

Абдоминальная радиология в онкологии: новые возможности в свете прогресса компьютерной и магнитно-резонансной томографии

А.Б. Лукьянченко¹, д. м. н., профессор, вед. науч. сотр.;

В.Е. Синицын², д. м. н., профессор, руководитель Центра лучевой диагностики ЛРЦ;

В.О. Панов^{3, 1}, к. м. н., доцент³, вед. науч. сотр.¹

¹ ФГБУ «Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина»

Министерства здравоохранения РФ,

Каширское шоссе, 23, Москва, 115478, Российская Федерация;

² ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Министерства здравоохранения РФ,

Иваньковское шоссе, 3, Москва, 125367, Российская Федерация;

³ ГБОУ ДПО «Российская медицинская академия последиplomного образования»

Министерства здравоохранения РФ,

ул. Баррикадная, 2/1, Москва, 125993, Российская Федерация

Abdominal radiology in oncology: The new trends in computed tomography and magnetic resonance imaging

A.B. Lukiyanchenko¹, MD, PhD, DSc, Professor, Leading Researcher;

V.E. Sinitsin², MD, PhD, DSc, Professor, Head of Diagnostic Radiology Center
of Federal Center of Treatment and Rehabilitation;

V.O. Panov^{3, 1}, MD, PhD, Associate Professor³, Leading Researcher¹

¹ N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center, Ministry of Health of the RF,
Kashirskoe shosse, 23, Moscow, 115478, Russian Federation;

² Federal Center of Treatment and Rehabilitation, Ministry of Health of the RF,
Ivan'kovskoe shosse, 3, Moscow, 125367, Russian Federation;

³ Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Ministry of Health of the RF,
ul. Barrikadnaya, 2/1, Moscow, 125993, Russian Federation

Представлен краткий обзор технических инноваций в области компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) применительно к абдоминальной онкологии. Новыми направлениями применения КТ считают использование перфузионной и двухэнергетической методик. Особое внимание уделяется снижению лучевой нагрузки на пациентов с помощью интерактивных алгоритмов реконструкции данных. По сравнению с КТ магнитно-резонансная томография во многих случаях обладает более широкими возможностями в диагностике целого ряда заболеваний абдоминальной области. Стандартными подходами уже могут считаться выполнение диффузионно-взвешенной МРТ и динамические исследования с экстрацеллюлярными или гепатотропными контрастными препаратами. Изучаются новые импульсные МРТ-последовательности, которые могут повысить диагностическую значимость метода в абдоминальной онкологии.

Ключевые слова: абдоминальная онкология; лучевая диагностика; компьютерная томография; магнитно-резонансная томография; обзор.

Для цитирования: Лукьянченко А.Б., Синицын В.Е., Панов В.О. Абдоминальная радиология в онкологии: новые возможности в свете прогресса компьютерной и магнитно-резонансной томографии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2016; 97 (2): 118–124. DOI: 10.20862/0042-4676-2016-97-2-118-124

Для корреспонденции: Лукьянченко Александр Борисович; E-mail: lukalex@mail.ru

Paper gives a review of recent technical innovations in computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) that could be applied in abdominal oncology. Perfusion and dual-energy CT gives new opportunities for tissue characterization. Interactive reconstruction algorithms decrease radiation exposure to patients. Abdominal MRI has some important advantages over CT in detection and staging of abdominal malignancies. Nowadays standard MR protocols include DWI and dynamic 3D sequences with extracellular or liver-specific contrast media. Latest developments in MRI technology could expand its diagnostic value in abdominal oncology even further.

Index terms: abdominal oncology; abdominal radiology; computed tomography; magnetic resonance imaging; review.

