

Опыт применения магнитно-резонансной томографии для оценки туберкулем легких

М.Е. Макогонова, Е.Н. Шаповалова, Г.Г. Кудряшов, П.В. Гаврилов

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии

Using MRI for pulmonary tuberculomas evaluation

M. Makogonova, Ye. Shapovalova, G. Kudryashov, P. Gavrilov

St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology

© Коллектив авторов, 2023 г.

Резюме

Особенностями туберкулем легких являются высокая вероятность реактивации инфекционного процесса в течение первых четырех лет с момента образования и сложность определения активности воспаления при стабильной клинико-рентгенологической картине, что приводит к трудностям выбора тактики лечения. **Цель исследования.** Разработать и апробировать методику МРТ при синдроме патологического образования легких, для оценки возможностей МРТ как метода дополнительной диагностики активности туберкулем легких. **Материалы и методы.** Предложена и апробирована методика проведения МРТ легких у пациентов с верифицированными туберкулемами легких разной степени активности. **Результаты.** Выявлены и проиллюстрированы лучевые паттерны туберкулемы легких на стандартных импульсных последовательностях, а также установлены особенности лучевой картины туберкулем разной степени активности. Неактивная туберкулема характеризуется повышенным сигналом на ДВИ и гипоинтенсивным на картах ИКД. При ДКУ малоактивные туберкулемы медленно и слабо накапливали контраст, активные — быстро и интенсивно накапливали контрастное вещество по капсуле с дальнейшим выхождением на плато, центральные отделы характеризовались более медленным накоплением. **Заключение.** Применение МРТ может быть перспективным для оценки активности туберкулем легких. Методика МРТ исследования для оценки туберкулемы легкого должна включать выполнение протокола со стандартными импульсными

последовательностями: T2-ВИ, T1-ВИ, STIR ВИ в корональной и аксиальной плоскостях; ДВИ с максимальным b-фактором 800 с/мм² и построением карт ИКД; динамическое контрастное усиление.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография туберкулеза, туберкулез легких, активность туберкулем

Summary

Pulmonary tuberculomas have a high probability of the infectious process reactivation during the first four years since their formation, it is also specifically difficult to define the inflammation activity in case of a stable clinical and radiological picture, hence difficult to select the treatment tactics. Aim of study. To develop and test the MRI technique in case of pathological pulmonary formations in order to check the MRI capabilities as an additional tool for the diagnostics of pulmonary tuberculomas' activity. Materials and methods. The MRI technique for checking the lungs of patients with verified pulmonary tuberculomas of various degree of activity was proposed and tested. Results. Radial patterns of pulmonary tuberculomas were identified and demonstrated in standard pulse sequences, radial features of tuberculomas of various degree of activity were established. Non-active tuberculoma is characterized by higher signal on diffusion weighted MRI images and hypointense signal on ADC maps. In dynamic contrast enhanced MRI, low active tuberculomas were slowly accumulating the contrast, while the active ones did this

fast and intensely in the capsule with further reaching the plateau, at the same time the central part accumulated the contrast at a slower pace. Conclusion. Using MRI may be promising for the pulmonary tuberculomas' activity evaluation. The MRI technique for pulmonary tuberculoma evaluation has to include a protocol with standard pulse sequences: T2, T1 WI, STIR WI in coronal and axial planes; DWI with maximum b-factor 800 s/mm² and ADC maps; dynamic contrast enhancement.

Keywords: magnetic resonance imaging (MRI) of tuberculosis, pulmonary tuberculosis, tuberculomas' activity

Введение

Туберкулема легких — патоморфологическая форма туберкулеза, представляющая собой очаг казеозного некроза, окруженный двухслойной капсулой из грануляционного и фиброзного слоев [1], является наиболее распространенной формой доброкачественного шаровидного образования легких и встречается в 5–24% случаев в резецированном материале [2].

К особенностям туберкулем относят высокую вероятность реактивации инфекционного процесса в течение первых 1–4 лет с момента образования [3–5], сложность определения активности воспаления при стабильной клинко-рентгенологической картине [6], что приводит к трудностям выбора тактики лечения, особенно, что касается вопросов необходимости хирургического вмешательства [7]. В настоящее время окончательный метод определения активности воспалительного процесса при туберкулемах — патоморфологические методики исследования резециро-

ванного материала, недостаток которых заключается в их ретроспективности [8, 9].

В 1998 г. Б.М. Ариэль [10] предложил морфологическую классификацию туберкулем по степени активности на основании соотношения казеозно-некротических и фиброзных изменений в структуре образования. Было выделено пять степеней активности от затихших воспалительных изменений (I степень) до наиболее остро прогрессирующих изменений (V степень).

К методам лучевой диагностики туберкулем легких относят флюорографию, обзорную рентгенографию органов грудной полости, компьютерную томографию грудной клетки (КТ), позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ).

Магнитно-резонансная томография (МРТ) обладает рядом особенностей, ограничивающим ее широкое применение в диагностике поражений легких: низкая протонная плотность атомов водорода в легочной ткани, и, как следствие, низкий сигнал от аэрированных легких, повышенная восприимчивость метода к артефактам движения от дыхания, сердцебиения и пульсации сосудов крупного калибра, ослабление МР-сигнала на границе раздела сред воздух–ткань, низкое соотношение сигнал/шум и, в том числе, длительность исследования [11]. Повышение воздушности легких, как при эмфиземе, также приводит к снижению чувствительности МРТ [12]. С развитием новых технологий, позволяющих минимизировать влияние артефактов на качество изображений, с модификацией постпроцессинговой обработки ставится вопрос об актуальности использования МРТ в качестве метода альтернативной или дополнительной возможности визуализации при различных заболеваниях, проявляющихся синдромом патологического образования легкого [13–15].

Таблица 1

Сведения о технических характеристиках протокола МР-исследования пациентов с туберкулемами легких

Параметры	T2 tse tra/cor trig	STIR tra trig	DWI (50_800) tra	T1 vibe dixon cor	T1 vibe dixon tra dyn
TR, ms	2000	2000	6900	6.70	6.67
TE, ms	68	67	69	2.39	2.39
FoV read, mm	350	380	380	300	329
FoV phase, %	75	80.6	80.6	100	71.9
Slice thickness, mm	4.0	3.0	5.0	1.6	3.0
Voxel size, mm	0,9×0,9×4,0	0,6×0,6×4,0	1,4×1,4×5,0	1,6×1,6×1,6	0,6×0,6×3,0
Slices	44	44	45	45	45
Dist. Factor, %	20	20	10	20	20
Average	2	1	–	1	1
Concatenations	6	9	1	1	1
Phase enc. Dir	A>>P	A>>P	A>>P	R>>L	A>>P
TA, min	5:30	4:30	3:36	0:16	1:48

Примечание: полученные изображения анализировались на рабочей станции syngo MR E11.

Цель исследования

Целью исследования было разработать и апробировать методику МРТ при синдроме патологического образования легких, для оценки возможностей МРТ как метода дополнительной диагностики активности туберкулем легких.

Материалы и методы

На базе СПб НИИФ на 5 пациентах предложен протокол МРТ легких. После проведения исследования пациентов оперировали с гистологической верификацией туберкулем в резекционном материале и с определением степени их активности.

