

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕЧЕНИЯ МЕТАСТАЗОВ В КОСТИ

Сергеев Н.И., Котляров П.М., Тепляков В.В., Солодкий В.А.

ФГБУ «Российский научный центр Рентгенодиагностики» Минздрава России.
г. Москва, Россия.

В статье представлен сравнительный анализ методов визуализации в оценке результатов лечения метастазов в кости.
Цель исследования. Создание диагностического протокола оценки специального лечения метастазов в кости, учитывающего особенности визуализации в зависимости от примененного вида лечения.

Материалы и методы. Проанализированы данные рентгенографии, мультиспиральной и магнитно-резонансной томографии 90 больных с метастазами в кости, в т.ч. с угрозой/состоявшимися патологическими переломами длинных костей и позвонков, которым была проведена лекарственная терапия, системная или дистанционная лучевая терапия, различные виды ортопедических пособий.

Результаты. На основании анализа и статической обработки данных определены преимущества и недостатки изучаемых методов при различных видах специального лечения. Кроме того, проведенное исследование показало, что в зависимости от соматического статуса пациента, характера метастатического поражения информативность диагностических методов может существенно отличаться. В связи с этим, считаем необходимым разделять объем выполняемых диагностических методов, что позволяет исключить дублирующие исследования, сократить время до начала лечения.

Заключение. Предложен системный подход в использовании диагностических методов с использованием трёхуровневого протокола обследования в зависимости от стоящих клинических задач.

Ключевые слова: онкология, метастазы в кости, лучевая диагностика, магнитно-резонансная томография (МРТ), компьютерная томография (КТ), специальное лечение.

Контактный автор: Сергеев Н.И., e-mail: sergeevnickolay@yandex.ru

Для цитирования: Сергеев Н.И., Котляров П.М., Тепляков В.В., Солодкий В.А. Особенности применения методов диагностической визуализации в оценке результатов лечения метастазов в кости. REJR 2021; 11(4):84-93. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-4-84-93.

Статья получена: 25.12.19

Статья принята: 23.09.21

FEATURES OF THE APPLICATION OF DIAGNOSTIC IMAGING METHODS IN EVALUATING THE RESULTS OF TREATMENT OF BONE METASTASES

Sergeev N. I., Kotlyarov P. M., Teplyakov V.V., Solodkiy V. A.

Russian Scientific Center of Roentgenoradiology. Moscow, Russia.

The article presents a comparative analysis of imaging methods in evaluating the results of treatment of bone metastases.

Purpose. The formation of a diagnostic protocol for evaluating the special treatment of bone metastases, taking into account the peculiarities of imaging, depending on the type of treatment used.

Material and methods. The data of X-ray, multispiral and magnetic resonance imaging of 90 patients with bone metastases were analyzed, including with the threat/pathological fractures of the long bones and vertebrae that underwent drug therapy, systemic or remote radiation therapy, various types of oncopedic benefits.

Results. Based on the analysis and static data processing, the advantages and disadvantages of the studied methods are determined for various types of special treatment. In addition, the study showed that, depending on the somatic status of the patient, the nature of the metastatic lesion, the information content of the diagnostic methods can differ significantly. In this regard, we consider it necessary to separate the amount of diagnostic methods performed, which eliminates duplicate studies and reduces the time before treatment begins.

Conclusion. A systematic approach is proposed in the use of diagnostic methods using a three-level examination protocol depending on the current clinical tasks.

Keywords: oncology, bone metastases, radiation diagnostics, MRI, CT, special treatment.

Corresponding author: Sergeev N. I., e-mail: sergeevnickolay@yandex.ru

For citation: Sergeev N. I., Kotlyarov P. M., Teplyakov V.V., Solodkiy V. A. Features of the application of diagnostic imaging methods in evaluating the results of treatment of bone metastases. REJR 2021; 11(4):84-93. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-4-84-93.

Received: 25.12.19

Accepted: 23.09.21

Метастатическое поражение костной системы является частым осложнением течения наиболее распространенных злокачественных новообразований и встречается у 40% больных [1]. На современном этапе развития диагностических и лечебных технологий, при проведении сочетанных терапевтических мероприятий, отмечаются значительные успехи в лечении метастазов в кости [2, 3]. В настоящее время при метастатическом поражении костной системы применяются следующие методы лечения: дистанционная и системная лучевая терапия, лекарственное лечение, оказываются различные варианты онкоортопедических пособий, в ряде случаев, значительно улучшающих качество жизни пациента [4, 5, 6]. Метастатическое поражение костей является плохим прогностическим признаком течения онкологического процесса и практиче-

