

# Магнитно-резонансная томография в диагностике заболеваний легких

П.М.Котляров, И.Д.Лагкуева, Н.И.Сергеев, В.А.Солодкий

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 86

## Информация об авторах

**Котляров Петр Михайлович** — д. м. н., профессор, заведующий научно-исследовательским отделом новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (495) 334-81-86; e-mail: marnad@list.ru  
Affiliation ID: 60105123

**Лагкуева Ирина Джабраиловна** — м. н. с. научно-исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (495) 334-81-86; e-mail: ilagkueva@mail.ru

**Сергеев Николай Иванович** — д. м. н., ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (495) 334-81-86; e-mail: marnad@list.ru

**Солодкий Владимир Алексеевич** — д. м. н., профессор, академик Российской академии наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (495) 334-81-86; e-mail: direktor@rncrr.ru

## Резюме

Представлены анализ литературных данных, посвященных магнитно-резонансной томографии (МРТ) при заболеваниях легких, а также методики исследования, семиотика воспалительных и онкологических заболеваний, их дифференциальная диагностика на основании данных МРТ. Приводится сравнительная характеристика роли МРТ и компьютерной томографии (КТ). Сделано заключение об актуальности использования МРТ как метода, существенно дополняющего данные КТ при диагностике и дифференциальной диагностике заболеваний легких.

**Ключевые слова:** магнитно-резонансная томография, диагностика, заболевания легких.

Для цитирования: Котляров П.М., Лагкуева И.Д., Сергеев Н.И., Солодкий В.А. Магнитно-резонансная томография в диагностике заболеваний легких. *Пульмонология*. 2018; 28 (2): 217–223. DOI: 10.18093/0869-0189-2018-28-2-217-223

# Magnetic resonance imaging for diagnostics of lung diseases

Petr M. Kotlyarov, Irina D. Lagkuyeva, Nikolay I. Sergeyev, Vladimir A. Solodkiy

Federal Russian Scientific Radiology Center, Healthcare Ministry of Russia: Profsoyuznaya ul. 86, Moscow, 117997, Russia

## Author information

**Petr M. Kotlyarov**, Doctor of Medicine, Professor, Head of Research Department of Novel Technologies and Radiological Diagnosis of Diseases, Federal Russian Scientific Radiology Center, Healthcare Ministry of Russia; tel.: (495) 334-81-86; e-mail: marnad@list.ru  
Affiliation ID: 60105123

**Irina D. Lagkuyeva**, Junior Research, Research Department of Novel Technologies and Radiological Diagnosis of Diseases, Federal Russian Scientific Radiology Center, Healthcare Ministry of Russia; tel.: (495) 334-81-86; e-mail: ilagkueva@mail.ru

**Nikolay I. Sergeyev**, Doctor of Medicine, Leading Researcher, Research Department of Novel Technologies and Radiological Diagnosis of Diseases, Federal Russian Scientific Radiology Center, Healthcare Ministry of Russia; tel.: (495) 334-81-86; e-mail: marnad@list.ru

**Vladimir A. Solodkiy**, Doctor of Medicine, Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Director of Federal Russian Scientific Radiology Center, Healthcare Ministry of Russia; tel.: (495) 334-81-86; e-mail: direktor@rncrr.ru

## Abstract

Published data on a role of magnetic resonance imaging (MRI) in diagnosis of lung disease are reviewed in the article. Methodology, signs of inflammatory and malignant diseases, and differential diagnosis are also described. The authors compared a role of MRI and computed tomography (CT) for diagnosis of lung diseases. In conclusion, MRI is a useful method for diagnosis and differential diagnosis which could complement CT findings.

**Key words:** magnetic resonance imaging, diagnosis, lung diseases.

For citation: Kotlyarov P.M., Lagkuyeva I.D., Sergeyev N.I., Solodkiy V.A. Magnetic resonance imaging for diagnostics of lung diseases. *Russian Pulmonology*. 2018; 28 (2): 217–223 (in Russian). DOI: 10.18093/0869-0189-2018-28-2-217-223

В структуре общей заболеваемости в Российской Федерации (2010–2012) болезни органов дыхания (БОД) заняли 2-е место — 20 209,7 случая на 100 тыс. взрослого населения, а показатель смертности от БОД в указанный период в структуре смертности от всех причин переместился на 5-ю позицию — 26,9 случая на 100 тыс. населения. Показатель смертности

у мужчин превышал таковой у женщин в 4,6 раза. По данным статистики, в структуре смертности населения России в 2015 г. от БОД 75 % всех случаев было обусловлено пневмониями, а 17,3 % — злокачественными новообразованиями [1], при этом в 26,5 % случаев причиной смерти мужского населения явился рак легкого (РЛ) трахеи, бронхов. В структуре смерт-

ности женщин злокачественные новообразования трахеи, бронхов, легкого находятся на 4-м месте (6,8 %) после новообразований молочной железы, ободочной кишки и желудка [2].

