

С.Н. Прохоров¹, Н.В. Кочергина^{1,2}, А.Д. Рыжков^{1,2}, А.С. Крылов¹, А.Б. Блудов¹

ИЗМЕРЯЕМЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ДИФФУЗИИ В ДИАГНОСТИКЕ МЕТАСТАТИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ КОСТЕЙ СКЕЛЕТА

¹ Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России, Москва

² Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава России, Москва

Контактное лицо: Сергей Николаевич Прохоров, e-mail: s89158456042@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Цель: Оценить возможности абсолютных и относительных значений измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) в диагностике метастатического поражения костей скелета.

Материал и методы: В исследование вошли 12 пациентов с метастатическим поражением костей, до применения какого-либо лечения. Возраст пациентов варьировал от 38 до 73 лет, 3 мужчин, 9 женщин. Среди морфологических форм опухолей были представлены: рак молочной (3), предстательной (1) желез, толстой кишки (1), легкого (2), тела (1) и шейки (1) матки, щитовидной железы (1) и поджелудочной железы (2). Выявленные изменения классифицировались на основании данных ОСТ, ОФЭКТ/КТ и стандартной МРТ. Был проведен анализ показателей ИКД неизмененного костного мозга ($n=360$), разделенного по анатомическим зонам, метастатических очагов ($n=117$), а также доброкачественных изменений различной природы ($n=19$). Было рассчитано отношение значений ИКД каждого из метастатических и доброкачественных очаговых образований к нормальным показателям для каждой из локализаций.

Результаты: Неизмененный костный мозг в зависимости от анатомической локализации (шейный, грудной, поясничный отделы позвоночника, кости таза, лопатки, ключицы, грудина, ребра, проксимальные отделы плечевых и бедренных костей) с точки зрения ИКД показал статистически значимую гетерогенность. Статистический анализ показал отсутствие связи между группами показателей ИКД в очагах метастатического поражения, объединенных в зависимости от анатомической локализации. При аналогичном сравнении, но по принадлежности к первичной опухоли, было обнаружено еще большее межгрупповое отличие. Показатели ИКД в очагах метастатического поражения оказались зависимы от морфологического типа первичной опухоли и значительно отличаются как от метастазов иной морфологической принадлежности, так и от нормальных показателей красного костного мозга. Применение относительных величин позволило повысить специфичность с 15 до 19 %.

Заключение: Данное исследование показало, что знание диапазона референсных показателей ИКД для неизмененного красного костного мозга и аномалий различного генеза имеет важное значение в дифференциальной диагностике. Разграничение скелета на отдельные анатомические зоны, вероятно, позволяет повысить эффективность изолированного применения методики, когда речь идет о абсолютных значениях. Морфологическая принадлежность метастатических очагов имеет важное значение в формировании показателей ИКД, нежели костномозговое микроокружение, в пользу этого также свидетельствует низкая эффективность применения относительных величин.

Ключевые слова: метастазы в кости, МРТ, измеряемый коэффициент диффузии, ОФЭКТ/КТ, остеосцинтиграфия

Для цитирования: Прохоров С.Н., Кочергина Н.В., Рыжков А.Д., Крылов А.С., Блудов А.Б. Измеряемый коэффициент диффузии в диагностике метастатического поражения костей скелета // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2023. Т. 68. № 6. С. 80–85. DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-6-80-85

S.N. Prokhorov¹, N.V. Kochergina^{1,2}, A.D. Ryzhkov^{1,2}, A.S. Krylov¹, A.B. Bludov¹

The Apparent Diffusion Coefficient in the Diagnosis of Metastatic Lesions of Skeletal Bones

¹ N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russia

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

Contact person: Sergei Nikolaevich Prokhorov, e-mail: s89158456042@gmail.com

ABSTRACT

Aim: To evaluate the possibilities of absolute and relative values of the apparent diffusion coefficient (ADC) in the diagnosis of metastatic lesions of skeletal bones.

Material and methods: The study included 12 patients with metastatic bone lesions, before any treatment was applied. The age of the patients ranged from 38 to 73 years, 3 men, 9 women. Among the morphological forms of tumors were presented: cancers of the breast (3), prostate (1) glands, colon (1), lung (2), body (1) and cervix (1) uterus, thyroid (1) and pancreas (2). The detected changes were classified on the basis of Bone scan, SPECT/CT and standard MRI. The ADC values of unchanged bone marrow ($n=360$), divided by anatomical zones, metastatic foci ($n=117$), as well as benign changes of various nature ($n=19$) were analyzed. The ratio of the ADC values of each of the metastatic and benign focal formations to the normal values for each of the localizations was calculated.

