

COVID-19

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-63-77>

Оценка поражения легких при внебольничных пневмониях по данным магнитно-резонансной томографии при первичной диагностике и в ходе лечения

© Усов В.Ю.^{1, 2*}, Нуднов Н.В.³, Игнатенко Г.А.⁴, Фисенко А.Ю.⁵, Гуляев В.М.¹, Марицкий С.В.⁵, Калюжин В.В.^{5, 6}, Лукьяненко П.И.²

¹ НИИ кардиологии ТНИМЦ РАН; 634012 Томск, ул. Киевская, 111-А, Российская Федерация

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет; 634050 Томск, просп. Ленина, 30, Российская Федерация

³ ФГБУ Российский научный центр рентгенрадиологии Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 86, Российская Федерация

⁴ Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького; 283003 Донецк, пр. Ильича, 16, Российская Федерация

⁵ ОГАУЗ "Томская областная клиническая больница"; 634063 Томск, ул. И. Черных, 96, Российская Федерация

⁶ ФГБОУ ВО "Сибирский государственный медицинский университет"; 634050 Томск, Московский тракт, 2, Российская Федерация

Цель исследования: оценить практическую значимость МРТ в первичной диагностике воспалительных заболеваний легких, а также и в динамическом наблюдении – при инструментальном контроле лечения, в том числе в сравнении с результатами спиральной рентгеновской компьютерной томографии (СРКТ) органов грудной клетки.

Материал и методы. У 25 пациентов с острой пневмонией, из них 6 – с развившимся на фоне ее острым инфарктом миокарда, была проведена МРТ органов грудной клетки в T1- и T2-взвешенных (взв.) режимах, в том числе с подавлением сигнала от жировой ткани, толщиной среза от 2,5 до 5 мм, в матрицу 256 x 256 или 256 x 392 элемента изображения, при поле сканирования 40 x 40 см. При T1-взв. сканировании TR = 390–650 мс, TE = 10–15 мс. При T2-взв. сканировании TR = 2900–4000 мс, TE = 20–25 мс соответственно. У 16 из 24 пациентов было выполнено также парамагнитное контрастное усиление в дозировке 0,1 ммоль/кг массы тела. Постконтрастные изображения записывались спустя 12–17 мин после введения парамагнитных контрастных средств. У 17 из 25 наших пациентов была выполнена также компьютерная томография органов грудной клетки.

Результаты. Минимальный размер очаговых воспалительных поражений при внебольничной пневмонии, визуализированной средствами МРТ, составил 9 x 21 мм. Размеры патологического очага воспаления по данным МРТ легких высокодостоверно коррелировали с результатами СРКТ ($r = 0,96$, $p < 0,001$). МРТ легких достоверно верифицировали достижение ремиссии. В 6 случаях МРТ позволила также верифицировать острый инфаркт миокарда, развившийся на фоне долевой пневмонии. Тактика лечения по результатам проведения МРТ легких и грудной клетки была дополнена в 16 и значительно изменена в 9 случаях.

Заключение. МРТ легких с использованием T1-, T2-взв. протоколов с подавлением сигнала от жировой ткани, диффузионно-взвешенных протоколов и в особенности с применением парамагнитного контрастного усиления представляет собой высокоэффективный метод визуализации очаговых, сегментарных и распространенных воспалительных поражений. МРТ органов грудной клетки обоснованно может быть использована для диагностики и оценки лечения воспалительных поражений легких во всех диагностических и лечебных учреждениях, располагающих как низко-, так и высокопольными МР-томографами с возможностями синхронизации записи с дыханием.

Ключевые слова: пневмония, МРТ легких, парамагнитное контрастное усиление, диффузионно-взвешенная МРТ

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Усов В.Ю., Нуднов Н.В., Игнатенко Г.А., Фисенко А.Ю., Гуляев В.М., Марицкий С.В., Калюжин В.В., Лукьяненко П.И. Оценка поражения легких при внебольничных пневмониях по данным магнитно-резонансной томографии при первичной диагностике и в ходе лечения. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (2): 63–77. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-63-77>

Поступила в редакцию: 26.04.2020. Принята к печати: 10.05.2020. Опубликовано online: 19.06.2020.



Evaluation of lung damage in pneumonia, from chest magnetic resonance imaging, in primary diagnosis and in the follow-up of treatment

© Wladimir Yu. Ussov^{1, 2*}, Nikolay V. Nudnov³, Grigory A. Ignatenko⁴, Anna Yu. Fisenko⁵, Vsevolod M. Gulyaev¹, Sergey V. Maritskii⁵, Vadim V. Kalyuzhin^{5, 6}, Pavel I. Lukyanenok²

¹Institute of Cardiology of the Tomsk National medical research center of the Russian Academy of Sciences; Kievskaya str., 111-A, Tomsk 634012, Russian Federation

²National research Tomsk polytechnic university; Lenina str., 30, Tomsk 634050, Russian Federation

³National Center of Radiology of the Russian Ministry of Health; Profsoyuznaya str., 86, Moscow 117997, Russian Federation

⁴M. Gorky Donetsk National Medical University; Ilyicha prosp., 16, Donetsk 283003, Russian Federation

⁵Tomsk regional clinical hospital; Ivan Chernykh str., 96, Tomsk 634063, Russian Federation

⁶Siberian State medical University; Moskovskii trakt, 2, Tomsk 634050, Russian Federation

Purpose of the study. To evaluate the practical significance of MRI in the primary diagnosis of inflammatory lung diseases, as well as in follow-up control of treatment, also in comparison with the results of CT of the chest.

Material and Methods. In 25 patients with acute pneumonia, six of them with acute myocardial infarction developed as complication of it, the MRI of the chest organs was performed in T1 - and T2-weighted (-w.) modes, also with fat signal suppression, with slice thickness of 2.5 to 5 mm, in a matrix of 256 × 256 or 256 × 392 pixels, with a scanning field of view as large as 40 × 40 cm. In T1-w. mode TR = 390–650 ms, TE = 10–15 ms. When T2-w. scanning, respectively, TR = 2900–4000 ms, TE = 20–25 ms. Paramagnetic contrast enhancement was also carried out in 16 of 24 patients, at a dosage of 0.1 mmol/kg of body weight. Post-contrast images were acquired 12–17 minutes after the introduction of paramagnetic agent. In 17 out of 25 of our patients, chest CT was also performed.

Results. The minimal cross-dimension of focal inflammatory lesions for community-acquired pneumonia, imaged with MRI chest scanning was as little as 9 × 21 mm. The dimensions of lung lesion obtained from the MRI scanning did correlate significantly with results of the CT ($r = 0.96$, $p < 0.001$). Also MRI of the lung did prove the successful cure of pneumonia. Also in six cases the MRI verified the acute myocardial infarction occurred as complication of severe pneumonia. Based on the results of MRI of the lungs and chest, the treatment strategy was supplemented in 16 cases and significantly changed in 9 cases.

Conclusion. MRI of the lungs employing the T1- and T2-weighted protocols with fat suppression, diffusion-weighted imaging and use of contrast enhancement delivers highly efficient technique of imaging of nodal, segment and lobe inflammation. MRI of the chest should be reasonably employed for diagnosis and follow-up of treatment in hospitals and diagnostic units possessing high- and middle-field MRI scanners able to acquire the images in breath-synchronised mode.

Keywords: pneumonia, MRI, paramagnetic contrast enhancement, diffusion-weighted MRI

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Ussov W.Yu., Nudnov N.V., Ignatenko G.A., Fisenko A.Yu., Gulyaev V.M., Maritskii S.V., Kalyuzhin V.V., Lukyanenok P.I. Evaluation of lung damage in pneumonia, from chest magnetic resonance imaging, in primary diagnosis and in the follow-up of treatment. *Medical Visualization*. 2020; 24 (2): 63–77. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-63-77>

Received: 26.04.2020.

Accepted for publication: 10.05.2020.

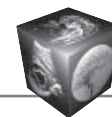
Published online: 19.06.2020.

Введение

Социально-экономическое и медицинское значение воспалительных заболеваний легких сегодня продолжает оставаться исключительно высоким, поскольку по показателям заболеваемости и временной нетрудоспособности в большинстве групп населения они занимают лидирующее место, а среди причин смертности – в пятерке первых [1, 2]. Во время сезонных обострений и эпидемических волн эта ситуация только обостряется [2], в особенности у пациентов с сочетанной патологией [3]. Поэтому разработка все новых технологий

ранней и атравматичной визуализации воспалительных заболеваний легких сохраняет и усиливает свою актуальность и важность [2, 4].

Традиционно методами выбора в визуальной диагностике патологии легких являются различные протоколы обычной планарной рентгенографии и спиральной рентгеновской компьютерной томографии (СРКТ) [4, 5]. Организованное и поддерживаемое современными методами анализа изображений применение высокоразрешающей СРКТ грудной клетки дает весьма впечатляющие положительные результаты как при воспалитель-



ной патологии, так и при раннем доклиническом скрининговом выявлении опухолей и туберкулеза легких [6].