ски всегда манифестирует болевым синдромом. Боль может быть единственной жалобой, которую пациенты предъявляют в течение длительного времени. В то же время купирование или снижение болевого синдрома на фоне специальной терапии может являться ответом на лечение. В связи с этим, помимо ранней и точной первичной диагностики, выявляющей характер и распространённость поражения, не менее важной задачей является корректная оценка эффективности проведенного специального лечения методами объективного контроля [7, 8]. Сложность состоит в том, что имеется большая вариабельность клинико-морфологических проявлений костных метастазов, которые при использовании неверной диагностической методики могут давать значительное количество ложноположительных и ложноотрицательных результатов [9]. Это объясняет актуальность прицельного и

детального изучения возможностей современных методов медицинской визуализации в зависимости от вида проводимого лечения.

Цель исследования.

Создание диагностического протокола оценки специального лечения метастазов в кости, учитывающего особенности визуализации диагностических методов в зависимости от примененного вида лечения.

Материалы и методы.

В работу включены результаты обследования 110 больных с очаговым поражением скелета, с морфологически верифицированным первичным злокачественным новообразованием различной степени дифференцировки. Рак молочной железы имел место у 54 больных, рак предстательной железы – у 27, рак легкого – у 16, рак почки – у 9, рак прямой кишки – у 4 пациентов.

По результатам наблюдения в течение 12 месяцев и более, в зависимости от вида получаемого лечения, были сформированы три клинические группы. На фоне проведения химиотерапии в стандартных режимах первую группу составили пациенты, получившие хирургическое лечение (36 пациентов), из которых в 29 случаях была выполнена чрескостная вертебропластика под лучевым контролем, а 7 больным – декомпрессиивно-стабилизирующие операции на разных анатомических уровнях. Вторую группу составили 47 пациентов, у которых режимы химиотерапии были дополнены различными видами лучевой терапии: 29 больным проводилась дистанционная ЛТ и 18 больным системная лучевая терапия препаратами радиоактивного Стронция и Рения. Третью группу составили 27 пациентов без выраженного болевого синдрома и угроз патологических переломов, получавшие только лекарственную терапию – химио- и/или гормонотерапию.

Кроме того, все пациенты с метастатическим поражением костей получали длительную сопутствующую терапию бисфосфонатами.

В качестве диагностических методов использовались рентгенография, магнитно-резонансная томография (МРТ) на аппаратах различных зарубежных производителей и с напряженностью магнитного поля 1,5 Т, выполнением диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) и динамическим контрастным усилением (ДКУ), мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) на 64- и 128-спиральных томографах. Также на первом этапе обследования всем пациентам с заболеванием молочной железы, предстательной железы и рака легкого, в соответ-

ствии с используемыми клиническими протоколами, была выполнена остеосцинтиграфия, а 18 больным, получавшим системную терапию радионуклидом, данное исследование было выполнено повторно непосредственно перед началом лечения в качестве предиктора степени эффективности захвата РФП.

Результаты.

Как показал анализ, использование стандартного рентгенографического исследования костных структур до сих пор является актуальным в ряде случаев. Простота метода делает его незаменимым при необходимости быстрой диагностики тяжелых изменений. Такие ситуации могут возникать при подозрении на развитие патологических переломов, когда мобильность пациента значительно ограничена, присутствует выраженный болевой синдром, а диагноз подтвержден морфологически. Кроме того, рентгенографическое исследование может применяться для послеоперационного контроля установленных имплантов, исследования удаленных послеоперационных макропрепаратов, для оценки радикальности операции и наглядности (рис. 1).

Компьютерная томография позволяет достоверно оценить степень деструкции и преобладающий патофизиологический компонент в структуре метастаза. Однако степень стеноза позвоночного канала и спинальной и/или невральной компрессии целесообразно оценивать по данным магнитно-резонансной томографии с контрастным усилением. Тем не менее, после проведения хирургического лечения по установке фиксирующей металлоконструкции при магнитно-резонансной томографии отмечается появление выраженных артефактов изображения, с краевыми искажениями и зонами выпадения МР-сигнала, если не используются современные программные протоколы подавления подобных искажений. Наличие послеоперационного отека костного мозга и паравертебральных структур в ранний период так же затрудняет оценку картины, делая этот метод низкоинформативным. Использование компьютерной томографии позволяет достоверно визуализировать траекторию установленных транспедикулярных винтов, сохранность и толщину прилегающих кортикальных пластин. Аналогичная картина наблюдается при выполнении чрескостной вертебропластики для стабилизации или при угрозе патологического перелома. Данный субстрат не содержит протонов водорода, в связи с чем отображается на МР-томограммах как гипоинтенсивная, бес-

