

Сравнительное исследование возможностей остеосцинтиграфии и магнитно-резонансной томографии всего тела в диагностике костных метастазов

Сергеев Н.И., Фомин Д.К., Котляров П.М., Нуднов Н.В., Солодкий В.А.

ФГБУ "Российский научный центр рентгенорадиологии" Министерства здравоохранения России, Москва, Россия

Comparative Study of the Possibilities of Bone Scintigraphy and Magnetic Resonance Imaging of the Whole Body in the Diagnosis of Bone Metastases

Sergeev N.I., Fomin D.K., Kotlyarov P.M., Nudnov N.V., Solodkiy V.A.

Russian Scientific Center of Roentgenradiology, Moscow, Russia

Цель исследования: сравнить характеристики методов остеосцинтиграфии и МРТ всего тела в выявлении костных метастазов при первичных злокачественных новообразованиях наиболее частых локализаций.

Материал и методы. Обследовано 29 больных со злокачественными новообразованиями различных локализаций и подозрением на вторичное поражение костей. Всем пациентам была выполнена остеосцинтиграфия на гамма-камере Nucline DHW с использованием моно- и дифосфатов Tc-99m активностью 370–600 МБк, а также МРТ всего тела на магнитно-резонансных томографах "Атлас" 1,5 Т и "Сигна" 1,5 Т. Диагноз вторичного

поражения костей в дальнейшем был подтвержден данными МСКТ или наблюдением в течение 6 мес.

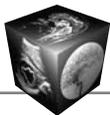
Результаты. Метастатическое поражение костей имелось у 21 (72,4%) пациента, образования доброкачественной природы были выявлены у 8 (27,6%) пациентов. По результатам применения методики МРТ всего тела были поставлены 1 ложноотрицательный и 2 ложноположительных диагноза, чувствительность методики составила 95,2% (20/21), специфичность – 75% (6/8). По данным остеосцинтиграфии было отмечено 3 ложноотрицательных и 3 ложноположительных результата, чувствительность методики составила 85,7% (18/21),

Для корреспонденции: Сергеев Николай Иванович – 117997 Россия, Москва, ул. Профсоюзная д. 86, Российский научный центр рентгенорадиологии. Тел.: +7-903-148-85-06. E-mail: Sergeev_n@rncrr.ru

Сергеев Николай Иванович – канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ "Российский научный центр рентгенорадиологии" МЗ РФ; **Фомин Дмитрий Кириллович** – доктор мед. наук, руководитель клиники ядерной медицины ФГБУ "Российский научный центр рентгенорадиологии" МЗ РФ; **Котляров Петр Михайлович** – доктор мед. наук, профессор, заведующий научно-исследовательским отделом новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ "Российский научный центр рентгенорадиологии" МЗ РФ; **Нуднов Николай Васильевич** – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора ФГБУ "Российский научный центр рентгенорадиологии" МЗ РФ по научной работе; **Солодкий Владимир Алексеевич** – член-корр. РАМН, профессор, директор ФГБУ "Российский научный центр рентгенорадиологии" МЗ РФ.

Contact: Sergeev Nikolay Ivanovich – 117997, Russian Federation, Moscow, Profsovnaya str., 86, Russian Scientific Center of Roentgenradiology of Ministry of Health RF. Phone +7-903-148-85-06. E-mail: Sergeev_n@rncrr.ru

Sergeev Nikolay Ivanovich – cand. of med. sci., a leading researcher at the research department of new technologies and semiotics ray diagnosis of diseases of organs and systems of "Russian Scientific Center of Radiology"; **Fomin Dmitry Kirillovich** – dokt. of med. sci., director of nuclear medicine clinics of "Russian Scientific Center of Radiology"; **Kotlyarov Peter Mikhaylovich** – dokt. of med. sci., professor, Head of the Research Division of the new technologies and semiotics ray diagnosis of diseases of organs and systems of "Russian Scientific Center of Radiology"; **Nudnov Nikolay Vasilyevich** – dokt. of med. sci., professor, Deputy Director of "Russian Scientific Center of Radiology"; **Solodkiy Vladimir Alekseevich** – corresponding Member of the Academy of Medical Sciences, Professor, Director of "Russian Scientific Center of Radiology".