Results: Unchanged bone marrow, depending on anatomical localization (cervical, thoracic, lumbar spine, pelvic bones, shoulder blades, collarbones, sternum, ribs, proximal humerus and femur bones) from the point of view of ADC, showed statistically significant heterogeneity. Statistical analysis has shown that there is no connection between the groups of ADC indicators in the foci of metastatic lesions, combined depending on the anatomical localization. With a similar comparison, but by belonging to the primary tumor, an even greater intergroup difference was found. ADC values in the foci of metastatic lesions turned out to be dependent on the morphological type of the

primary tumor and significantly differ both from metastases of other morphological affiliation and from normal red bone marrow parameters. The use of relative values allowed to increase the specificity from 15 to 19 %.

Conclusion: This study showed that knowledge of the range of reference ADC values for unchanged red bone marrow and anomalies of various genesis is important in differential diagnosis. The differentiation of the skeleton into separate anatomical zones probably makes it possible to increase the effectiveness of the isolated application of the technique when it comes to absolute values. The morphological affiliation of metastatic foci is important in the formation of ADC values, rather than the bone marrow microenvironment, which is also supported by the low efficiency of the use of relative values.

Keywords: bone metastases, MRI, apparent diffusion coefficient, SPECT/CT, bone scan

For citation: Prokhorov SN, Kochergina NV, Ryzhkov AD, Krylov AS, Bludov AB. The Apparent Diffusion Coefficient in the Diagnosis of Metastatic Lesions of Skeletal Bones. Medical Radiology and Radiation Safety. 2023;68(6):80–85. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-6-80-85

Введение

Метастатическое поражение костей скелета является важной проблемой в онкологии, часто связанной с неблагоприятным прогнозом и различными осложнениями. Так, почти все пациенты, смерть которых была ассоциирована с диагнозом рака предстательной железы, имели метастатическое поражение костей [1]. Причиной метастатического поражения костной ткани может служить широкий спектр опухолей, однако на рак предстательной железы, легких, молочной железы, почек и щитовидной железы приходится 80 % [2]. Позвонки, кости таза, проксимальные отделы бедренных костей и кости черепа поражаются наиболее часто. Среди осложнений выделяют боль, патологические переломы (4–7 % пациентов), компрессию спинного мозга и нервных корешков, гиперкальциемию, анемию [3–5]. Таким образом, ранняя и точная постановка диагноза может иметь решающее значение для повышения продолжительности и качества жизни пациента.

Каждый из применяемых в настоящее время диагностических методов исследования имеет те или иные ограничения. Например, ПЭТ/КТ (позитронная эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с рентгеновской компьютерной томографией) с ^{18}F -ФДГ менее эффективна в диагностике бластических, а остеосцинтиграфия (далее ОСГ) – литических метастазов [6]. ОФЭКТ/КТ (однофотонная эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с рентгеновской компьютерной томографией) с остеотропным радиофармпрепаратом (РФП) уступает в диагностике метастатического поражения костей в стадии инфильтрации костного мозга по сравнению с МРТ [7]. Стандартная МРТ является высокоэффективным методом диагностики метастатического поражения костной ткани [8, 9], однако продолжительность исследования всего тела пациента накладывает ограничения в визуализации. Выходом из данной ситуации является сокращение времени сбора данных, что может быть достигнуто либо с помощью уменьшения количества импульсных последовательностей в протоколе МРТ, либо снижением качества получаемых изображений. Если говорить об оптимизации в рамках первого пути, то ДВИ (диффузионно-взвешенные изображения), дополненные картами измеряемого коэффициента диффузии (ИКД), являются одними из наиболее ценных составляющих исследования [9], которые, кроме всего прочего, могут использоваться изолированно [10]. Кроме качественного анализа ДВИ, возможно количественное отражение процессов, происходящих на молекулярном уровне, а именно движение молекул воды во вне-, внутриклеточном и внутрисосудистом пространствах, выраженное в $\text{мм}^2/\text{с}$, для чего и прибегают к построению карт ИКД. До настоящего момента существуют разночтения относительно роли абсолютных значений ИКД в диагностике метастатического поражения костей за счет широ-

кой вариативности показателей как для нормальных, так и опухолевых тканей [8]. Для объективизации полученных данных было предложено анализировать скелет по анатомическим зонам и использовать относительные значения ИКД [11]. В настоящей работе была предпринята попытка проверки данных гипотез.

Материал и методы

В исследование вошли 12 пациентов с метастазами в костях. Возраст пациентов варьировал от 38 до 73 лет, 3 мужчин, 9 женщин. Среди морфологических форм опухолей были представлены: рак молочной (3), предстательной (1) желез, толстой кишки (1), легкого (2), тела (1) и шейки (1) матки, щитовидной железы (1) и поджелудочной железы (2). Пациенты, вошедшие в исследование, ранее не получали какого-либо лечения. Метастатическое поражение было подтверждено по результатам мультипараметрической МРТ (T1-ВИ, T2-ВИ, STIR), ОСГ и ОФЭКТ/КТ.

