

УДК 616-073.756.8:616.15

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-4-32-39>

КОНЦЕПЦИИ МРТ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА В ПЕЧЕНИ — БУДУЩЕЕ СОВРЕМЕННЫХ МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ: ОБЗОР

Т. Н. Галян[✉], К. Р. Бриль^{✉*}, Е. А. Прохорова[✉], Т. А. Логунова[✉], В. В. Ховрин[✉]

Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Накопление избытка железа в организме, или системная перегрузка железом, возникает по разным причинам, в основном в результате наследственных нарушений путей регуляции железа, при длительном и/или регулярном переливании крови, неконтролируемом распаде гемоглобина при гемолитических анемиях, гематологических злокачественных новообразованиях. Дисметаболическая перегрузка железом может быть связана с хроническими заболеваниями печени и метаболическим синдромом.

Несмотря на оптимальный контроль соблюдения хелатирования, происходит отложение железа в жизненно важных органах, таких как печень, сердце, эндокринные железы, с их дальнейшим повреждением. Концентрация железа в печени (Liver Iron Concentration, LIC) линейно связана с общими запасами железа в организме и может содержать около 70% железа от его общего количества.

Внедрение МРТ в алгоритм обследования пациентов с болезнями накопления обеспечивает раннюю диагностику состояния перегрузки железом и контроль эффективности проводимой терапии. Современные протоколы и программное обеспечение по данным МРТ позволяют одновременно выявлять комплексные нарушения депонирования железа и метаболические расстройства, сопровождаемые стеатозом печени.

ЦЕЛЬ: Обобщить современное состояние и перспективы клинического использования МР-методик количественной оценки содержания железа в печени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Проведен анализ основных публикаций отечественной и зарубежной литературы о неинвазивной оценке степени перегрузки печени железом за последние 10 лет в основных медицинских базах данных: Medline/PubMed, РИНЦ/Elibrary, КиберЛенинка, Google Scholar.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Выявлено, что основными методами МРТ неинвазивной оценки содержания железа в печени являются SIR и R2*-релаксометрия. Последняя определяет современные подходы как к качественной, так и к количественной оценке перегрузки железом, обеспечивая линейную корреляцию с LIC. Информация о диффузных изменениях паренхимы имеет большое значение, поскольку наличие жировых депозитов в печени может привести к искажению показателей R2*, поэтому совершенно рациональным является одномоментное количественное определение депозитов железа и жира в печени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Диагностика перегрузки печени железом необходима для контроля и корректировки оптимального лечения для предупреждения побочных эффектов хелатной терапии. Использование МРТ с этой целью играет колоссальную роль, поскольку одномоментное получение количественных данных о R2* и PDFF позволяет комплексно оценить содержание жира и степень перегрузки железом, что недоступно другим методам визуализации. Внедрение мультипараметрических протоколов МРТ печени с адаптацией под новое программное обеспечение позволит выйти на новый уровень диагностики заболеваний печени.

МРТ выступает основным инструментом визуализации, количественной оценки и стратификации рисков перегрузки печени железом. Современная мультипараметрическая МРТ печени имеет перспективное клиническое значение для количественной оценки депозитов железа и степени стеатоза в комплексной диагностике диффузных заболеваний печени.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магнитно-резонансная томография печени, перегрузка железом, R2*-релаксометрия, T2-картирование, стеатоз печени, q-Dixon, LIC

* Для корреспонденции: Бриль Кристина Руслановна, e-mail: kr.bril@yandex.ru

Для цитирования: Галян Т.Н., Бриль К.Р., Прохорова Е.А., Логунова Т.А., Ховрин В.В. Концепции МРТ количественного определения железа в печени — будущее современных мультипараметрических методов: обзор // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 4. С. 32–39, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-4-32-39>.

CONCEPTS OF MRI QUANTIFICATION OF IRON IN THE LIVER: PRESENT AND FUTURE OF MODERN MULTIPARAMETRIC METHODS: A REVIEW

Tatiana N. Galyan^{ID}, Kristina R. Bril^{ID*}, Ekaterina A. Prohorova^{ID}, Tatiana A. Logunova^{ID}, Valeriy V. Khovrin^{ID}
Petrovsky Russian Scientific Center of Surgery, Moscow, Russia

INTRODUCTION: Accumulation of excess iron in the body or systemic iron overload occurs for various reasons, mainly as a result of inherited disorders of iron regulatory pathways, long-term and/or regular blood transfusions, uncontrolled breakdown of hemoglobin in hemolytic anemias, hematological malignancies. Mild iron overload can be associated with chronic liver disease and metabolic syndrome (dysmetabolic iron overload).

Despite optimal control of chelation, iron is deposition in vital organs such as the liver, heart, endocrine glands and subsequently damaged. Liver Iron Concentration (LIC) is linearly related to total body iron stores and may contain about 70% of the iron in the body. The introduction of MRI into the examination algorithm for patients with storage diseases provides the opportunity for early diagnosis of iron overload and monitoring the effectiveness of therapy.

OBJECTIVE: To summarize the current state and prospects for the clinical use of MR methods for quantitative assessment of iron content in the liver.