For citation: Lukiyanchenko A.B., Sinitsin V.E., Panov V.O. Abdominal radiology in oncology: The new trends in computed tomography and magnetic resonance imaging. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii (Journal of Roentgenology and Radiology, Russian journal)*. 2016; 97 (2): 118–124 (in Russ.). DOI: 10.20862/0042-4676-2016-97-2-118-124

For correspondence: Alexander B. Lukiyanchenko; E-mail: lukalex@mail.ru

Information about authors:

Lukiyanchenko A.B., <http://orcid.org/0000-0002-7021-6419>

Sinitsin V.E., <http://orcid.org/0000-0002-5649-2193>

Panov V.O., <http://orcid.org/0000-0001-7534-2818>

Acknowledgments. The authors thank A. Aspidov and D. Il'in for their great help with writing the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received 22 September 2015

Accepted 20 January 2016

Введение

Вся история современной медицины свидетельствует о том, что технические инновации в области лучевой диагностики обуславливают радикальное улучшение возможностей распознавания различных заболеваний, в том числе онкологических. В настоящее время «лицо» лучевой диагностики в основном определяют два метода – компьютерная и магнитно-резонансная томография (КТ и МРТ) и основанные на них гибридные методики – позитронная эмиссионная томография (ПЭТ)/КТ, однофотонная эмиссионная компьютерная томография/КТ и появившаяся недавно ПЭТ/МРТ. Однако, если посмотреть на общее число исследований в любой стране, можно заметить, что именно КТ и МРТ играют главную роль как в диагностике и стадировании онкологических заболеваний, так и в оценке результатов лечения соответствующих пациентов.

Целью данной статьи является обзор вклада новых методик КТ и МРТ в абдоминальной онкологии.

В настоящее время все выпускаемые рентгеновские компьютерные томографы являются мультиспиральными (синонимы: многорядными, многодетекторными) системами, поэтому нам

представляется, что можно вернуться к термину «компьютерная томография», не прибегая больше к сокращениям МСКТ или МДКТ. В многочисленных публикациях было доказано, что разнообразные опухолевые процессы в брюшной полости и забрюшинном пространстве в большинстве случаев уверенно распознаются даже при использовании стандартных КТ-методик (с обязательным внутривенным контрастированием современными неионными препаратами). Бесконтрастная КТ в онкологии применяется сравнительно редко. Но, как известно, сложные диагностические ситуации в ряде случаев требуют освоения и применения новых, как уже разработанных, так и еще разрабатываемых, методик томографии.

К настоящему времени можно выделить следующие направления развития КТ в абдоминальной онкологии: перфузионная КТ, двухэнергетическая КТ и низкодозная КТ.

Перфузионная КТ

Перфузионная КТ как метод изучения кровотока в нормальных и опухолевых тканях известна давно, еще со времен пошаговой и односпиральной КТ. Но только к настоящему времени она превратилась в метод, рутин-

но применяющийся в клинической практике. Это связано с тем, что современные КТ-системы (начиная с 64-рядных и заканчивая широкодетекторными и двухтрубочными томографами) позволяют изучать перфузию больших анатомических областей протяженностью от 4 до 50 см (по оси движения стола). Соответственно, имеется возможность оценки перфузии печени, поджелудочной железы, желудка и других органов. Соответствующие протоколы компьютерной обработки результатов перфузионной КТ позволяют получить функциональные данные о степени кровоснабжения тканей [1–5] (рис. 1).

Двойная система кровоснабжения печени (за счет портальной вены и печеночной артерии) обуславливает клиническую целесообразность использования перфузионных методик для оценки степени и особенностей кровоснабжения опухолевых поражений ее паренхимы. Оценка особенностей перфузии печени и ее пораженных сегментов включает расчет параметров артериального и венозного (портального) кровотока в них. В ряде работ показано, что количественные цветовые карты перфузии печени могут способствовать как лучшей первичной диагностике новообразований