специфичность – 62,5% (5/8). При этом точность методики МРТ всего тела была 89,6% (26/29), остеосцинтиграфии – 79,3% (23/29).

Выводы. МРТ всего тела является более объективной методикой, чем остеосцинтиграфия, за счет точной визуализации анатомических зон. Выполнение МРТ всего тела при подозрении на вторичное поражение костей может снизить потребность в дополнительных диагностических исследованиях. МРТ всего тела является бездозовой методикой, однако она сложнее технически и может быть выполнена не на всех томографах, что ведет к увеличению стоимости исследования.

Ключевые слова: МРТ всего тела, остеосцинтиграфия, метастазы в кости, онкология.

Purpose. Compare the characteristics of MRI techniques and whole-body bone scintigraphy in the detection of bone metastases in primary malignant tumors of the most frequent sites.

Materials and methods. 29 patients with malignant tumors of different localization and suspected secondary bone lesions were examined at “RNTSRR”. All patients underwent bone scan to gamma camera Nucline DHW using mono- and diphosphates of Tc-99m activity of 370–600 MBq, as well as MRI “whole body” for magnetic resonance imaging “Atlas” 1.5 T, and “Signa” 1.5 T. The diagnosis of secondary bone lesions was further confirmed by the data MSCT or supervision for 6 months.

Results. Metastatic bone lesions were present in 21 (72.4%) patients, benign nature were identified at 8 patients (27.6%) patients. According to the results of the use of MRI techniques “whole body” was placed 1 false-negative and false-positive diagnosis 2, the sensitivity of techniques was 95.2% (20/21), specificity of 75% (6.8). According to bone scan were mentioned 3 false-negative results, and 3 false-positive, the sensitivity was 85.7% technique (18/21), specificity – 62.5% (8.5). The accuracy of the technique of the whole body MRI was 89.6% (26/29), bone scintigraphy – 79.3% (23/29).

Conclusions. MRI “whole body” is a more objective procedure than bone scan, due to a more accurate visualization of anatomical zones. Using MRI “whole body” for suspected secondary bone disease can reduce the need for additional diagnostic studies. MRI “whole body” is no-radiation procedure, but it is technically difficult and may not be performed at all equipment, which leads to increased cost of study.

Key words: MRI “whole body”, bone scan, bone metastases, oncology.

Введение

Костная ткань представляет собой идеальную среду для метастазирования раковых опухолей различных локализаций. Это обусловлено наличием высокого уровня кровотока в красном костном мозге, адгезивными свойствами опухолевых клеток, которые связываются со стромальными клетками костного мозга и костным матриксом; также имеется большой резервуар иммобилизованных факторов роста [1]. При раке молочной железы, предстательной железы, легких поражение костей осевого скелета достигает 70% [2]. Другими злока-

чественными новообразованиями, дающими костные метастазы, в порядке убывания являются почки, щитовидная железа, мочевого пузыря и толстая кишка, рак яичников. Точная и ранняя диагностика костных метастазов имеет большое значение и определяет дальнейшее лечение и прогноз [3–5].

Многие авторы рассматривают остеосцинтиграфию как лучший метод для раннего выявления костных метастазов [6, 7]. Однако до 46% результатов скintiграфии костей оказываются ложноположительными за счет накопления радиометки в воспалительных очагах и зонах интенсивного остеогенеза. В связи с тем что идентификация метастатических очагов происходит косвенно, за счет включения метки в зоны остеобластической реакции, методика имеет недостаточную информативность у больных с остеолитическими метастазами. Тем не менее остеосцинтиграфия является относительно недорогим и быстрым методом диагностики, так что до сих пор считается эталонным стандартом для раннего выявления и оценки распространенности костных метастазов [8–10].

Данные литературы указывают на несколько проведенных сравнительных исследований МРТ всего тела и остеосцинтиграфии в выявлении костных метастазов [11–15]. Однако в них отражено малое количество наблюдений, а используемые протоколы исследования отличаются широкой вариабельностью. Кроме того, МРТ всего тела является достаточно дорогим и менее доступным исследованием по сравнению с остеосцинтиграфией и поэтому до настоящего времени не получила достаточного распространения [16, 17].

Цель исследования

Сравнительная характеристика методов МРТ всего тела и остеосцинтиграфии в выявлении костных метастазов при первичных злокачественных новообразованиях наиболее частых и распространенных локализаций.