MATERIALS AND METHODS: An analysis of the main publications of domestic and foreign literature on non-invasive assessment of the degree of liver iron overload over the past 10 years was carried out in the main medical databases: Medline/PubMed, RISC/Elibrary, CyberLeninka, Google Scholar.

RESULTS: It was revealed that the main methods of MRI noninvasive assessment of the iron content in the liver are SIR and R2* — relaxometry. The latter defines modern approaches to both qualitative and quantitative assessment of iron overload, providing a linear correlation with LIC. Information about diffuse changes in the parenchyma is important, since the presence of fat deposits in the liver can lead to an increase in R2*, therefore, a simultaneous quantitative determination of iron and fat deposits in the liver is completely rational.

CONCLUSION: Diagnosis of liver iron overload is necessary to control and adjust the optimal treatment to prevent side effects of chelation therapy. To this end, the use of MRI has an enormous role, since the simultaneous acquisition of quantitative data on R2* and PDFF allows a comprehensive assessment of fat content and the degree of iron overload, which is not available to other imaging methods. The introduction of multiparametric liver MRI protocols with adaptation to new software will allow us to reach a new level of diagnosis of liver diseases.

MRI is the main tool for visualization, quantification and identification of the risks of liver iron overload. Modern multiparametric MRI of the liver has promising clinical significance for the quantitative assessment of iron deficiency and the degree of steatosis in the complex diagnosis of diffuse liver diseases.

KEYWORDS: magnetic resonance imaging of the liver, iron overload, R2*-relaxometry, T2 mapping, q-Dixon, LIC

* For correspondence: Kristina R. Bril, e-mail: kr.bril@yandex.ru

For citation: Galyan T.N., Bril K.R., Prohorova E.A., Logunova T.A., Khovrin V.V. Concepts of MRI quantification of iron in the liver: present and future of modern multiparametric methods: a review // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 4. P. 32–39, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-4-32-39>.

Введение. Клиническая валидация количественной оценки железа в печени ежегодно растет. При всех формах системной перегрузки организма железом имеет большое значение точная оценка ее степени. Основная цель лечения состояний перегрузки — избежать повреждения органов-мишеней путем удаления избытка железа посредством хелаторной терапии. Необходимость оптимального мониторинга токсических эффектов перегрузки железом и хелаторной терапии играет ключевую роль в диагностике и контроле лечения данных пациентов [1].

Серологические маркеры, определяемые в сыворотке крови, — трансферрин и ферритин — являются широкодоступными и быстрыми методами определения перегрузки железом. Однако результаты исследования концентрации ферритина в сыворотке

крови могут быть неспецифичны и искажены такими факторами, как воспаление, инфекции, злокачественные образования, что существенно ограничивает его диагностическое значение [2–4].

Референтным методом оценки величины нагрузки организма железом при системной перегрузке является измерение концентрации железа в печени. Точная и быстрая количественная оценка LIC необходима для раннего выявления перегрузки железом и начала лечения до необратимого повреждения тканей.

Исторически LIC оценивалась с помощью биопсии печени, однако инвазивность и длительность весьма ограничивают широкое применение метода, особенно в педиатрии. Такие диагностические методы, как УЗИ и КТ, малоэффективны для количественного определения железа.

Использование магнитно-резонансной томографии (МРТ) в диагностике перегрузки железом в организме было предложено в 1983 г. [5]. Установлено, что метод обладает высокой чувствительностью к наличию тканевого железа и параметрам, влияющим на потерю интенсивности сигнала на МР-изображениях при увеличении депозитов железа [6]. LIC выражается в миллиграммах железа на грамм ткани (мг/г), или микромоль железа на грамм сухой ткани (ммоль/г) (табл. 1).

в результате которой сравнивается интенсивность сигналов от паренхимы печени и селезенки.

На последовательностях градиентного эха провести количественную оценку содержания депозитов железа можно с помощью релаксометрии, а также методики расчета отношения интенсивности сигнала (SIR) между печенью и длиннейшими мышцами спины.

Метод сравнения отношения интенсивности МР-сигналов (SIR — signal intensity ratio) основан на наблюдении за разностью укорочения сигнала T2*

Значения LIC по данным магнитно-резонансной томографии [7, 8]

Таблица 1

LIC values from MRI data [7, 8]		
LIC мг/г	LIC мкмоль/г	Значения
<1,8	32	Норма
1,8–3,2	57	Пограничные значения
3,2–7,0	57–125	Легкая перегрузка
7,0–15	125–269	Умеренная перегрузка
↑15,0	269	Тяжелая перегрузка

Примечание: на оборудовании с напряжением магнитного поля 1,5 Т.

За последние два десятилетия количественная оценка перегрузки железом на основе данных магнитно-резонансной томографии была тщательно изучена и внедрена в рутинную практику, однако отсутствие четкой стандартизации методики и средних значений показателей замедляет развитие метода. На сегодняшний день МРТ включена в несколько отдельных руководств и клинических рекомендаций, в том числе гематологических. Важным моментом является использование безопасного и неинвазивного метода в педиатрической практике, поскольку значительную часть пациентов составляют дети и подростки.