МРТ проводилось на аппарате Siemens Magnetom Avanto 1,5 Тл. Используемые последовательности МРТ: T₁ vibe, T₂ haste, STIR, ДВИ с последующим построением карт ИКД. Исследование выполнялось без задержки дыхания, на уровне туловища. Параметры последовательностей: T₁ vibe – TR 7, TE 5, 3 мм аксиальные срезы; T₂ haste – TR 2070, TE 75, 5 мм аксиальные срезы; T₂ haste – TR 1500, TE 86, 7,8 мм корональные срезы; STIR – TR 2070, TE 75, 5 мм аксиальные срезы; ДВИ – TR 7950, TE 61, b фактор 50 и 800, 5 мм аксиальные срезы. Исследование повторялось спустя 3 мес для подтверждения метастатической природы выявленных изменений.

Сцинтиграфическое обследование пациентов проводилось в два этапа на гибридной гамма-камере Discovery 670 DR (GE). Активность вводимого РФП – 740 МБк. Эффективная доза облучения – 4,2 мЗв. Первый этап был представлен планарной сцинтиграфией всего тела спустя три часа после внутривенного введения остеотропного РФП $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -фосфотех. Сканирование проводилось в положении лежа на спине с применением коллиматора низких энергий фотонного излучения с высоким разрешением (LEHR). Регистрация импульсов проводилась в энергетическом окне 140 кэВ. Продолжительность исследования составила 17 мин при скорости перемещения стола 15 см/мин.

Вторым этапом на той же гамма-камере проводили ОФЭКТ/КТ на уровне туловища, после чего получали эмиссионные радионуклидные и трансмиссионные рентгеновские компьютерные томограммы. Конфигурация 16-срезовой КТ системы: толщина среза при коллимации 10 мм 0,625–10 мм; шаг спирали 0,625 – 10 мм; размер фокусного пятна: малое фокусное пятно 0,7 мм(ш) × 0,6 мм (Д)/7° (IEC60336:2005), большое фокусное пятно 0,9 мм(ш) × 0,9 мм (Д)/7° (IEC60336:2005). Эффективная доза облучения от КТ – 17,3 мЗв.

Для анализа были выделены следующие анатомические области: шейный, грудной, поясничный отделы позвоночника, кости таза, лопатки, ключицы, грудина, ребра, проксимальные отделы плечевых и бедренных костей. В трех точках каждой из областей, где МР-сигнал соответствовал нормальному, отсутствовали аномалии распределения остеотропного РФП и структурные изменения по данным КТ, выделялись усредненные количественные показатели ИКД на соответствующей МР-последовательности ($n=360$) и трактовались как нормальные. Максимально возможной окружностью выделялись (ROI) очаговые изменения, соответствующие метастатическому поражению ($n=117$) и различным доброкачественным процессам ($n=19$), последние были объединены в единую группу (гемангиомы, субхондральные кисты, грыжи Шморля и т.д.). Выявленные изменения классифицировались на основании данных ОСГ, ОФЭКТ/КТ и стандартной МРТ.

Статистическая обработка полученных результатов производилась с помощью пакета программ STATISTICA 12.

Результаты

Нормальные показатели ИКД расположились в диапазоне от 0 до $968 \times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$, наиболее высокие значения отмечались в шейных позвонках и грудине, а наиболее низкие в позвонках грудного и поясничного отдела позвоночника, тазовых и бедренных костях (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Распределение нормальных показателей ИКД в зависимости от анатомической локализации ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)
Distribution of normal ADC values depending on anatomical localization ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

Группы наблюдений	Количество наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение
Плечевые кости	36	304,6944	64,0000	620,0000	167,7050
Шейные позвонки	36	478,1667	70,0000	968,0000	185,6894
Грудные позвонки	36	296,9167	0,0000	672,0000	193,1073
Поясничные позвонки	36	235,4167	0,0000	560,0000	177,7942
Кости таза	36	303,3056	0,0000	880,0000	211,8804
Бедренные кости	36	225,1944	0,0000	566,0000	168,6909
Ребра	36	521,0000	30,0000	906,0000	173,1264
Грудина	36	448,3333	161,0000	966,0000	155,7393
Лопатки	36	386,9444	64,0000	730,0000	171,9845
Ключицы	36	398,0556	52,0000	730,0000	171,2739

Согласно критерию Краскала–Уоллиса, связь между представленными выборками отсутствовала ($p>0,05$), что свидетельствует о выраженной гетерогенности костномозговой среды в рамках рассматриваемого метода.

Анатомические зоны в зависимости от частоты метастатического поражения расположились в следующем порядке (от большего к меньшему): кости таза ($n=30$), поясничные позвонки ($n=21$), грудные позвонки ($n=17$), ребра ($n=15$), бедренные кости ($n=11$), плечевые кости ($n=6$), грудина ($n=6$), лопатки ($n=6$), шейные позвонки ($n=3$), ключицы ($n=2$).