Однако хотя и сопряженное с приемлемо малыми дозами однократного облучения СРКТ органов грудной клетки при дозно-оптимизированном одиночном исследовании [7] при повторном и многократном использовании в динамике контрольных исследований становится далеко не безобидной процедурой [8]. Кроме того, у некоторых категорий обследуемых – в первую очередь детей постнатальных и ранних возрастов, а также у беременных – СРКТ прямо не показана в качестве метода скрининга патологии легких [9]. Ультразвуковые методы из-за недостаточных технических возможностей сканирования области корней легких, а изотопные методы – еще и из-за лучевой нагрузки, не многим меньшей, чем при СРКТ, полноценным аналогом СРКТ быть не могут. Между тем внезапное возникновение ситуаций резкого повышения потребности в томографической визуализации легких, как в наши дни при массовом инфицировании вирусами типа COVID-19 [10], только усугубляет проблему надежного массового безопасного томографического обследования органов грудной клетки.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) сегодня достигла положения метода, обеспечивающего эффективную визуализацию всех органов и систем, но при этом ее возможности визуализации легких и грудной клетки в повседневной практике почти не используются. Хотя еще в начале 2000-х годов целый ряд в первую очередь отечественных работ исчерпывающе доказал высокую диагностическую эффективность МРТ при широком круге воспалительных и опухолевых патологий легких [11–13], а работы последнего времени это еще более убедительно подтверждают [14], ни в каких современных нормативных документах, регламен-

тирующих обследование пациентов с пульмонологическими заболеваниями, возможности МРТ, тем более МРТ с парамагнитным контрастным усилением, не обсуждаются и не рекомендуются [2, 5]. Говоря более заостренно, хотя никто никогда не позиционировал МРТ грудной клетки как конкурента – “замену” СРКТ, возможности МРТ в диагностике патологии легких неизменно подвергаются сомнению или попросту замалчиваются [3, 15]. Между тем в условиях необходимости проспективного контроля состояния органов грудной клетки у пациентов с внебольничными, в первую очередь вирусными пневмониями, у пациентов высокого риска с сочетанной патологией [2, 10] МРТ может оказаться весьма подходящим для этого методом.

Цель исследования

На основе ретроспективного анализа данных регистров МРТ, выполненных у пульмонологических пациентов, оценить практическую значимость МРТ в первичной диагностике воспалительных заболеваний легких, а также и в динамическом наблюдении – при инструментальном контроле лечения, в том числе в сравнении с результатами СРКТ органов грудной клетки.

Материал и методы

Пациенты. В целом в исследование было включено 25 пациентов с внебольничными пневмониями. Кроме того, было обследовано в качестве контрольной группы 10 пациентов без патологии легких, которым это исследование было выполнено как продолжение и дополнение к МРТ-обследованию грудного отдела позвоночника по поводу дегенеративно-дистрофических изменений (остеохондроза 2–3-го периода). Данные о пациентах с патологией легких представлены в таблице. Пациенты, у которых на фоне обширной пневмонии развился острый инфаркт миокарда (ОИМ),

Таблица. Группы пациентов, включенных в настоящее исследование

Table. Groups of patients included to the study

	МРТ органов грудной клетки MRI of the chest	Из них также проведено СРКТ грудной клетки Of them also the CT of chest carried out in
Острые пневмонии, сегментарные, бисегментарные и долевые Acute pneumonia, segmental, bisegmental, and lobular	19 (10 – с парамагнитным контрастным усилением) 19 (10 – paramagnetic contrast enhancement)	14
Пневмонии, на фоне которых развился острый инфаркт миокарда Pneumonia, against which an acute myocardial infarction developed	6 (все 6 – с парамагнитным контрастным усилением) 6 (all 6 with paramagnetic contrast enhancement)	3



были выделены нами в отдельную группу (см. таблицу). На момент исследования ни у кого из пациентов не было абсцедирования или гнойного плеврита, дыхательной недостаточности. Однако на момент госпитализации у всех насыщение крови по кислороду было менее 90%.

Ни один из пациентов не курил более 5 папирос или сигарет в день, а всего курящих было 9 – 5 пациентов, у которых имела место сегментарная пневмония, и 4 из 4 пациентов, у которых на фоне пневмонии развился ОИМ.

МРТ легких. Всем пациентам была выполнена МРТ органов грудной клетки. Исследования были выполнены на высокопольных МР-томографах (Тошиба Титан Вантаж и Тошиба Титан Атлас производства Toshiba Medical Co. с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл) – у 19 пациентов и на низкопольном МР-томографе Магнетом Опен (0,2 Тл, производства Siemens Medical) у 6 пациентов, у всех с синхронизацией записи по датчику дыхания. Были получены томосрезы в Т1- и Т2-взвешенных (взв.) режимах, в том числе с подавлением сигнала от жировой ткани, в аксиальных и фронтальных плоскостях, толщиной среза от 2,5 до 5 мм, в матрицу 256×256 или 256×392 элемента изображения, при размерах поля сканирования 40×40 см. При Т1-взв. сканировании TR = 390–650 мс, TE = 10–15 мс. При Т2-взв. сканировании TR = 2900–4000 мс, TE = 20–25 мс соответственно. У 16 из 24 пациентов было выполнено также парамагнитное контрастное усиление с использованием 0,5 М (гадоверсетамид) и 1 М (гадобутрол) парамагнитных контрастных средств (ПМКС) в стандартной дозировке 0,1 ммоль/кг массы тела с медленным внутривенным введением. Постконтрастные изображения записывались спустя 12–17 мин после введения ПМКС, во всех случаях с параметрами, идентичными исходному исследованию. У 17 из 24 наших пациентов было выполнено также СРКТ-исследование органов грудной клетки с использованием спиральных рентгеновских компьютерных томографов с числом линеек детекторов от 4 до 128, с шагом 0,5–1 мм и последующей реконструкцией как аксиальных, так и фронтальных томосрезов. Во всех случаях хронометрировалось время, затраченное на МРТ-исследование.

Анализ и обработка данных. Визуальная оценка, совмещение изображений, полученных с помощью различных протоколов и технологий томографического сканирования, количественная оценка интенсивностей изображений и анатомических размеров и объемов проводились с помощью пакета прикладных программ для обработки рентгенологических изображений RadiAnt произ-

водства компании Medixant (Польша, Познань) [16]. Статистическая обработка и корреляционный анализ результатов проводились с помощью пакета статистических расчетов и построения графиков Origin 6.1 (производства OriginLab, Texas).

Результаты

У пациентов контрольной группы во всех случаях никаких очаговых и диффузно-инфильтративных синдромов в области легких не отмечалось. Время, затраченное на МРТ-исследование без применения ПМКС, составляло 8–14 мин с учетом размещения пациента, а при применении ПМКС – от 16 до 25 мин. У пациентов с пневмониями типичная картина по данным МРТ в целом была близка к наблюдаемой при проведении им СРКТ органов грудной клетки. Картина неосложненной сегментарной пневмонии носила характер синдрома, четко очерченного анатомическими пределами сегмента, с выраженным усилением в патологическом очаге как Т2-взв., так и Т1-взв. и диффузионных изображений МР-томограмм (рис. 1).

Можно видеть, что диффузионно-взвешенное изображение однозначно указывает на солитарный характер патологии и отсутствие вовлечения структур корня легкого и средостения.

При тяжелом двустороннем характере поражения диффузионно-взвешенное изображение визуализировало участки наиболее выраженного повреждения паренхимы легкого, как в представленном ниже случае массивной двусторонней верхнедолевой пневмонии, развившейся на фоне кордаронового легкого вследствие длительного, более 2 лет, приема этого препарата (рис. 2).

Можно видеть выражено неоднородный характер диффузионно-взвешенного изображения верхних долей обоих легких пациента. При этом не можем не отметить, что у этого пациента одновременно было очевидно усилено и диффузионно-взвешенное изображение стенки аорты, к тому же расширенной в восходящем участке и дуге до 43–45 мм. Спустя 2,5 мес у него в амбулаторных условиях развилась острая расслойка стенки аорты и этот пациент в течение часа погиб.

Минимальный размер очаговых воспалительных поражений при внебольничной пневмонии, визуализированной средствами МРТ, составил в нашем случае 9×21 мм. На рис. 3 представлен этот случай, когда пациенту с эпизодом кашля и повышением температуры тела до $37,9^\circ\text{C}$, ранее контактировавшему с больными открытой формой туберкулеза, была выполнена СРКТ и в тот же день МРТ органов грудной клетки.

Последующие тесты не подтвердили туберкулезный характер очаговой бронхопневмонии.

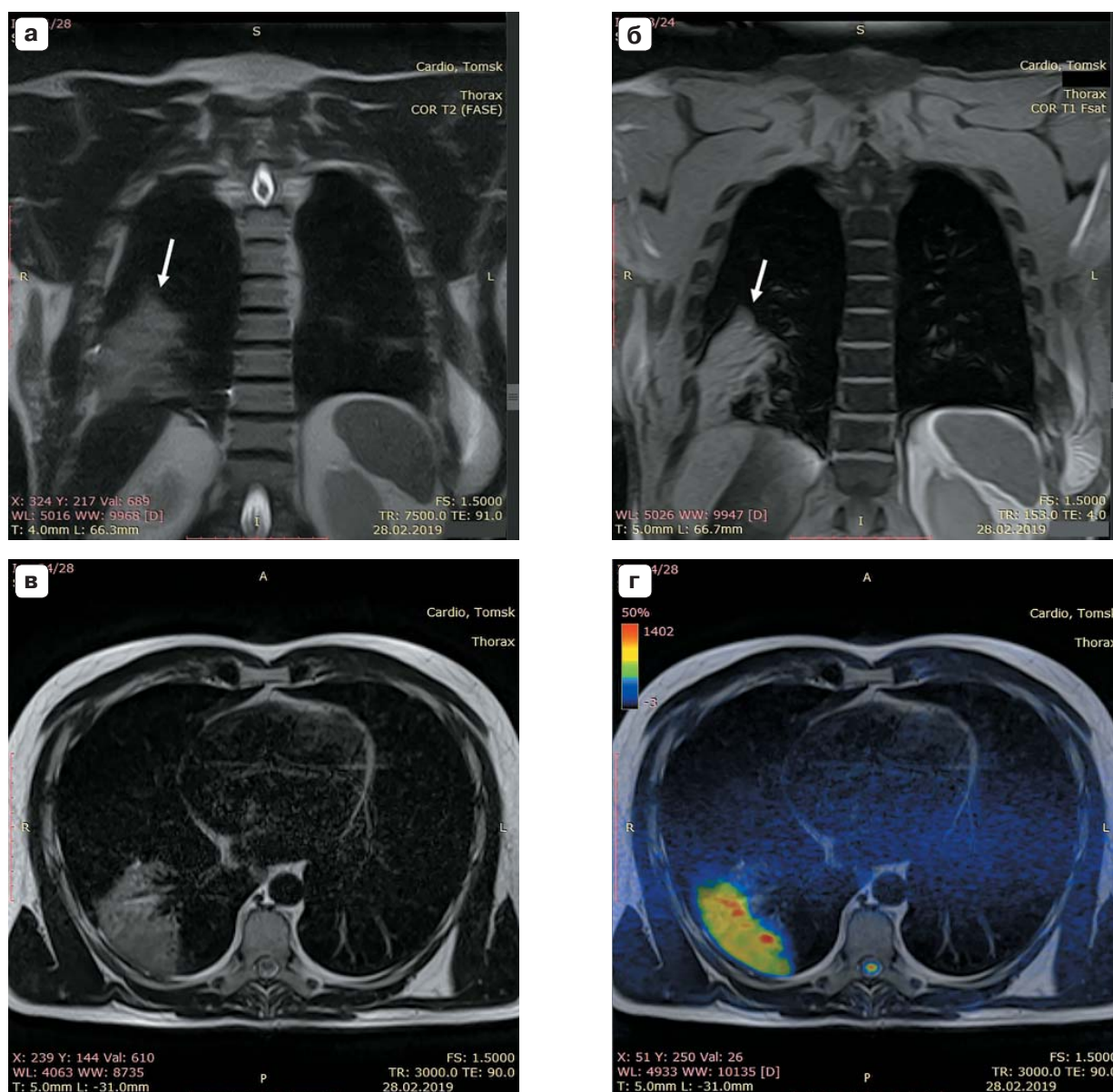
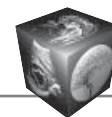