Цель. Обобщить современное состояние и перспективы клинического использования МР-методик количественной оценки содержания железа в печени.

Материалы и методы. Проведен анализ основных публикаций отечественной и зарубежной литературы о неинвазивной оценке степени перегрузки печени железом за последние 10 лет в основных медицинских базах данных: Medline/PubMed, РИНЦ/Elibrary, КиберЛенинка, Google Scholar. Описан первый опыт применения программного обеспечения «LiverLab» на примере клинических случаев.

Методы МРТ для количественного определения содержания железа в печени. Практически все МР-протоколы для рутинных исследований включают в себя последовательности фазы (in-phase) и противофазы (out-of-phase), где общеизвестным фактом является способность тканевого железа снижать интенсивность сигнала на последовательностях in-phase. Простым способом для обнаружения железа является оценка быстрого спин-эхо T2-взвешенных последовательностей,

печени при наличии перегрузки железом в сравнении с сигналом от длиннейших мышц спины.

Размещенные ROI диаметром 2 см² в мышцах спины и печени на одном и том же срезе, предоставляют информацию для расчета средней интенсивности сигнала и определения соотношения показателя печень/мышцы (рис. 1).

В норме интенсивность печени всегда должна быть выше, чем у мышц. При тяжелой перегрузке железом интенсивность сигнала печени снижается даже при использовании последовательностей с ограниченной чувствительностью к перегрузке железом. Соотношение печень/мышцы менее единицы указывает на повышение содержания железа в печени при анализе большинства МР-последовательностей.

Впервые метод SIR представлен в 1988 г. группой авторов (Hernandez R.J. et al., 1988), обследовавших детей и подростков с гемолитической анемией. При использовании только одного времени TE (time echo) пациенты были разделены на две группы: с уровнем железа в печени более 100 мкг/мг (SIR=0,4) и менее 100 мкг/мг (SIR=1). В 2004 г. Y. Gandon и соавт., используя алгоритм, объединяющий отношения интенсивности сигнала из пяти градиентных последовательностей с различными TE, расширили диапазон обнаружения железа до 21 мг/г сухой ткани печени с чувствительностью и специфичностью сопоставимыми с биохимическим анализом. A. Paisant и соавт. (2017) подтвердили возможность количественной оценки перегрузки печени железом методом SIR, используя последовательности GRE (градиентного эха) на высокопольных МР-томографах [9].

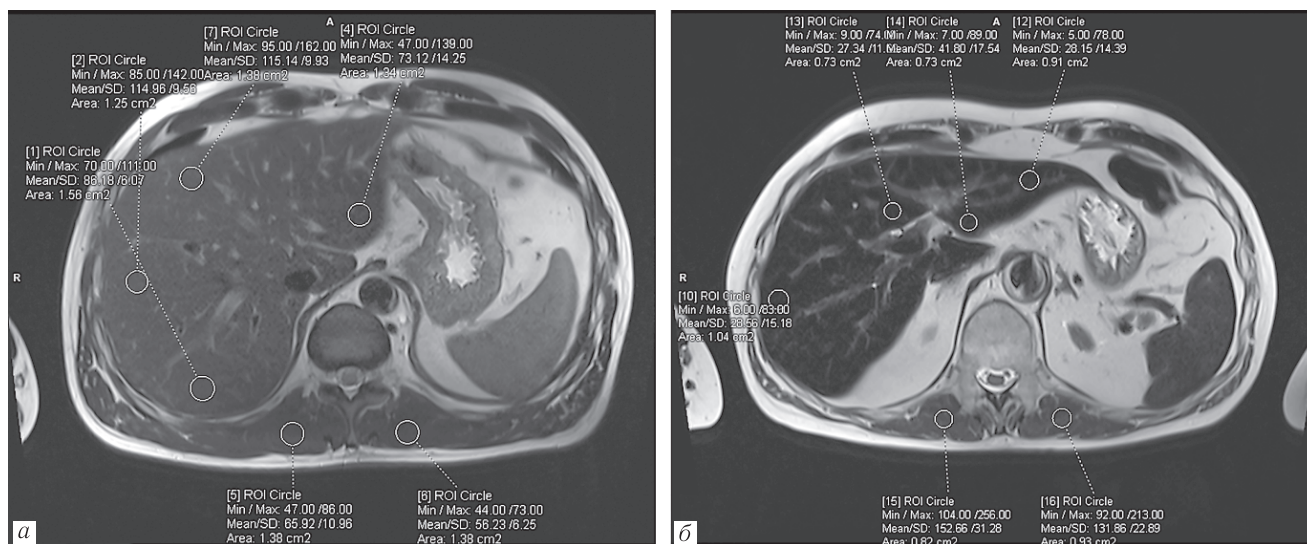


Рис. 1. МРТ, аксиальные T2-взвешенные изображения: а — печень без перегрузки железом; б — печень с тяжелой перегрузкой железа (трансфузионный гемосидероз): LIC — 11,1 мг/г; SIR печень/мышцы = 0,4

Fig. 1. MRI, axial T2-weighted images: а — liver without iron overload; б — liver with severe iron overload (transfusion hemosiderosis): LIC — 11.1 mg/g; SIR liver/muscle = 0.4

Преимуществом метода SIR является доступность и простота выполнения с минимальным временем постобработки. Ограничениями метода являются низкая перегрузка железом, невозможность точной оценки LIC выше 19,5 мг/г сухого веса и сопутствующие изменения в мышцах. При сравнении методов SIR и R2*-релаксометрии A. Paisant и соавт. (2017), G. d'Assignies и соавт. (2018) выявили, что R2*-релаксометрия обеспечивает точную количественную оценку LIC при низких значениях перегрузки железом [10].