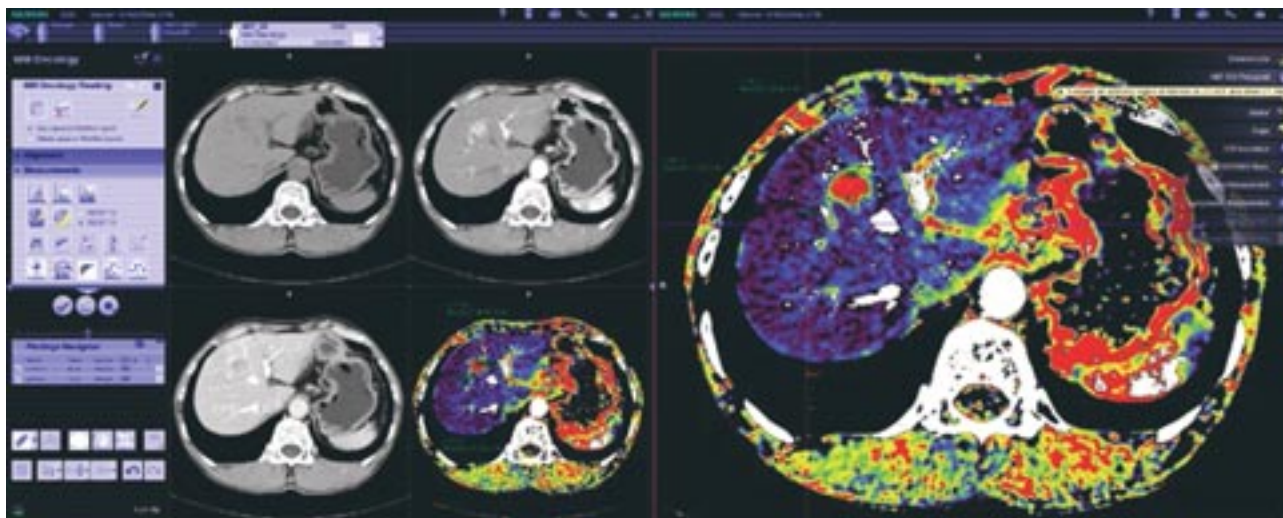


Рис. 1. Перфузионная КТ брюшной полости. Цветовая карта отображает количественные параметры перфузии паренхимы печени при внутривенном контрастировании

печени, так и более точной оценке эффективности консервативных методов лечения ее опухолевых поражений, в частности, с помощью химиотерапии или различных видов лучевой терапии, абляции/эмболизации [1–5].

Оценка параметров перфузии злокачественных тканей (отражающих неопластический ангиогенез опухолей) в ходе динамического наблюдения является одним из наиболее интересных направлений КТ. Востребованы в клинической практике и протоколы автоматического сегментирования печени, включающие возможность выделения крупных сосудистых стволов и желчных протоков (что позволяет оценивать особенности кровоснабжения паренхимы печени и ее желчевыводящей системы). Таким образом, улучшается планирование оперативных вмешательств (в частности, резекции печени) с учетом индивидуальной анатомии органа и локализации очагов. Кроме того, при подобном планировании хирургических вмешательств возможен расчет объемов долей печени и опухолевых образований с последующей оценкой послеоперационных изменений анатомии органа.

Двухэнергетическая КТ

Как известно, тканевое (мягкотканое) контрастное разрешение при КТ (позволяющее, в частности, дифференцировать нормальные и измененные ткани) существенно уступает таковому при МРТ. Появившаяся в 2006 г. методика двухэнергетической КТ (ДЭКТ) дает возможность частично преодолеть это ограничение метода. Принцип метода ДЭКТ состоит в построении серий моноэнергетических изображений, рассчитываемых из набора данных КТ, исходно полученных при двух исходных энергиях рентгеновского излучения на трубке томографа (например, 80 и 120 кВт). Эта методика может быть реализована либо с помощью двухтрубчатых КТ-систем

(Siemens), либо однострубчатых томографов, использующих быстрое переключение силы тока на трубке (GE) или двухслойные детекторы (Philips).

Методика ДЭКТ имеет множество направлений применения. В онкологии она позволяет более точно оценивать динамику накопления и вымывания йодсодержащего контрастного вещества в тканях, строить виртуальные бесконтрастные изображения (то есть не выполнять нативную фазу КТ), выделять отдельные элементы (йод, вода, жир и др.) в тканях, улучшать соотношение контраст/шум, более точно, чем единицы Хаунсфилда, оценивать «рентгеновскую плотность» тканей на основании их атомных чисел. Количество публикаций по ДЭКТ в абдоминальной онкологии неуклонно растет.

Очень удобны для практики клинической радиологии протоколы автоматического анализа и совмещения серий томографических (КТ, МРТ, ПЭТ) изображений, выполненных в разное время. Одновременно с этим возможны оценка динамики размеров опухолевых очагов по критериям RECIST, автоматический расчет объемов опухолей и скорости их роста или регрессии. Такие программы позволяют повысить эффективность мониторинга онкологических пациентов в процессе их лечения.