Материал и методы

Исследование включает анализ результатов обследования 29 больных со злокачественными новообразованиями различных локализаций, обследованных в ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” в период с 2011 по 2014 г. Все больные на момент обследования не имели объективного подтверждения метастатического поражения костей, при этом у 19 (65,5%) больных имелись клинические признаки поражения костной системы (преимущество стойкий болевой синдром разной степени выраженности), у 10 (34,5%) таких признаков не отмечалось. Всем пациентам выполняли остеосцинтиграфию и не более чем в течение

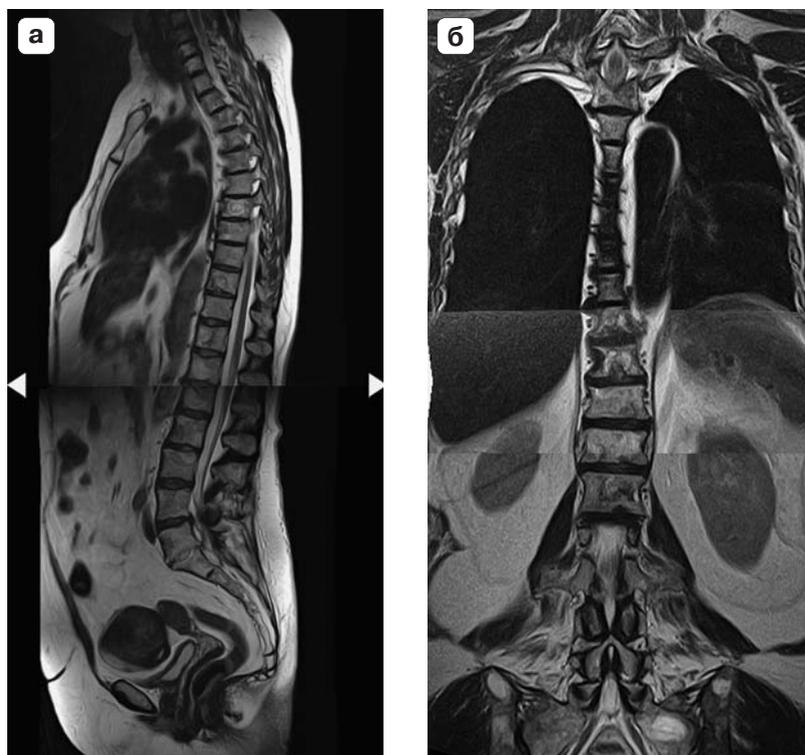
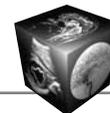


Рис. 1. Аденокарцинома легкого, вторичное поражение костей. МРТ всего тела. а – T2ВИ, сагиттальная проекция; б – фронтальная проекция – сегменты исследования, соединенные между собой в единое изображение, с наличием минимальным наводок от движения (дыхания) пациента.

последующих 5 дней МРТ всего тела. Диагноз вторичного поражения костей в дальнейшем был подтвержден данными МСКТ или наблюдением в течение 6 мес также с последующим выполнением остеосцинтиграфии или МРТ на область интереса.

Остеосцинтиграфию проводили на гамма-камере Nucline DHW с использованием моно- и дифосфатов Tc-99m активностью 370–600 МБк в зависимости от массы тела, данные фиксировали по истечении 3 ч после внутривенного введения радиофармпрепарата. МРТ всего тела выполняли на высокопольных магнитно-резонансных томографах “Атлас” 1,5 Т и “Сигна” 1,5 Т с внутривенным введением парамагнетика. Протокол МРТ включал в себя выполнение T1-взвешенных изображений (ВИ) и STIR в коронарной проекции и опционально T1-, T2ВИ и DWI в сагиттальной проекции. Следует отметить, что для проведения МРТ всего тела на большинстве аппаратов требуется специальная настройка параметров и протоколов исследования, так как данная методика в значительной мере чувствительна к артефактам движения, в первую очередь возникающих от дыхания пациента, а также достаточно сложна технически; корректное получение конечного целого изображения требует определенных навыков обращения с рабочей кон-

солью и на разных аппаратах реализована по-разному (рис. 1).