### Компьютерная и магнитно-резонансная томография в диагностике заболеваний легких

Спиральная или мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) является общепринятым современным «золотым стандартом» диагностики патологии легких, обнаружения очаговых изменений. С помощью постпроцессинговой обработки данных стало возможным выявлять острые и хронические, очаговые и интерстициальные процессы на самых ранних стадиях развития. «Объемная», или виртуальная, реконструкция позволяет оценивать состояние бронхолегочной системы за счет т. н. времяпролетных паттернов. В целях дифференциальной диагностики компьютерно-томографическое (КТ) исследование часто дополняется контрастным усилением, что позволяет гораздо лучше визуализировать сосудистые структуры, богато васкуляризированные образования (гемангиомы, менингиомы и др.) и патологически измененные участки (опухоль, метастазы) [3–6]. Однако многолетнее применение КТ оставляет открытым вопрос о дифференциальной диагностике природы патологических процессов в легких и средостении. Остается актуальной проблема дифференциальной диагностики пневмоний с бронхолоалеволярным раком, периферическим и центральным РЛ. Воспалительный процесс, особенно «шаровидные» пневмонии, при стертой клинико-лабораторной картине нередко ошибочно принимаются за онкологический процесс. Еще одной нерешенной проблемой КТ-диагностики остается дифференциация РЛ с хроническими воспалительными процессами, имеющих сходную семиотику: уменьшение объема части легкого, снижение воздушности легочной ткани, деформация и изменение просвета бронхов [5, 7].

С внедрением в клиническую практику магнитно-резонансной (МР) томографии (МРТ) начались исследования о возможностях данного метода при диагностике и дифференциальной диагностике заболеваний легких. В России одними из первых исследователей возможностей МРТ в пульмонологии и торакальной радиологии (1999) явились П.М. Котляров и его коллеги [8]. Метод существенно дополнял данные КТ в дифференциации опухолевых, воспалительных, жидкость-содержащих процессов, патологии лимфатической системы. При отсутствии патологии легких МРТ малоэффективна из-за низкой плотности протонов в паренхиме легкого, деструкции легочной ткани при эмфиземе, гиперинфляции. Однако патологические изменения, приводящие к увеличению плотности ткани («плюс-патология»), такие как ателектазы, опухоли, инфильтраты, зоны карнификации легкого, слизь или плевральный выпот отображаются при МРТ с высокой диагностической точностью. По данным исследований показана

на высокая чувствительность МРТ со взвешенными по T2 изображениями (T2ВИ), последовательностями протонной плотности, а также в последовательностях инверсии-восстановления (IR) в выявлении жидкостного содержимого в легком за счет повышения интенсивности МР-сигнала на фоне гипоинтенсивной воздухосодержащей легочной ткани. При T1ВИ на фоне внутривенного контрастного усиления очаговые образования выявляются за счет накопления в них парамагнетика, а характер распределения позволяет в той или иной степени предполагать их природу. Также достоинством метода является отсутствие ионизирующего излучения при повторных исследованиях, необходимых для оценки эффективности лечения, что особенно важно при обследовании детей и беременных женщин.

По данным литературы, качество изображений выявляемых изменений в легких на аппаратах с напряженностью магнитного поля 3 Т при соблюдении технического регламента в большинстве случаев аналогично изображениям, получаемых на 1,5 Т томографах. Однако при использовании специальных программ постобработки, подавления двигательных артефактов изображения с помощью современных протоколов картина легких на 3Т МРТ будет выше. В сравнении с напряженностью магнитного поля 1,5 и 3 Т, низкочастотные аппараты (0,2–0,5 Т) менее чувствительны в выявлении очаговой патологии легких [9–12].

Общее совершенствование аппаратного и программного обеспечения, используемого для МРТ, привели к появлению новых подходов для визуализации патологии легких, улучшающих дифференциальную диагностику. Одной из современных методик являются диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ), где контраст изображения определяется скоростью диффузии молекул воды в межклеточном пространстве с использованием количественного параметра. Измеряемый коэффициент диффузии (ИКД) позволяет дифференцировать нормальные и патологические ткани. Другой перспективной и совершенствующейся технологией является возможность проведения МР-динамического контрастного усиления (МР-ДКУ), что позволяет в зависимости от фаз гемодинамики построить кривую накопления парамагнетика и уточнить природу выявляемых изменений [13].

### Магнитно-резонансная томография в диагностике воспалительных изменений легких

Как показали исследования, МРТ может быть весьма эффективна в диагностике пневмоний. Метод позволяет обнаружить различные проявления пневмонии, такие как легочные очаги воспаления (в т. ч. шаровидные пневмонии), уплотнения по типу матового стекла, зоны инфильтрации. Хорошо распознаются такие осложнения, как перикардиальные или плевральные выпоты, эмпиема или абсцесс легких, что не всегда возможно при КТ [14].