Низкодозная КТ

Следует отметить, что эффективность КТ в диагностике онкологических заболеваний очень высока, и необходимость ее использования не вызывает сомнений, так как клиническая значимость получаемых данных значительно превалирует над вероятностью развития серьезных осложнений от лучевой нагрузки, что подтверждено тысячами научных работ в этой области.

Как известно, уровень лучевой нагрузки на пациента при КТ зависит от ряда факторов, в частности напряжения и силы тока

на рентгеновской трубке. Применение новых протоколов итеративной реконструкции данных (таких, как SAPHIR, ASIR, iDose) позволяет снижать лучевую нагрузку при КТ без ухудшения качества диагностических изображений. Это достигается путем выполнения КТ с низкими значениями силы тока и напряжения на трубке, а также компенсацией возможного увеличения шума на изображениях за счет более совершенных алгоритмов реконструкции.

Однако, несмотря на все достоинства КТ, остающейся самым распространенным методом лучевой диагностики в абдоминальной радиологии, во многих областях онкологии МРТ выходит на ведущие позиции. Это связано с возможностью мультипараметрического отображения анатомических органов и структур, что характерно для этого метода, а также с его бурным техническим развитием в последние 10 лет.

Современные направления развития МРТ

В первую очередь следует отметить широкое распространение методики получения диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ). До начала XXI в. эта методика применялась преимущественно для диагностики острых нарушений мозгового кровообращения, но затем стала широко использоваться и в других областях. Применительно к абдоминальной онкологии можно прежде всего отметить высокую информативность ДВИ в выявлении очаговых поражений печени, опухолевых и воспалительных изменений поджелудочной железы, почек, органов малого таза и лимфатических узлов [6–10].

Детализированная разработка возможностей и показаний к применению методики ДВИ при МРТ может позволить исключить использование внутривенного контрастирования в некоторых рутинных ситуациях, напри-

мер при динамической оценке объема метастатического поражения печени в процессе химиотерапии соответствующих пациентов.

Еще одним важнейшим направлением стало широкое применение динамической МРТ с использованием гадолиниевых препаратов (экстрацеллюлярных и гепатоспецифичных).

Вышла из сферы чисто научных исследований и начала все шире применяться в клинической практике МР-спектроскопия.

В стадии изучения находятся такие перспективные методики МРТ, как последовательности, взвешенные по магнитной восприимчивости, – Susceptibility-Weighted Imaging (SWI); методики МРТ, позволяющие изучать степень оксигенации тканей и тканевого кровотока/перфузии с помощью технологии BOLD (Blood Oxygenation Level-Dependent) или методики меченых артериальных спинов – Arterial Spin Labelling (ASL); МР-эластография.

Например, методика BOLD, изначально созданная для проведения функциональной МРТ головного мозга, модифицирована и для исследования абдоминальной области. В данной методике используется деоксигемоглобин в качестве эндогенного контрастирующего агента [11]. Потенциально она может позволить оценивать степень васкуляризации различных опухолей печени и почек (микро- и макроваскуляризация) [12–17].

Импульсная последовательность модифицированного градиентного эхо с получением изображений, взвешенных по магнитной восприимчивости тканей (SWI), позволяет усиливать относительную контрастность МР-изображений мелких сосудов (в основном вен и венул) за счет разности в локальной магнитной восприимчивости между тканями и кровеносными сосудами [18]. По данным ряда публикаций, SWI дает возможность получать

изображение сосудистых стенок, нервов, отображать скопления кальция и железа в миокарде и печени [19]. Методика SWI обеспечивает более четкое отображение границ гепатоцеллюлярного рака, чем стандартные T1- или T2-последовательности, позволяет значительно лучше выявлять внутриопухолевые элементы кровоизлияний и венозные сосуды, а также сидеротические узелки в неизменной паренхиме печени [20]. Кроме того, методика SWI представляется весьма перспективной при оценке степени цирроза или диагностике гемохроматоза печени, в частности, для выявления регенераторных и диспластических узлов. С помощью SWI можно обнаруживать подобные узелки диаметром менее 2,5 мм увереннее, чем при УЗИ, КТ или стандартной МРТ [13].