Рис. 1. Картина острой внебольничной сегментарной плевропневмонии в нижней доле правого легкого при использовании синхронизированных по дыханию МРТ-изображений во фронтальных (**а** – T1-взв., **б** – T2-взв.) и аксиальных плоскостях (**в** – T2-взв., **г** – диффузионно-взвешенное изображение, наложенное на T2-взв. МР-томограмму).

Fig. 1. The picture of acute community-acquired segmental pleuropneumonia in the lower lobe of the right lung, when using breath-gated MRI images in the frontal (**a** – T1-w., **б** – T2-w.) and axial planes (**в** – T2-w., **г** – diffusion-weighted image superimposed on T2-w. MRI scan).

Можно видеть, что хотя вследствие более высокого пространственного разрешения СРКТ (см. рис. 3а, в) обеспечивает лучшую визуализацию легочного рисунка, собственно патологический очаг на МР-томограмме в T-взв. режиме с подавлением сигнала от жира виден ярко и однозначно, и, более того, T2-взв. изображение во фронтальной плоскости (см. рис. 3г) позволяет увидеть усиление изображения не только воспаленного бронха I сегмента правого легкого, но и паренхимы в этом сег-

менте, что существенно для уточнения диагноза. На изображениях магнитно-резонансной и рентгеновской томограмм равно видно отсутствие в данном случае значимых изменений со стороны лимфатических узлов корня легкого и средостения. В целом анатомическая локализация поражения легочной паренхимы у всех обследованных была визуалью наиболее четкой при использовании T2-взв. режима сканирования, в особенности при дополнительном подавлении сигнала от жировой ткани.

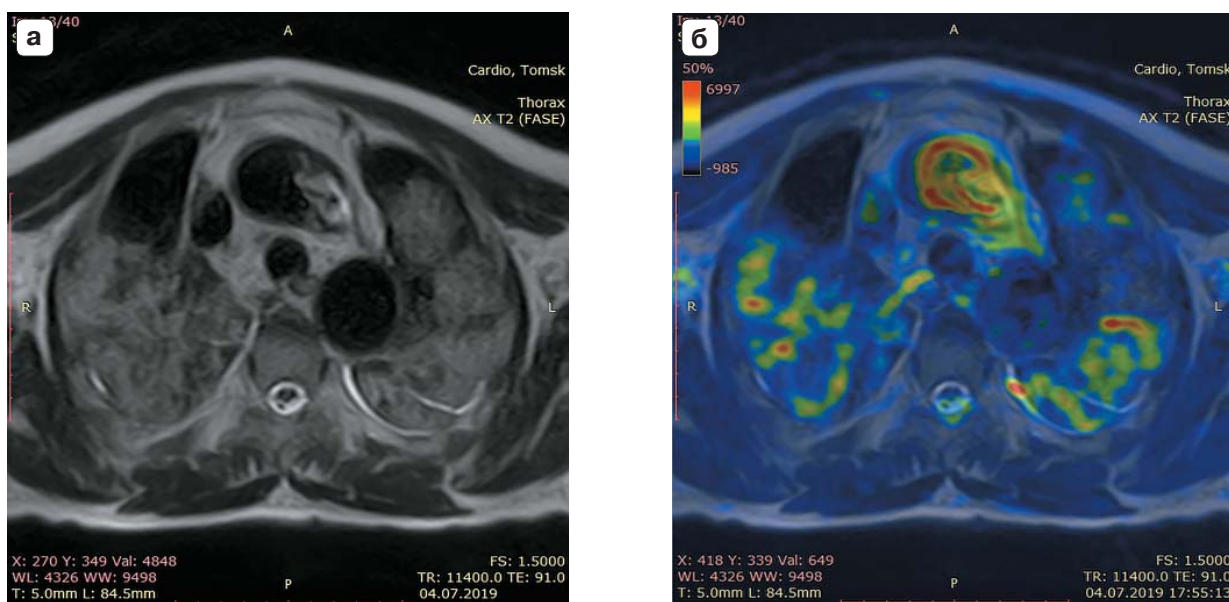


Рис. 2. МРТ-изображение двусторонней долевой пневмонии в Т2-взв. режиме (**а** – изображение в градациях серого) и при совмещении поверх Т2-взв. МР-томограммы диффузионно-взвешенного изображения в той же плоскости (**б** – диффузионно-взв. изображение в цветовой шкале поверх Т2-взв. МР-томограммы в градациях серого). Наряду с гиперинтенсивным диффузионно-взвешенным изображением наиболее поврежденных участков паренхимы легких ярко визуализируется стенка аорты без признаков флотирующих отслоенных участков эндотелия. Впоследствии спустя 2,5 мес развилась расслаивающая острая аневризма аорты приведшая к смерти пациента в течение часа.

Fig. 2. MRI of bilateral lobular pneumonia in T2-w. mode (**a** – grayscale image) and when fusing a diffusion-weighted image over the T2-w.MRI in the same plane (**b** – diffusion-weighted image in the color scale over T2-w in grey-scale). Along with a hyperintensive diffusion-weighted image of the most damaged areas of the lung parenchyma, the aortic wall is vividly visualized, without signs of floating fragments of the endothelium. Subsequently, in 2.5 months he developed an acute dissecting aneurysm of the aorta, which led to the death of the patient within an hour.

При проспективном контроле пневмонии в ходе лечения МРТ легких также показала себя вполне адекватным методом и у всех наших пациентов в момент клинически достигнутой ремиссии спустя 1,5 и более месяца после начала заболевания верифицировала отсутствие процессов экссудации и восстановление воздушности легкого. Типичный пример проспективного контроля успешной терапии внебольничной сегментарной пневмонии можно видеть на рис. 4 и 5. При первичном обращении у молодой девушки с остро возникшей болью в левой половине грудной клетки, ознобом и подъемом температуры тела при проведении СРКТ была однозначно установлена картина сегментарной пневмонии, как видно на рис.4а. Выполненная в тот же день МРТ в Т2-взв. (рис. 4б) и Т1-взв. (рис. 4в) режимах визуализирует расположение патологического процесса совершенно сходно с СРКТ по анатомо-топографическому положению, но обеспечивает относительно более яркую интенсивность патологического очага при этих режимах МРТ-сканирования.

В последующем, спустя 2 мес, у этой пациентки по завершении лечения и клиническом выздо-

ровании было выполнено повторное контрольное МРТ-исследование органов грудной клетки. Как можно видеть на рис. 5 (при сравнении с рис. 4б, в), достижение ремиссии и практически полное исчезновение признаков локальной гипергидратации ткани легкого на Т2-взв. изображении очевидно и несомненно.

При сравнительном корреляционном анализе максимальных поперечных размеров очага острой пневмонии, определяемых по данным СРКТ и МРТ в Т2-взв. режиме, оказалось, что они связаны теснейшим образом, коэффициент корреляции между ними близок к 1 с большой достоверностью (рис. 6), поэтому можно вполне обоснованно говорить о сходстве этих методов в оценке анатомической протяженности воспалительного процесса.