Интересны данные о роли МРТ при грибковых пневмониях. При МРТ узел с феноменом гало (пнев-

мония, обусловленная грибом *Aspergillus*) отчетливо выявляется на МРТ и может помочь дифференцировать причину заболевания. Знак воздушного полумесяца является прогностическим признаком развития массивного кровохарканья, что позволяет проводить раннюю диагностику ангиоинвазивного аспергиллеза и предпринять профилактические меры против этого грозного осложнения. Появление гиперинтенсивного сигнала на T2ВИ в центре патологического процесса и гипointенсивного — в периферических отделах указывает на развитие некроза в зоне поражения. Проводилась сравнительная оценка МРТ и МСКТ у пациентов с диагнозом легочного микоза. Определялся комплекс семиотических признаков при микозах — очаговый, ретикулярный или полостной. Очаги выявлялись при КТ в 76,20 %, МРТ — в 80,96 % случаев. МРТ обладает высокой — 93,52—100%-ной чувствительностью в выявлении очаговых изменений при микозах и специфичностью 92—100 %. Однако бронхоэктазы и септальные утолщения выявлялись хуже и имели низкие положительные прогностические значения. МРТ-мониторинг больных легочным микозом может использоваться как альтернативный КТ метод у молодых пациентов с целью снижения лучевой нагрузки [15, 16].

### Магнитно-резонансная томография в диагностике злокачественных процессов в легких

«Золотым стандартом» диагностики РЛ является МСКТ, однако многие патологические процессы в легком мимикрируют под злокачественный процесс, на самом деле таковым не являясь, и наоборот. Несвоевременная постановка диагноза, перевод пациента на динамический контроль в неясных ситуациях и в случае злокачественного процесса задерживает, а иногда и делает невозможным начало радикального лечения, увеличивается риск осложнений и смерти. МРТ-исследования при РЛ показали, что интенсивность сигнала от опухоли легкого аналогична мышцам на T1ВИ, умеренно гиперинтенсивна — на T2ВИ, гиперинтенсивна в последовательности с подавлением сигнала от жировой ткани (IR). МРТ успешно использовалась для выявления изменений средостения, инвазии и дифференцировки опухоли от вторичных изменений, таких как смежный ателектаз и постобструктивная пневмония. По данным ряда исследований, у больных РЛ характерным признаком при МР-ДКУ является интенсивное накопление парамагнетика в периферических отделах опухоли, в то время как интенсивность центральных отделов остается неизменной [17]. Отмечены преимущества МРТ при бронхогенной карциноме. МР-сигналы гетерогенной интенсивности указывают на кровоизлияние, некроз опухоли [18].

При МРТ с высокой точностью визуализируются первичные опухолевые новообразования > 1,5 см, а также метастатически измененные лимфатические узлы > 1 см за счет интенсивного накопления контрастного препарата. Большинство авторов сходятся во мнении, что по данным МР-ДКУ злокачествен-

ные очаги имеют тенденцию к усилению с более высокими подъемами и максимальными пиками накопления парамагнетика, быстрым или постепенным его вымыванием, тогда как доброкачественные очаги — гранулемы, туберкулез, гамартомы, как правило, слабее накапливают парамагнетик и медленнее вымывают его [19, 20].

Результаты ДВИ обладают высокой прогностической ценностью в уточнении злокачественного характера процесса. Проведены исследования у пациентов с центральным РЛ и сопутствующим ателектазом, диагностированным на основании данных позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). При сравнении методов исследования МР-визуализация оказалась менее информативной по сравнению с ПЭТ / КТ. Однако ДВИ позволила дифференцировать опухолевые массы от ателектаза у всех больных. Таким образом, ДВИ обеспечивает наиболее ценную информацию, которая не выявляется при обычным МРТ и имеет потенциал для клинической дифференциации центральной карциномы легких и ателектаза [21, 22].

Результаты исследования показывают, что МРТ не может заменить КТ для диагностики легочных метастазов. Очаги размерами  $\geq 6$  мм могут быть идентифицированы при МРТ, однако оценка таких очагов представляет определенные трудности, а выявляемость очагов < 6 мм затруднительна. Как показали исследования, при МРТ качественнее, чем при КТ, выявляются метастазы меланомы со значительно большей специфичностью (83,4 % vs 50,4 %) [23]. Динамическая МРТ с использованием ДКУ и ДВИ является перспективным методом и потенциальным биомаркером не только для оценки реакции опухоли на химиотерапию и лучевое лечение, но и прогнозирования результатов выживаемости. Увеличение показателя ИКД до  $2,1 \times 10^{-3} \text{ мм}^2 / \text{с}$  указывало на эффективность терапии немелкоклеточного РЛ и метастатического поражения [24].

### Магнитно-резонансная томография в диагностике доброкачественных образований в легких

Легочная гамартома является 3-м по частоте встречаемости доброкачественным очаговым образованием легких, которая распознается при МСКТ по наличию кальцинатов и включений жировой ткани. Однако в 50 % случаев жир или кальцификация могут не отображаться при КТ, т. к. часть гамартом состоят преимущественно из хрящевой ткани. Миксоидные матрицы хрящевой ткани дают очень высокую интенсивность сигнала на T2ВИ. МРТ может быть эффективным методом в распознавании гамартом, которые не содержат жир, кальцинаты. При МР-ДКУ в гамартомах отмечается кольцевидное накопление парамагнетика в артериальной фазе с последующим однородным контрастированием образования в отсроченной фазе исследования [25, 26].