Все исследования проводились на магнитно-резонансном томографе Siemens MAGNETOM Amira мощностью 1,5 Т. Больные располагались на столе томографа лежа на спине, головой вперед. На область интереса помещалась 16-канальная body-катушка, захватывая всю область легких от верхушек до синусов. Центрирование осуществлялось по центру катушки.

Выполнялся протокол с использованием стандартных импульсных последовательностей: T2, T1 в аксиальной, коронарной плоскостях, STIR, ДВИ с максимальным b-фактором 800 с/мм² и построением карт ИКД, динамическое контрастное усиление с гадолиний-содержащим контрастным веществом из расчета 0,2 ммоль/кг массы тела (магневист) с получением 5 серий, сбор данных каждой серии осуществлялся в течение 16 с, контраст вводился болюсно на вдохе пациента перед началом сканирования первой серии. Сводные технические характеристики нашего МР-протокола представлены в табл. 1.

Результаты и их обсуждение

Наиболее качественный результат в минимизации артефактов был получен при использовании дыхательного триггера во время сбора данных. Триггер устанавливался на прескане на коронарной и са-

гитальной плоскостях на уровне купола диафрагмы в центре поля обзора. Недостатком данной методики стало увеличение времени сканирования по сравнению с использованием сканирования с задержкой дыхания на выдохе, пример разницы пространственного разрешения между двумя методиками представлен на изображении (рис. 1).

Инструктаж пациента о правильной технике дыхания во время обследования повышал вероятность получения качественных МР-изображений.

На T2-ВИ все туберкулемы характеризовались центральной изо-гипоинтенсивностью и периферической гиперинтенсивностью (рис. 2).

Аналогичные признаки туберкулем описаны в литературе [16]. Это объясняется строением туберкулемы: центрально расположенный участок казеозного некроза с возможным наличием микрокальцинатов в структуре визуализируется в виде гипоинтенсивного сигнала, реактивный гранулематозный воспалительный процесс в капсуле — гиперинтенсивный. В сравнении с КТ дифференциация тканей в туберкулеме была более чувствительна (рис. 3).

На T1-ВИ сигнал от туберкулем был однородным, изоинтенсивным (рис. 4).

На STIR сигнал от туберкулем был гиперинтенсивный, иногда более высокий сигнал отмечался по периферии образования по капсуле (рис. 5).

Оценка ДВИ и карт ИКД показала разницу в интенсивности сигнала от туберкулем в зависимости от степени активности воспалительного процесса. Так, умеренно активная туберкулема (II–III степень) характеризовалась гиперинтенсивным сигналом на ДВИ и гипоинтенсивным на картах ИКД; сигнал, как правило, был неоднородным (рис. 6, 7).

Неактивная или слабоактивная туберкулема может обладать признаками рестрикции диффузии в разной степени, вероятно, из-за наличия в своей структуре фиброзной ткани, в которой повышена клеточность, небольшое содержание жидкости в межклеточном пространстве, но фиброз может

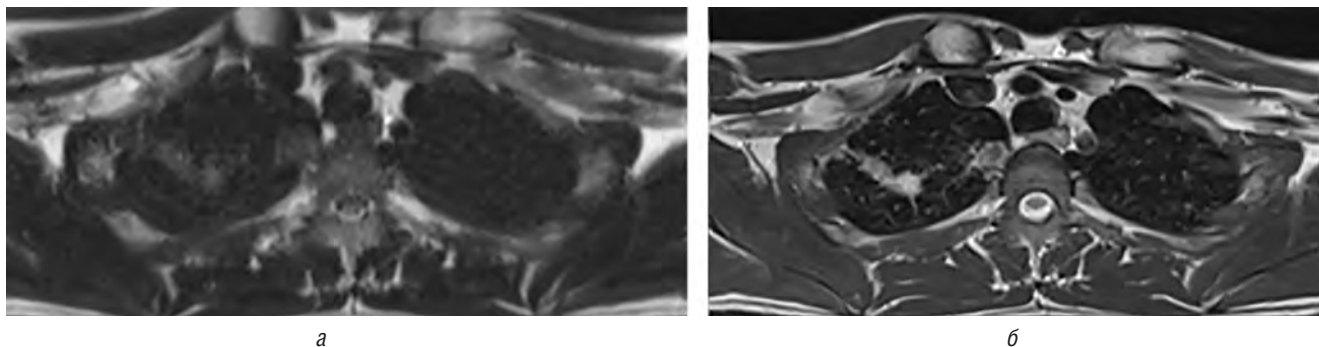


Рис. 1. T2-ВИ в аксиальной плоскости: а — сбор данных на задержке дыхания; б — синхронизация сбора данных с дыханием с помощью установки дыхательного триггера

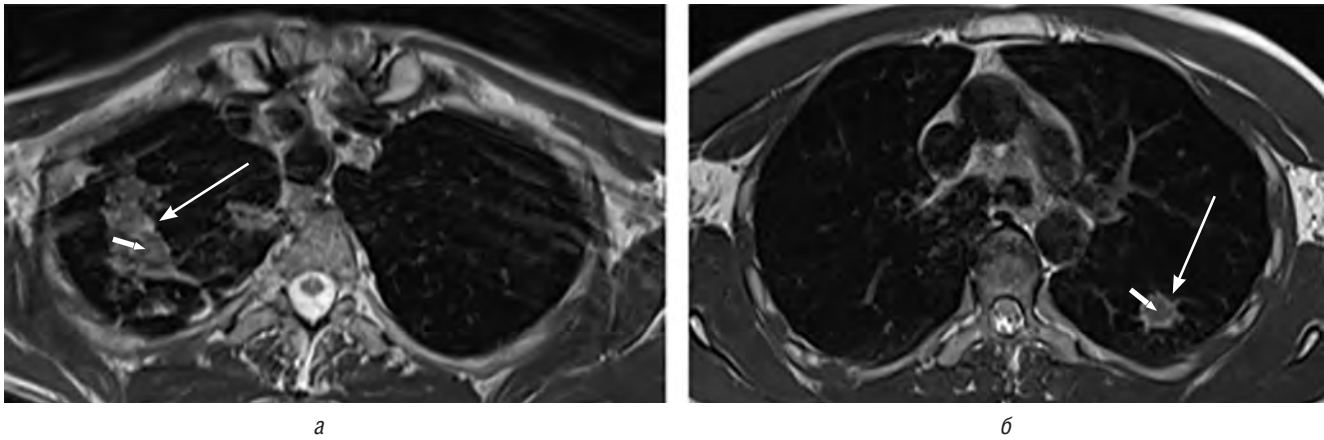


Рис. 2. МРТ легких, T2-ВИ, аксиальная плоскость: *а* — туберкулема II степени активности; *б* — туберкулема III степени активности. Центральная изо-гипоинтенсивность образования (короткая стрелка), окруженная гиперинтенсивной капсулой по периферии (длинная стрелка)



Рис. 3. *а* — СКТ ОГК, легочный режим; *б* — мягкотканый режим; *в* — МРТ, T2-ВИ, аксиальная плоскость. Туберкулема S6 левого легкого III степени активности