В случаях, когда массивная – долевая или двусторонняя – пневмония осложнялась развитием инфаркта миокарда, проведение МРТ грудной клетки оказывалось еще более целесообразным, в особенности при выполнении ее с парамагнитным контрастным усилением. Так, на рис. 7а представлена картина СРКТ органов грудной клетки пациента С., курящего мужчины 47 лет, обратив-

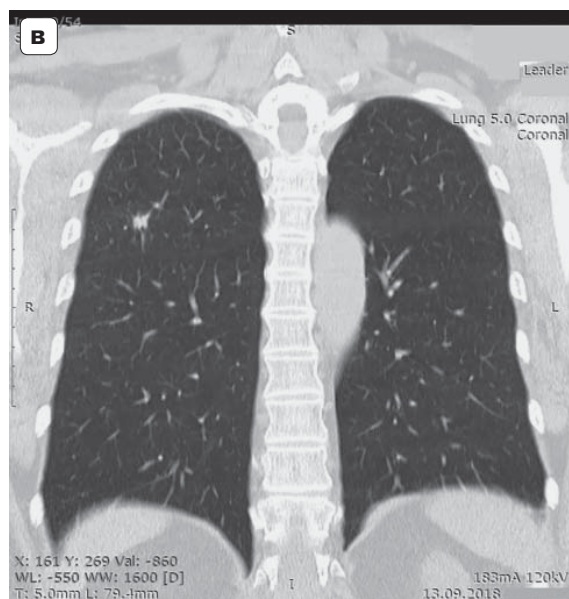
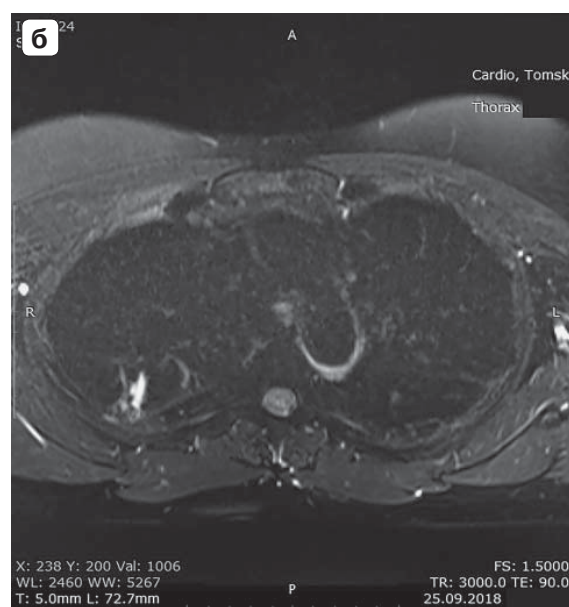
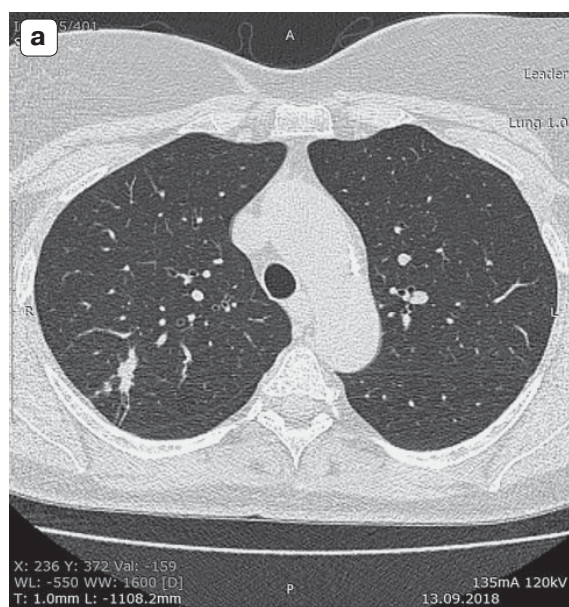
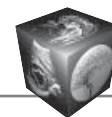


Рис. 3. Картина успешной МРТ-визуализации при изолированном воспалительном поражении бронха I сегмента верхней доли правого легкого. **а** – СРКТ и **б** – МРТ в T2-взв. режиме с подавлением сигнала от жировой ткани, срезы в аксиальной плоскости. **в** – СРКТ и **г** – МРТ во фронтальной плоскости. На МРТ-срезах во фронтальной плоскости (**г**) наряду с ярким изображением пораженного бронха хорошо видно вовлечение и собственно легочной паренхимы этого сегмента.

Fig. 3. The picture of successful MRI depiction in isolated inflammatory bronchial lesions of the first segment of the upper lobe of the right lung. **a** – CT and **б** – MRI in T2-w. mode with signal suppression from fat tissue, sections in the axial plane. **в** – CT and **г** – MRI in the frontal plane. On the MRI-slices in the frontal plane (**г**), along with a bright image of the affected bronchus, the involvement of lung parenchyma of this segment is clearly visible.

шегоса по скорой помощи в связи с болями в правой половине грудной клетки, одышкой в покое с усилением ее при нагрузке, жаром ($t = 38,3^{\circ}\text{C}$) и головокружением. Она была расценена как очевидная для долевой пневмонии с немедленным назначением полноценной терапии.

Спустя 2 дня было отмечено выраженное клиническое улучшение, однако после нарушения пациентом постельного режима и незначительной нагрузки (подъем на этаж по лестнице) развился эпизод тяжелых болей в грудной клетке, теперь уже в левой половине, разлитых, в том числе и за-

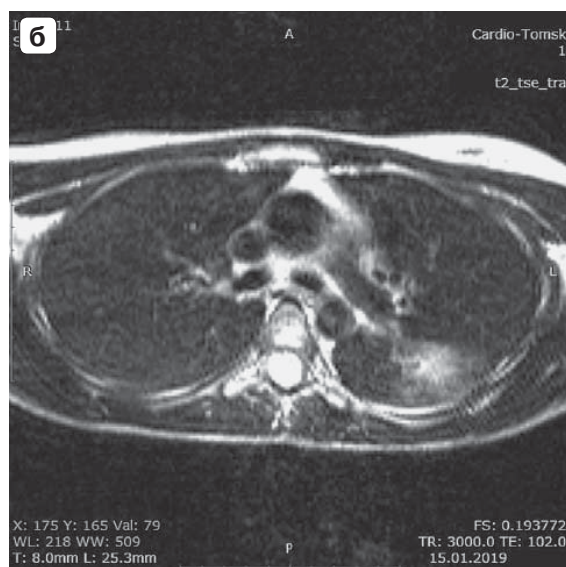
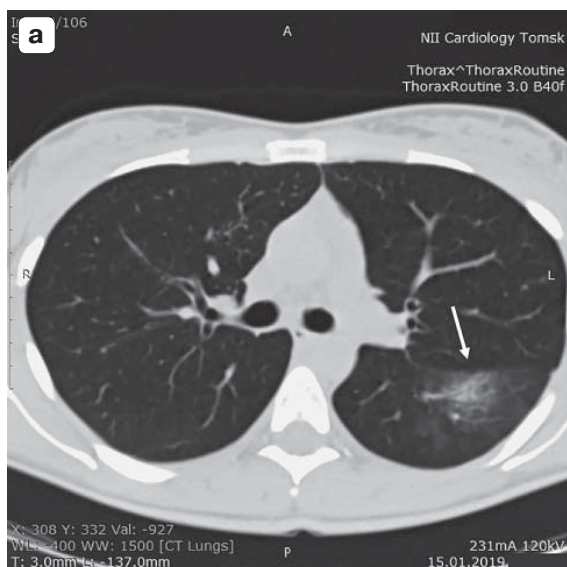


Рис. 4. Томограммы грудной клетки пациентки К., 22 лет, поступившей с острой внебольничной сегментарной пневмонией слева. **а** – СРК-томограмма; **б** – МР-томограмма в T2-взв. режиме на том же уровне среза, что и СРК-томограмма; **в** – МР-томограмма в T1-взв. режиме. Очаг воспалительного поражения отмечен стрелкой на СРКТ-срезах (**а**).

Fig. 4. Chest scans of a 22-year-old lady patient who was admitted with acute community-acquired segmental pneumonia of the left lung. **a** – CT; **б** – MRI in T2-w. mode at the same level as CT; **в** – MRI in T1-w. mode. The focus of the inflammatory lesion is marked by an arrow on the CT-slice (**a**).

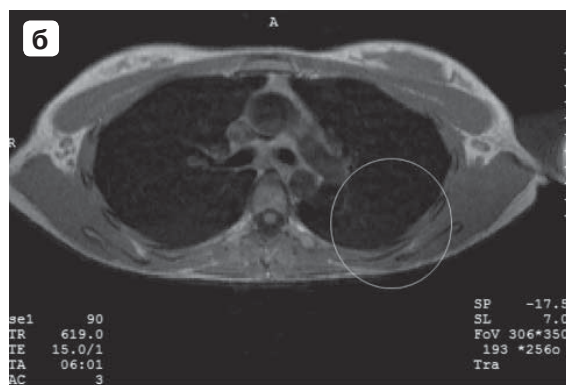
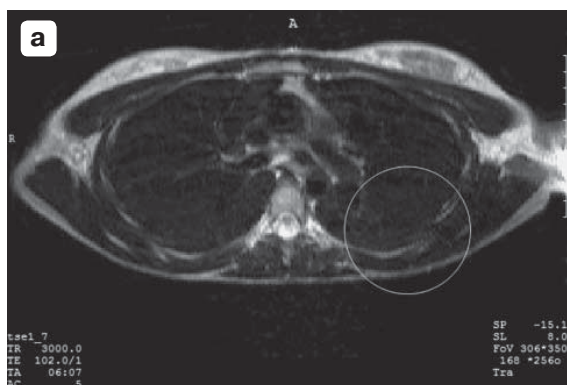
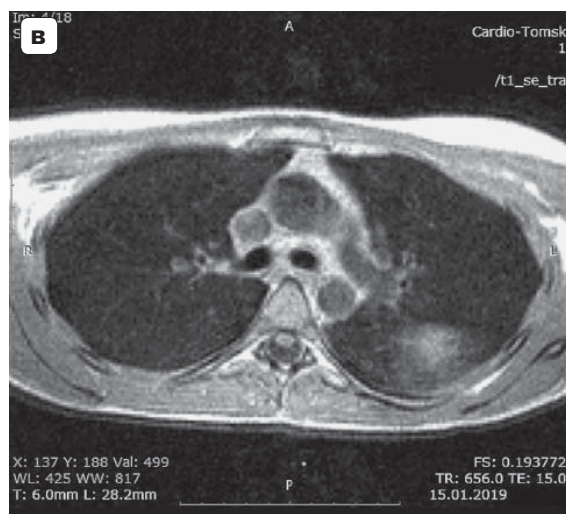


Рис. 5. МР-томограммы грудной клетки той же пациентки, что и на рис. 4б, в, спустя 6 нед после первичного МРТ-исследования при поступлении. Область ранее отмеченного сегментарного воспалительного поражения показана окружностью. Очевидно отсутствие значимой экссудации и отечности ткани легкого с восстановлением ее воздушности и МРТ-картины ремиссии пневмонии (сравнить с рис. 4).