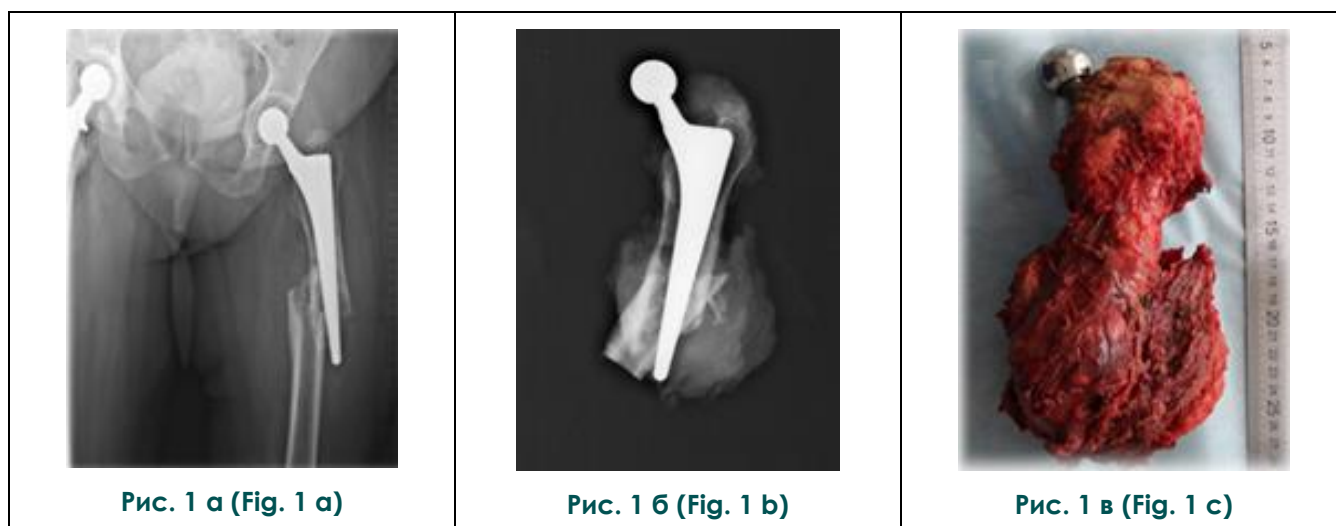


Рис. 1. Перипротезный перелом вследствие метастаза рака молочной железы у пациентки после двухстороннего эндопротезирования тазобедренных суставов по поводу коксартроза.

А – Рентгенограмма, прямая проекция; определяется перелом со смещением средней трети диафиза левой бедренной кости. Б – Рентгенограмма удаленного макропрепарата. В – Фотография; удалённый макропрепарат. Г – Рентгенограмма; результат реэндопротезирования тазобедренного сустава.

Fig. 1. Periprosthetic fracture of breast cancer metastasis in patients after bilateral hip replacement for cox arthrosis.

А – On a radiograph in direct projection, a fracture is determined with a shift in the middle third of the diaphysis of the left femur. Б – The roentgenogram of the morphological preparation. С – Photo of the morphological preparation. D – The roentgenogram; the result of re-endoprosthesis of the hip joint

структурная зона, с искажениями по краям или наложением более мощного сигнала прилежащих структур. Использование компьютерной томографии позволяет оценить степень заполнения полости деструкции костным цементом в виду его хорошей рентгеноконтрастности, а также визуализировать все фрагменты. Таким образом, можно констатировать, что при выполнении любых хирургических вмешательств на скелете компьютерная томография является методом выбора для оценки непосредственных и отдаленных результатов лечения (рис. 2).

Проведение дистанционной лучевой терапии с паллиативной целью возможно в различных режимах – лечение может быть направлено на единичный очаг или несколько очагов, находящихся рядом или в различных сегментах. Наиболее информативным методом является мультипараметрическая магнитно-резонансная томография, стандартные режимы T1-, T2-ВИ позволяют оценивать размеры и локализацию поражения, а вычисление измеряемого коэффициента диффузии на ИКД-картах и динамическое контрастное усиление суммарно дают представление о метаболической активности процесса. При этом выполнение контрастного усиления с парамагнетиком существенно

дополняет картину за счет визуализации патологического неоангиогенеза в динамике структурных изменений опухоли. Подобный подход позволяет выявлять изменения в максимально ранние сроки, особенно при массивных, многоузловых компонентах, когда эффект ионизирующего воздействия меняет метаболизм опухолевого процесса, в меньшей степени влияя на размеры образования на начальном этапе. Так, появление характерных признаков при ДКУ в виде снижения или исчезновения артериального пика, снижения скорости выведения, появления эффекта «задержки контрастирования», обусловленного склерозированием сосудистого русла, объективно свидетельствуют о положительном эффекте лучевой терапии. При наличии больших мягкотканых компонентов так же показательно изменение ИКД в сторону увеличения, за счет снижения клеточной плотности и увеличения скорости диффузии в межклеточном пространстве (рис. 3).