Статистический анализ показал отсутствие связи между группами показателей ИКД в очагах метаста-

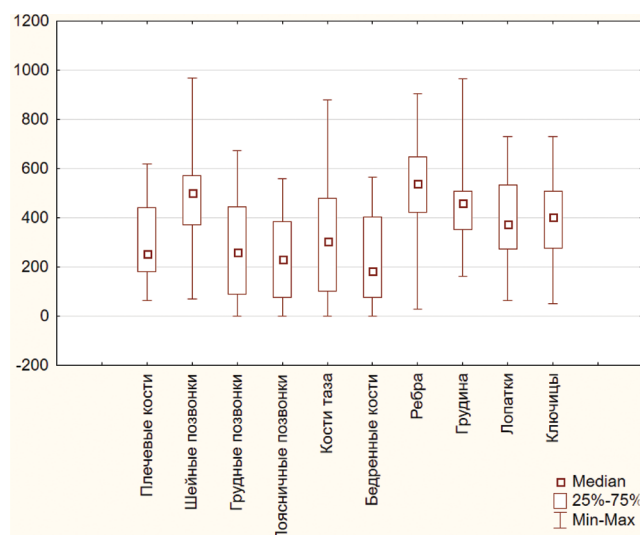


Рис. 1. Распределение нормальных показателей ИКД в зависимости от анатомической локализации ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

Fig. 1. Distribution of normal ADC values depending on anatomical localization ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

тического поражения, объединенных в зависимости от анатомической локализации, ($p>0,05$). При аналогичном сравнении, но по принадлежности к первичной опухоли (т.е. очаги, обнаруженные у каждого отдельного пациента), было обнаружено еще большее межгрупповое отличие ($p>0,05$) (табл. 2, рис. 3). Показатели ИКД в очагах метастатического поражения оказались зависимы от морфологического типа первичной опухоли и значительно отличаются как от метастазов иной морфологической принадлежности (рис. 3), так и от нормальных показателей костного мозга ($p>0,05$; рис. 4). При сопоставлении диаграмм распределения показателей ИКД в очагах метастатического поражения в зависимости от анатомической локализации (рис. 2) и от морфологической принадлежности (рис. 3) становится ясно, что последнее обстоятельство вносит больший вклад в диагностический потенциал метода.

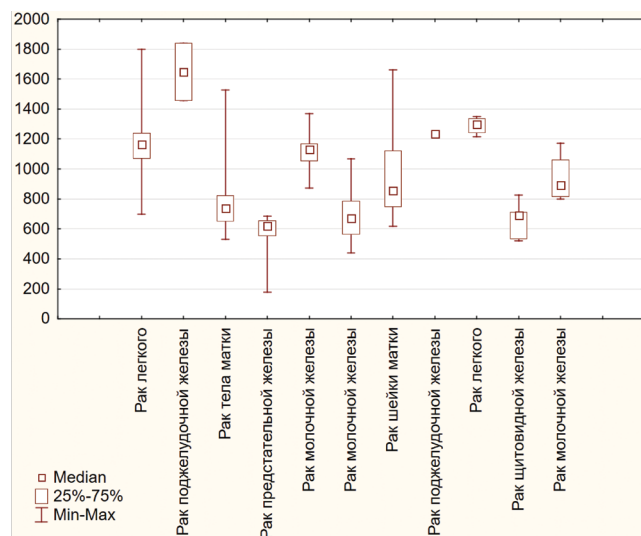


Рис. 2. Распределение показателей ИКД в очагах метастатического поражения в зависимости от анатомической локализации ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

Fig. 2. Distribution of ADC values in the foci of metastatic lesion depending on anatomical localization ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

Таблица 2

Распределение показателей ИКД в очагах метастатического поражения в зависимости от морфологической принадлежности ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

Distribution of ADC values in the foci of metastatic lesion depending on morphological affiliation ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

Группы наблюдений	Количество наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение
Рак легкого	29	1177,414	700,000	1800,000	212,5872
Рак поджелудочной железы	2	1649,000	1457,000	1841,000	271,5290
Рак тела матки	27	766,630	530,000	1526,000	202,6388
Рак предстательной железы	5	538,600	180,000	685,000	206,4032
Рак молочной железы	10	1119,700	874,000	1368,000	134,3321
Рак молочной железы	21	688,619	439,000	1066,000	154,7344
Рак поджелудочной железы	1	1237,000	1237,000	1237,000	
Рак молочной железы	4	938,750	798,000	1173,000	168,8715
Рак щитовидной железы	5	656,000	520,000	825,000	128,9166
Рак легкого	4	1290,000	1216,000	1349,000	59,0875
Рак шейки матки	9	955,000	616,000	1661,000	314,8444