У 15 (51,7%) пациентов T1ВИ были дополнены внутривенным контрастным усилением препаратами гадолиния. Все исследования были интерпретированы 1 специалистом по ядерной медицине и независимо 2 рентгенологами, сотрудниками лаборатории МРТ. Результаты обследования оценивали по двоичной системе в отдельности для каждого метода – наличие/отсутствие метастатического поражения костей. Для каждого метода рассчитывали показатели информативности.

Результаты и их обсуждение

Как показал анализ полученных данных, метастатическое поражение костей имелось у 21 (72,4%) пациента, у 8 (27,6%) пациентов были выявлены образования доброкачественной природы (гемангиомы – 3) и неспецифические изменения (дегенеративно-дистрофические изменения, в том числе остеохондроз с наличием межпозвоноковых грыж, нарушения статики позвоночного столба, зоны трабекулярного отека – 5 наблюдений). По результатам применения методики МРТ всего тела были поставлены 1 ложноотрицательный и 2 ложноположительных диагноза, в результате

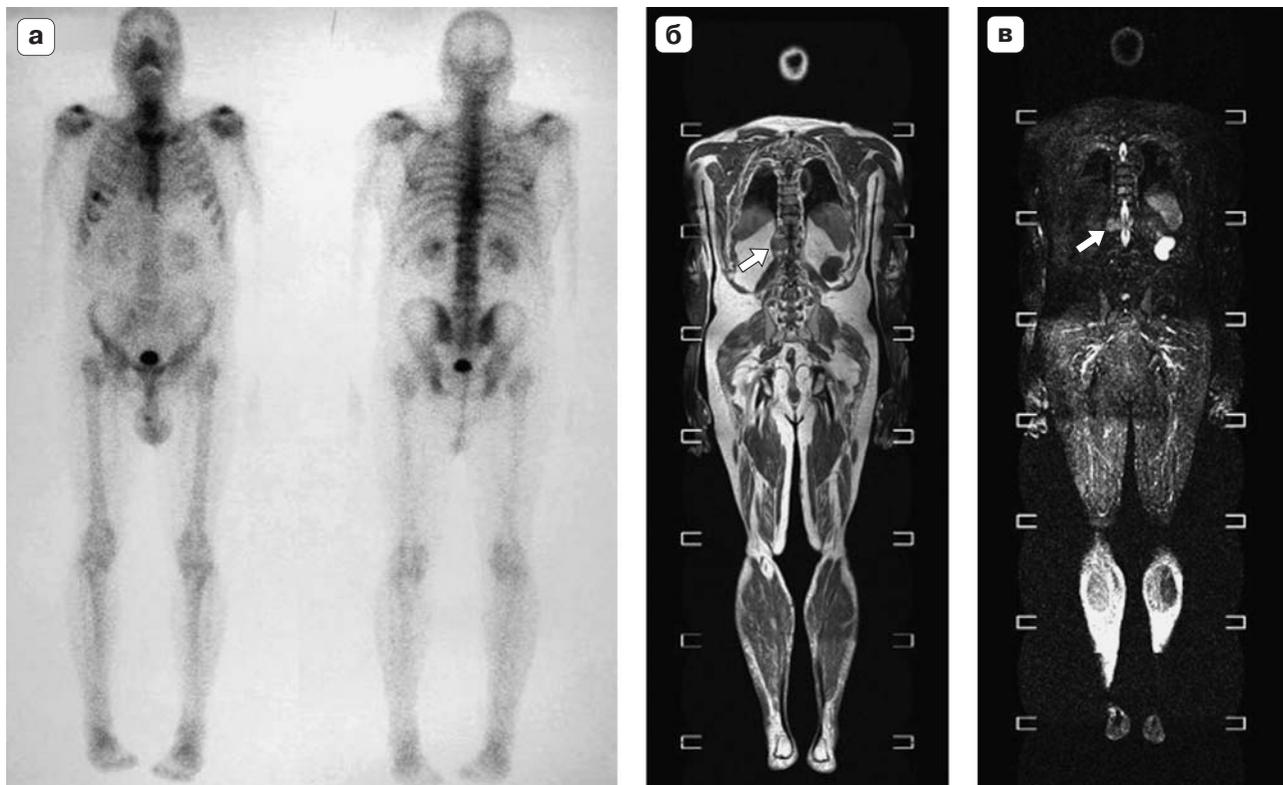


Рис. 2. Множественная миелома. При скintiграфии (а) убедительных данных о наличии метастазов не получено. МРТ, коронарная проекция. Т1ВИ (б), STIR (в) – определяются очаговые изменения грудного отдела позвоночника с инвазией в позвоночный канал (стрелки).