Как показал анализ, визуальные размеры и структура очага имели видимые изменения у 21 из 29 пациентов в двухнедельный период после окончания лучевой терапии, хотя почти во всех случаях (28/29), отмечалось субъективное уменьшение болевого



Рис. 2 а (Fig. 2 а)



Рис. 2 б (Fig. 2 б)

Рис. 2. МСКТ, сагиттальная плоскость.

А – Множественное метастатическое поражение позвоночника. Определяются полости деструкции в телах позвонков грудного и поясничного отделов с угрозой патологического перелома L1. Б – Состояние после проведения вертебропластики. Заполнение «костным цементом» литического очага в передних отделах L1, степень заполнения более 90%. По задней поверхности L2 определяется дополнительный субстрат.

Fig. 2. MSCT, sagittal view.

A – Multiple metastatic lesions of the spine. Destruction cavities in the vertebral bodies of the thoracic and lumbar regions with the threat of a pathological L1 fracture are determined. B – Condition after vertebroplasty. Filling with "bone cement" of the lytic focus in the anterior L1, the degree of filling of more than 90%. An additional substrate is determined on the back surface of L2.

синдрома на 1-7 баллов по 10-балльной шкале. У 8 пациентов было отмечено отсутствие существенной динамики размеров и структуры образования по данным «анатомических» последовательностей МРТ – T1-ВИ, T2-ВИ, а также по данным МСКТ, однако определялось изменение показателей метаболической активности опухоли по данным ДКУ и ДВИ, что делает этот метод наиболее эффективным в подобных клинических ситуациях (рис. 4).

Системную лучевую терапию провели 18 пациентам с множественным очаговым поражением скелета. У 16 больных отмечался положительный субъективный эффект в виде уменьшения болевого синдрома, при этом в 8 из 18 наблюдений период ремиссии был коротким и находился в пределах 1-2 месяцев. Методом контроля выступала компьютерная томография, что было обусловлено возможностью быстрого сканирования большого объема, необходимого при множественном поражении. В виду механизма терапевтического воздействия внутривенно

вводимого радиофармпрепарата, имеющего тропность к костной ткани, при компьютерной томографии отмечен характерный признак объективного положительного эффекта – условно-синхронное развитие остеосклероза во всех очагах метастатического поражения, с сопоставимым уровнем увеличения значений НУ, с поправкой на изначальные размеры очага. Использование магнитно-резонансной томографии в этих ситуациях не целесообразно ввиду длительности процедуры исследования, что затруднено у пациентов с болевым синдромом. Кроме того, наличие реактивного тотального отека костного мозга нивелирует зоны метастатической инфильтрации (рис. 5).

Проведение лекарственной терапии как монометода подразумевает отсутствие острого болевого синдрома, требующего оперативного пособия или дополнительного проведения лучевой терапии. У таких пациентов имеется, как правило, мелкоочаговое или диффузное поражение скелета, без угрозы развития патологических переломов на

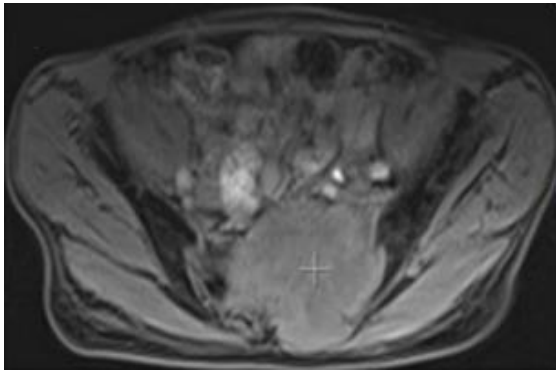


Рис. 3 а (Fig. 3 а)

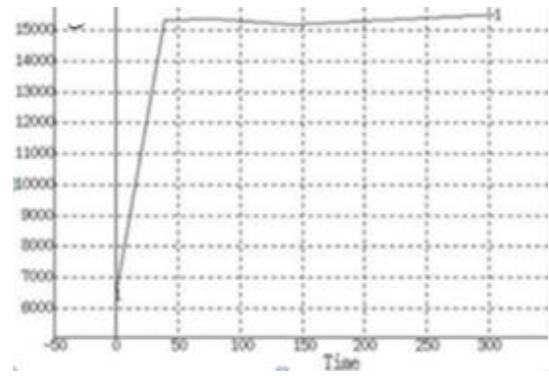


Рис. 3 б (Fig. 3 б)

Рис. 3. Метастаз рака прямой кишки в крестец.