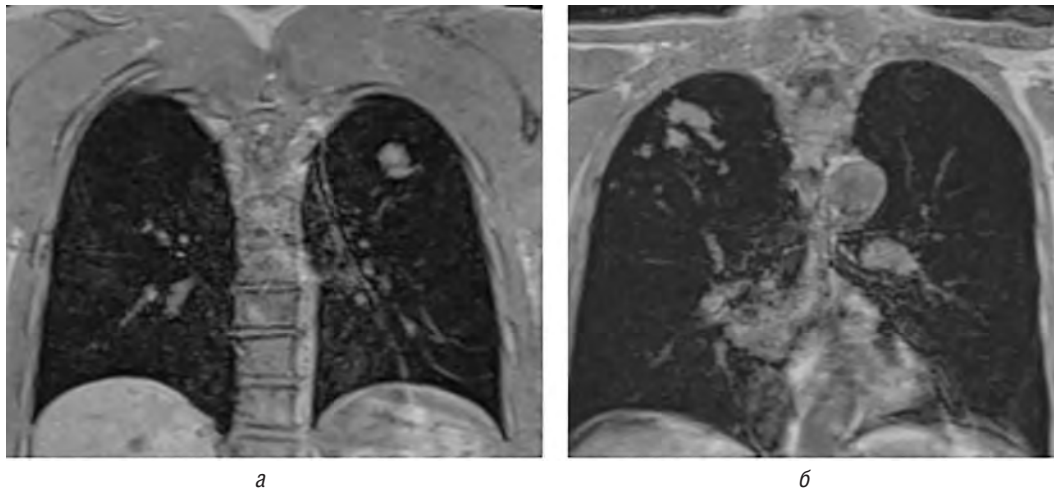


Рис. 4. МРТ, T1 вibe dixон, корональная плоскость. Туберкулемы верхней доли левого (*а*) и правого (*б*) легкого с однородным изоинтенсивным сигналом

характеризоваться разными МР-признаками на ДВИ и картах ИКД.

Высокоактивная туберкулема (IV степень активности) визуализировалась в виде гиперинтенсивного сигнала на ДВИ и картах ИКД (рис. 8, 9), вероятно, это

связано с активным казеозным некрозом в структуре туберкулемы, который сопровождается повреждением мембран клеток, повышенной диффузией молекул воды в интра-, экстрацеллюлярном пространствах и трансмембранно.

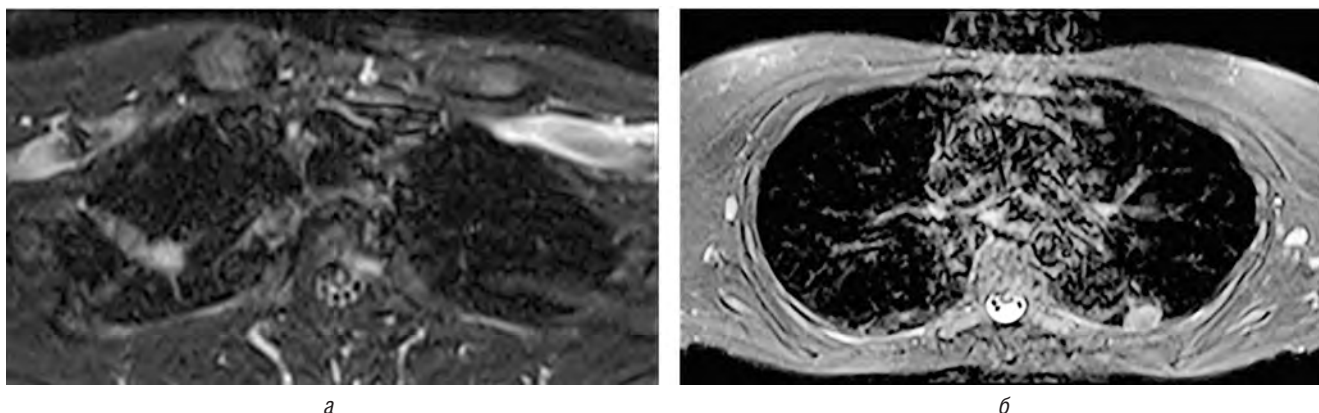


Рис. 5. МРТ, STIR, аксиальная плоскость. Туберкулема правого легкого с гомогенным гиперинтенсивным МР-сигналом (а) и туберкулема левого легкого с гиперинтенсивным МР-сигналом по капсуле (б)

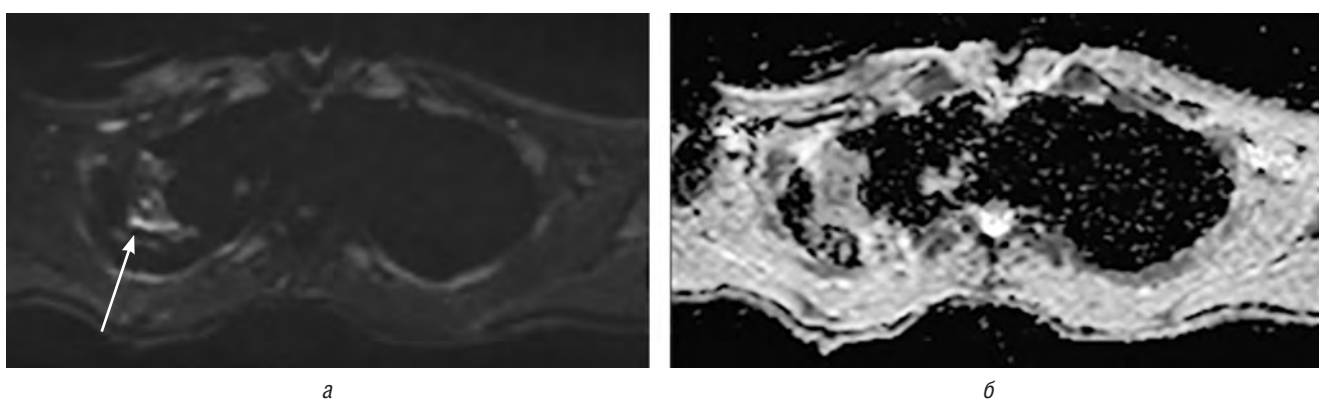


Рис. 6. МРТ: а — ДВИ ($B = 800 \text{ с/мм}^2$); б — карта ИКД. Туберкулема S1 правого легкого II степени активности. Отмечается гиперинтенсивный сигнал по периферии образования в задних его отделах (стрелка), сигнал от центральных отделов гипоинтенсивный на ДВИ и на карте ИКД