этого чувствительность методики составила 95,2% (20/21), специфичность – 75% (6/8). По данным остеосцинтиграфии было отмечено 3 ложноотрицательных и 3 ложноположительных результата, таким образом, чувствительность методики составила 85,7% (18/21), специфичность – 62,5% (5/8). При этом точность методики МРТ всего тела была 89,6% (26/29), остеосцинтиграфии – 79,3% (23/29).

При выполнении МРТ всего тела у 3 пациентов также удалось визуализировать паравerteбральный компонент с распространением в позвоночный канал, лимфаденопатию – у 7, очаговое поражение печени – у 2. Следует отметить, что обнаружение экстраоссалльных очагов поражения может изменить тактику ведения больного. При этом количество и соотношение таких изменений в нашем исследовании несколько отличаются от таковых в других сходных исследованиях [18, 19]. Это можно объяснить критериями отбора пациентов, различиями в диагнозах и стадиях заболевания. Тем не менее данные результаты позволяют предположить, что МРТ всего тела может устранить необходимость проведения других диагностических процедур, которые в настоящее время являются частью диагностического обследования онкологичес-

ких больных; эта гипотеза может быть проверена в дальнейших исследованиях (рис. 2).

Таким образом, точность методики МРТ всего тела в проведенном исследовании была выше, чем точность остеосцинтиграфии. В целом это соотносится с результатами других исследований [20–22], хотя провести точное сравнение затруднительно ввиду разницы критериев отбора и параметров протоколов исследований, а также методов анализа полученных данных.

Большое число ложноположительных результатов при остеосцинтиграфии обусловлено наличием изменений доброкачественной природы (такие как воспаление, гемангиома, костная мозоль), хотя число наблюдений в нашем исследовании без метастатического поражения незначительно. В ряде случаев начальные стадии вторичного поражения костей характеризуются низкой пролиферативной активностью остеобластов, то же самое верно и для сверхагрессивных быстротекущих метастазов, вызывающих выраженную деструкцию кости без существенных реактивных изменений со стороны здоровой костной ткани, что является причиной ложноотрицательных результатов. Преимуществом МРТ в данном случае является возможность диагностировать поражение костного

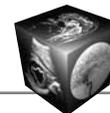
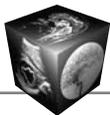


Рис. 3. Переходно-клеточный рак мочевого пузыря. МРТ, фронтальная проекция. T1ВИ (а), STIR (б) – воспалительные изменения в симфизе и прилежащих мягких тканях (стрелки). Остеосцинтиграфия (в) показывает повышенное накопление радиофармпрепарата на уровне симфиза, интерпретируется как наличие возможных метастазов.

мозга независимо от типа поражения и соотношения остеокластической и остеобластной активности. Поэтому МРТ особенно полезна и может применяться в тех случаях, когда сцинтиграфия костей часто приводит к ложноотрицательным результатам, например метастазам почечно-клеточной карциномы или множественной миеломе. С другой стороны, ограничением МРТ всего тела является диагностика очагов в определенных областях, например в костях черепа, грудной клетки, в ребрах, в некоторых других периферийных зонах организма. Это происходит за счет технической сложности выполнения, в том числе сопоставления между собой всех отсканированных сегментов тела, где играют роль артефакты от движения,

возникающие в результате дыхания или болевого синдрома больных. МРТ всего тела позволяет лучше определять анатомическую локализацию области поражения в отличие от сцинтиграфии, где происходят суммация изображений и наложение структур тела. Анализ результатов использованных в настоящем исследовании протоколов, а также данных других авторов [23–26] показал, что наиболее эффективным протоколом МРТ всего тела является сочетание МР-последовательностей T1ВИ и STIR (T2 FatSat), имеющих высокую чувствительность в определении костной патологии, в том числе доброкачественных и злокачественных процессов костного мозга. В последовательности T1 остеокластические метастазы имеют