Релаксометрия — это количественная оценка изменений МР-сигнала в результате сокращения времени релаксации T2 и T2*. Метод включает в себя расчет карт T2 или R2 (спин-эхо последовательность) и T2* или R2* (последовательность градиентного эхо), где T2 и T2* — значения времени релаксации, а R2 и R2* — обратные величины значений T2 и T2*, являющиеся их скоростью.

Аналогично методу SIR точки ROI устанавливаются на интересующую область. Измерения значений T2*-релаксации выполняются путем получения нескольких T2* с различными значениями времени эхо (TE) на одном и том же срезе изображения [11]. При фиксации области интереса следует избегать крупных сосудов и поддиафрагмальной поверхности печени. Важно, что все измерения необходимо проводить до внутривенного введения контрастного препарата.

Поперечную релаксацию (T2*-релаксацию) можно рассматривать как сочетание «истинной» T2-релаксации и релаксации, обусловленной неоднородностью магнитного поля [12]. Использование режима T2*-релаксации для количественного определения железа быстрее и более чувствительно к низким концентрациям железа, однако некоторые авторы подтверждают возможность появления артефактов

восприимчивости [13]. Впервые метод для расчета значений T2* печени и миокарда был предложен L.J. Anderson и соавт. в 2001 г. (рис. 2). Релаксометрия R2* является предпочтительным и надежным методом для количественной оценки перегрузки железом, обеспечивающим линейную корреляцию с LIC. Значение R2* прямо пропорционально содержанию железа и является обратной величиной T2*.

Для преобразования значений R2* в LIC используются ряд формул (табл. 2). Альтернативно выполняется расчет с помощью коэффициентов, например, в зависимости от величины индукции магнитного поля или применяя формулу: $R2^* = 1000 / T2^*$, где 1000 — коэффициент.

Ограничением метода, связанным с неточностью количественного определения железа, является LIC более 25 мг/г сухой массы [14].

Патологическое накопление железа является важным диагностическим аспектом, поэтому оценку R2* селезенки и/или миокарда рекомендовано также включить в протокол комплексного исследования [18, 19].

Главным преимуществом R2*-релаксометрии является возможность получения 3D-изображений всей печени. Информация о диффузных изменениях паренхимы имеет большое значение, поскольку наличие жировых депозитов в печени может привести к искажению показателей R2*.

Результаты проведенных исследований показали, что в большинстве случаев заболевания печени носят гетерогенный характер, поэтому совершенно рационально одновременное количественное определение железа и депозитов жира [20]. В последние годы разработано и успешно применяется специальное программное обеспечение «LiverLab» (Siemens Healthineers), включающее в себя компоненты

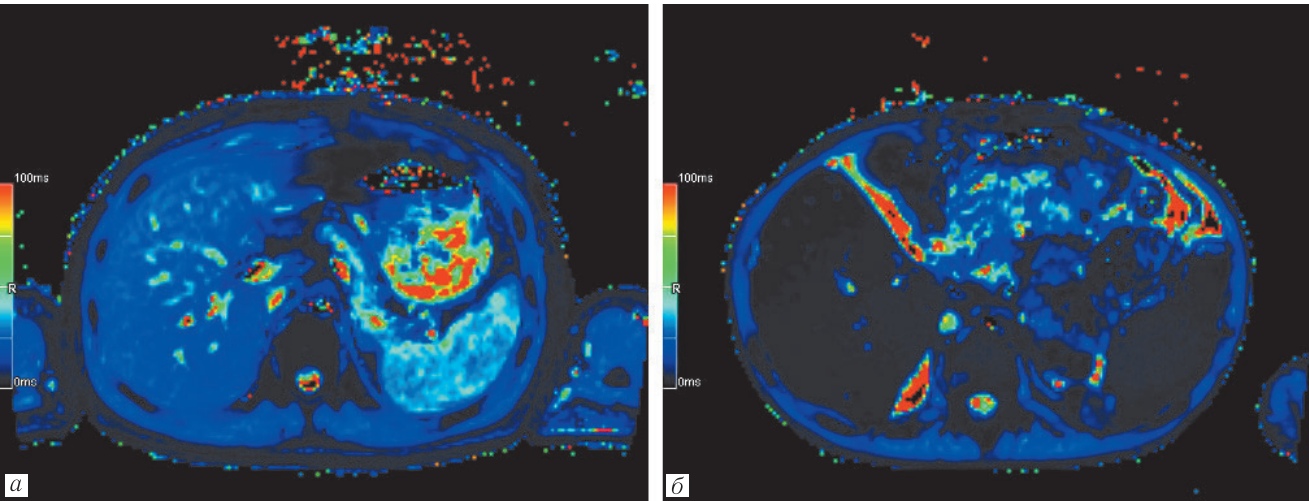


Рис. 2. T2-картирование печени (T2*): *а* — пациент без перегрузки железом; *б* — пациент с тяжелой перегрузкой железом