У части пациентов паразитарная инфекция протекает при стертой клинической картине, являясь



случайной находкой при КТ, что обуславливает дифференциально-диагностические трудности определения их нозологической принадлежности. По данным МРТ в T2ВИ в режиме с подавлением сигнала от жировой ткани, результаты ДКУ позволяют снять диагнозы рак, метастатическое поражение. Это обусловлено выявлением фиброзных изменений, жидкостного содержимого, перегородчатых структур (эхинококк, альвеококк, цистицеркоз); отсутствием патологии бронхов в зоне поражения, отсутствием или незначительным накоплением парамагнетика в зоне патологических изменений при ДКУ (парагонимоз, шистосоматоз) [27].

Склерозирующие гемангиомы являются редкими бессимптомными легочными новообразованиями, которые представляют собой периферические отдельные узлы, преимущественно встречающиеся у женщин старше 50 лет. При МСКТ с контрастным усилением для легочной склерозирующей гемангиомы характерно однородное накопление контрастного средства на постконтрастных изображениях. По данным МРТ при склерозирующей гемангиоме выявляется гетерогенной интенсивности сигнал на T1-, T2ВИ: гипоинтенсивный МР-сигнал – в T1ВИ, соответствующий зонам склероза, а гиперинтенсивный в T1ВИ и T2ВИ – гемангиоматозным лакунам, заполненным кровью, геморрагиям внутри опухоли. При МР-ДКУ характерен максимальный пик накопления в опухоли через 2 мин после введения парамагнетика. Таким образом, МРТ дает более развернутую, чем КТ, картину образования [28].

### Магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике природы патологических изменений в легких

Использование различных МР-последовательностей, ДВИ, МР-ДКУ позволяет с высокой степенью вероятности провести дифференциальную диагностику РЛ и неонкологических процессов, распознать вторичное поражение органа. Исследовались возможности МРТ при туберкулезе в плане дифференциальной диагностики РЛ или его возникновения на фоне туберкулемы. Как известно, одним из характерных КТ-признаков туберкулемы являются включения кальция. Однако у части пациентов кальцинаты могут отсутствовать, но преобладают участки пониженной плотности, которые представляют собой казеозный некроз, что делает необходимым проведение дифференциальной диагностики со злокачественной опухолью легкого [29, 30]. Проведена сравнительная оценка интенсивности МР-сигнала для дифференциации периферического РЛ и туберкулемы. У 2 из 17 больных РЛ на T2ВИ и у 9 из 11 пациентов с туберкулезом в зоне патологических изменений отмечен гипоинтенсивный сигнал, т. е. гипоинтенсивность указывала на туберкулез с преимущественно казеозным распадом (чувствительность – 82 %, специфичность – 89 %, точность – 87 %). Средние отношения интенсивности сигнала туберкулемы к мышцам были значительно ниже,

чем у злокачественных опухолей на T2ВИ и T1ВИ ( $p < 0,0001$ ). При T1ВИ на фоне введения парамагнетика показана картина периферического усиления в 7 случаях туберкулемы и только у 2 пациентов с РЛ, тогда как диффузное усиление выявлено в 15 случаях злокачественных опухолей и 2 туберкулемы. Результаты МРТ были сопоставимы с таковыми при МСКТ у 84 % пациентов. МРТ является полезным дополнительным методом с точки зрения дифференциации туберкулемы с преимущественно казеозным распадом от злокачественной опухоли. Результаты МРТ туберкулемы хорошо коррелировали с данными патологоанатомических изменений [31, 32].

Согласно данным анализа последних работ показано, что МРТ является важным дополнительным методом уточнения природы очаговых поражений легкого. В пользу доброкачественных изменений при МРТ свидетельствует наличие включений жира (гамартома, туберкулома), выявление жидкостного компонента и перегородок в структуре (паразитарные инфекции), отсутствие накопления контрастного препарата, либо его незначительное контрастное усиление и длительное вымывание [33].

Существенную помощь в определении природы образования оказывает ДВИ на основе ИКД – значения  $< 1,1–1,4 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$  составляли чувствительность и специфичность для злокачественности процесса 70–83 и 74–97 %;  $< 1,135 \times 10^{-3}$  – 83 и 90 % соответственно. При показателе  $1,0 \times 10^{-3}$  и равной или большей, чем у спинного мозга, интенсивности МР-сигнала, значения чувствительности специфичности и точности составляли соответственно 89, 61 и 80 %. Дополнительные данные о патологии возможно получить при оценке непосредственно интенсивности МР-сигнала ДВИ – гиперинтенсивный сигнал выявляемых изменений в секвенциях с высоким b-фактором и низкоинтенсивный сигнал на ИКД-построениях также с высокой долей вероятности указывают на злокачественность изменений [34].