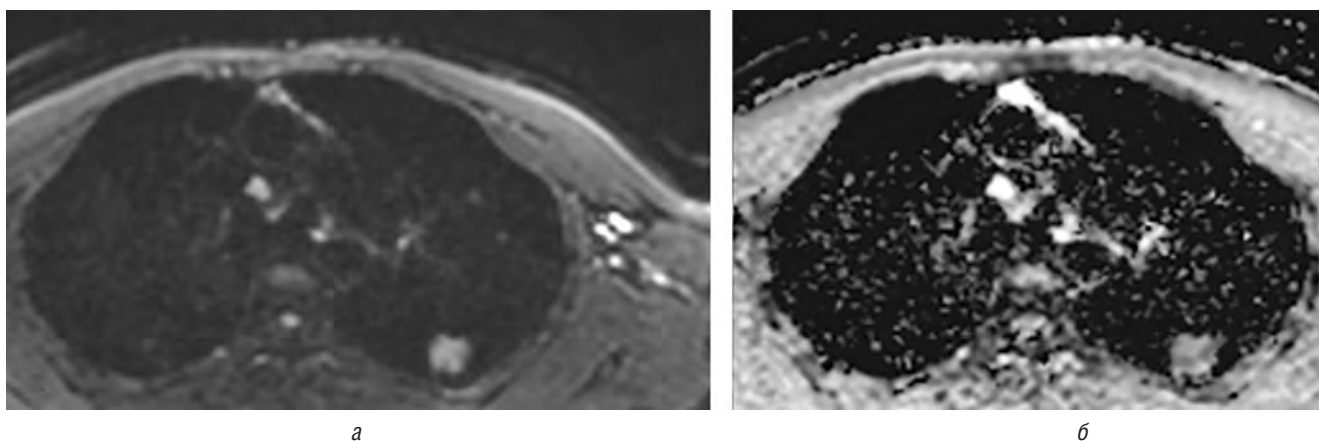
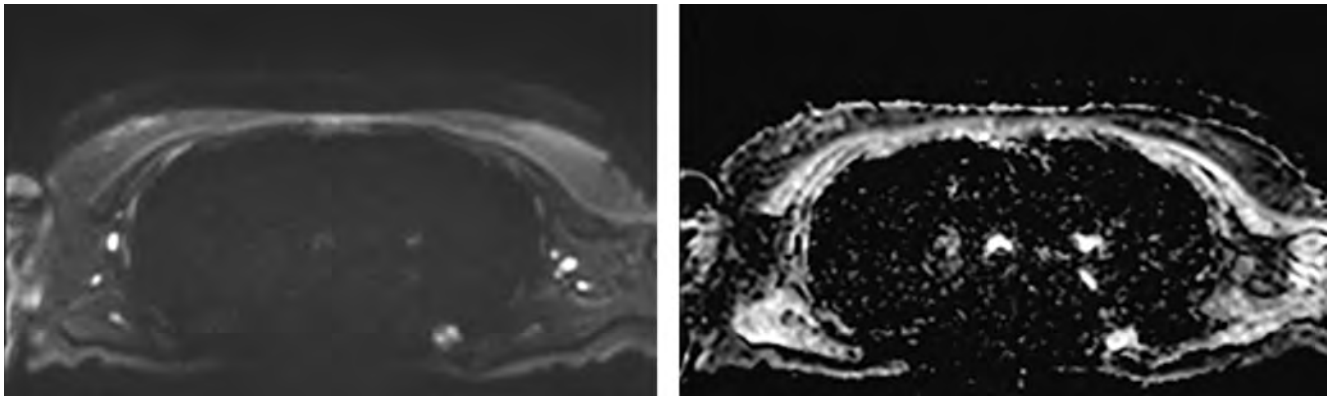


Рис. 7. МРТ: а — ДВИ ($B = 800 \text{ с/мм}^2$); б — карта ИКД. Туберкулема S6 левого легкого III степени активности. Отмечается гиперинтенсивный сигнал на ДВИ и гипоинтенсивный на карте ИКД

При интерпретации изображений МРТ с ДКУ нами было выделено три типа накопления контрастного вещества (рис. 10).

Выявлена разница в типах кривых у туберкулем с разной степенью активности, так, слабоактивные туберкулемы медленно неинтенсивно накапливали кон-

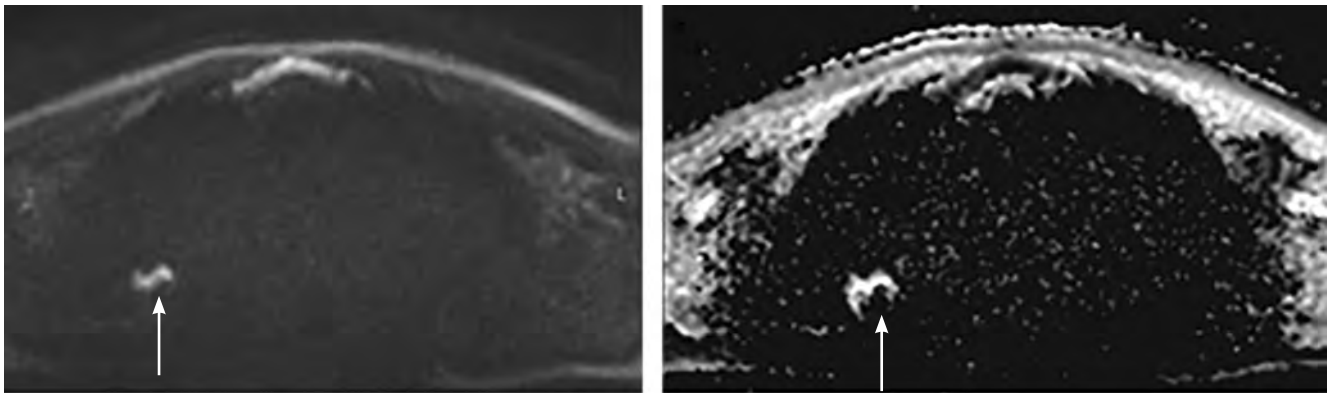
траст (3-й тип), в высокоактивных туберкулемах накопление по капсуле происходило по 2-му типу (быстрое накопление с выходом на плато) или по 1-му типу с относительно медленным накоплением и признаками слабого вымывания после достижения пика, а центральные отделы характеризовались 3-м типом



a

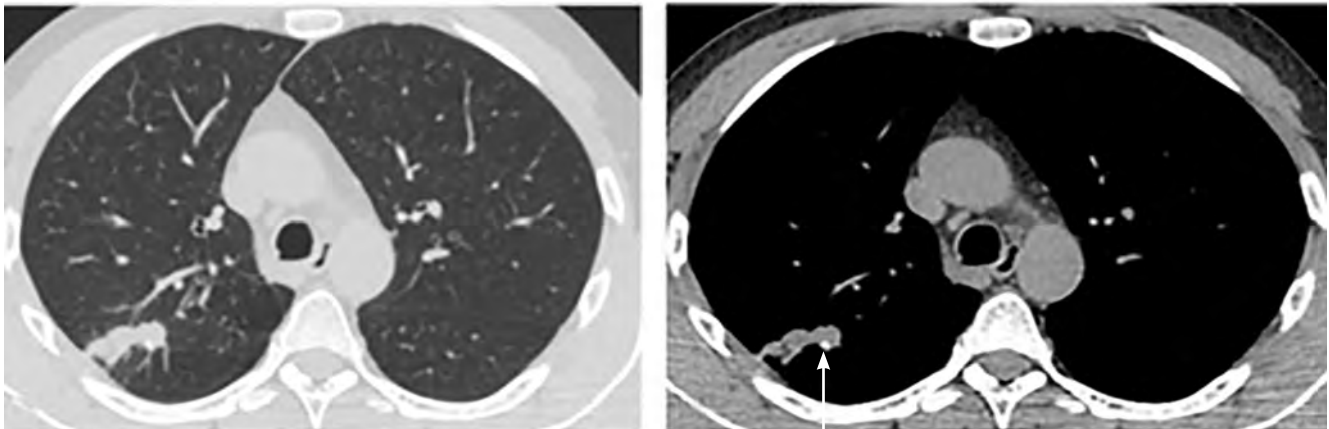
b

Рис. 8. МРТ: *a* — ДВИ ($B = 800 \text{ с/мм}^2$); *b* — карта ИКД. Туберкулема S6 левого легкого IV степени активности. Гиперинтенсивный сигнал от образования на ДВИ и карте ИКД



a

b



в

г

Рис. 9. *a* — МРТ, ДВИ ($B = 800 \text{ с/мм}^2$); *b* — карта ИКД; *в* — СКТ ОГК легочный режим; *г* — мягкотканый режим. Туберкулема S6 правого легкого IV степени активности. Гиперинтенсивный сигнал от образования на ДВИ и карте ИКД. Наглядный пример чувствительности ДВИ к кальцинатам в структуре туберкулемы: затухание МР-сигнала в области кальцинации (стрелки)

(медленное накопление). Примеры изображений и соответствующие кривые накопления контрастного препарата представлены на рис. 11–16.