Программный пакет ASL представляется привлекательной альтернативой традиционным методам изучения перфузии органов и тканей с помощью внутривенного контрастирования (МРТ-перфузия). Для методики ASL не нужны контрастные препараты, их заменяет МР-сигнал от крови, образующийся за счет изменения магнетизации ее протонов с помощью предварительного возбуждения специальными импульсами ядер водорода [21, 22]. Основной проблемой абдоминальной ASL являются двигательные артефакты (в частности, от дыхания), вызывающие нечеткость отображения границ и структуры исследуемых органов и зон перфузии [23].

Для компенсации двигательных артефактов фирмами-производителями предложен ряд решений. В качестве примера можно привести созданный компанией Siemens пакет FREEZEit, включающий последовательности StarVIBE и TWIST-VIBE. Так, с помощью последовательности StarVIBE можно выполнять динамические исследования брюшной полости и области

таза с внутривенным контрастированием даже без задержки дыхания, если оно носит поверхностный характер. При этом достигается значительное увеличение пространственного разрешения за счет неполного радиального заполнения матрицы k-пространства в трехмерной модифицированной импульсной последовательности «градиентное эхо» [24]. Стало возможным получение изотропных T1-изображений печени с разрешением до 1 мм [25]. Значительное улучшение пространственного разрешения при отсутствии артефактов от движения петель кишечника обуславливает возможность применения последовательности StarVIBE и подобных ей программ других производителей для выполнения исследований тонкой кишки (МР-энтерография) [25].

Благодаря методике параллельного сбора данных и многоканальных фазированных катушек появились программные пакеты, которые позволяют на одной задержке дыхания осуществлять 5-кратное считывание МР-данных из выбранной области в течение одной артериальной или венозной фазы, то есть разделять их на пять субфаз, в качестве примера можно привести методику CDT-VIBE (рис. 2). Такая методика открывает новые возможности для более детальной оценки гемодинамики в органах брюшной полости [26]. Высокое временное разрешение CDT-VIBE улучшает выявление гипervasкулярных образований в печени, таких как гепатоцеллюлярный рак, фокальная узловая гиперплазия, гипervasкулярные метастазы [27]. Использование данных программ возможно также при соответствующих исследованиях области таза, молочных желез и конечностей [28].

Появилась возможность получения высококачественных МР-изображений без задержки дыхания пациентом. В качестве примера можно привести последовательность GRASP (Golden-angle

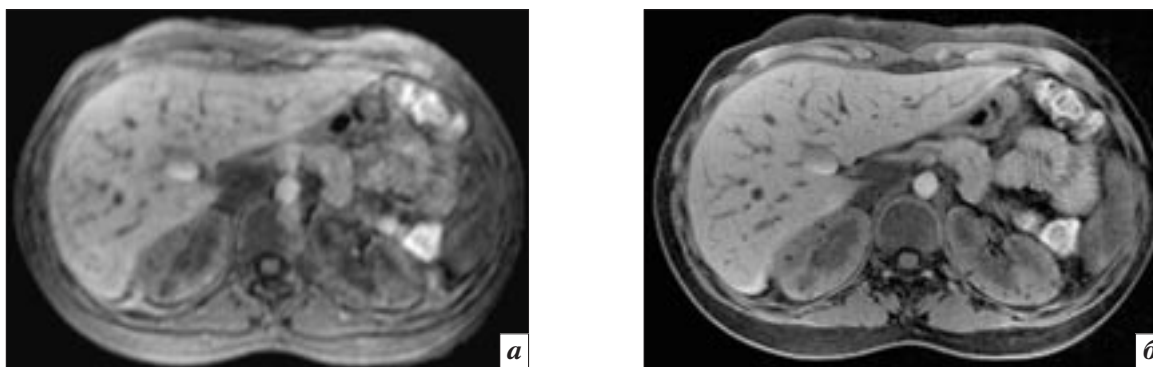


Рис. 2. Аксиальные МР-томограммы брюшной полости в стандартном режиме (а) и режиме подавления функциональной подвижности соответствующих органов в области интереса, выполненные с помощью последовательности CDT-VIBE (б). В последнем случае отмечаются улучшенные четкость и качество отображения паренхимы печени