Последние исследования в области оценки результатов МР-ДКУ позволили выявить ряд определенных типичных вариантов фазового распределения парамагнетика в сосудистом русле изучаемых объектов. Так, быстрое (пикообразное) накопление контрастного препарата в зоне патологических изменений в артериальную фазу с последующим плато или быстрым сбросом (эффект «вымывания») указывают на высокую вероятность его злокачественности. Наоборот, пневмонии и очаги воспаления имеют тенденцию к быстрому в той или иной степени увеличению и постепенному уменьшению сигнала после достижения максимума, который, в свою очередь, зависит от стадии процесса, но в большинстве случаев не превышает нормальные значения более чем в 2 раза. При проведении МР-ДКУ для легочных образований показана чувствительность, специфичность и точность 76–100, 70–100 и 80–95 % соответственно [35].

По результатам последних работ [36, 37] показано, что результаты терапии легочных злокачественных новообразований могут быть так же эффектив-

но оценены при помощи МР-ДКУ, особенно в сочетании с ДВИ-ИКД, на основании изменения кривой накопления и ИКД в патологических очагах, что коррелирует с изменением метаболической активности опухолевой ткани.

## Заключение

Таким образом, по результатам анализа литературы показано, что данные МРТ существенно дополняют КТ-картину при диагностике и мониторинге различных заболеваний легких, выявляя дополнительные данные о природе очаговых процессов, что позволяет контролировать эффективность лечения РЛ и воспалительных заболеваний. Дальнейшее совершенствование МР-технологий и методик исследования, накопление материала о МРТ-диагностике заболеваний легких, несомненно, расширят показания к использованию метода в пульмонологических клиниках и торакальных отделениях.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Данная работа выполнялась в рамках научной тематики отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest. The study was conducted within a framework of a research field of Research Department of Novel Technologies and Radiological Diagnosis of Diseases, Russian Federal Academic Radiology Center, Healthcare Ministry of Russia.

## Литература

- 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. DOI: 10.18093/0869-0189-2015-25-3-291-297.
- Каприн А.Д., Старинский В.В., Петров Г.В. Злокачественные новообразования в России в 2015 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена филиал ФГБУ «НМИЦ» Минздрава России; 2017.
- Tuddenham W.J. Glossary of terms for thoracic radiology: recommendations of the Nomenclature Committee of the Fleischner Society. *Am. J. Roentgenol.* 1984; 143 (3): 509–517. DOI: 10.2214/ajr.143.3.509.
- Baert A. L., Knauth M., Sartor K. et al. Diagnostic Imaging. Computed Tomography of the Lung A Pattern Approach. М.: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2007.
- Котляров П.М. Многосрезовая компьютерная томография легких – новый этап развития лучевой диагностики заболеваний легких. *Медицинская визуализация*. 2011; (4): 14–20.
- Котляров П. М. Постпроцессинговая обработка данных мультиспиральной компьютерной томографии в уточненной диагностике патологических изменений при диффузных заболеваниях легких. *Пульмонология*. 2017; 27 (4): 472–477. DOI: 10.18093/0869-0189-2017-27-4-472-477.
- Котляров П.М. Лучевые методы в диагностике заболеваний органов дыхания. *Российский медицинский журнал*. 2001; 9 (5): 197–207.
- Котляров П.М., Гамова Е.В., Нуднов Н.В. и др. Магнитно-резонансная томография в визуализации органов дыхания, средостения и при некоторых патологических состояниях. *Пульмонология*. 1999; (4): 26–30.
- Wielpütz M., Kauczor H.U. MRI of the lung: state of the art. *Diagn. Interv. Radiol.* 2012; 18 (4): 344–353. DOI: 10.4261/1305-3825.DIR.5365-11.0.
- Biederer J., Beer M., Hirsch W. et al. MRI of the lung (2/3). Why ... when ... how? *Insights Imaging*. 2012; 3 (4): 355–371. DOI: 10.1007/s13244-011-0146-8.
- Biederer J., Ohno Y., Hatabu H. et al. Screening for lung cancer: Does MRI have a role? *Eur. J. Radiol.* 2017; 86: 353–360. DOI: 10.1016/j.ejrad.2016.09.016.
- Kurihara Y., Matsuoka S., Yamashiro T. et al. MRI of pulmonary nodules. *Am. J. Roentgenol.* 2014; 202 (3): 210–216. DOI: 10.2214/AJR.13.11618.
- Mori T., Nomori H., Ikeda K. et al. Diffusion weighted magnetic resonance imaging for diagnosing malignant pulmonary nodules/masses: comparison with positron emission tomography. *J. Thorac. Oncol.* 2008; 3 (4): 358–364. DOI: 10.1097/JTO.0b013e318168d9ed.
- Eibel R., Herzog P., Dietrich O. et al. Magnetic resonance imaging in the involution of pneumonia. *Radiologe*. 2006; 46 (4): 267–274. DOI: 10.1007/s00117-005-1326-7.
- Kim M.J., Lee K.S., Kim J. et al. Crescent sign in invasive pulmonary aspergillosis: frequency and related CT and clinical factors. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2001; 25 (2): 305–310.
- Blum U., Windfuhr M., Buitrago-Tellez C. et al. Invasive pulmonary aspergillosis. MRI, CT, and plain radiographic findings and their contribution for early diagnosis. *Chest*. 1994; 106 (4): 1156–1161.
- Binghu J., Huaijun L., Dan Z. Diagnostic and clinical utility of dynamic contrast-enhanced MR imaging in indeterminate pulmonary nodules: a metaanalysis. *Clin. Imaging*. 2016; 40 (6): 1219–1225. DOI: 10.1016/j.clinimag.2016.08.017.
- Лукьяненко П.И., Усов В.Ю., Коломиец С.А., и др. Возможности магнитно-резонансной томографии с контрастированием в диагностике рака легкого. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014; 11 (3): 455–459.
- Khalila A., Majlatha M., Gounant V. et al. Contribution of magnetic resonance imaging in lung cancer imaging. *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2016; 97 (10): 991–1002. DOI: 10.1016/j.diii.2016.08.015.
- Сергеев Н.И., Котляров П.М. и др. Оценка результатов химиолучевого лечения вторичного поражения костей по данным магнитно-резонансной томографии с динамическим контрастным усилением. *Лучевая диагностика и терапия*. 2013; 3 (4): 89–92.
- Yang R.M., Li L., Wei X.H. et al. Differentiation of Central Lung Cancer from Atelectasis: Comparison of Diffusion-Weighted MRI with PET/CT. *PLoS One*. 2013; 8 (4): e60279. DOI: 10.1371/journal.pone.0060279.
- Ohno Y., Koyama H., Yoshikawa T. et al. Diffusion weighted MRI versus 18F-FDG PET/CT: performance as predictors of tumor treatment response and patient survival in patients with non-small cell lung cancer receiving chemoradiotherapy. *Am. J. Roentgenol.* 2012; 198 (1): 75–82. DOI: 10.2214/AJR.11.6525.
- Hausmann D., Jochum S., Utikal J. et al. Comparison of the diagnostic accuracy of whole-body MRI and whole-body CT in stage III/IV malignant melanoma. *J. Dtsch. Dermatol. Ges.* 2011; 9 (3): 212–222. DOI: 10.1111/j.1610-0387.2011.07614.x.