Таким образом, слабоактивные туберкулемы (II, III степени активности) обычно медленно и неинтенсивно накапливали контрастное вещество, что

можно объяснить наличием фиброзной ткани в составе туберкулемы, выраженной в большей степени, чем воспалительные изменения. Высокоактивные туберкулемы быстро накапливали контраст по периферии, что может быть связано с активным воспалительным процессом в капсуле.

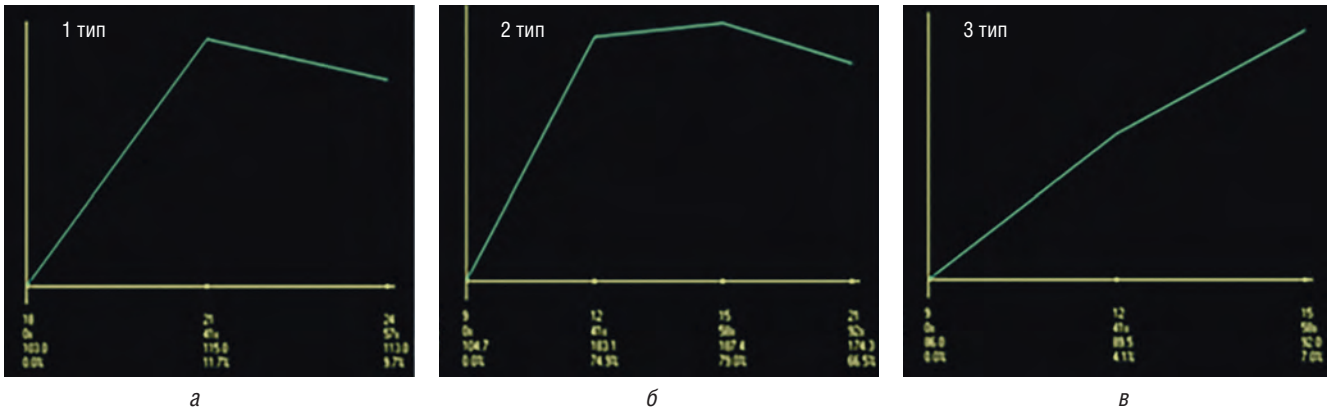


Рис. 10. Графики кривых усиления МР сигнала при МРТ с ДКУ: а — 1-й тип — медленное накопление, после достижения пика признаки медленного слабого вымывания; б — 2-й тип — быстрое накопление с последующим выходом на плато; в — 3-й тип — медленное слабоинтенсивное накопление без достижения пика

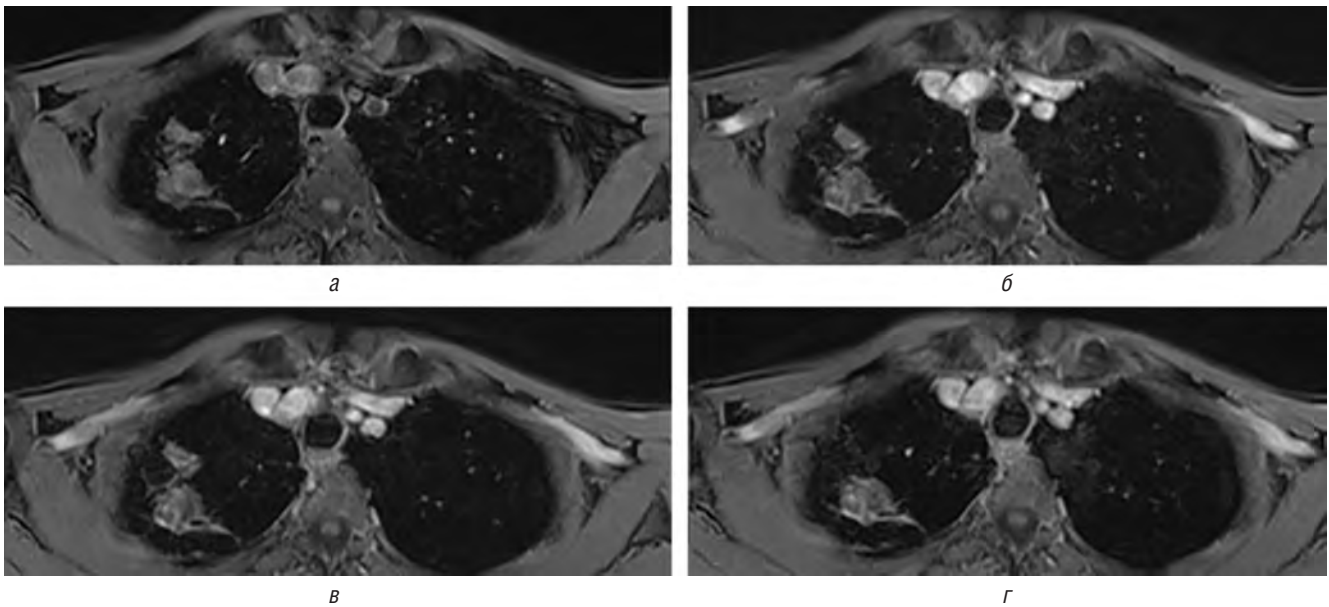


Рис. 11. МРТ с ДКУ. Верифицированная туберкулема III степени активности: а — 16-я секунда с момента введения контрастного вещества; б — 58-я секунда; в — 91-я секунда; г — 168-я секунда

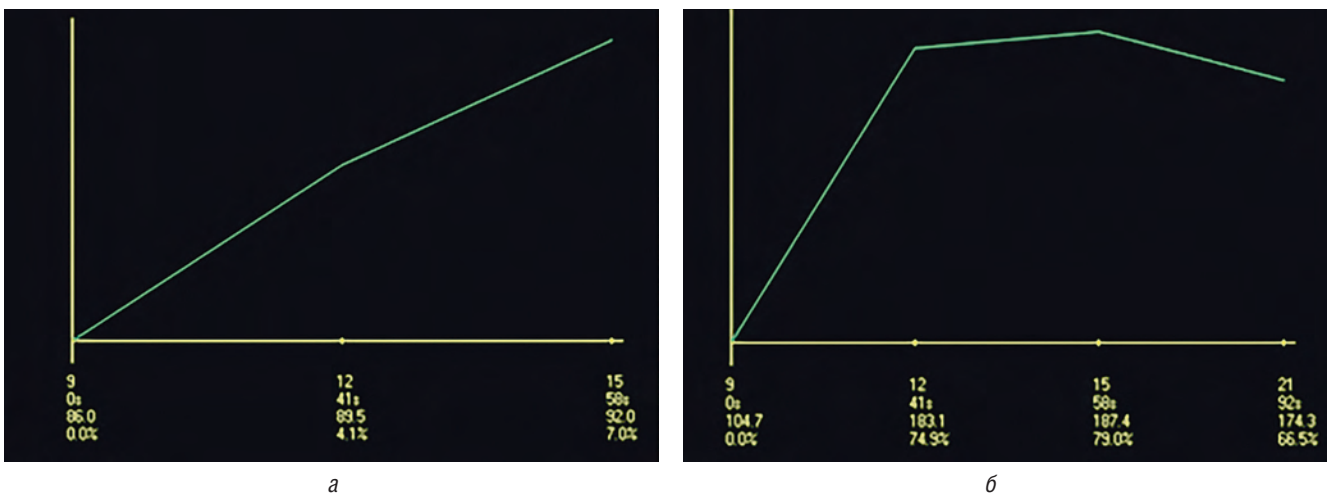


Рис. 12. Кривые накопления контрастного вещества: а — центральные отделы характеризовались медленным неинтенсивным накоплением (3-й тип); б — накопление по капсуле быстрое, интенсивное, с последующим выходом на плато (2-й тип)