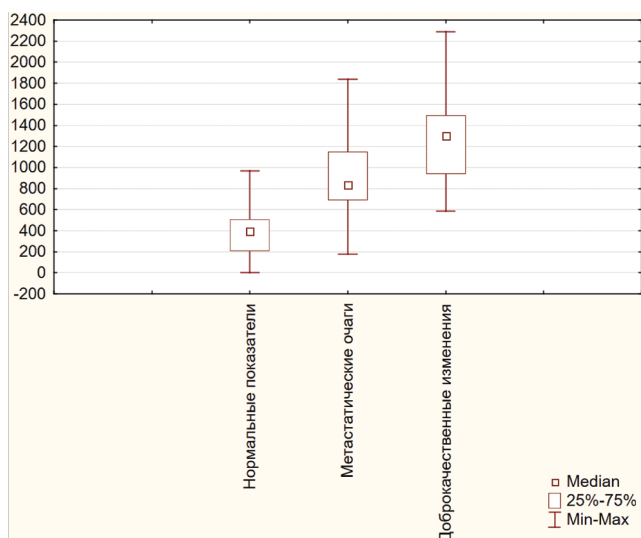


Рис. 3. Распределение показателей ИКД в очагах метастатического поражения в зависимости от морфологической принадлежности ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

Fig. 3. Distribution of ADC values in the foci of metastatic lesion depending on morphological affiliation ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

Среди очаговых изменений в костях, с которыми проводится дифференциальная диагностика, наиболее часто встречаются гемангиомы, грыжи Шморля, субхондральные кисты, переломы и различные проявления воспалительных и дегенеративных процессов. В настоящем исследовании все доброкачественные изменения были объединены в одну общую группу (табл. 3).

Таблица 3

Распределение показателей ИКД в очаговых доброкачественных изменениях ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

Distribution of ADC values in focal benign changes ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

Группы наблюдений	Количество наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение
Доброкачественные изменения	19	1246,211	586,0000	2290,000	461,1235

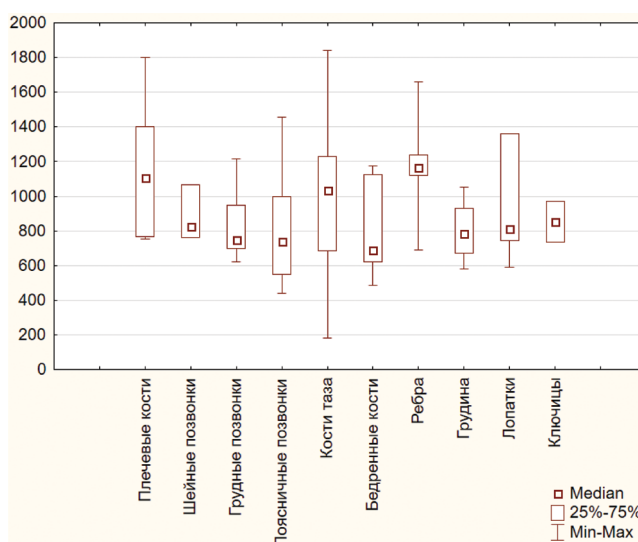


Рис. 4. Распределение показателей ИКД нормального костного мозга, очагов метастатического поражения и доброкачественных изменений ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

Fig. 4 Distribution of ADC values of normal bone marrow, foci of metastatic lesions and benign changes ($\times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$)

Несмотря на значимые отличия ($p > 0,05$) групп показателей рассматриваемых процессов, существуют обширные зоны их пересечения (рис. 4), что существенно ограничивает диагностический потенциал изолированного применения метода. Однако уже на данном этапе можно сказать, что значения ИКД выше $1841 \times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$ маловероятно соответствуют проявлениям метастатического процесса (до применения какого-либо лечения, т.к. в процессе лечебного патоморфоза значения будут изменяться в большую сторону), а значения в диапазоне $180-586 \times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$, при условии истинного ограничения диффузии молекул воды (сочетание с повышенным сигналом на диффузионно-взвешенном изображении; данное условие касается всех обсуждаемых изменений) в отдельно взятом очаге, с меньшей вероятностью соответствуют доброкачественному процессу и с большей – метастатическому. Кроме этого, для дифференциальной диагностики могут быть полезны семиотические признаки доброкачественных процессов, поэтому следует помнить, что наиболее частыми локализациями внутрикостных гемангиом являются позвонки, субхондральные кисты, грыжи Шморля, причем проявления дегенеративных изменений располагаются вблизи суставных поверхностей, а переломы, как правило, имеют специфическую (линейную) форму поражения. Таким образом, в остальных локализациях диапазон абсолютных значений, характерных для метастатического поражения, может служить диагностическим ориентиром, в особенности, когда речь идет о значениях выше нормальных каждой из анатомических зон (табл. 1) и ниже $\sim 1850 \times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$ для метастазов в общем.