Fig. 2. T2-mapping liver (T2*): *a* — patient without iron overload; *b* — patient with severe iron overload

Формулы для преобразования значений R2* в LIC по данным различных источников [15–17]

Таблица 2

Formulas for converting R2* values to LIC according to various sources [15–17]		
Автор	Последовательность и значения (TR, TE) ¹	Формула перевода R2* в LIC (мг/г, мкмоль/г)
J. S. Hankins и соавт. (2009)	Мультиэхо-градиентное эхо TR не указано; 1,1 мс	Fe [мг/г]=0,028×R2*×0,454 Fe [мкмоль/г]=R2*/1,98–8,1
M. W. Garbowski и соавт. (2014)	Мультиэхо-градиентное эхо 200 мс; 0,93 мс	Fe [мг/г]=0,032×R2*–0,14 Fe [мкмоль/г]=R2*/1,74–2,5
B. Henninger и соавт. (2015)	Мультиэхо-градиентное эхо 200 мс; 0,99 мс	Fe [мг/г]=0,024×R2*+0,277 Fe [мкмоль/г]=R2*/2,31+4,8

скрининга стеатоза печени и оценку степени перегрузки железом (e-Dixon) [21]. Дополнениями к скрининговым программам выступают методики оценки q-Dixon и спектроскопический HISTO. Последовательность q-Dixon — это трехмерное мульти (3D multi-echo) градиентное эхо с поправкой на T2* при наличии железа. В постпроцессинге q-Dixon включает в себя серии изображений с демонстрацией жировой фракции (FF), фракции воды (WF) и карту эффективного T2*. Количественные значения отображаются с помощью цветowych столбов или колометрических карт биомаркеров: протонной плотности жировой фракции (PDFF) и скорости R2* (рис. 3).

Сравнения традиционного градиентного эха (GRE) и 3D-мультиэхо последовательности Диксона (mDixon) показали сильную корреляцию, особенно при легкой или умеренной перегрузке железом (LIC ≤8 мг/г) [22, 23].

Заключение. Мониторинг перегрузки печени железом необходим для контроля и корректировки оптимального лечения для предупреждения побочных эффектов хелатной терапии. Одновременное наблюдение за динамикой степени стеатоза печени имеет существенное практическое значение.

В связи с продолжающейся стандартизацией методов количественной оценки железа в печени и определения пороговых значений могут возникать расхождения в степени тяжести заболеваний. Используя релаксометрию для оценки LIC, следует учитывать напряженность магнитного поля. Зависимость параметров с увеличением скорости релаксации R2* при увеличении магнитного поля освещена в современной литературе. Результаты исследований показали хорошую корреляцию методов релаксометрии и SIR при использовании MPT с результатами гистологического анализа материала биопсии печени. Отечественными авторами (Назарова Э.Э. и др., 2020) проведено сравнение значений R2*-релаксации на разных типах высокопольных МР-томографов, по результатам которого выявлена хорошая корреляция между значениями R2*.

Существующие МР-аналоги кардиологических протоколов картирования показателей T1 и T2, включающие в себя характеристику фиброза, воспаления, болезней накопления, давно зарекомендовали себя и стали надежным методом выбора при заболеваниях сердца [24, 25]. Таким образом, мультипараметрическая МРТ печени открывает новые

¹ TR (repetition time) — время повторения; TE (echo time) — время эхо.

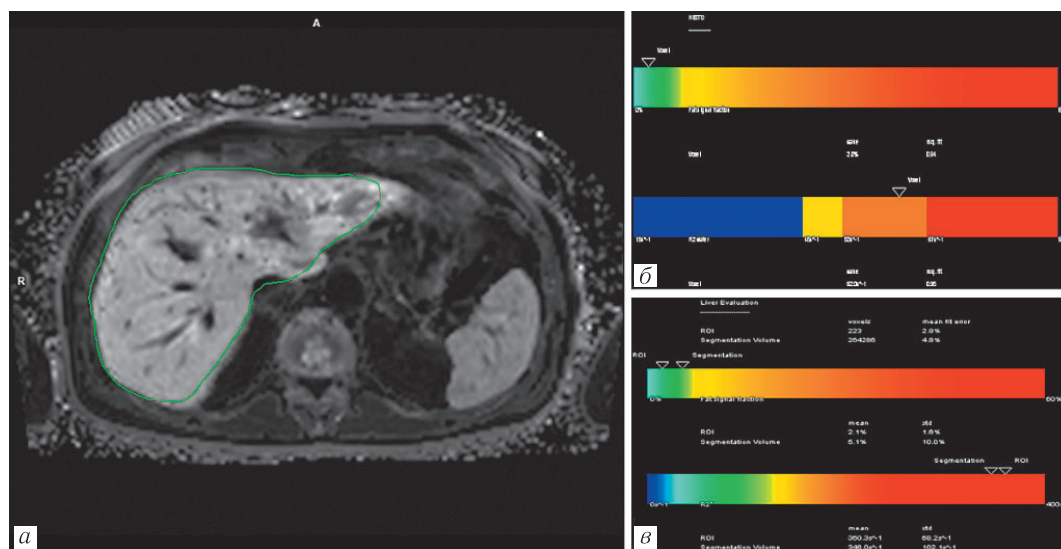


Рис. 3. Представление постпроцессинговой обработки q-Dixon: *а* — автоматическая сегментация печени; *б, в* — отчет с демонстрацией колориметрических карт фракции жира значения протонной плотности жировой фракции (PDFF), фракции воды (R2 water) эффективного R2* для печени