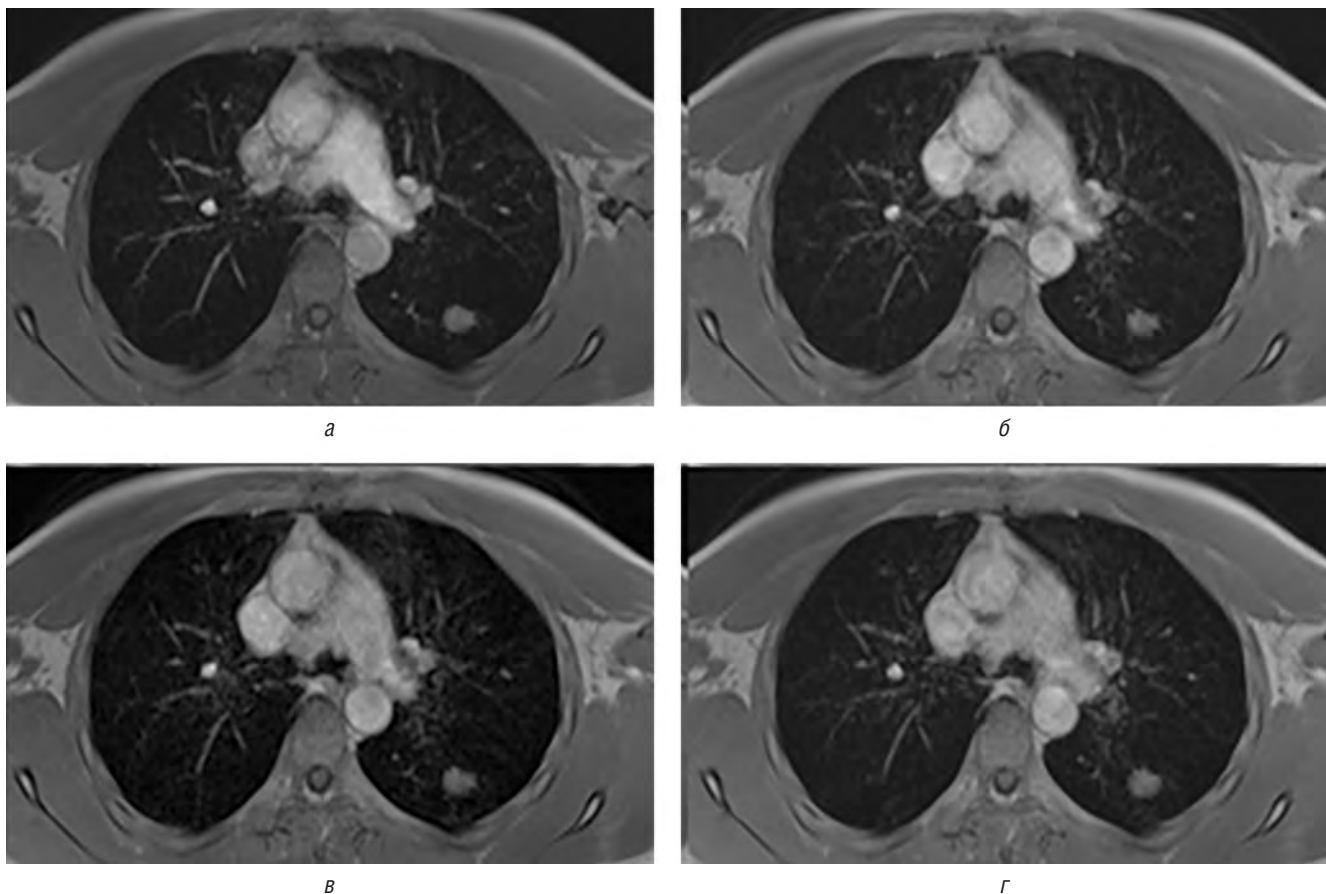


Рис. 13. МРТ с ДКУ. Верифицированная туберкулема II степени активности: а — 16-я секунда с момента введения контрастного вещества; б — 58-я секунда; в — 74-я секунда; г — 108-я секунда. Отмечается медленное неинтенсивное накопление контрастного препарата (3-й тип)

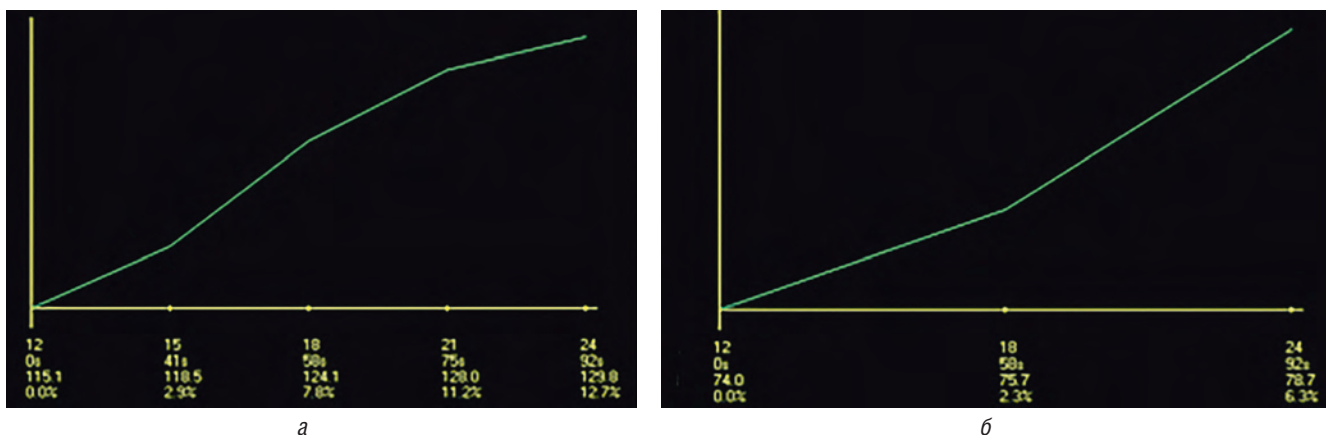


Рис. 14. Кривые накопления контрастного вещества в разных ROI: а, б — медленное, неинтенсивное накопление контрастного препарата (3-й тип)

Заключение

Таким образом, применение МРТ может быть перспективным для оценки активности туберкулем легких. Методика МРТ-исследования для оценки туберкулемы легкого должна включать выполнение протокола со стандартными импульсными последовательностями: T2-ВИ, T1-ВИ, STIR ВИ в корональной и аксиальной плоскостях; ДВИ с максимальным

b-фактором 800 с/мм² и построением карт ИКД; динамическое контрастное усиление.