Fig. 5. MRI scans of the chest of the same patient as in Fig.4б and в, 6 weeks after first MRI examination at admission. The area of the previously vivid segmental inflammatory lesion is marked with a circle. Obviously, there is no significant exudation and swelling of the lung tissue, with the restoration of its airiness, thus making evidence with this MRI an evidence for recovery of pneumonia (please compare with Fig. 4).

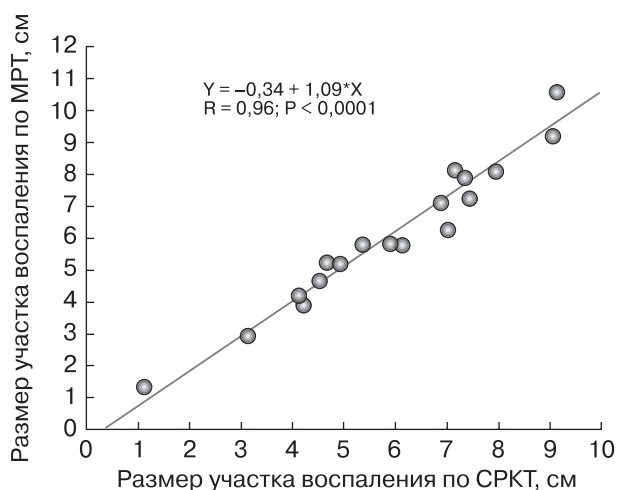
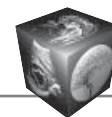


Рис. 6. Корреляция максимальных размеров очага пневмонии по данным измерений на аксиальных срезах грудной клетки при МРТ в T2-взв. режиме и по данным СРКТ.

Fig. 6. Correlation of maximal cross-extent of pneumonic lesions as measured from axial slices of chest using T2-w. MRI and from spiral CT scans.

грудинных, сохранявшихся затем и в покое. Первоначально ввиду отсутствия подъема сегмента ST на электрокардиограмме эпизод был расценен как острый миокардит, осложнивший течение пневмонии, в связи с чем пациенту было проведе-

но МРТ-исследование с ПМКС. На МР-томограмме сердца этого пациента в режиме инверсия-восстановление с обнулением интенсивности изображения здорового миокарда за счет подбора времени инверсии (рис. 8) была выявлена несомненная картина массивного инфарктного трансмурального повреждения левого желудочка с формированием тромба в верхушке (см. рис. 8). Проведенная непосредственно за этим МРТ органов грудной клетки выявила массивный нечетко очерченный долевоу участок воспалительного накопления контраста-парамагнетика на T1-взв. МРТ (рис. 9а), зрительно полностью конгруэнтный патологическому участку пневмонии при СРКТ (см. рис. 7а). После лечения пневмонии в итоге было достигнуто достоверное улучшение как картины СРКТ грудной клетки (см. рис. 7б), так и МРТ грудной клетки с ПМКС (рис. 9б). В частности, после лечения пневмонии патологическое долевоу включение ПМКС в паренхиме легкого на T1-взв. МР-томограмме практически не видно (см. рис. 9б). В то же время на фоне ремиссии по пневмонии МРТ однозначно визуализировала у этого пациента прогрессирующее расширение – ремоделирование левого желудочка вследствие перенесенного обширного ОИМ и утраты за счет ишемического повреждения до трети массы миокарда левого желудочка (см. рис. 8, 9).

В целом же по группе пациентов тактика лечения была по результатам проведения МРТ легких

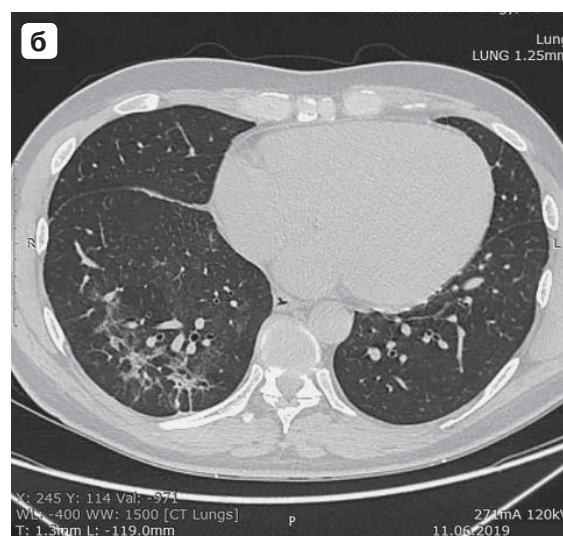
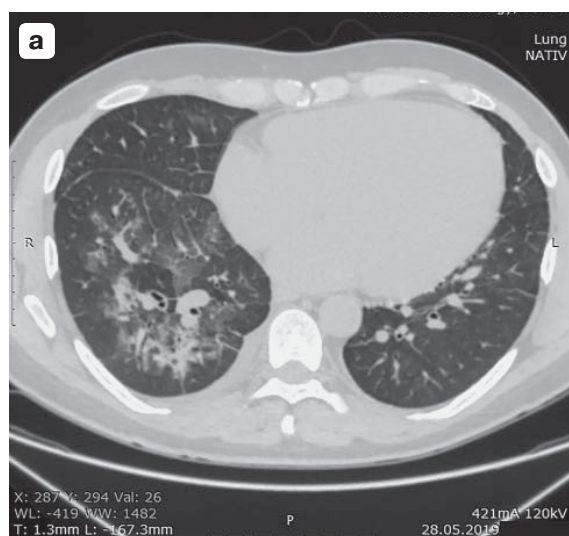


Рис. 7. СРКТ-изображения грудной клетки пациента С., 47 лет, при поступлении с острой нижнедолевой правосторонней бронхопневмонией (а) и спустя 3 нед (б). На рис. 7б очевидно развитие положительных ремиссивных изменений пораженной доли.

Fig. 7. Spiral CT scans of the chest of the patient C, 47 y.o., when admitted to hospital with acute lower lobe right-side bronchopneumonia (a) and in three weeks (b). The figure 7б obviously shows prominent improvement in the affected lobe.

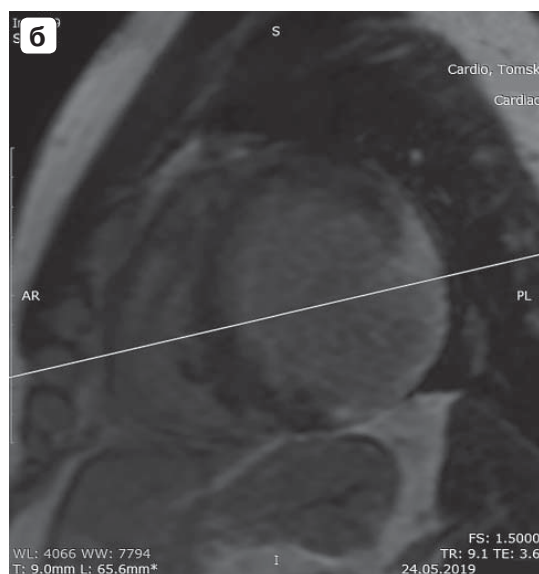
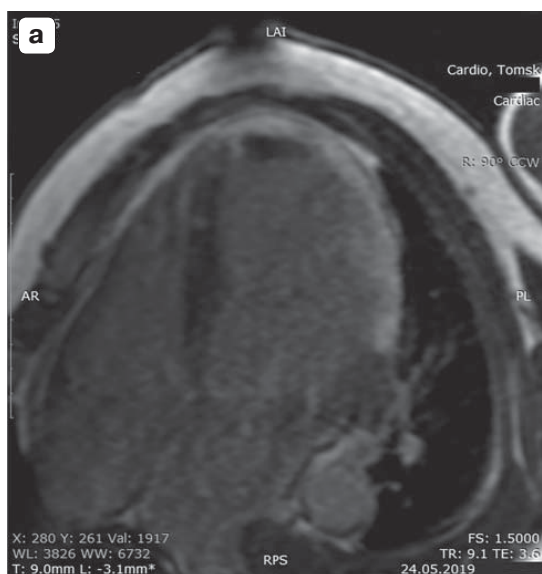


Рис. 8. МРТ сердца с парамагнитным контрастным усилением и ЭКГ-синхронизацией пациента С., СРКТ органов грудной клетки которого представлены на рис. 7. МРТ в режиме инверсия–восстановление с парамагнитным контрастным усилением (гадоверсетамид 0,5 М в дозировке 2 мл/10 кг массы тела), сканирование на 12–17-й минуте после внутривенного введения ПМКС. На срезах в четырехкамерной позиции по длинной оси (**а**) и двухкамерной по короткой оси (**б**) можно видеть обширное яркое трансмуральное включение ПМКС в боковую стенку левого желудочка, соответствующее ОИМ в бассейне огибающей ветви левой коронарной артерии и позволившее отвергнуть диагноз “миокардита”.

Fig. 8. MRI of the heart with paramagnetic contrast enhancement and ECG-gating, in a patient С., whose CT scans of the chest are presented in the Fig. 7. MRI were acquired in inversion – recovery mode, with paramagnetic contrast enhancement (gadovetsetamid, 0,5M, as 2 ml per 10 Rg of BW), acquired in 12–17 min after intravenous injection of paramagnetic. Four-chamber long-axis slice (**a**) and two-chamber short-axis slice (**b**) clearly show prominent transmural uptake of paramagnetic to myocardium through the lateral wall of the left ventricle, that corresponds to perfusion area of the circumflex left coronary artery, which provided the cancellation of diagnosis of “myocarditis” and changed it to acute transmural myocardial infarction.