Fig. 3. q-Dixon post-processing representation: *a* — automatic liver segmentation; *b, в* — report demonstrating colorimetric maps of fat fraction, proton density of fat fraction (PDFF), water fraction (R2 water) effective R2* for the liver

возможности в диагностике состояний, сопровождаемых патологическим накоплением депозитов железа, а также предоставляет важную диагностическую информацию о свойствах печени, позволяя комплексно подойти к изучению диффузных заболеваний печени. Именно поэтому внедрение мультипараметрических протоколов МРТ печени с адаптацией под новое программное обеспечение позволит выйти на новый уровень диагностики заболеваний печени.

Таким образом, методы количественного определения уровня депонирования железа в печени с помощью магнитно-резонансной томографии используются и применяются для стадирования/динамического контроля лечения в соответствующих группах больных. Современная мультипараметрическая МРТ печени имеет перспективное клиническое значение для количественной оценки депозитов железа и степени стеатоза в комплексной диагностике диффузных заболеваний печени.

Сведения об авторах:

Галян Татьяна Николаевна — кандидат медицинских наук, заведующая отделением рентгенодиагностики и компьютерной томографии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского»; 119991, Москва, Абрикосовский пер., 2; e-mail: Galmedi05@gmail.com; ORCID 0000-0003-4751-5119;

Бриль Кристина Руслановна — кандидат медицинских наук, научный сотрудник федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского»; 119991, Москва, Абрикосовский пер., 2; e-mail: kr.bril@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8789-0330;

Прохорова Екатерина Алексеевна — кандидат медицинских наук, научный сотрудник федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского»; 119991, Москва, Абрикосовский пер., д. 2; e-mail: Katrinpr@list.ru; ORCID 0000-0001-9788-5666;

Логунова Татьяна Александровна — врач-рентгенолог федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского»; 119991, Москва, Абрикосовский пер., д. 2; e-mail: logunova.tatiana@gmail.com; ORCID 0000-0001-6036-2060;

Ховрин Валерий Владиславович — доктор медицинских наук, главный научный сотрудник федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского»; 119991, Москва, Абрикосовский пер., д. 2В; e-mail: valery@vkhovrin.ru; ORCID 0000-0002-6720-4126. Scopus Author ID: 6504830959.

Information about authors:

Tatiana N. Galyan — Cand. of Sci. (Med.), Head of Department of Radiology and Computed Tomography, Petrovsky Russian Scientific Center of Surgery; 119991. Moscow, Abrikosovsky lane, 2; e-mail: Galmedi05@gmail.com; ORCID 0000-0003-4751-5119;

Kristina R. Bril — Cand. of Sci. (Med.), Researcher, Petrovsky Russian Scientific Center of Surgery; 119991. Moscow, Abrikosovsky lane, 2; e-mail: kr.bril@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8789-0330;

Ekaterina A. Prohorova — Cand. of Sci. (Med.), Researcher, Petrovsky Russian Scientific Center of Surgery; 119991. Moscow, Abrikosovsky lane, 2; e-mail: Katrinpr@list.ru; ORCID 0000-0001-9788-5666;

Tatiana A. Logunova — Radiologist, Petrovsky Russian Scientific Center of Surgery; 119991. Moscow, Abrikosovsky lane, 2; e-mail: logunova.tatiana@gmail.com; ORCID 0000-0001-6036-2060;

Valeriy V. Khovrin — Dr. of Sci. (Med.), Senior Researcher, Petrovsky Russian Scientific Center of Surgery; 119991, Moscow, Abrikosovsky lane, 2; e-mail: valery@vkhovrin.ru; ORCID 0000-0002-6720-4126. Scopus Author ID: 6504830959.

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 — Т.Н. Галян, Е.А. Прохорова, Т.А. Логунова; подготовка рукописи — К.Р. Брилль, В.В. Ховрин.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: TNG, EAP, TAL aided in the concept and plan of the study; KRB, VVKh preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure: The author declares no conflict of interest.

Поступила/Received: 30.09.2024.

Принята к печати/Accepted: 29.11.2024.