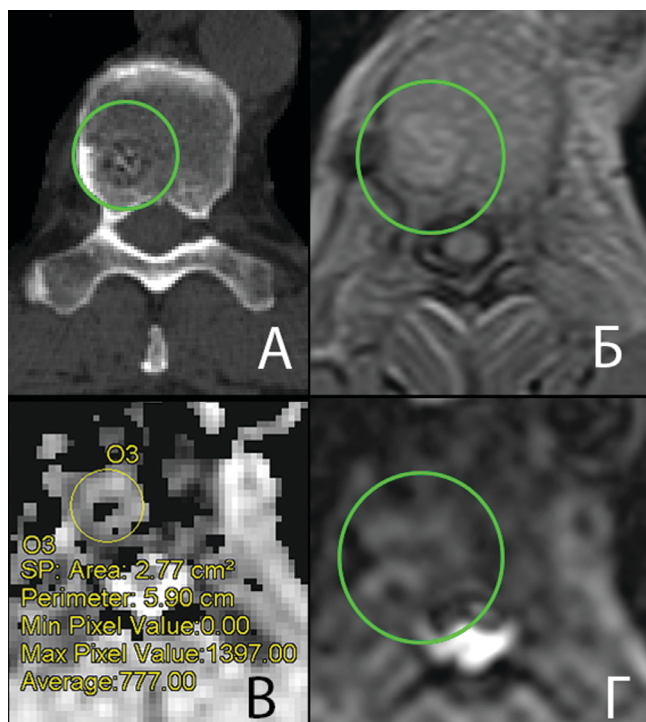


Рис. 5. Демонстрация клинического случая № 1. А. РКТ. В правых отделах тела позвонка Th12 зона мелкоячеистой перестройки с включениями жировой плотности – гемангиома. Б. МРТ, T₁-ВИ. Гиперинтенсивный сигнал в проекции того же образования – высокое содержание жировой ткани в структуре образования, что характерно для гемангиом.

В. МРТ, ИКД-карта. Минимальные значения – 0×10^{-6} мм²/с, вероятно, обусловлены наличием утолщенных костных трабекул в структуре образования, максимальные значения – 1397×10^{-6} мм²/с, усредненное значение – 777×10^{-6} мм²/с. Г. МРТ, ДВИ. Слабо-гиперинтенсивный сигнал в проекции того же образования

Fig. 5. Demonstration of clinical case No. 1. A. CT. In the right parts of the vertebral body Th12, a zone of small-cell rearrangement with inclusions of fat density – hemangioma. B. MRI, T₁-WI. A hyperintensive signal in the projection of the same formation – high content of adipose tissue in the structure of the formation, which is characteristic of hemangiomas. B. MRI, ADC-map. The minimum values are 0×10^{-6} mm²/s, probably due to the presence of thickened bone trabeculae in the structure of the formation, the maximum values are 1397×10^{-6} mm²/s, the average value is 777×10^{-6} mm²/s. G. MRI, DWI. Weakly hyperintensive signal in the projection of the same formation

С целью исключения влияния вышепоказанной гетерогенности костномозговой среды было рассчитано отношение значений каждого из метастатических (ИКДм) и доброкачественных (ИКДд) очаговых образований к нормальным показателям (ИКДн) в каждой из локализаций (табл. 4). Данный подход позволил повысить специфичность (в данном случае речь идет о количестве метастатических очагов, значения которых не входили в диапазон, характерный для доброкачественных изменений) с 15 % (13 очагов) до 19 % (16 очагов). Доброкачественные изменения находились в диапазоне значений от $1,5$ до $28,7 \times 10^{-6}$ мм²/с, метастатические – в диапазоне от $0,5$ до 764×10^{-6} мм²/с (высокие значения обусловлены встречающимися околонулевыми значениями ИКД в неизменном костном мозге; табл. 4).

Таким образом, изолированное применение ДВИ+ИКД в дифференциальной диагностике для метастазов в целом по-прежнему имеет существенные ограничения, однако в совокупности с последовательностями, отражающими включения жировой ткани, дает высокие показатели чувствительности и специфичности – 82 и 80 % соответственно (по данным Ricardo Donners et al) [12]. Оценка данного критерия может производиться качественно, в первую очередь, с помощью T1-взвешенных изображений (возможно дополнение противофазными