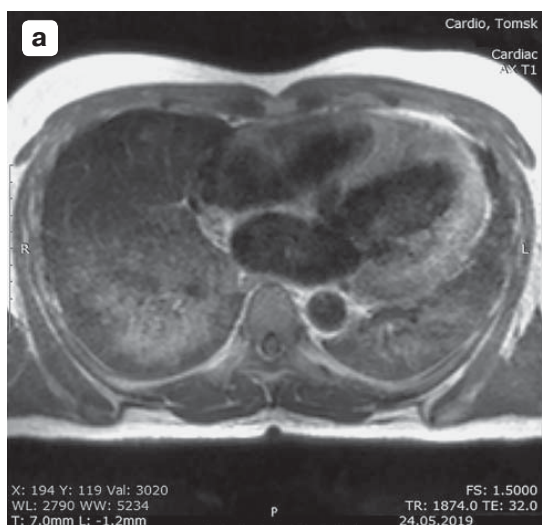


Рис. 9. Аксиальные срезы МРТ органов грудной клетки в T1-взв. режиме с парамагнитным контрастным усилением. Тот же пациент, что и на рис. 7, 8. **а** – при поступлении с острой внебольничной пневмонией; **б** – спустя 2 мес, по достижении клинического выздоровления по пневмонии. Исследования с парамагнитным контрастным усилением (гадоверсетамид 0,5 М в дозировке 2 мл/10 кг массы тела), сканирование на 12–17-й минуте после внутривенного введения ПМКС. Рис. **б** верифицирует практически полное исчезновение патологического включения ПМКС в паренхиму легких, однако указывает на выраженное расширение левого желудочка и левого предсердия, как показатель прогрессирования сердечной недостаточности вследствие обширного ОИМ, с утратой не менее 1/3 миокарда левого желудочка сердца.

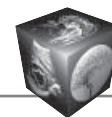


Fig. 9. Axial slices of the MRI of the chest acquired in T1-weighted mode with paramagnetic contrast enhancement. The same patient as shown in fig.7 and fig. 8. **a** – acquired at admission with acute вкбольничная pneumonia; **б** – in two months, at full recovery from pneumonia. Both scans show contrast enhancement (gadoversetamid, 0,5M, as 2 ml per 10 Rg of BW), acquired in 12–17 min after intravenous injection of paramagnetic. Fig.9б verifies almost total disappearance of the pathologic uptake of paramagnetic contrast to lung parenchyma, but also verifies progressive extension of both left ventricle and atrium, as markers of progressive heart failure due to extensive myocardial infarction with loss of over 1/3 of myocardium of the left ventricle.

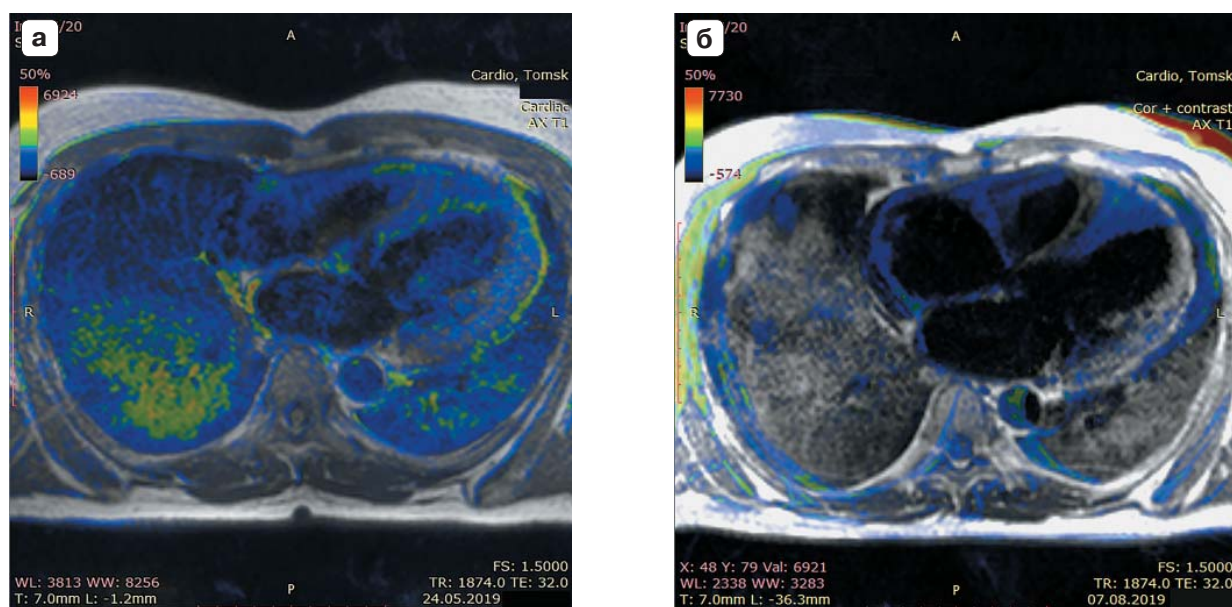


Рис. 10. Использование совмещенных МРТ-изображений легких для визуализации распределения ПМКС в области пораженной доли при пневмонии. Картина накопления ПМКС в цвете накладывается на исходное T1-взв. МРТ-изображение в градациях серого. Тот же пациент, что и на рис. 9. **a** – при поступлении с острой нижнедолевой правосторонней пневмонией; **б** – спустя 2 мес, по достижении клинического выздоровления по пневмонии. На исходном томосрезе (**a**) хорошо видно не только интенсивное накопление в пораженном участке правого легкого, но и – в меньшей степени, нежели справа, – в паренхиме левого легкого, а также по ходу перикарда (синдром Дресслера при обширном ОИМ). Спустя 2 мес (**б**) легочная аккумуляция парамагнетика практически отсутствует, признаков синдрома Дресслера также нет, но очевидна прогрессирующая вентрикулодилатация – ремоделирование левого желудочка.

Fig. 10. Use of fused MRI scans of the lungs to visualize the distribution of paramagnetic to the affected lobe in pneumonia. The pattern of accumulation of paramagnetic in color is superimposed over the original T1-1.MRI in the grayscale mode. The same patient as in Fig.9. **a** – when admitted with acute lower-lobe right-sided pneumonia; **б** – two months later, after achieving clinical recovery for pneumonia. On the initial fused slice of a, it is clearly visible not only intense accumulation to the affected area of the right lung, but also – to a lesser extent than on the right – in the parenchyma of the left lung, as well as along the pericardium (Dressler syndrome in extensive AMI). In two months (**б**) lung uptake of paramagnetic is almost disappeared, there is no evidence for Dressler's syndrome, but progressive ventriculodilation – remodeling of the left ventricle is obvious.

и грудной клетки дополнена в 16 и значительно модифицирована в 9 случаях.

Наиболее эффективной формой представления результатов МРТ органов грудной клетки с парамагнитным контрастным усилением при обширных пневмониях оказалось пространственное сопоставление на одном изображении исходного T1- взв. изображения в градациях серого и — поверх него – распределения контрастного препарата, т.е. разностного изображения {(После контраста) – (До контраста)}, представленного в цвете.

Типичный пример такого совмещенного изображения представлен на рис. 10.

Таким образом, в клинически различных ситуациях комплексное МРТ-исследование органов грудной клетки в аксиальных и фронтальных плоскостях показало себя как тесно коррелирующее с результатами СРКТ этой области и обеспечивающее важнейшую дополнительную клиническую информацию, приводящую в большинстве случаев к значительному уточнению или изменению тактики ведения пациента.



Обсуждение

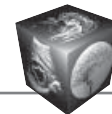
Биофизические основы визуализации патологических процессов в легких при пневмониях с помощью МРТ и СРКТ далеки друг от друга. В частности, СРКТ легких основана исключительно на различиях в рентгеновской плотности тканей органа, хотя при этом и обладает, безусловно, наиболее высокой пространственной разрешающей способностью среди всех методов томографии [4, 5]. Воспаление сопровождается значительным местным нарушением процессов обмена жидкости, а затем и формирования соединительной ткани – фиброзом той или иной степени выраженности [2, 5], и СРКТ легких позволяет с вполне удовлетворяющей пульмонологов клиницистов разрешающей способностью неинвазивно визуализировать эти патологические изменения [2]. МРТ располагает существенно более широким спектром физических механизмов, обеспечивающих визуализацию тканей как за счет различий в протонной плотности, так и в различной степени гидратации, ярко и очевидно визуализируемое в T2-взв. режиме, и по диффузии водных сред, спектроскопическим характеристикам [11, 12, 14, 17]. Поэтому потенциал возможностей МРТ в визуализации различных сторон, стадий и факторов развития воспаления в легких выше, чем для любого другого метода. Однако до сих пор в практике пульмонологии в целом и в особенности при воспалительных поражениях легких эти потенциальные возможности остаются в большей степени нереализованными, хотя еще в начале 2000-х годов ряд весьма исчерпывающих работ уже был опубликован [12, 13]. В последние годы к ним добавились работы о роли парамагнитного контрастного усиления [18], диффузионно-взвешенных исследований и спектроскопии [14].