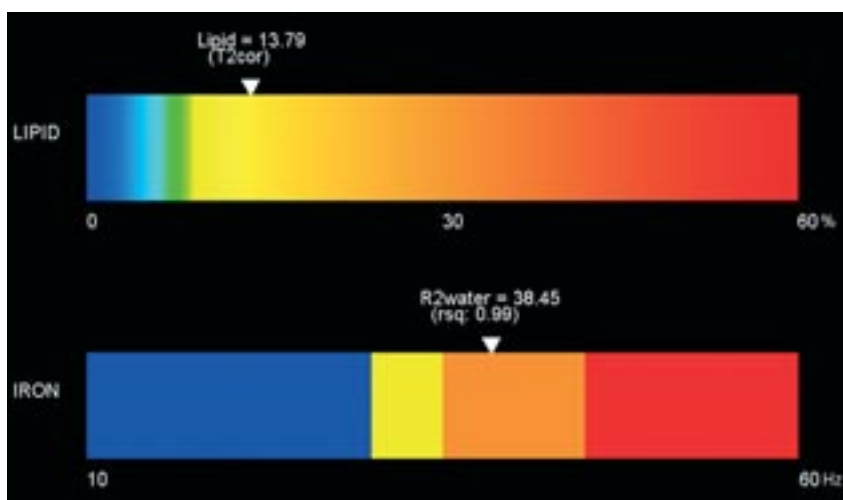


Рис. 3. Графическое отображение спектральной шкалы, позволяющей оценивать показатели содержания жира (верхняя полоса) или железа (нижняя полоса) в паренхиме печени с помощью МРТ

RAAdial Sparse Parallel) компании Siemens, которая обеспечивает непрерывный, быстрый сбор данных в течение всего времени введения контрастного препарата при спокойном и равномерном дыхании пациента, поэтому нет необходимости во внешней синхронизации или задержках дыхания, а также определении интервала задержки начала сканирования от момента введения контрастного вещества [12]. Это значительно повышает степень комфортности исследования для пациентов, особенно ослабленных, которым трудно многократно задерживать дыхание, а также для детей. Возможности GRASP представляются перспективными и для динамических контрастных МР-исследований абдоминальной области, включая оценку состояния кишечника [29].

Новые горизонты в углубленном изучении паренхимы печени открывают последовательности, направленные на количественную оценку жира, уровня железа или меди, сочетающиеся с программными пакетами для анализа таких данных («LiverLab», Siemens). С их помощью становится более достоверной диагностика стеатоза и гемохроматоза (рис. 3). Возможно также полуавтоматическое количественное определение жира и/или железа в тканях новообразований печени [12].

Эластография тканей уже давно применяется в ультразвуковой диагностике. Возможно выполнение этой методики и с помощью МРТ. МР-эластография представляет собой двумерную импульсную последовательность «градиентное эхо» в условиях прохождения механических волн через паренхиму печени.

Эти волны создаются активными или пассивными источниками (по аналогии с ультразвуковой эластографией). Некоторые авторы рассматривают МР-эластографию как перспективную неинвазивную методику для оценки состояния печеночной паренхимы (диагностика фиброза и цирроза), а также солидных опухолей печени. Предполагают, что ее применение может привести к созданию новых количественных характеристик тканей, способствующих диагностике как неопухолевых, так и опухолевых поражений печени [14, 30, 31]. Однако следует отметить, что в настоящее время эта методика используется пока достаточно ограниченно, так как для этого требуется приобретение дополнительных комплектующих к томографу, при этом увеличивается время исследования.

Как известно, метод МРТ позволяет строить диагностические изображения, основанные на измерении множества физических параметров, из которых основными являются: время спин-решеточной релаксации T1, время спин-спиновой релаксации T2, протонная плотность, химический сдвиг, магнитная восприимчивость, значения диффузии и перфузии.

Для анализа этих параметров и построения изображений приходится выполнять многочисленный ряд импульсных последовательностей, что увеличивает время МР-исследования. Поэтому крайне интересным направлением является создание мультипараметрических МР-последовательностей, которые позволяют в пределах одного протокола исследования получать объем данных, достаточный для реконструкции изображений с учетом всех вышеперечисленных параметров, определяющих МРТ-картину (то есть не только T1- и T2-томограммы).

Следует специально отметить, что углубленное изучение индивидуальных особенностей контрастирования выявляемых новообразований в печени при МРТ может обеспечивать корректную диагностику характера обнаруженных очаговых изменений без необходимости их биопсии (то есть морфологической верификации). В настоящее время это можно смело утверждать в отношении большинства случаев гемангиом, фокальной узловой гиперплазии, гепатоцеллюлярных аденом, гепатоцеллюлярных карцином и внутривенных холангиокарцином. Разумеется, все сомнительные и сложные случаи по-прежнему требуют обязательной морфологической верификации.