А – МРТ таза; определяется большой солидный компонент с деструкцией костей таза. Б – График; раннее интенсивное артериальное накопление при ДКУ. В – Снижение коэффициента диффузии до значений $1,1 \times 10^{-3}$.

Fig. 3. Metastasis of colorectal cancer to the sacrum

A – MRI, pelvis; a large solid component with destruction pelvic bones is determined. B – Graph; early intensive arterial accumulation during DCE. C – Decrease in the diffusion coefficient to values of 1.1×10^{-3} .

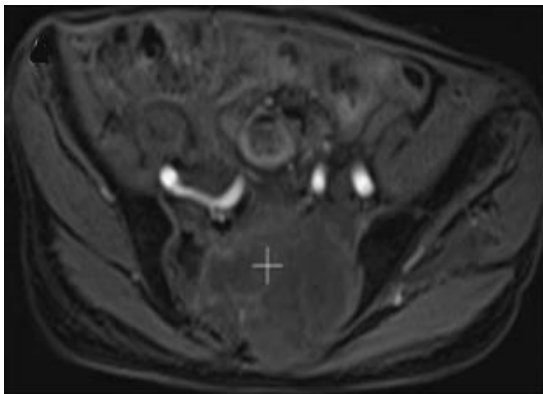


Рис. 4 а (Fig. 4 а)

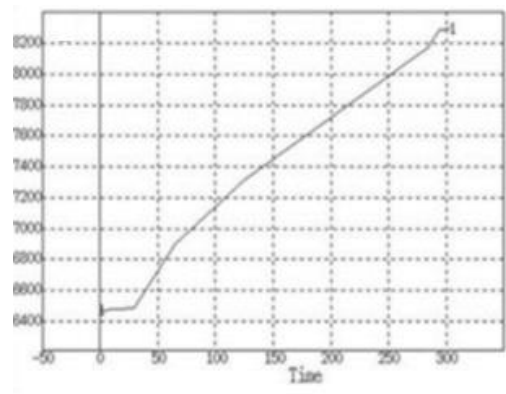


Рис. 4 б (Fig. 4 б)

Рис. 4. Метастаз рака прямой кишки, та же пациентка через 3 недели окончания ДЛТ.

А – МРТ, размеры солидного компонента остаются без динамики. Б – График; отмечается изменение характера контрастирования с исчезновением артериального пика и задержкой поступления контраста в очаг. В – Повышение коэффициента диффузии до значений $1,9 \times 10^{-3}$ за счет снижения клеточной массы в структуре метастаза

Fig. 4. Metastasis of colorectal cancer, the same patient after 3 weeks of the end of the distance radiation therapy.

A – MRI, the dimensions of the solid component remain unchanged. B – Graph; there is a change in the nature of contrast with the disappearance of the arterial peak and a delay in the delivery of contrast to the focus. C – increase in the diffusion coefficient to 1.9×10^{-3} due to a decrease in cellular masses in the structure of metastasis.

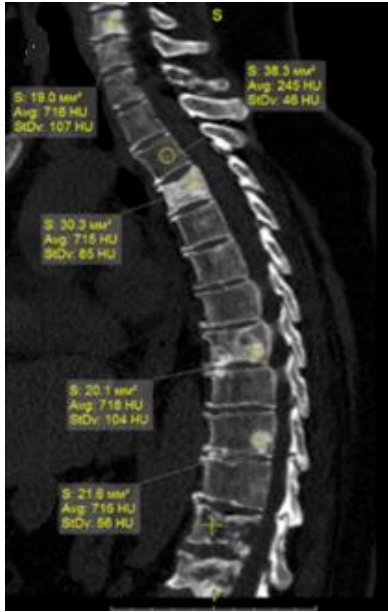


Рис. 5 а (Fig. 5 а)



Рис. 5 б (Fig. 5 б)

Рис. 5. Метастатическое поражение позвоночника при раке молочной железы, состояние после системной лучевой терапии Струций-99.