24. Liu H., Liu Y., Ye N. Usefulness of diffusion weighted MR imaging in the evaluation of pulmonary lesions. *Eur. Radiol.* 2010; 20 (4): 807–815. DOI: 10.1007/s00330-009-1629-6.
25. Alexopoulou E., Economopoulos N., Piftis K.N. et al. MR imaging findings of an atypical pulmonary hamartoma in a 12-year-old child. *Pediatr. Radiol.* 2008; 38 (10): 1134–1137. DOI: 10.1007/s00247-008-0938-2.
26. Fujimoto K. Usefulness of contrast-enhanced magnetic resonance imaging for evaluating solitary pulmonary nodules. *Cancer Imaging.* 2008; 8 (1): 36–44. DOI: 10.1102/1470-7330.2008.0009.
27. Котляров П.М., Сергеев Н.И. Лучевые методы исследования в дифференциальной диагностике паразитарных и опухолевых поражений легких. *Сибирский онкологический журнал.* 2016; 15 (4): 33–39. DOI: 10.21294/1814-4861-2016-15-4-33-39.
28. Nakanishi K., Kozaki S., Fujimoto S. et al. Pulmonary sclerosing hemangioma: report of a case with emphasis on dynamic MR imaging findings. *Radiat. Med.* 1997; 15 (2): 117–119.
29. Ерохин В. В., Земскова С. С. Современные представления о туберкулезном воспалении. *Проблемы туберкулеза.* 2003; 3: 11–21.
30. Холодок О.А., Григоренко А.А., Черемкин М.И. Туберкулема легкого как форма туберкулезного процесса. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания.* 2014; 53: 126–131.
31. Chung M.H., Lee H.G., Kwon S.S. et al. MR imaging of solitary pulmonary lesion: emphasis on tuberculomas and comparison with tumors. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2000; 11 (6): 629–637.
32. Sakai F., Sone S., Maruyama A. et al. Thin-rim enhancement in Gd-DTPA-enhanced magnetic resonance images of tuberculoma: a new finding of potential differential diagnostic importance. *J. Thorac. Imaging.* 1992; 7 (3): 64–69.
33. Котляров П.М., Гамова Е.В. и др. Возможности магнитно-резонансной томографии в диагностике периферического рака легкого. *Медицинская визуализация.* 2002; 4: 35–39.
34. Карташов М.В., Карташова О.М., Котляров П.М. Первый опыт применения диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии при мелкоклеточном раке легкого. *Медицинская визуализация.* 2011; 4: 28–33.
35. Yoon S.H., Park C.M., Park S.J. et al. Tumor heterogeneity in lung cancer: assessment with dynamic contrast-enhanced MR imaging. *Radiology.* 2016; 280 (3): 940–948. DOI: 10.1148/radiol.2016151367.
36. Gaustad J.V., Simonsen T.G., Smistad R. et al. Early effects of low dose bevacizumab treatment assessed by magnetic resonance imaging. *BMC Cancer.* 2015; 15: 900. DOI: 10.1186/s12885-015-1918-1.
37. Chen Y.F., Yuan A., Cho K.H. et al. Functional evaluation of therapeutic response of HCC827 lung cancer to bevacizumab and erlotinib targeted therapy using dynamic contrast-enhanced and diffusion-weighted MRI. *PLoS One.* 2017; 12 (11): e0187824. DOI: 10.1371/journal.pone.0187824.
2. Kaprin A.D., Starinskiy V.V., Petrov G.V. Malignancy in Russia, 2015 (morbidity and mortality). Moscow: MNIOI im. P.A. Gertsena filial FGBU «NMIRTS» Minzdruva Rossii; 2017 (in Russian).
3. Tuddenham W.J. Glossary of terms for thoracic radiology: recommendations of the Nomenclature Committee of the Fleischner Society. *Am. J. Roentgenol.* 1984; 143 (3): 509–517. DOI: 10.2214/ajr.143.3.509.
