *Nazarova E. E., Kupriyanov D. A., Novichkova G. A., Tereshchenko G. V.* Noninvasive assessment of iron overload by magnetic resonance imaging. *Pediatric Hematology/Oncology and Immunopathology*. 2020 V. 19 No. 3. P. 158–163 (in Russian).
2. *Nazarova E. E., Tereshchenko G. V., Abakumov M. A., Smantser V. A., Kupriyanov D. A., Smetanina, N. S.* MRI T2*-mapping for liver iron assessment in pediatric patients with secondary iron overload. *Pediatric Hematology/Oncology and Immunopathology*. 2017 V. 16 No. 3. P. 23–27 (in Russian).
3. *Ahmad R., Hu H. H., Krishnamurthy R., & Krishnamurthy R.* Reducing sedation for pediatric body MRI using accelerated and abbreviated imaging protocols. *Pediatric radiology*, 2018. V. 48. No. 1. P. 37–49.
4. *Alam M. H., Auger D., McGill L. A., Smith G. C., He T., Izgi C. & Pennell D. J.* Comparison of 3 T and 1.5 T for T2* magnetic resonance of tissue iron. *J. of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2016. V. 18. No. 1. P. 40.
5. *Brissot P.* Optimizing the diagnosis and the treatment of iron overload diseases. *Expert review of gastroenterology & hepatology*, 2016. V. 10. № 3: P. 359–370.
6. *Doyle E. K., Toy K., Valdez B., Chia J. M., Coates T., Wood J. C.* Ultra short echo time images quantify high liver iron. *Magnetic resonance in medicine*, 2018. V. 79. No. 3. P. 1579–1585.
7. *Hernando D. et al.* Quantification of liver iron with MRI: state of the art and remaining challenges. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2014. V. 40. No. 5. P. 1003–1021.
8. *Jaimes C., Kirsch J. E. and Gee M. S.* Fast, free-breathing and motion-minimized techniques for pediatric body magnetic resonance imaging. *Pediatric radiology*, 2018. V. 48. No. 9. P. 1197–1208.
9. *Krafft A. J., Loeffler R. B., Song R., Tipirneni Sajja A., McCarville M. B., Robson, M. D. & Hillenbrand C. M.* Quantitative ultrashort echo time imaging for assessment of massive iron overload at 1.5 and 3 Tesla. *Magnetic resonance in medicine*, 2017. V. 78. No. 5. P. 1839–1851.
10. *Labranche R., Gilbert G., Cerny M., Vu K. N., Souli res D., Olivi D & Tang A.* Liver Iron Quantification with MR Imaging: A Primer for Radiologists. *RadioGraphics*. 2018. V. 38. No. 2. P. 392–412.
11. *Nazarova E. E., Tereshchenko G. V., Kupriyanov D. A., Smetanina N. S. & Novichkova G. A.* Free-breathing T2* mapping for MR myocardial iron assessment at 3 T. *Eur. radiology experimental*. 2020. V. 4: P. 1–9.
12. *Origa R.* Thalassemia. *Genetics in Medicine*, 2017. 19 (6). P. 609.
13. *Porter J. B. and Garbowski M.* The pathophysiology of transfusional iron overload. *Hematology/oncology clinics*. 2014. V. 28. No. 4. P. 683–701.
14. *Tipirneni-Sajja A., Krafft A. J., McCarville M. B., Loeffler R. B., Song R., Hankins J. S., Hillenbrand C. M.* Radial ultrashort TE imaging removes the need for breath-holding in hepatic iron overload quantification by R2* MRI. *American Journal of Roentgenology*. 2017. V. 209. No. 1. P. 187–194.

Сведения об авторах

Манжурцева Эвелина Эдуардовна, младший научный сотрудник, врач-рентгенолог рентгенологического отделения ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Минздрава России.

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Саморы Машела, 1.
Тел.: +7 (916) 113-39-45. Электронная почта: evelina.manzhurceva@fccho-moscow.ru
ORCID.org/0000-0002-0014-9345

Manzhurtseva Evelina Eduardovna, junior researcher, Radiologist, Radiology department, Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology.
Address: 1, Samory Mashela, 117997, Moscow, Russia.
Phone number: +7 (916) 113-39-45. E-mail: evelina.manzhurceva@fccho-moscow.ru
ORCID.org/0000-0002-0014-9345

Терещенко Галина Викторовна, кандидат медицинских наук, заведующая рентгенологическим отделением ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Минздрава России.
Адрес: 117997, г. Москва, ул. Саморы Машела, 1.
Тел.: +7 (495) 287-65-70 (доб. 1220). Электронная почта: galina.tereshenko@fccho-moscow.ru
ORCID.org/0000-0001-7317-7104

Tereshchenko Galina Viktorovna, PhD. Med., Head of the Radiology Department, Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology.
Address: 1, Samory Mashela, 117997, Moscow, Russia.
Phone number: +7 (495) 287-65-70 (add. 1220). E-mail: galina.tereshenko@fccho-moscow.ru
ORCID.org/0000-0001-7317-7104

Куприянов Дмитрий Алексеевич, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Минздрава России.
Адрес: 117997, г. Москва, ул. Саморы Машела, 1.
Старший специалист по поддержке научных исследований Philips «Здравоохранение».
Адрес: 123022, г. Москва, ул. Сергея Макеева, 13, 4-й этаж; БЦ «Март Плаза».
Тел.: +7 (495) 287-65-70 (доб. 4508). Электронная почта: dmitry.kupriyanov@philips.com
ORCID.org/0000-0002-5662-896X

Kupriyanov Dmitry Alekseevich, PhD, Researcher, Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology.
Address: 1, Samory Mashela, 117997, Moscow, Russia.
Senior Research Support Specialist, Philips Healthcare.
Address: 13, Sergei Makeev, 123022, Moscow, Russia.
Phone number: +7 (495) 287-65-70 (add. 4508). E-mail: dmitry.kupriyanov@philips.com
ORCID.org/0000-0002-5662-896X

Новичкова Галина Анатольевна, доктор медицинских наук, профессор, генеральный директор ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Минздрава России.
Адрес: 117997, г. Москва, ул. Саморы Машела, 1.
Тел.: +7 (495) 287-65-70 (доб. 6106). Электронная почта: galina.novichkova@fccho-moscow.ru
ORCID.org/0000-0002-2322-5734

Novichkova Galina Anatolyevna, M. D. Med., Professor, General Director of the Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology.
Address: 1, Samory Mashela, 117997, Moscow, Russia.
Phone number: +7 (495) 287-65-70 (add. 6106). E-mail: galina.novichkova@fccho-moscow.ru
ORCID.org/0000-0002-2322-5734

Финансирование исследования и конфликт интересов.

Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.

Дата поступления статьи в редакцию издания: 29.06.2021 г.

Дата одобрения после рецензирования: 16.07.2021 г.

Дата принятия статьи к публикации: 22.07.2021 г.

Информация для авторов статей

В этом году журнал «Радиология — практика» стал электронным изданием. С июля 2021 г. все материалы для публикации принимаются только на сайте www.radpr.ru с помощью кнопки «Отправить статью».

Вопросы, связанные с отправкой, можно решить с ответственным секретарем журнала — доктором медицинских наук, профессором Егоровой Еленой Алексеевной, e-mail: eegorova66@gmail.com.