А – КТ позвоночника; отмечается положительный эффект в виде синхронного развития остеосклероза во всех очагах поражения с участками плотности в пределах 710-720 HU. Б – МРТ позвоночника; неинформативность STIR-последовательности обусловлена тотальным реактивным отеком костного мозга, скрывающим степень метастатической инфильтрации.

Fig. 5. Metastatic spinal injury in breast cancer, condition after systemic radiation therapy of Struzov-99.

А – CT, vertebrae; a positive effect is noted in the form of the synchronous development of osteosclerosis in all lesions with density areas in the range of 710-720 HU. Б – MRI, vertebrae; the uninformative nature of the STIR sequence in MRI is due to total reactive bone marrow edema that obscures the degree of metastatic infiltration.

момент исследования. Эту группу составили 27 больных со сроком наблюдения более одного года. Методами оценки динамики костных метастазов здесь могут выступать оба метода, причем, выбор зависит от характера поражения. Так, при диффузной межтрабекулярной инфильтрации костного мозга, без развития выраженных полостей остеолитизиса, что наиболее часто встречается при раке молочной железы, более информативным методом выступает мультипараметрическая магнитно-резонансная томография, позволяющая наиболее точно оценить эффект гормоно/химиотерапии. Преимущество же компьютерной томографии заключается в возможности проводить быстрое, безконтрастное исследование, которое при наличии мелкоочагового поражения хорошо определяет положительный эффект лечения в виде постепенного нарастания остеосклероза в очагах деструкции от периферии к центру

или в обратной последовательности. При исследовании пациентов с остеобластическими метастазами, как правило, встречающихся при раке предстательной железы, КТ позволяет оценивать степень нарастания реактивного остеосклероза, однако дифференцировать данный процесс от развития патологического остеобластома, при отсутствии появления дополнительных очагов, так же как и по данным остеосцинтиграфии, весьма затруднительно. В подобных случаях результаты мультипараметрической МРТ могут существенно дополнить понимание картины, т.к. перечисленные процессы имеют различную степень активности.

Обсуждение.

На данный момент, в литературе описано достаточно большое количество различных подходов и рекомендаций по использованию диагностических методов в оценке результатов лечения метастазов в кости, а с

учетом появление новых методов лечения меняются и алгоритмы обследования [10, 11, 12]. Проанализировав основные утверждения, мы считаем, что наиболее целесообразен системный подход, который можно разделить на три основных уровня, зависящих от поставленных клинических задач. Так, первый – рутинный уровень, когда у больных с тяжелым соматическим состоянием (3-5 баллов по шкале ECOG) приоритетом диагностического обследования является оценка состояния первичной опухоли, и в качестве метода выбора выступает то исследование, которое наиболее эффективно для данной задачи. У этой категории больных в ходе предварительного обследования, как правило, по данным УЗИ и стандартного протокола КТ (грудная клетка, брюшная полость, малый таз) определяются множественные метастазы в паренхиматозных органах и/или лимфатических узлах. При наличии выраженной оссалгии, если предполагаемая продолжительность жизни составляет менее одного месяца, ортопедическое пособие не проводится [13]. В зависимости от распространенности процесса показаны дистанционная или системная лучевая терапия, основным критерием эффективности лечения является уменьшение костного болевого синдрома.

Второй уровень – специализированный, является наиболее частым, когда речь идет о предполагаемом специальном лечении костных поражений. На этой стадии костные метастазы так же могут сочетаться с поражением паренхиматозных органов, что в большинстве случаев, не влияет на выбор режимов химиотерапии, но с целью повышения качества жизни добавляет к тактике лечения лучевую терапию и/или оказание ортопедического пособия [14, 15]. В этой ситуации рекомендуется применение минимум двух диагностических методов, наиболее предпочтительных для конкретной клиниче-

ской ситуации. Как правило, ими является сочетание компьютерной и магнитно-резонансной томографии, возможно, дополненной рентгенологическим контролем.

И третий уровень – экспертный, с использованием трех и более доступных диагностических методов для решения сложных клинических случаев таких, как разнонаправленная динамика на фоне проводимого химиолучевого лечения, появление после длительной ремиссии признаков рецидива и/или отдаленного метастазирования [16]. Наибольшую эффективность для поставки диагноза дает сочетание данных рентгеновского исследования, возможностей мультипараметрической МРТ и результатов радионуклидного исследования, позволяющего первично оценивать метаболический компонент очага. Однако в дальнейшем, использование остеосцинтиграфии для оценки результатов лечения не всегда возможно, т.к. достоверным критерием прогрессирования является появление новых очагов, а изменения степени фиксации радиофармпрепарата в наблюдаемом очаге может иметь различную природу, в том числе, воспалительный или реактивный характер [17, 18].