4. Baert A. L., Knauth M., Sartor K. et al. Diagnostic Imaging. Computed Tomography of the Lung a Pattern Approach. M.: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2007.
5. Kotlyarov P.M. Multislice CT as a novel imaging diagnostic method in lung diseases. *Meditsinskaya vizualizatsiya.* 2011; (4): 14–20 (in Russian).
6. Kotlyarov P.M. Multispiral computed tomography post-processing for refining diagnosis of diffuse lung diseases. *Pul'monologiya.* 2017; 27 (4): 472–477. DOI: 10.18093/0869-0189-2017-27-4-472-477 (in Russian).
7. Kotlyarov P.M. Image methods in diagnosis of respiratory disease. *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal.* 2001; 9 (5): 197–207 (in Russian).
8. Kotlyarov P.M., Gamova E.V., Nudnov N.V. et al. Magnetic resonance imaging in visualization of respiratory system, mediastinum and in some diseases. *Pul'monologiya.* 1999; (4): 26–30 (in Russian).
9. Wielpütz M., Kauczor H.U. MRI of the lung: state of the art. *Diagn. Interv. Radiol.* 2012; 18 (4): 344–353. DOI: 10.4261/1305-3825.DIR.5365-11.0.
10. Biederer J., Beer M., Hirsch W. et al. MRI of the lung (2/3). Why ... when ... how? *Insights Imaging.* 2012; 3 (4): 355–371. DOI: 10.1007/s13244-011-0146-8.
11. Biederer J., Ohno Y., Hatabu H. et al. Screening for lung cancer: Does MRI have a role? *Eur. J. Radiol.* 2017; 86: 353–360. DOI: 10.1016/j.ejrad.2016.09.016.
12. Kurihara Y., Matsuoka S., Yamashiro T. et al. MRI of pulmonary nodules. *Am. J. Roentgenol.* 2014; 202 (3): 210–216. DOI: 10.2214/AJR.13.11618.
13. Mori T., Nomori H., Ikeda K. et al. Diffusion weighted magnetic resonance imaging for diagnosing malignant pulmonary nodules/masses: comparison with positron emission tomography. *J. Thorac. Oncol.* 2008; 3 (4): 358–364. DOI: 10.1097/JTO.0b013e318168d9ed.
14. Eibel R., Herzog P., Dietrich O. et al. Magnetic resonance imaging in the involution of pneumonia. *Radiologe.* 2006; 46 (4): 267–274. DOI: 10.1007/s00117-005-1326-7.
15. Kim M.J., Lee K.S., Kim J. et al. Crescent sign in invasive pulmonary aspergillosis: frequency and related CT and clinical factors. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2001; 25 (2): 305–310.
16. Blum U., Windfuhr M., Buitrago-Tellez C. et al. Invasive pulmonary aspergillosis. MRI, CT, and plain radiographic findings and their contribution for early diagnosis. *Chest.* 1994; 106 (4): 1156–1161.
17. Binghu J., Huaijun L., Dan Z. Diagnostic and clinical utility of dynamic contrast-enhanced MR imaging in indeterminate pulmonary nodules: a metaanalysis. *Clin. Imaging.* 2016; 40 (6): 1219–1225. DOI: 10.1016/j.clinimag.2016.08.017.
18. Luk'yanenok P.I., Usov V.YU., Kolomiets S.A. et al. A role of contrast-enhanced magnetic resonance imaging for diagnosis of lung carcinoma. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy.* 2014; 11 (3): 455–459 (in Russian).
19. Khalila A., Majlatha M., Gounant V. et al. Contribution of magnetic resonance imaging in lung cancer imaging. *Diagnostic and Interventional Imaging.* 2016; 97 (10): 991–1002. DOI: 10.1016/j.diii.2016.08.015.