гипоинтенсивный сигнал за счет инфильтрации и замены желтого костного мозга. В последовательностях с подавлением сигнала от жировой ткани (STIR) остеокластические метастазы имеют гиперинтенсивный сигнал за счет повышенного содержания воды в опухолевых клетках. Интенсивность сигнала от остеобластических метастазов может варьироваться от гипер- до гипоинтенсивного в зависимости от преобладания того или иного компонента, часто наблюдается сигнал смешанного типа. Определенную диагностическую информацию добавляет введение контрастного агента, в том числе при диагностике костных кист или островков остеосклероза неспецифического характера. Наличие кортикальной деструкции рекомендуется оценивать в двух режимах, так как на T1/T2ВИ на фоне относительно светлых прилежащих анатомических структур хорошо визуализируется кортикальный слой, а в режиме STIR более четко определяется отек мягких тканей, как правило, сопровождающий кортикальную деструкцию. Однако следует помнить, что неспецифический отек костного мозга также гиперинтенсивен в STIR и это может приводить к диагностическим ошибкам (рис. 3).

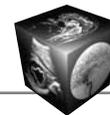
Заключение

Помимо подтверждения выводов более ранних исследований, в настоящем исследовании показано, что МРТ всего тела является более объективной методикой, чем остеосцинтиграфия, за счет лучшей разрешающей способности, более точной визуализации анатомических зон, таких как позвоночный столб, кости таза. Использование МРТ всего тела при подозрении на вторичное поражение костей может снизить потребность в проведении дополнительных диагностических исследований для решения вопросов дифференциальной диагностики. МРТ всего тела является бездозовой методикой, однако она сложнее технически и может быть выполнена не на всех томографах, что ведет к увеличению стоимости исследования. Можно предположить, что более широкое использование МРТ всего тела может привести к более эффективному обнаружению костных метастазов и может быть рекомендовано в качестве основного метода наблюдения пациентов с ожидаемым остеолитическим поражением скелета, в частности у больных немелкоклеточным раком легкого.

Список литературы

1. Niederhuber J.E., Armitage J.O., Doroshow J.H., Kastan M.B. *Abeloff's Clinical Oncology*:51. Fifth Edition. Elsevier, 2013. 739–763.
2. Pearce T., Philip S., Brown J. et al. Bone metastases from prostate, breast and multiple myeloma: differences in lesion

3. conspicuity at short-tau inversion recovery and diffusion-weighted MRI. *Br. J. Radiol.* 2012; 85 (1016); 1102–1106.
3. Antoch G., Vogt F.M., Freudenberg L.S. et al. Whole-body dual-modality PET/CT and whole-body MRI for tumor staging in oncology. *J.A.M.A.* 2003; 290: 3199–3206.
4. Shaefer J.F., Schlemmer H.P.W. Total-body MR imaging in oncology. *Eur. Radiol.* 2006; 16: 2000–2015.
5. Онкология: Национальное руководство; Под ред. В.И. Чиссова, М.И. Давыдова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 1060 с.
6. Even-Sapir E. Imaging of malignant bone involvement by morphologic, scintigraphic, and hybrid modalities. *J. Nucl. Med.* 2005; 46: 1356–1367.
7. Schmidt G.P., Reiser M.F., Baur-Melnyk A. et al. Whole-body imaging of the musculoskeletal system: the value of MR imaging. *Skeletal Radiol.* 2007; 36: 1109–1119.
8. Soderlund V. Radiological diagnosis of skeletal metastases. *Eur. Radiol.* 1996; 6: 587–595.
9. Лишманова Ю.Б., Чернова В.И. Радионуклидная диагностика для практических врачей: Практическое руководство. Томск, 2004. 283 с.
10. Сергеев Н.И. Лучевые методы в диагностике метастатического поражения костной системы. *Медицинская визуализация.* 2011; 4: 46–51.
11. Chan Y., Chan K., Lam W. et al. Comparison of whole body MRI and radioisotope bone scintigram for skeletal metastases detection. *Chin. Med. J.* 1997; 110: 485–489.
12. Eustace S., Tello R., De Carvalho V. et al. A comparison of whole body turbo STIR MR imaging and planar 99m Tc-methylene diphosphonate scintigraphy in the examination of patients with suspected skeletal metastases. *Am. J. Roentgenol.* 1997; 169: 1655–1661.
13. Engelhard K., Hollenbach H.P., Wohlfart K. et al. Comparison of whole-body MRI with automatic moving table technique and bone scintigraphy for screening for bone metastases in patients with breast cancer. *Eur. Radiol.* 2004; 14: 99–105.
14. Takenaka D., Ohno Y., Matsumoto K. et al. Detection of bone metastases in non-small cell lung cancer patients: comparison of whole-body diffusion-weighted imaging (DWI), whole-body MR imaging without and with DWI, whole-body FDG-PET/CT, and bone scintigraphy. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2009; 30: 298–308.
15. Venkitaraman R., Cook G.J., Dearnaley D.P. et al. Whole-body magnetic resonance imaging in the detection of skeletal metastases in patients with prostate cancer. *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2009; 53: 241–247.
16. Lauenstein T.C., Goehde S.C., Herborn C.U. et al. Whole-body MR imaging: evaluation of patients for metastases. *Radiology.* 2004; 233: 139–148.
17. Frat A., Agildere M., Gencoglu A. et al. Value of whole-body turbo short inversion recovery magnetic resonance imaging with panoramic table for detecting bone metastases. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2006; 30: 151–156.
18. Ghanem N., Kelly T., Althoefer C. et al. Whole-body MRI in comparison to skeletal scintigraphy for detection of skeletal metastases in patients with solid tumors. *Radiologe.* 2004; 44: 864–873.
19. Sohaib S.A., Cook G., Allen S.D., Hughes M. Comparison of whole-body MRI and bone scintigraphy in the detection of bone metastases in renal cancer. *Br. J. Radiol.* 2009 Aug; 82(980); 632–639.