Учитывая неубывающую, а временами и чрезвычайно высокую социальную значимость воспалительных заболеваний легких [1, 2], мы попытались оценить реальную применимость МРТ при пневмониях. По нашим данным, оказалось, что в оценке анатомической протяженности патологического процесса легких СРКТ и МРТ практически эквивалентны (см. рис. 2, 6). При этом протяженность визуализированного патологического очага в пределах сегмента или доли в T2-взв. режиме, как правило, визуально чуть больше, чем при СРКТ или в T1-взв., или диффузионно-взвешенном режиме (см. рис. 6). Хотя в фантомных экспериментах, безусловно, СРКТ обладает общепризнанным и несомненным преимуществом по разрешающей способности, возможности МРТ на практике с ее разрешением в $1/2$ –1 мм, при толщине среза 2–5 мм, оказываются вполне достаточными для

адекватной характеристики анатомической протяженности процесса. Дополнительную уверенность в локализации и объеме процесса воспаления придает совпадение картины T1- и T2-взв. МРТ (см. рис. 1, 3).

Использование диффузионно-взвешенного МРТ-изображения уточняет и верифицирует протяженность воспаления, как видно на рис. 1, 4. Парамагнитное контрастное усиление также обеспечивает важную дополнительную информацию, но в особенности и по преимуществу при осложненных формах, например как в приведенных выше случаях, когда первоначальное предположение о миокардите, осложнившем течение пневмонии, отвергалось, а на самом деле оказывался подтвержден острый обширный инфаркт миокарда с четкой бассейновой принадлежностью в пределах анатомического строения ветвей левой коронарной артерии (см. рис. 7, 8).

С начала 2000-х годов МРТ легких вызывает достаточно большой интерес в исследовании легких при раке легкого [12, 17, 19], воспалительных поражениях [11] и в особенности при различной патологии органов грудной клетки у детей, поскольку в педиатрии любое снижение лучевой нагрузки при томографических исследованиях по жизненным показаниям крайне желательно [8, 20]. Однако в рутинной практике у взрослых пациентов МРТ пока не рекомендуется для исследований легких, а при вирусных пневмониях лучевые методы – при этом под этим термином понимаются только СРКТ-исследования – предписываются лишь после лабораторного подтверждения наличия возбудителя [15]. Такое осторожное отношение к томографии легких в какой-то степени оправдано для случая СРКТ с ее неизбежной и достаточно высокой лучевой нагрузкой, так что выполнение ее у клинически малосимптомного пациента несет в себе малое, но ненулевое и имманентное для этого метода негативное воздействие от облучения [8]. МРТ органов грудной клетки и легких лишена лучевой нагрузки, в случае исследования без введения ПМКС – вообще лишена каких-либо противопоказаний, за исключением наличия в теле пациентов имплантированных ферромагнитных электронных устройств или металлофрагментов. Время, затрачиваемое на МРТ легких, оказывается вполне приемлемым, в особенности без применения ПМКС, когда удастся уложиться практически в четверть часа. Учитывая представленные нами результаты, обоснованно предполагать возможным использование МРТ легких на всех стадиях обследования пациентов с воспалительной легочной патологией или подозрением на нее, поскольку раннее выявление и точная количествен-



ная оценка протяженности вовлечения легочной паренхимы являются весьма прогностически важными, а их выявление на доклинических стадиях вообще сегодня невозможно переоценить, как отмечал А.Г. Чучалин [2].

Частное диагностическое значение МРТ при микробиологически различных возбудителях пневмонии – при бактериальных и вирусных пневмониях, а также детальное значение МРТ на этапах лечения, безусловно, требуют намного больших по объему исследований, нежели представленное здесь, носящее пилотный характер. Однако использование МРТ органов грудной клетки у пациентов с воспалительными заболеваниями легких представляется, безусловно, оправданным значительно шире, чем сегодня, в особенности в условиях эпидемических вирусных событий.

Заключение

МРТ легких с использованием T1-, T2-взвешенных протоколов с подавлением сигнала от жировой ткани, диффузионно-взвешенных протоколов и в особенности с применением парамагнитного контрастного усиления представляет собой высокоэффективный метод визуализации очаговых, сегментарных и распространенных воспалительных поражений, лишенный противопоказаний, за исключением наличия в теле пациента металлических фрагментов или электронных конструкций. МРТ органов грудной клетки обособленно может быть использована для диагностики и оценки лечения воспалительных поражений легких во всех диагностических и лечебных учреждениях, располагающих как низко-, так и высокопольными МР-томографами с возможностями синхронизации записи с дыханием.

Участие авторов

Усов В.Ю. – концепция и дизайн исследования, проведение исследований, подготовка, написание и редактирование текста, статистический анализ.

Нуднов Н.В. – концепция и дизайн исследования, участие в научном дизайне, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Игнатенко Г.А. – концепция и дизайн исследования, статистический анализ данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Фисенко А.Ю. – проведение исследований, написание текста.

Гуляев В.М. – проведение исследований, статистический анализ.

Марицкий С.В. – сбор и обработка данных, участие в научном дизайне.

Калужин В.В. – сбор и обработка данных, участие в научном дизайне, написание текста.

Лукьяненко П.И. – проведение исследований, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Authors' participation

Ussov W.Yu. – concept and design of the study, conducting research, text preparation and editing, statistical analysis, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Nudnov N.V. – concept and design of the study, participation in scientific design, writing text, approval of the final version of the article.

Ignatenko G.A. – concept and design of the study, statistical analysis, writing text, approval of the final version of the article.

Fisenko A.Yu. – conducting research, participation in scientific design, writing text.

Gulyaev V.M. – conducting research, statistical analysis.

Maritskii S.V. – collection and analysis of data, participation in scientific design.

Kalyuzhin V.V. – collection and analysis of data, participation in scientific design, writing text.

Lukyanenok P.I. – conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data.

Список литературы

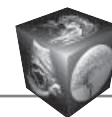
1. Иванова Е.В., Биличенко Т.Н., Чучалин А.Г. Заболеваемость и смертность населения трудоспособного возраста России по причине болезней органов дыхания в 2010–2012 гг. *Пульмонология*. 2015; 25 (3): 291–297. <http://doi.org/10.18093/0869-0189-2015-25-3-291-297>
2. Чучалин А.Г., Синопальников А.И., Козлов Р.С., Авдеев С.Н., Тюрин И.Е., Руднов В.А., Рачина С.А., Фесенко О.В. Клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике тяжелой внебольничной пневмонии у взрослых. *Consilium Medicum*. 2015; 17 (3): 8–37.
3. Игнатенко Г.А., Мухин И.В., Колычева О.В., Гавриляк В.Г., Чеботарева Е.Н. Клинические особенности и динамика течения сочетанной патологии в условиях высокого кардиоваскулярного риска. *Медико-социальные проблемы семьи*. 2017; 22 (2): 85–88.
4. Тюрин И.Е. Лучевая диагностика в Российской Федерации в 2016 г. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2017; 98 (4): 219–226. <http://doi.org/10.20862/0042-4676-2017-98-4-219-226>
5. Тюрин И.Е. Рентгенодиагностика тяжелой пневмонии и гриппа. *Лучевая диагностика и терапия*. 2016; 1 (7): 13–16.
6. Гомболовский В.А., Морозов С.П., Владимирский А.В., Лайпан А.Ш., Кононец П.В., Древал П.А. Результаты первого года скрининга рака легкого с помощью низкодозной компьютерной томографии в Москве. *Московская медицина*. 2019; 1 (29): 86–87.
7. Кондратьев Е.В., Кармазановский Г.Г., Широков В.С., Вишневская А.В., Швеи Е.В. Низкодозовая КТ-ангиография аорты и периферических артерий. *Медицинская визуализация*. 2013; 18 (5): 11–22.
8. Наркевич Б.Я., Долгушин Б.И. Радиационная безопасность в рентгенодиагностике и интервенционной радиологии. *Диагностическая и интервенционная радиология*. 2009; 3 (2): 67–76.