Характерными МР-паттернами для туберкулемы являются: на T2-ВИ туберкулемы представляют собой изо- /гипоинтенсивный фокус с периферической гиперинтенсивностью, на T1-ВИ сигнал от туберкулемы изоинтенсивный и достаточно однородный, на STIR туберкулемы были, как правило, гиперинтенсивны. На ДВИ и картах ИКД активная туберкулема

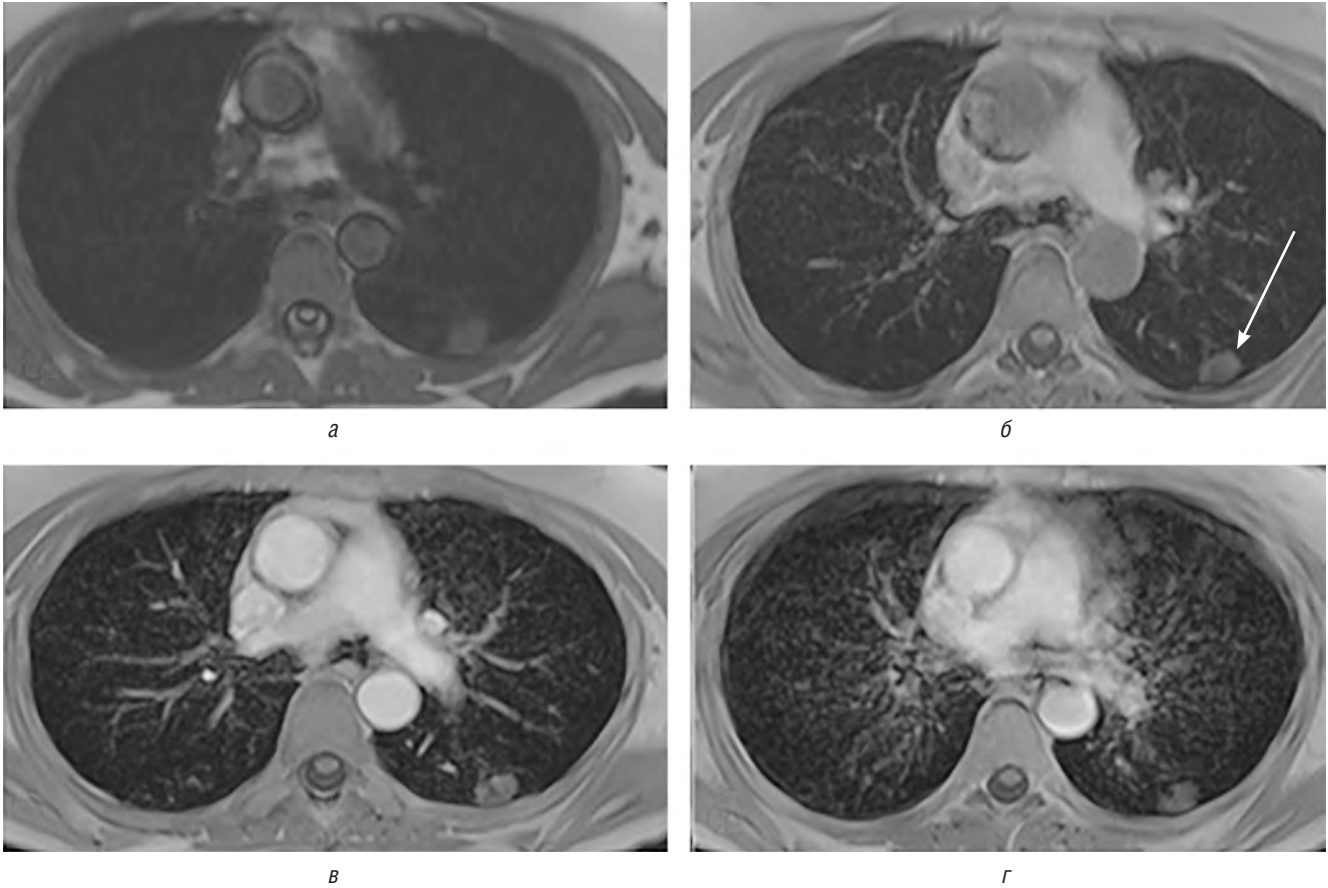


Рис. 15. МРТ с ДКУ. Верифицированная туберкулема IV степени активности: *а* — доконтрастное изображение T1 vibe dixon tra in-phase; *б* — 16-я секунда с момента введения контрастного вещества; *в* — 40-я секунда; *г* — 91-я секунда

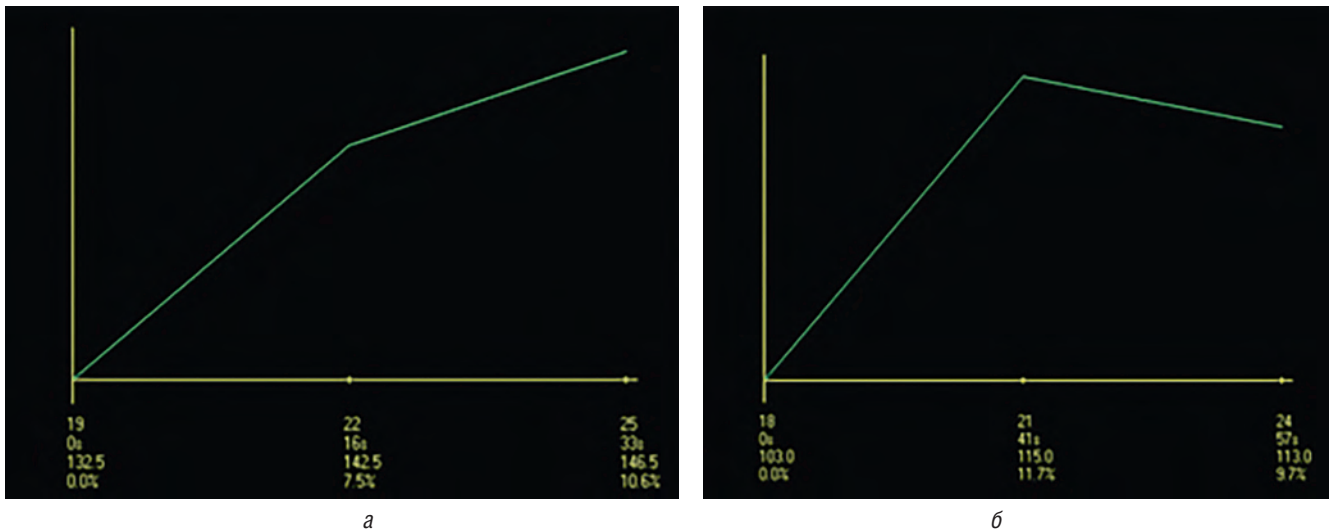


Рис. 16. Кривые накопления контрастного вещества: *а* — центральные отделы характеризовались медленным неинтенсивным накоплением (3-й тип); *б* — накопление по капсуле относительно медленное, с признаками слабого вымывания после достижения пика (1-й тип)

характеризуется повышенным сигналом по периферии на ДВИ и гиперинтенсивным сигналом на картах ИКД. Неактивная туберкулема характеризуется повышенным сигналом на ДВИ и гипоинтенсивным на картах ИКД. При ДКУ малоактивные туберкуле-

мы медленно и слабо накапливали контраст, активные — быстро и интенсивно накапливали контрастное вещество по капсуле с дальнейшим выходом на плато, центральные отделы характеризовались более медленным накоплением.