20. Liu T., Cheng T., Xu W. et al. A meta-analysis of 18FDG-PET, MRI and bone scintigraphy for diagnosis of bone metastases in patients with breast cancer. *Skeletal Radiol.* 2011; 40 (5); 523–531.
21. Qu X., Huang X., Yan W. et al. A meta-analysis of FDG-PET-CT, FDG-PET, MRI and bone scintigraphy for diagnosis of bone metastases in patients with lung cancer. *Eur. J. Radiol.* 2012; 81 (5); 1007–1015.
22. Stecco A., Lombardi M., Leva L. et al. Diagnostic accuracy and agreement between whole-body diffusion MRI and bone scintigraphy in detecting bone metastases. *Radiol. Med.* 2013; 118 (3): 465–475.
23. Steinborn M.M., Heuck A.F., Tiling R. et al. Whole-body bone marrow MRI in patients with metastatic disease to the skeletal system. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1999; 23 (1); 123–129.
24. Lauenstein T., Freudenberg L., Goehde S. et al. Whole-body MRI using a rolling table platform for the detection of bone metastases. *Eur. Radiol.* 2002; 12: 2091–2099.
25. Kwee T.C., Takahara T., Katahira K., Katsuyuki N. Whole-body MRI for Detecting Bone Marrow Metastases. *PET Clinics.* 2010; 5 (3): 297–309.
26. Lu S.S., Wang D.K., Li Y.J. et al. Whole-body MRI for detecting osseous metastases: comparison with bone scintigraphy. *Chin. J. Radiol.* 2011; 45: 459–462.
27. Eustace S., Tello R., De Carvalho V. et al. A comparison of whole body turbo STIR MR imaging and planar 99m Tc-methylene diphosphonate scintigraphy in the examination of patients with suspected skeletal metastases. *Am. J. Roentgenol.* 1997; 169: 1655–1661.
28. Engelhard K., Hollenbach H.P., Wohlfart K. et al. Comparison of whole-body MRI with automatic moving table technique and bone scintigraphy for screening for bone metastases in patients with breast cancer. *Eur. Radiol.* 2004; 14: 99–105.
29. Takenaka D., Ohno Y., Matsumoto K. et al. Detection of bone metastases in non-small cell lung cancer patients: comparison of whole-body diffusion-weighted imaging (DWI), whole-body MR imaging without and with DWI, whole-body FDG-PET/CT, and bone scintigraphy. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2009; 30: 298–308.
30. Venkitaraman R., Cook G.J., Dearnaley D.P. et al. Whole-body magnetic resonance imaging in the detection of skeletal metastases in patients with prostate cancer. *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2009; 53: 241–247.
31. Lauenstein T.C., Goehde S.C., Herborn C.U. et al. Whole-body MR imaging: evaluation of patients for metastases. *Radiology.* 2004; 233: 139–148.
32. Frat A., Agildere M., Gencoglu A. et al. Value of whole-body turbo short inversion recovery magnetic resonance imaging with panoramic table for detecting bone metastases. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2006; 30: 151–156.
33. Ghanem N., Kelly T., Althoefer C. et al. Whole-body MRI in comparison to skeletal scintigraphy for detection of skeletal metastases in patients with solid tumors. *Radiologe.* 2004; 44: 864–873.
34. Sohaib S.A., Cook G., Allen S.D., Hughes M. Comparison of whole-body MRI and bone scintigraphy in the detection of bone metastases in renal cancer. *Br. J. Radiol.* 2009 Aug; 82(980); 632–639.