Заключение

В настоящее время стало очевидно, что лучевая диагностика в онкологии претерпевает существенные изменения. Благодаря

техническому прогрессу в области КТ и МРТ возможности этих методов существенно расширились. С их помощью теперь возможна не только традиционная морфологическая оценка опухолей (локализация, размеры, структура, распространенность), но и изучение их функциональных параметров (перфузия, диффузия, эластичность). Использование этих параметров в клинической практике может повысить эффективность томографических методов исследования при выборе тактики и стратегии лечения онкологических пациентов, а также при оценке эффективности проводимой им химио- или лучевой терапии.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам компании «Siemens» А. Астидову и Д. Ильину за любезную помощь и консультации при подготовке этой статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература/References

- Kim K.W., Lee J.M., Klotz E., Park H.S., Lee D.H., Kim J.Y. et al. Quantitative CT color mapping of the arterial enhancement fraction of the liver to detect hepatocellular carcinoma. *Radiology*. 2009; 250: 425–34.
- Kim K.W., Lee J.M., Kim J.H., Klotz E., Kim H.C., Han J.K., Choi B.I. CT color mapping of the arterial enhancement fraction of VX2 carcinoma implanted in rabbit liver: comparison with perfusion CT. *Am. J. Roentgenol*. 2011; 196: 102–8.
- Joo I., Lee J.M., Kim K.W., Klotz E., Han J.K., Choi B.I. Liver metastases on quantitative color mapping of the arterial enhancement fraction from multiphasic CT scans: Evaluation of the hemodynamic

features and correlation with the chemotherapy response. *Eur. J. Radiol*. 2011; 80: 278–83.

- Mahnken A.H., Klotz E., Schreiber S., Bruners P., Isfort P., Günther R.W., Wildberger J.E. Volumetric arterial enhancement fraction predicts tumor recurrence after hepatic radiofrequency ablation of liver metastases: Initial results. *Am. J. Roentgenol*. 2011; 196: 573–9.
- Kang S.E., Lee J.M., Klotz E., Kim K.W., Kim J.H., Han J.K., Choi B.I. Quantitative color mapping of the arterial enhancement fraction in patients with diffuse liver disease. *Am. J. Roentgenol*. 2011; 197: 876–83.
- Taouli B., Koh D.M. Diffusion-weighted MR Imaging of the liver. *Radiology*. 2010; 254 (1): 47–66.
- Taouli B. Diffusion-weighted MR Imaging for liver lesion characterization: A critical look. *Radiology*. 2012; 262 (2): 378–80.
- Qayyum A. Diffusion-weighted imaging in the abdomen and pelvis: Concepts and applications. *RadioGraphics*. 2009; 29: 1797–810.
- Акчурина Э.Д., Мершина Е.А., Синицын В.Е. Диффузионно-взвешенные изображения при очаговой патологии печени. *Медицинская визуализация*. 2011; 2: 19–25. [Akchurina E.D., Mershin E.A., Sinitin V.E. DW Imaging in liver lesions. *Meditsinskaya vizualizatsiya*. 2011; 2: 19–25 (in Russ.).]
- Лукьянченко А.Б., Медведева Б.М. Современная тактика распознавания новообразований печени. М.: Практическая медицина; 2015. [Lukiyanchenko A.B., Medvedeva B.M. Modern approaches to liver tumors diagnosis. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2015 (in Russ.).]
- Baudelet C., Gallez B. Current issues in the utility of blood oxygen level dependent MRI for the assessment of modulations in tumor oxygenation. *Curr. Med. Imag. Rev*. 2005; 1: 229–43.
- Heye T., Bashir M.R. Liver imaging today. *Magnetom Flash*. 2013; 2 (issue 52): 111–7.
- Dai Y., Zeng M., Haacke E.M. et al. Abdominal Susceptibility-Weighted Imaging: A new application for liver disease. *Magnetom Flash*. 2011; 3: 84–7.
- Parthasarathy S., Bolster B.D. Jr, Miller F.H. Magnetic resonance elastography: Proven indications,