Опубликована/Published: 29.12.2024.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Pipaliya N., Solanke D., Parikh P. et al. Comparison of Tissue Elastography With Magnetic Resonance Imaging T2* and Serum Ferritin Quantification in Detecting Liver Iron Overload in Patients With Thalassemia Major // *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* 2017. Vol. 15, No. 2. P. 292–298.e1. doi: 10.1016/j.cgh.2016.08.046.
- Титова А.М., Труфанов Г.Е., Фокин В.А. Т2* магнитно-резонансная релаксометрия в количественной оценке перегрузки железом // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2018. № 2 (62). [Titova A.M., Trufanov G.E., Fokin V.A. T2* magnetic resonance relaxometry in the quantification of iron overload. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 2018, Vol. 2, No. 62 (In Russ.)].
- Atmakusuma T.D., Lubis A.M. Correlation of Serum Ferritin and Liver Iron Concentration with Transient Liver Elastography in Adult Thalassemia Intermedia Patients with Blood Transfusion // *J. Blood Med.* 2021. Vol. 12. P. 235–243. doi: 10.2147/JBM.S303703.
- Tsitsikas D.A., Nzouakou R., Ameen V. et al. Comparison of serial serum ferritin measurements and liver iron concentration assessed by MRI in adult transfused patients with sickle cell disease // *Eur. J. Haematol.* 2014. Vol. 92, No. 2. P. 164–167.
- Stark D.D., Bass N.M., Moss A.A. et al. Nuclear magnetic resonance imaging of experimentally induced liver disease // *Radiology*. 1983. Vol. 148, No 3. P. 743–751. doi: 10.1148/radiology.148.3.6192464.
- Алибиев Д.Е., Завадовская В.Д., Саприна Т.В., Мусина Н.Н., Мурдинов Р.Я., Зоркальцев М.А., Килина О.Ю. Синдром перегрузки железом. Этиопатогенез. Методы магнитно-резонансной томографии для количественной оценки состояния перегрузки железом: обзор // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 1. С. 7–14. [Alibiev D.E., Zavadovskaja V.D., Saprina T.V., Musina N.V., Murdinov R.Ya., Zorkal'tsev M.A., Kilina O.Yu. Iron overload syndrome. Etiopatogenesis. Magnetic resonance imaging techniques for quantitative assessment of iron overload status: a review. *Diagnostic radiology and radiotherapy*, 2024, Vol. 15, No. 1, pp. 7–14 (In Russ.)]. doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-1-7-14>.
- Henninger B., Alustiza J., Garbowski M. et al. Practical guide to quantification of hepatic iron with MRIE // *Eur. Radiol.* 2020. Vol. 30, No. 1. P. 383–393. doi: 10.1007/s00330-019-06380-9.
- Serai S.D., Fleck R.J., Quinn C.T. et al. Retrospective comparison of gradient recalled echo R2* and spin-echo R2 magnetic resonance analysis methods for estimating liver iron content in children and adolescents // *Pediatr. Radiol.* 2015. Vol. 45, No. 11. P. 1629–1634. doi: 10.1007/s00247-015-3378-9.
- Paisant A., Boulic A., Bardou-Jacquet E. et al. Assessment of liver iron overload by 3 T MRI // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2017. Vol. 42, No. 6. P. 1713–1720. doi: 10.1007/s00261-017-1077-8.
- D'Assignies G., Paisant A., Bardou-Jacquet E. et al. Non-invasive measurement of liver iron concentration using 3-Tesla magnetic resonance imaging: validation against biopsy // *Eur. Radiol.* 2018. Vol. 28, No. 5. P. 2022–2030. doi: 10.1007/s00330-017-5106-3.
- Назарова Э.Э., Терещенко Г.В., Абакумов М.А. и др. Методика проведения Т2*-картирования печени у пациентов с вторичной перегрузкой железом // *Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии*. 2017. Т. 16, № 3. С. 23–27. [Nazarova E.E., Tereshchenko G.V., Abakumov M.A. et al. Methodology for performing T2* mapping of the liver in patients with secondary iron overload. *Issues of hematology/oncology and immunopathology in pediatrics*, 2017, Vol. 16, No. 3, pp. 23–27 (In Russ.)]. doi: 10.24287/1726-1708-2017-16-3-23-27.
- Назарова Э.Э., Куприянов Д.А., Новичкова Г.А. и др. Неинвазивная диагностика перегрузки железом методом магнитно-резонансной томографии // *Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии*. 2020. Т. 19, № 3. С. 158–163. [Nazarova E.E., Kupriyanov D.A., Novichkova G.A. et al. Non-invasive diagnosis of iron overload using magnetic resonance imaging. *Pediatric hematology/oncology and immunopathology*, 2020, Vol. 19, No. 3, pp. 158–163 (In Russ.)].
- Unal E., Idilman I.S., Karcaaltuncaba M. Multiparametric or practical quantitative liver MRI: towards millisecond, fat fraction, kilopascal and function era // *Expert Rev Gastroenterol Hepatol.* 2017. Vol. 11, No. 2. P. 167–182. doi: 10.1080/17474124.2017.1271710.
- Савченков Ю.Н., Труфанов Г.Е., Фокин В.А. и др. Методика магнитно-резонансной томографии для количественной оценки биомаркеров при хронических заболеваниях печени. Вестник медицинского института «РЕАВИЗ» // *Реабилитация, Врач и Здоровье*. 2024. Т. 14, № 1. С. 159–167. [Savchenkov Yu.N., Trufanov G.E., Fokin V.A. et al. Magnetic resonance imaging technique for (In Russ.)]. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.1.MIM.2>.
- Garbowski M.W., Carpenter J.P., Smith G. et al. Biopsy-based calibration of T2* magnetic resonance for estimation of liver iron concentration and comparison with R2 Ferriscan // *J. Cardiovasc. Magn Reson.* 2014. Vol. 16. P. 40. doi: 10.1186/1532-429X-16-40.
- Hankins J.S., McCarville M.B., Loeffler R.B. et al. R2* magnetic resonance imaging of the liver in patients with iron overload // *Blood*. 2009. Vol. 113. P. 4853–4855. doi: 10.1182/blood-2008-12-191643.
- Henninger B., Zoller H., Rauch S. et al. R2* relaxometry for the quantification of hepatic iron overload: biopsy-based calibration and comparison with the literature // *Rofo*. 2015. Vol. 187. P. 472–479. doi: 10.1055/s-0035-1550887.
- Титова А.М., Труфанов Г.Е., Фокин В.А. Т2* магнитно-резонансная релаксометрия в количественной неинвазивной оценке перегрузки железом печени и сердца // *Трансляционная медицина*. 2017. Т. 4, № 5. С. 37–45. [Titova A.M., Trufanov G.E., Fokin V.A. T2* magnetic resonance relaxometry in quantitative non-invasive assessment of iron overload of the liver and heart. *Translational medicine*, 2017, Vol. 4, No 5, pp. 37–45 (In Russ.)].