Список литературы

1. Sochocky S. Tuberculoma of the lung. *Am. Rev. Tuberc.* 1958 Sep; 78 (3): 403–410. doi: 10.1164/artpd.1958.78.3.403. PMID: 13571599.
2. Zwirowich C.V., Vedal S., Miller R.R., Müller N.L. Solitary pulmonary nodule: high-resolution CT and radiologic-pathologic correlation. *Radiology* 1991 May; 179 (2): 469–476. doi: 10.1148/radiology.179.2.2014294. PMID: 2014294.
3. Руководство по легочному и внелегочному туберкулезу / под ред. Ю.И.Левашова, Ю.М.Репина. СПб., 2006: 516. [The manual about pulmonary and extrapulmonary tuberculosis. Ed. by Yu.I. Levashov, Yu.M. Repin. St. Petersburg, 2006: 516 (In Russ.)].
4. Якупов Р.В., Павлова М.В., Сапожникова Н.В., Кадука А.Н. Отдаленные результаты консервативного лечения туберкулем легких. *Медицинский альянс* 2017; 1: 50–53 [Yakupov R., Pavlova M., Sapozhnikova N., Kaduka A. The remote results of conservative treatment of lung tuberculoma. *Medical Alliance* 2017; 1: 50–53 (In Russ.)].
5. Krysl J., Korzeniewska-Kosela M., Müller N.L., FitzGerald J.M. Radiologic features of pulmonary tuberculosis: an assessment of 188 cases. *Can. Assoc. Radiol. J.* 1994 Apr; 45 (2): 101–107. PMID: 8149264.
6. Lee H.S., Oh J.Y., Lee J.H., Yoo C.G., Lee C.T., Kim Y.W., Han S.K., Shim Y.S., Yim J.J. Response of pulmonary tuberculomas to anti-tuberculous treatment. *Eur. Respir. J.* 2004 Mar; 23 (3): 452–425. doi: 10.1183/09031936.04.00087304. PMID: 15065838.
7. Яблонский П.К., Соколович Е.Г., Аветисян А.О., Васильев И.В. Роль торакальной хирургии в лечении туберкулеза легких (обзор литературы и собственные наблюдения). *Медицинский альянс* 2014; 3: 4–10 [Yablonskiy P.K., Sokolovich E.G., Avetisyan A.O., Vasil'ev I.V. Role of thoracic surgery in pulmonary tuberculosis treatment (Review and the authors' observations). *Medical Alliance* 2014; 3: 4–10 (In Russ.)].
8. Холодок О.А., Григоренко А.А., Рябов Е.В. Морфологическая оценка активности туберкулем при их случайном выявлении в результате оперативного вмешательства на легких. *Дальневосточный медицинский журнал* 2015 (1): 81–84 [Kholodok O.A., Grigorenko A.A., Ryabov Ye.V. Morphological assessment of tuberculomas activity at their accidental detection in surgery on the lungs. *Dal'nevostochnyi meditsinskii zhurnal* 2015 (1): 81–84 (In Russ.)].
9. Холодок О.А., Григоренко А.А., Черёмкин М.И. Клиническое наблюдение течения туберкулем легкого с морфологической интерпретацией их активности. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания* 2014 (51): 137–140 [Kholodok O.A., Grigorenko A.A., Cheryemkin M.I. Clinical observation of lung tuberculomas course and morphological interpretation of their activity. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2014 (51): 137–140 (In Russ.)].
10. Ариэль Б.М., Ковальский Г.Б., Осташко О.М., Шацилло О.И. Макро- и микроскопическая диагностика туберкулеза, его осложнений, исходов и причин смерти. *Пособие для врачей / под ред. А.В. Васильева.* СПб., 1998: 33–34 [Ariel B.M., Kovalsky G.B., Ostashko O.M., Shatsillo O.I. Macro and microscopic diagnostics of tuberculosis, its complications, outcomes and causes of death. *Doctors' Manual.* Ed. A.V. Vasiliev. St. Petersburg, 1998: 33–34 (In Russ.)].
11. Ackman J.B. A practical guide to nonvascular thoracic magnetic resonance imaging. *J. Thorac. Imaging* 2014 Jan; 29 (1): 17–29. doi: 10.1097/RTI.000000000000056. PMID: 24361974.
12. Iwasawa T., Takahashi H., Ogura T., Asakura A., Gotoh T., Kagei S., Nishimura J., Obara M., Inoue T. Correlation of lung parenchymal MR signal intensity with pulmonary function tests and quantitative computed tomography (CT) evaluation: a pilot study. *J. Magn. Reson. Imaging* 2007 Dec; 26 (6): 1530–1536. doi: 10.1002/jmri.21183. PMID: 17968893.
13. Biederer J. Magnetic resonance imaging: technical aspects and recent developments. *Med. Klin. (Munich)*. 2005 Jan 15; 100 (1): 62–72. German. doi: 10.1007/s00063-005-1124-z. PMID: 15654546.
14. Liu H., Liu Y., Yu T., Ye N. Usefulness of diffusion-weighted MR imaging in the evaluation of pulmonary lesions. *Eur. Radiol.* 2010 Apr; 20 (4): 807–815. doi: 10.1007/s00330-009-1629-6. Epub 2009 Oct 28. PMID: 19862533.
15. Ohno Y., Nishio M., Koyama H., Seki S., Tsubakimoto M., Fujisawa Y., Yoshikawa T., Matsumoto S., Sugimura K. Solitary pulmonary nodules: Comparison of dynamic first-pass contrast-enhanced perfusion area-detector CT, dynamic first-pass contrast-enhanced MR imaging, and FDG PET/CT. *Radiology* 2015 Feb; 274 (2): 563–575. doi: 10.1148/radiol.14132289. Epub 2014 Sep 8. PMID: 25203128.
16. Qi L.P., Chen K.N., Zhou X.J., Tang L., Liu Y.L., Li X.T., Wang J., Sun Y.S. Conventional MRI to detect the differences between mass-like tuberculosis and lung cancer. *J. Thorac. Dis.* 2018 Oct; 10 (10): 5673–5684. doi: 10.21037/jtd.2018.09.125. PMID: 30505475; PMID: PMC6236172.

Поступила в редакцию: 28.06.2023 г.

Сведения об авторах:

Макогонова Марина Евгеньевна — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии; 194064, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 32; e-mail: MakogonovaME@gmail.com; ORCID 0000-0001-6760-2426;

Шаповалова Елена Николаевна — врач-рентгенолог кабинета магнитно-резонансной томографии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии; 194064, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 32; e-mail: Elenasharovalova1996@mail.ru; ORCID 0000-0002-2065-7814;

Кудряшов Григорий Геннадиевич — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, врач — торакальный хирург Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: dr.kudriashov.gg@yandex.com; ORCID 0000-0002-2810-8852

Гаврилов Павел Владимирович — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; доцент Научно-клинического и образовательного центра «Лучевая диагностика и ядерная медицина» Института высоких медицинских технологий Санкт-Петербургского государственного университета; 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 8а; e-mail: spbniifrentgen@mail.ru.