References

1. Niederhuber J.E., Armitage J.O., Doroshow J.H., Kastan M.B. *Abeloff's Clinical Oncology*: 51. Fifth Edition. Elsevier, 2013. 739–763.
2. Pearce T., Philip S., Brown J. et al. Bone metastases from prostate, breast and multiple myeloma: differences in lesion conspicuity at short-tau inversion recovery and diffusion-weighted MRI. *Br. J. Radiol.* 2012; 85 (1016); 1102–1106.
3. Antoch G., Vogt F.M., Freudenberg L.S. et al. Whole-body dual-modality PET/CT and whole-body MRI for tumor staging in oncology. *J.A.M.A.* 2003; 290: 3199–3206.
4. Shaefer J.F., Schlemmer H.P.W. Total-body MR imaging in oncology. *Eur. Radiol.* 2006; 16: 2000–2015.
5. *Oncology: National guidance.* Eds Chissov V., Davidov M. M.: GEOTAR-MED, 2008. 1060 p. (In Russian)
6. Even-Sapir E. Imaging of malignant bone involvement by morphologic, scintigraphic, and hybrid modalities. *J. Nucl. Med.* 2005; 46: 1356–1367.
7. Schmidt G.P., Reiser M.F., Baur-Melnyk A. et al. Whole-body imaging of the musculoskeletal system: the value of MR imaging. *Skeletal Radiol.* 2007; 36: 1109–1119.
8. Soderlund V. Radiological diagnosis of skeletal metastases. *Eur. Radiol.* 1996; 6: 587–595.
9. Lishmanova Yu., Chernova V. *Radionuclide diagnosis for practitioners. A Practical Guide.* Tomsk, 2004. 283 p. (In Russian)
10. Sergeev N.I. Visualization methods in diagnostics of metastatic diseases of bone system. *Meditsinskaya vizualizatsiya.* 2011; 4: 46–51. (In Russian)
11. Chan Y., Chan K., Lam W. et al. Comparison of whole body MRI and radioisotope bone scintigram for skeletal metastases detection. *Chin. Med. J.* 1997; 110: 485–489.
12. Liu T., Cheng T., Xu W. et al. A meta-analysis of 18FDG-PET, MRI and bone scintigraphy for diagnosis of bone metastases in patients with breast cancer. *Skeletal Radiol.* 2011; 40 (5); 523–531.
13. Qu X., Huang X., Yan W. et al. A meta-analysis of FDG-PET-CT, FDG-PET, MRI and bone scintigraphy for diagnosis of bone metastases in patients with lung cancer. *Eur. J. Radiol.* 2012; 81 (5); 1007–1015.
14. Stecco A., Lombardi M., Leva L. et al. Diagnostic accuracy and agreement between whole-body diffusion MRI and bone scintigraphy in detecting bone metastases. *Radiol. Med.* 2013; 118 (3): 465–475.
15. Steinborn M.M., Heuck A.F., Tiling R. et al. Whole-body bone marrow MRI in patients with metastatic disease to the skeletal system. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1999; 23 (1); 123–129.
16. Lauenstein T., Freudenberg L., Goehde S. et al. Whole-body MRI using a rolling table platform for the detection of bone metastases. *Eur. Radiol.* 2002; 12: 2091–2099.
17. Kwee T.C., Takahara T., Katahira K., Katsuyuki N. Whole-body MRI for Detecting Bone Marrow Metastases. *PET Clinics.* 2010; 5 (3): 297–309.
18. Lu S.S., Wang D.K., Li Y.J. et al. Whole-body MRI for detecting osseous metastases: comparison with bone scintigraphy. *Chin. J. Radiol.* 2011; 45: 459–462.