Заключение.

Предлагаемый диагностический подход содержит основные современные, наиболее распространенные методы медицинской визуализации, для максимальной эффективности которых необходимо учитывать характер метастатического поражения и варианты проводимого комплексного или комбинированного лечения, что позволяет исключить проведение дублирующих исследований.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Padalkar P, Tow B. Predictors of survival in surgically treated patients of spinal metastasis. *Indian J Orthop.* 2011; 45 (4): 307-13. doi: 10.4103/0019-5413.82333.
2. Большакова С.А., Бычков Ю.М. современные подходы в лечении метастазов в кости рака молочной железы: от бисфосфонатов к таргетной терапии. *Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии.* 2016; 16 (4): 4.
3. Li Zh, Zhixin G. Clinical Characteristics and Prognostic Factors in Bone Metastases from Lung Cancer. *Med Sci Monit.* 2017; 23: 4087-4094. doi: 10.12659/MSM.902971
4. Фомин Д.К., Тарарухина О.Б., Назаров А.А. Возможно-

- сти системной лучевой терапии с применением высокоочищенного ⁸⁹Sr-хлорида в лечении костных метастазов. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2012; 2: 29-31.
5. Soeharno H, Povegliano L, Choong PF. Multimodal Treatment of Bone Metastasis. A Surgical Perspective. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2018; 9: 518. doi: 10.3389/fendo.2018.00518
6. Каллистов В.Е., Николаев А.П., Алиев М.Д., Тепляков В.В. и др. Хирургическое лечение метастазов в кости. *Вестник РОНЦ им. Н. Н. Блохина РАМН.* 2003; 14 (2-1): 76-81.
7. Ellmann S, Beck M, Kuwert T, Uder M et al. Multimodal

imaging of bone metastases: From preclinical to clinical applications. *J Orthop Translat.* 2015; 13; 3 (4): 166-177. doi: 10.1016/j.jot.2015.07.004.

8. Сергеев Н.И., Котляров П.М., Солодкий В.А. Стандарты анализа метастатического поражения костных структур по данным современных методов лучевой диагностики. *Сибирский онкологический журнал.* 2018; 17 (1): 5-10.

9. 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.

10. Сергеев Н.И., Котляров П.М., Нуднов Н.В. 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.

11. Macedo F, Ladeira K, Pinho P. et al. Bone Metastases: An Overview. *Oncol Rev.* 2017; 11 (1): 321. doi: 10.4081/oncol.2017.321 PMID: 28584570

12. Hardcastle N, Hofman MS, Lee CY, Callahan J, Selbie L, et al. *Radiat Oncol. NaF PET/CT for response assessment of prostate cancer bone metastases treated with single fraction stereotactic ablative body radiotherapy.* 2019; 14 (1): 164. doi: 10.1186/s13014-019-1359-0.

13. Алиев М.Д., Степанова А.М., Мусаев Э.Р., Валиев А.К и др. Метастатическое поражение позвоночника у боль-

ных раком молочной железы. Факторы прогноза. *Сибирский онкологический журнал.* 2015; 3: 61-67.

14. Каллистов В.Е., Николаев А.П., Одинцов С.В., Матякин Г.Г и др. Основные подходы и результаты консервативного лечения больных с метастазами в кости. IX Российский онкологический конгресс. М., 2005. <https://rosoncoweб.ru/library/congress/ru/09/16.php>

15. Saravana-Bawan S, David E, Sahgal A, Chow E. Palliation of bone metastases-exploring options beyond radiotherapy. *Ann Palliat Med.* 2019; 8 (2): 168-177. doi: 10.21037/apm.2018.12.04.

16. Karatas M, Zengel B, Durusoy R, Tasli F, Adibelli Z. et al. Clinicopathologic features of single bone metastasis in breast cancer. *Medicine (Baltimore).* 2021; 100 (1): e24164. doi: 10.1097/MD.00000000000024164.

17. Сергеев Н.И., Фомин Д.К., Котляров П.М., Солодкий В.А. Сравнительное исследование возможностей офэкт/кт и магнитно-резонансной томографии всего тела в диагностике костных метастазов. *Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии.* 2015; 15 (3): 8.

18. Каприн А.Д., Костин А.А., Леонтьев А.В., Халимон А.И. и др. Диагностические возможности офэкт/кт в выявлении метастатического поражения скелета у пациентов, страдающих раком молочной железы и раком предстательной железы. *Лучевая диагностика и терапия.* 2018; 2 (9): 59-63.