Поступила 19.11.17

## 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. *Pul'monologiya.* 2015; 25 (3): 291–297. DOI: 10.18093/0869-0189-2015-25-3-291-297 (in Russian).



20. Sergeyev N.I., Kotlyarov P.M. et al. Results of chemotherapeutic and radiation treatment of secondary bone lesions according to data of dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Luchevaya diagnostika i terapiya*. 2013; 3 (4): 89–92 (in Russian).
21. Yang R.M., Li L., Wei X.H. et al. Differentiation of Central Lung Cancer from Atelectasis: Comparison of Diffusion-Weighted MRI with PET/CT. *PLoS One*. 2013; 8 (4): e60279. DOI: 10.1371/journal.pone.0060279.
22. Ohno Y., Koyama H., Yoshikawa T. et al. Diffusion weighted MRI versus 18F-FDG PET/CT: performance as predictors of tumor treatment response and patient survival in patients with non-small cell lung cancer receiving chemoradiotherapy. *Am. J. Roentgenol*. 2012; 198 (1): 75–82. DOI: 10.2214/AJR.11.6525.
23. Hausmann D., Jochum S., Utikal J. et al. Comparison of the diagnostic accuracy of whole-body MRI and whole-body CT in stage III/IV malignant melanoma. *J. Dtsch. Dermatol. Ges.* 2011; 9 (3): 212–222. DOI: 10.1111/j.1610-0387.2011.07614.x.
24. Liu H., Liu Y., Ye N. Usefulness of diffusion weighted MR imaging in the evaluation of pulmonary lesions. *Eur. Radiol*. 2010; 20 (4): 807–815. DOI: 10.1007/s00330-009-1629-6.
25. Alexopoulou E., Economopoulos N., Priftis K.N. et al. MR imaging findings of an atypical pulmonary hamartoma in a 12-year-old child. *Pediatr. Radiol*. 2008; 38 (10): 1134–1137. DOI: 10.1007/s00247-008-0938-2.
26. Fujimoto K. Usefulness of contrast-enhanced magnetic resonance imaging for evaluating solitary pulmonary nodules. *Cancer Imaging*. 2008; 8 (1): 36–44. DOI: 10.1102/1470-7330.2008.0009.
27. Kotlyarov P.M., Sergeyev N.I. Imaging methods in differential diagnosis of parasitic and malignant lesions of the lungs. *Sibirskiy onkologicheskii zhurnal*. 2016; 15 (4): 33–39. DOI: 10.21294/1814-4861-2016-15-4-33-39 (in Russian).
28. Nakanishi K., Kozaki S., Fujimoto S. et al. Pulmonary sclerosing hemangioma: report of a case with emphasis on dynamic MR imaging findings. *Radiat. Med*. 1997; 15 (2): 117–119.
29. Erokhin V. V., Zemskova S. S. Current approach to tuberculous inflammation. *Problemy tuberkuleza*. 2003; 3: 11–21 (in Russian).
30. Kholodok O.A., Grigorenko A.A., Cheremkin M.I. Pulmonary tuberculoma as a variant of pulmonary tuberculosis. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya*. 2014; 53: 126–131 (in Russian).
31. Chung M.H., Lee H.G., Kwon S.S. et al. MR imaging of solitary pulmonary lesion: emphasis on tuberculomas and comparison with tumors. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2000; 11 (6): 629–637.
32. Sakai F., Sone S., Maruyama A. et al. Thin-rim enhancement in Gd-DTPA-enhanced magnetic resonance images of tuberculoma: a new finding of potential differential diagnostic importance. *J. Thorac. Imaging*. 1992; 7 (3): 64–69.
33. Kotlyarov P.M., Gamova E.V. et al. Possibilities of magnetic resonance imaging in diagnosis of peripheral lung carcinoma. *Meditinskaya vizualizatsiya*. 2002; 4: 35–39 (in Russian).
34. Kartashov M.V., Kartashova O.M., Kotlyarov P.M. The first experience of diffusion weighted magnetic resonance imaging for diagnosis of small-cell lung cancer. *Meditinskaya vizualizatsiya*. 2011; 4: 28–33 (in Russian).
35. Yoon S.H., Park C.M., Park S.J. et al. Tumor heterogeneity in lung cancer: assessment with dynamic contrast-enhanced MR imaging. *Radiology*. 2016; 280 (3): 940–948. DOI: 10.1148/radiol.2016151367.
36. Gaustad J.V., Simonsen T.G., Smistad R. et al. Early effects of low dose bevacizumab treatment assessed by magnetic resonance imaging. *BMC Cancer*. 2015; 15: 900. DOI: 10.1186/s12885-015-1918-1.
37. Chen Y.F., Yuan A., Cho K.H. et al. Functional evaluation of therapeutic response of HCC827 lung cancer to bevacizumab and erlotinib targeted therapy using dynamic contrast-enhanced and diffusion-weighted MRI. *PLoS One*. 2017; 12 (11): e0187824. DOI: 10.1371/journal.pone.0187824.

Received November 19, 2017