- challenges and future considerations. *Magnetom Flash*. 2012; 1: 20–7.
15. Jhaveri K.S., Cleary S.P., Fischer S. et al. Blood oxygen level-dependent liver MRI: Can it predict microvascular invasion in HCC? *J. Magn. Reson. Imag.* 2013; 37: 692–9.
 16. Venkatesh S.K., Yin M., Glockner J.F. et al. MR elastography of liver tumors: preliminary results. *AJR*. 2008; 190 (6): 1534–40.
 17. Chen J., Ding J., Wu C. et al. Preoperatively evaluating the correlation between pathological grades and blood oxygenation level-dependent MRI in clear cell renal cell carcinomas. *Acad. Radiol.* 2013; 20: 224–30.
 18. Haacke E.M., Mittal S., Wu Z. et al. Susceptibility-weighted imaging: Technical aspects and clinical applications. Part 1. *AJNR*. 2009; 30 (1): 19–30.
 19. Dai Y. et al. Improving detection of siderotic nodules in cirrhotic liver with a multi-breath-hold susceptibility-weighted imaging technique. *JMRI*. 2011; 34: 318–25.
 20. Tao R., Zhang J., Dai Y. et al. Characterizing hepatocellular carcinoma using multibreathhold two-dimensional susceptibility-weighted imaging: Comparison to conventional liver MRI. *Clinical. Radiol.* 2012; 67: 91–7.
 21. Kim S.G. Quantification of relative cerebral blood-flow change by flow-sensitive alternating inversion-recovery (FAIR) technique – application to functional mapping. *Magn. Reson. Med.* 1995; 34: 293–301.
 22. Kwong K.K., Chesler D.A., Weisskoff R.M. et al. MR perfusion studies with T1-weighted echo-planar imaging. *Magn. Reson. Med.* 1995; 34: 878–87.
 23. Hoad C.L., Marciani L., Francis S.T., Gowland P.A. Biomedical imaging. Chapter 10. Whole body magnetic resonance imaging (MRI). Woodhead Publishing Limited; 2014: 266–305.
 24. Azevedo R.M. et al. Free-breathing 3D T1-weighted gradient-echo sequence with radial data sampling in abdominal MRI; preliminary observations. *AJR*. 2011; 197 (3): 650–7.
 25. Block K.T., Chandarana H., Fatterpekar G. et al. Improving the robustness of clinical T1-weighted MRI using radial VIBE. *Magnetom Flash*. 2013; 5: 6–11.
 26. Xuan W., Huadan X., Hui L. et al. Case study: CAIPIRINHA-Dixon-TWIST-VIBE Imaging of Liver Metastasis. *Magnetom Flash*. 2014; 3: 25–7.
 27. Kazmierczak P.M., Theisen D., Thierfelder K.M. et al. Improved detection of hypervascular liver lesions with CAIPIRINHA-Dixon-TWIST-Volume-Interpolated Breath-Hold Examination. *Investigative Radiology*. 2015; 50 (3): 153–60.
 28. Michaely H.J., Morelli J.N., Budjan J. et al. CAIPIRINHA-Dixon-TWIST (CDT) – Volume-Interpolated Breath-Hold Examination (VIBE). A new technique for fast time-resolved dynamic 3-Dimensional imaging of the abdomen with high spatial resolution. *Investigat. Radiol.* 2013; 48: 590–7.
 29. Block K.T., Feng L., Grimm R. et al. GRASP: Tackling the challenges of abdominopelvic DCE-MRI. *Magnetom Flash*. 2014; 5: 16–22.
 30. Venkatesh S.K., Yin M., Glockner J.F. et al. MR elastography of liver tumors: Preliminary results. *AJR*. 2008; 190: 1534–40.
 31. Muthupillai R., Lomas D.J., Rossman P.J. et al. Magnetic resonance elastography by direct visualization of propagating acoustic strain waves. *Science*. 1995; 269: 1854–7.
 32. Vollmar S.V., Kalender W.A. Reduction of dose to the female breast in thoracic CT: A comparison of standard-protocol, bismuth-shielded, partial and tube-current-modulated CT examinations. *Eur. Radiol.* 2008; 18 (8): 1674–82.

Поступила 22.09.2015

Принята к печати 20.01.2016