References:

1. Padalkar P, Tow B. Predictors of survival in surgically treated patients of spinal metastasis. *Indian J Orthop.* 2011; 45 (4): 307-13. doi: 10.4103/0019-5413.82333.

2. Bolshakova S.A., Bychkov Yu.M. modern approaches in the treatment of breast cancer bone metastases: from bisphosphonates to targeted therapy. *Bulletin of the Russian Scientific Center for Roentgenoradiology.* 201; 16 (4): 4 (in Russian).

3. Li Zh, Zhixin G. Clinical Characteristics and Prognostic Factors in Bone Metastases from Lung Cancer. *Med Sci Monit.* 2017; 23: 4087-4094. doi: 10.12659/MSM.902971

4. Fomin D.K., Tararukhina O.B., Nazarov A.A. Possibilities of systemic radiation therapy using highly purified 89Sr-chloride in the treatment of bone metastases. *Bulletin of roentgenology and radiology.* 2012; 2: 29-31 (in Russian).

5. Soeharno H, Povegliano L, Choong PF. Multimodal Treatment of Bone Metastasis. A Surgical Perspective. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2018; 9: 518. doi: 10.3389/fendo.2018.00518

6. Callistov VE., Nikolaev AP., Aliev MD., Teplyakov VV. et al. Surgical treatment of bone metastases. *Bulletin of the Russian Oncology Center N.N. Blokhin RAMS.* 2003; 14 (2-1): 76-81 (in Russian).

7. Ellmann S, Beck M, Kuwert T, Uder M et al. Multimodal imaging of bone metastases: From preclinical to clinical applications. *J Orthop Translat.* 2015; 13; 3 (4): 166-177. doi: 10.1016/j.jot.2015.07.004.

8. Sergeev NI, Kotlyarov PM, Solodkiy VA. Standards for the analysis of metastatic lesions of bone structures according to the data of modern methods of radiation diagnostics. *Siberian*

Journal of Oncology. 2018; 17 (1): 5-10 (in Russian).

9. 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 Aug; 85 (1016); 1102-1106.

10. Sergeev NI., Kotlyarov PM., Nudnov NV. Evaluation of the results of chemoradiation treatment of secondary bone lesions according to magnetic resonance imaging with dynamic contrast enhancement. *Radiation diagnostics and therapy.* 2013; 3 (4): 89-92 (in Russian).

11. Macedo F, Ladeira K, Pinho P. et al. Bone Metastases: An Overview. *Oncol Rev.* 2017; 11 (1): 321. doi: 10.4081/oncol.2017.321 PMID: 28584570

12. Hardcastle N, Hofman MS, Lee CY, Callahan J, Selbie L, et al. *Radiat Oncol. NaF PET/CT for response assessment of prostate cancer bone metastases treated with single fraction stereotactic ablative body radiotherapy.* 2019; 14 (1): 164. doi: 10.1186/s13014-019-1359-0.

13. Aliev MD, Stepanova AM, Musaev ER, Valiev AK et al. Metastatic lesions of the spine in patients with breast cancer. Forecast factors. *Siberian Journal of Oncology.* 2015; 3: 61-67 (in Russian).

14. Callistov V.E., Nikolaev A.P., Odintsov S.V., Matyakin G.G. et al. Basic approaches and results of conservative treatment of patients with bone metastases. IX Russian Congress of Oncology. М., 2005. <https://rosoncoweб.ru/library/congress/ru/09/16.php> (in Russian).

15. Saravana-Bawan S, David E, Sahgal A, Chow E. Palliation of bone metastases-exploring options beyond radiothera-

- py. *Ann Palliat Med.* 2019; 8 (2): 168-177. doi: 10.21037/apm.2018.12.04.
16. Karatas M, Zengel B, Durusoy R, Tasli F, Adibelli Z. et al. Clinicopathologic features of single bone metastasis in breast cancer. *Medicine (Baltimore).* 2021; 100 (1): e24164. doi: 10.1097/MD.00000000000024164.
17. Sergeev NI, Fomin DK, Kotlyarov PM, Solodkiy VA. Comparative study of the capabilities of offlect. CT and whole body magnetic resonance imaging in the diagnosis of bone metastases. *Bulletin of the Russian Scientific Center for Roentgenoradiology.* 2015; 15 (3): 8 (in Russian).
18. Kaprin AD, Kostin AA, Leontiev AV, Halimon AI. et al. Diagnostic capabilities of offset / CT in detecting metastatic skeletal lesions in patients with breast and prostate cancer. *Radiation diagnostics and therapy.* 2018; 2 (9): 59-63 (in Russian)