9. Liszewski M.C., Gorkem S., Sodhi K.S., Lee E.Y. Lung magnetic resonance imaging for pneumonia in children. *Pediatr. Radiol.* 2017; 47 (11): 1420–1430. <http://doi.org/10.1007/s00247-017-3865-2>
10. Сперанская А. Лучевые проявления новой корона-вирусной инфекции COVID-19. *Лучевая диагностика и терапия.* 2020; 1 (11): 18–25.
11. Гамова Е.В., Нуднов Н.В. Магнитно-резонансная диагностика воспалительных заболеваний легких. *Медицинская визуализация.* 2006; 5: 88–94.
12. Гамова Е.В., Нуднов Н.В. Возможности МРТ в дифференциальной диагностике периферического рака легкого и воспалительных изменений. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2006; 4: 19–23.
13. Гамова Е.В., Нуднов Н.В. Дифференциальная МР-диагностика периферического рака и доброкачественной опухоли легкого. *Медицинская визуализация.* 2006; 3: 39–44.
14. Котляров П.М., Лагуева И.Д., Сергеев Н.И., Солодкий В.А. Магнитно-резонансная томография в диагностике заболеваний легких. *Пульмонология.* 2018; 28 (2): 217–223. <http://doi.org/10.18093/0869-0189-2018-28-2-217-223>
15. American College of Radiology: ACR Recommendations for the use of Chest Radiography and Computed Tomography (CT) for Suspected COVID-19 Infection. <https://www.acr.org/Advocacy-and-Economics/ACR-PositionStatements/Recommendations-for-Chest-Radiography-and-CT-for-Suspected-COVID19-Infection>. Updated March 22, 2020. Accessed April 1, 2020
16. Medixant. RadiAnt DICOM Viewer [Software]. Version 2020.1. Mar 9, 2020. URL: <https://www.radiantviewer.com>
17. Лукьяненко П.И., Усов В.Ю., Коломиец С.А., Мочула О.В., Миллер С.В. Возможности магнитно-резонансной томографии с контрастированием в диагностике рака легкого. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2014; 11 (3): 455–459.
18. Усов В.Ю., Белянин М.Л., Безлепкина А.И., Бородин О.Ю., Филимонов В.Д. Парамагнитное контрастирование опухолевых поражений легких пентамангом 1,0М в эксперименте. *Український радіологічний журнал.* 2010; 18 (3): 359–366.
19. Biederer J., Ohno Y., Hatabu H., Schiebler M.L., van Beek E.J.R., Vogel-Claussen J., Kauczor H.U. "Screening for lung cancer: Does MRI have a role?" [European Journal of Radiology 86 (2017) 353–360]. *Eur. J. Radiol.* 2020 Apr; 125:108896. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.108896>. Epub 2020 Feb 20
20. O'Grady K.F., Torzillo P.J., Frawley K., Chang A.B. The radiological diagnosis of pneumonia in children. *Pneumonia (Nathan).* 2014; 5 (Suppl. 1): 38–51. <http://doi.org/10.15172/pneu.2014.5/482>
3. Ignatenko G.A., Mukhin I.V., Kolycheva O.V., Gavrilak V.G., Chebotareva R.N. Clinical features and course dynamic of concomitant pathology in high cardiovascular risk patients. *Medical and social problems of family.* 2017; 22 (2): 85–88. (In Russian)
4. Tyurin I.E. Radiology in the Russian Federation in 2016. *Russian Journal of Radiology.* 2017; 98 (4): 219–226. <http://doi.org/10.20862/0042-4676-2017-98-4-219-226> (In Russian)
5. Tyurin I.E. X-ray radiology of severe pneumonia and flu. *Diagnostic Radiology and Radiation Therapy.* 2016; 1 (7): 13–16. (In Russian)
6. Gombolevsky V.A., Morozov S.P., Vladimirovsky A.V., Laipan A.Sh., Kononets P.V., Dreval' P.A. Low-dose computed tomography in Moscow for lung cancer screening (LDCT-MLCS): baseline results. *Moscow Medicine.* 2019; 1 (29): 86–87. (In Russian)
7. Kondratyev E.V., Karmazanovsky G.G., Shirokov V.S., Vishnevskaya A.V., Shvets E.V. Low Radiation Dose MDCT Angiography of the Aorta and Peripheral Arteries: Effect of Hybrid Iterative Reconstruction Technique on Image Quality. *Medical Visualization.* 2013; 18 (5): 11–22. (In Russian)
8. Narkevich B.Ya., Dolgushin B.I. Radiation safety in diagnostic and interventional radiology. *Diagnostic and interventional radiology.* 2009; 3 (2): 67–76. (In Russian)
9. Liszewski M.C., Gorkem S., Sodhi K.S., Lee E.Y. Lung magnetic resonance imaging for pneumonia in children. *Pediatr. Radiol.* 2017; 47 (11): 1420–1430. <http://doi.org/10.1007/s00247-017-3865-2>
10. Speransjaya A.A. Radiological signs of new coronavirus infection COVID-19. *Diagnostic radiology and radiation therapy.* 2020; 1 (11): 18–25. (In Russian)
11. Gamova E.V., Nudnov N.V. Magnetic Resonance Imaging of Inflammatory Lungs' Diseases. *Medical visualization.* 2006; 5: 88–94. (In Russian)
12. Gamova E.V., Nudnov N.V. Potentialities of MRI in the differential diagnosis of peripheral lung cancer and inflammatory changes. *Russian Journal of Radiology.* 2006; 4: 19–23. (In Russian)
13. Gamova E.V., Nudnov N.V. Differential Diagnosis of a Peripheral Cancer and a Benign Lesion of Lungs using MRI. *Medical Visualization.* 2006; 3: 39–44. (In Russian)
14. Kotlyarov P.M., Lagkuyeva I.D., Sergeyev N.I., Solodkiy V.A. Magnetic resonance imaging for diagnostics of lung diseases. *Pulmonologiya.* 2018; 28 (2): 217–223. <http://doi.org/10.18093/0869-0189-2018-28-2-217-223>
15. American College of Radiology: ACR Recommendations for the use of Chest Radiography and Computed Tomography (CT) for Suspected COVID-19 Infection. <https://www.acr.org/Advocacy-and-Economics/ACR-PositionStatements/Recommendations-for-Chest-Radiography-and-CT-for-Suspected-COVID19-Infection>. Updated March 22, 2020. Accessed April 1, 2020
16. Medixant. RadiAnt DICOM Viewer [Software]. Version 2020.1. Mar 9, 2020. URL: <https://www.radiantviewer.com>
17. Lukyanenok P.I., Usov W.Y., Kolomiets S.A., Mochula O.V., Miller S.V. Possibilities of MRI with contrast enhancement in the diagnosis of lung cancer. *International Journal of Applied and Fundamental Studies.* 2014; 11 (3): 455–459.
18. Usov W.Yu., Belyanin M.L., Bezlepkina A.I., Borodin O.Yu., Filimonov V.D. Paramagnetic contrast enhancement of lung tumors with Pentamang 1,0 M in experiment. *Ukrainian Journal of Radiology.* 2010; 18 (3): 359–366. (In Russian)

References

1. Ivanova E.V., Bilichenko T.N., Chuchalin A.G. Morbidity and mortality from respiratory diseases in employable population of Russia in 2010–2012. *Pulmonologiya.* 2015; 25 (3): 291–297. <http://doi.org/10.18093/0869-0189-2015-25-3-291-297> (In Russian)
2. Chuchalin A.G., Sinopalnikov A.I., Kozlov R.S., Avdeev S.N., Tyurin I.E., Rudnov V.A., Ratchina S.A., Fesenko O.V. Clinical Guidelines on Diagnosis, Treatment and Prophylaxis of Severe Community-Acquired Pneumonia in Adults. *Consilium Medicum.* 2015; 17 (3): 8–37. (In Russian)



19. Biederer J., Ohno Y., Hatabu H., Schiebler M.L., van Beek E.J.R., Vogel-Claussen J., Kauczor H.U. "Screening for lung cancer: Does MRI have a role?" [European Journal of Radiology 86 (2017) 353-360]. *Eur. J. Radiol.* 2020 Apr; 125:108896. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.108896>. Epub 2020 Feb 20
20. O'Grady K.F., Torzillo P.J., Frawley K., Chang A.B. The radiological diagnosis of pneumonia in children. *Pneumonia (Nathan)*. 2014; 5 (Suppl. 1): 38–51. <http://doi.org/10.15172/pneu.2014.5/482>

Для корреспонденции*: Усов Владимир Юрьевич – 634012 Томск, Россия, ул. Киевская, 111. НИИ кардиологии ТНИМЦ РАН. Тел.: 8-903-951-26-76. E-mail: ussov1962@yandex.ru

Усов Владимир Юрьевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-7978-5514>

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора ФГБУ РНЦРР по науке, заведующий кафедрой лучевой диагностики и маммологии ФГУ ИПК ФМБА, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Игнатенко Григорий Анатольевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой пропедевтической и внутренней медицины, ректор Донецкого национального медицинского университета имени М. Горького, член-корр. Национальной Академии медицинских наук Украины, Донецк. <https://orcid.org/0000-0003-3611-1186>

Фисенко Анна Юрьевна – канд. мед. наук, врач отделения пульмонологии ОГУЗ Томская областная клиническая больница, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-8350-9130>

Гуляев Всеволод Мильевич – канд. мед. наук, заведующий кабинетом рентгеновской компьютерной томографии отделения рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-4791-8754>

Марицкий Сергей Васильевич – канд. мед. наук, заведующий рентгенодиагностическим отделением ОГАУЗ "Томская областная клиническая больница", главный рентгенолог Департамента здравоохранения Томской области, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-7794-7871>

Калюжин Вадим Витальевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной терапии с курсом реабилитации, физиотерапии и спортивной медицины Сибирского государственного медицинского университета, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-9640-2028>

Лукьяненко Павел Иванович – доктор мед. наук, профессор, научный консультант Хакасского регионального диагностического центра, Кызыл. <https://orcid.org/0000-0003-2950-6761>

Contact*: Wladimir Yu. Ussov – 111, Kievskaya str., 634012 Tomsk, Russia. Institute of Cardiology of the Tomsk National medical research Center of the Russian Academy of Sciences. Phone: +7-903-951-26-76. E-mail: ussov1962@yandex.ru

Wladimir Yu. Ussov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of X-ray and Tomographic Methods of Diagnosis, Research Institute of Cardiology of the Tomsk National medical Research Center. <https://orcid.org/0000-0001-7978-5514>

Nikolay V. Nudnov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Vice-Director (Science) of the Russian National Center of Radiology, Head of the Chair of diagnostic radiology and mammology of the Federal Russian postgraduate Institute of the Federal medico-biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Grigory A. Ignatenko – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of internal medicine, Rector of the M. Gorky Donetsk National Medical University, corresponding Member of the National Academy of medical sciences of Ukraine, Donetsk. <https://orcid.org/0000-0003-3611-1186>

Anna Yu. Fisenko – Cand.Sci. Med., physician in the Department of pulmonology of the Tomsk regional clinical hospital, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-8350-9130>

Vsevolod M. Gulyaev – Cand.Sci.Med., Head of the CT service of the X-ray and Tomographic Methods of Diagnosis, Research Institute of Cardiology of the Tomsk National medical Research Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-4791-8754>

Sergey V. Maritskii – Cand.Sci.Med., Head of the department of diagnostic radiology of the Tomsk Regional clinical hospital, Chief radiologists of the Tomsk regional department of health, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-7794-7871>

Vadim V. Kalyuzhin – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Internal medicine, rehabilitation and sport medicine of the Siberian State medical university, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-9640-2028>

Pavel I. Lukyanenok – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Research consultant of the Khakassian regional clinical diagnostic center, Kyzyl. <https://orcid.org/0000-0003-2950-6761>