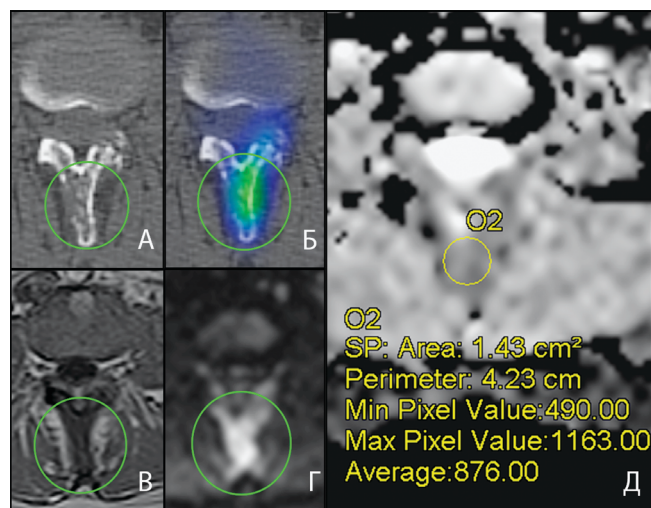


Рис. 6. Демонстрация клинического случая № 2. А. РКТ. В остистом отростке позвонка L3 зона литической деструкции, сопровождающаяся разрушением прилежащего кортикального слоя – метастаз рака молочной железы. Б. ОФЭКТ/КТ. Реактивно-повышенное накопление остеотропного радиофармпрепарата в неразрушенных тканях остистого отростка. В. МРТ, T₁. Гипоинтенсивный сигнал в области вышеупомянутой зоны деструкции (за счет преобладания солидного компонента в структуре образования). Г. МРТ, ДВИ. Гиперинтенсивный сигнал в той же области – ограничение диффузии молекул воды. Д. МРТ, ИКД-карта. Минимальные значения – 490×10^{-6} мм²/с, максимальные значения – 1163×10^{-6} мм²/с, усредненное значение – 876×10^{-6} мм²/с

Fig. 6. Demonstration of clinical case No. 2. A. CT. In the spinous process of the L3 vertebra there is a zone of lytic destruction, accompanied by the destruction of the adjacent cortical layer – metastasis of breast cancer. B. SPECT/CT. Reactive-increased accumulation of osteotropic radio-pharmaceutical in non-destroyed tissues of the spinous process. B. MRI, T₁-WI. Hypointensive signal in the area of the above-mentioned destruction zone (due to the predominance of a solid component in the structure of education). G. MRI, DWI. A hyperintensive signal in the same region is a restriction of the diffusion of water molecules. D. MRI, ADC-map. The minimum values are 490×10^{-6} mm²/s, the maximum values are 1163×10^{-6} mm²/s, the average value is 876×10^{-6} mm²/s

Таблица 4

Распределение относительных показателей ИКД в очагах метастатического поражения и доброкачественных изменений
Distribution of relative ADC values in the foci of metastatic lesions and benign changes

Группы наблюдений	Количество наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение
ИКДм/ИКДн	117	27,61860	0,486486	764,0000	110,3174
ИКДд/ИКДн	19	7,11223	1,485075	28,6923	7,2571

изображениями) и количественно, например, с помощью последовательности mDixon quant. Сферой применения последних в контексте данного исследования являются, преимущественно, гемангиомы с преобладанием сосудистого компонента, которые могут имитировать метастатическое поражение. Содержание фракций жира менее 20 % в сочетании с повышенным сигналом на ДВИ и значениями ИКД менее 1100×10^{-6} мм²/с являются надежными критериями метастатического поражения. Выше-сказанное подтверждается и в рамках настоящей статьи (рис. 5, 6), так как все доброкачественные образования, попадающие в диапазон значений ИКД, характерных для метастатического поражения, имели гиперинтенсивный сигнал на T₁-ВИ, что свидетельствовало в пользу преобладания жировой ткани в структуре образований (характерно для внутрикостных гемангиом). Особой категорией образований, вызывающих сложности в дифференциальной диагностике, являются атипичные гемангиомы,

имитирующие метастазы, однако оценка показателей ИКД может помочь в разграничении данных процессов. Так, по данным Jibin Cao et al, показатели ИКД в атипичных гемангиомах достоверно выше, чем в очагах метастатического поражения – $(1,14 \pm 0,28) \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$ против $(0,70 \pm 0,12) \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$ соответственно [13].

Заключение

Ранняя диагностика метастатического поражения костей скелета остается сложной задачей, и ни один из рентгенологических и радионуклидных методов не имеет абсолютную чувствительность и специфичность, включая гибридные методы, такие как ПЭТ/КТ и ОФЭКТ/КТ (наиболее распространенные). Выявленные семиотические признаки всегда следует рассматривать, как комплекс вероятностных характеристик, имеющих ту и иную специфичность. Чем больше таких характеристик имеется в арсенале специалиста, тем ближе рентгенорадиологический диагноз к морфологическому. Не является исключением и обсуждаемая в рамках данной статьи методика.

Данное исследование показало, что знание диапазона референсных показателей ИКД для неизменно-го костного мозга и аномалий различного генеза имеет важное значение в дифференциальной диагностике. Разграничение скелета на отдельные анатомические зоны, вероятно, позволяет повысить эффективность изолированного применения методики, когда речь идет о абсолютных значениях. Морфологическая принадлежность метастатических очагов имеет важное значение в формировании показателей ИКД, нежели костномозговое микроокружение, в пользу этого также свидетельствует низкая эффективность применения относительных величин.