19. França M., Marti-Bonmati L., Porto G. et al. Tissue iron quantification in chronic liver diseases using MRI shows a relationship between iron accumulation in liver, spleen, and bone marrow // *Clin. Radiol.* 2018. Vol. 73, No. 2. P. 215.e1–215.e9. doi: 10.1016/j.crad.2017.07.022.
20. França M., Alberich-Bayarri A., Marti-Bonmati L., Oliveira P., Costa F.E. et al. Accurate simultaneous quantification of liver steatosis and iron overload in diffuse liver diseases with MRI // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2017. Vol. 42, No. 5. P. 1434–1443. doi: 10.1007/s00261-017-1048-0.
21. Frittoli B., Bertuletti M., Angelini V. Case Series: Clinical Application in Liver Fat and Iron Quantification using LiverLab // *MAGNETOM Flash*. 2020. Vol. 76, No. 1.
22. Bhimaniya S., Arora J., Sharma P., Zhang Z., Khanna G. Liver iron quantification in children and young adults: comparison of a volumetric multi-echo 3-D Dixon sequence with conventional 2-D T2* relaxometry // *Pediatr. Radiol.* 2022. Vol. 52, No. 8. P. 1476–1483. doi: 10.1007/s00247-022-05352-4.
23. Serai S.D., Smith E.A., Trout A.T. et al. Agreement between manual relaxometry and semi-automated scanner-based multi-echo Dixon technique for measuring liver T2* in a pediatric and young adult population // *Pediatr. Radiol.* 2018. Vol. 48, No. 1. P. 94–100. doi: 10.1007/s00247-017-3990-y.
24. Biesbroek P., Amier R., Teunissen P. Changes in remote myocardial tissue after acute myocardial infarction and its relation to cardiac remodeling: A CMRT1 mapping study // *PLoS One*. 2017. Vol. 12, No. 6. P. e0180115. doi: 10.1371/journal.pone.0180115.
25. Triadyaksa P., Oudkerk M., Sijens P. Cardiac T2* mapping: Techniques and clinical applications // *J. Magn. Reson. Imaging*. 2020. Vol. 52, No. 5. P. 1340–1351. doi: 10.1002/jmri.27023.

Уважаемые коллеги!



Библиотека журнала «Лучевая диагностика и терапия» пополнилась руководством для врачей, которое предназначено для подготовки врачей — лучевых диагностов и врачей-клиницистов по вопросам современных подходов к получению и анализу лучевых изображений, в соответствии с критериями, принятыми в международной клинической практике, а также требованиями, предъявляемыми к формированию структурированных отчетов. Такой подход обеспечивает повышение качества выполняемых исследований, интерпретации изображений и достоверности заключений, а также способствует улучшению междисциплинарной коммуникации.

Настоящее издание является логическим продолжением руководств для врачей «Современные стандарты анализа лучевых изображений» (2017), «Современные классификации RADS и принципы построения заключения» (2018), «Современные стандарты анализа лучевых изображений и принципы построения заключения» (2019), «Современные стандарты анализа лучевых изображений и алгоритмы построения заключения» (2020–2024).

При его подготовке были использованы материалы, обсуждавшиеся на одноименной Международной ежегодной телеконференции 15 декабря 2024 г. (Санкт-Петербург).

Руководство для врачей «Современные стандарты анализа лучевых изображений и принципы построения заключения. Том IX» может использоваться для подготовки в системе последипломного и дополнительного профессионального образования, а также в системе ОМС и ДМС для контроля качества оказываемой медицинской помощи.

Приобрести книгу можно

по тел.: +7 (812) 956-92-55 и на сайте издательства <https://www.bmos-spb.ru>.