Протоколирование и создание более обширных баз данных значений ИКД для патологических и неизменных тканей (для различных групп пациентов в зависимости от возраста, пола, сопутствующих заболеваний и т.д.) может существенно повысить эффективность первичной диагностики. Возможно, данная задача лежит в сфере искусственного интеллекта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES:

1. Coleman R.E. Clinical Features of Metastatic Bone Disease and Risk of Skeletal Morbidity. *Clin Cancer Res.* 2006;12;20:6243–6269.
2. Davila D., Antoniou A., Chaudhry M.A. Evaluation of Osseous Metastasis in Bone Scintigraphy. *Semin. Nucl. Med.* 2015;45;1:3–15.
3. Umer M., et al. Skeletal Metastasis in Renal Cell Carcinoma: a Review. *Ann. Med. Surg. (Lond).* 2018;27:9–16.
4. Hagiwara M., et al. The Impact of Bone Metastases and Skeletal-Related Events on Healthcare Costs in Prostate Cancer Patients Receiving Hormonal Therapy. *Community Oncol.* 2011;11;8:508–515.
5. Barlev A. Payer Costs for Inpatient Treatment of Pathologic Fracture, Surgery to Bone, and Spinal Cord Compression among Patients with Multiple Myeloma or Bone Metastasis Secondary to Prostate or Breast Cancer. *J. Manag. Care Pharm.* 2010;16;9:693–702.
6. Cook G.J., Houston S., Rubens R., Maisey M.N., Fogelman I. Detection of Bone Metastases in Breast Cancer by 18FDG PET: Differing Metabolic Activity in Osteoblastic and osteolytic Lesions. *J. Clin. Oncol.* 1998;16;10:3375–3379.
7. Кочергина Н.В., Прохоров С.Н., Блудов А.Б., Рыжков А.Д., Федорова А.В., Спирина О.Г. Эффективность МРТ в уточнении наличия метастазов в кости при спорном результате ОФЭКТ/КТ // Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2020. Т.3, № 3. С. 93–100. [Kochergina N.V., Prokhorov S.N., Bludov A.B., Ryzhkov A.D., Fedorova A.V., Spirina O.G. The Effectiveness of MRI in Determining the Presence of Bone Metastases in a Controversial Result of SPECT/CT. *Onkologicheskii Zhurnal: Luchevaya Diagnostika, Luchevaya Terapiya* = Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2020;3;3:93–100 (In Russ.)].
8. Сергеев Н.И. Мультипараметрическая МРТ в диагностике метастатического поражения костных структур // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России. 2015. Т.15, № 1. [Sergeyev N.I. Multiparametric MRI in the Diagnosis of Metastatic Lesion of Bone Structures. *Vestnik Rossiyskogo nauchnogo tsentra Rentgenoradiologii MZ Rossii.* 2015;15;1 (In Russ.)].
9. Прохоров С.Н., Кочергина Н.В., Рыжков А.Д., Крылов А.С., Блудов А.Б. Сравнение эффективности остеосцинтиграфии, рентгенографии, ОФЭКТ/КТ и МРТ в диагностике метастазов солидных опухолей различной природы в костях // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2022. Т.67, № 6. С. 74–78. [Prokhorov S.N., Kochergina N.V., Ryzhkov A.D., Krylov A.S., Bludov A.B. Comparison of Bone Scan, X-RAY, SPECT/CT and MRI in the Diagnosis of Bone Metastases in Solid Tumors. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2022;67;6:74–78 (In Russ.)].
10. Nakanishi K., Tanaka J., Nakaya Y., Maeda N., Sakamoto A., Nakayama A., Satomura H., Sakai M., Konishi K., Yamamoto Y., Nagahara A., Nishimura K., Takenaka S., Tomiyama N. Whole-Body MRI: Detecting Bone Metastases from Prostate Cancer. *Jpn. J. Radiol.* 2022;40;3:229–244.
11. Jacobs M.A., Macura K.J., Zaheer A., Antonarakis E.S., Stearns V., Wolff A.C., Feiweier T., Kamel I.R., Wahl R.L., Pan L. Multiparametric Whole-Body MRI with Diffusion-Weighted Imaging and ADC Mapping for the Identification of Visceral and Osseous Metastases From Solid Tumors. *Acad. Radiol.* 2018;25;11:1405–1414.
12. Donners R., Figueiredo I., Tunariu N., Blackledge M., Koh D.M., de la Maza MLDF, Chandran K., de Bono J.S., Fotiadis N. Multiparametric Bone MRI Can Improve CT-Guided Bone Biopsy Target Selection in Cancer Patients and Increase Diagnostic Yield and Feasibility of Next-Generation Tumour Sequencing. *Eur. Radiol.* 2022;32;7:4647–4656.
13. Cao J., Gao S., Zhang C., et al. Differentiating Atypical Hemangiomas and Vertebral Metastases: a Field-of-View (FOV) and FOCUS Intravoxel Incoherent Motion (IVIM) Diffusion-Weighted Imaging (DWI) Study. *Eur. Spine J.* 2020;29:3187–3193.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.07.2023. **Принята к публикации:** 27.08.2023.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.07.2023. **Accepted for publication:** 27.08.2023.