

DOI: 10.17650/1818-8346-2021-16-3-33-39



Роль ПЭТ/КТ в диагностике и оценке эффекта у больных множественной миеломой

А.Е. Панкратов¹, П.А. Зейналова²

¹ООО «ПЭТ-Технологии Балашиха»; Россия, 143900 Московская обл., Балашиха, ул. Карбышева, 6Б;

²Клинический госпиталь «Лепино» группы компаний «Мать и дитя»; Россия, 143081 Московская обл., д. Лепино, 1-е Успенское шоссе, 111

Контакты: Александр Евгеньевич Панкратов a.pankratov@oncoart.ru

Краткий обзор посвящен методам лучевой диагностики, применяемым при обследовании пациентов с миеломной болезнью и плазмочитомой. Современные методы визуализации, такие как позитронная эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ), и магнитно-резонансная томография, облегчают постановку диагноза, позволяют оценить степень распространенности процесса и эффективность выполняемого лечения. При этом у каждого из этих методов есть свои достоинства и недостатки. Наиболее перспективной представляется ПЭТ/КТ, которая обладает сопоставимыми с магнитно-резонансной томографией чувствительностью и специфичностью, имея при этом уникальные достоинства.

Ключевые слова: миелома, плазмочитома, позитронная эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией, лучевая диагностика

Для цитирования: Панкратов А.Е., Зейналова П.А. Роль ПЭТ/КТ в диагностике и оценке эффекта у больных множественной миеломой. Онкогематология 2021;16(3):33–9. DOI: 10.17650/1818-8346-2021-16-3-33-39.

The role of PET/CT in the diagnosis and response assessment in patients with multiple myeloma

A. E. Pankratov¹, P. A. Zeynalova²

¹PET-Technology Balashikha; 6B Karbysheva St., Balashikha, Moscow region 143900, Russia;

²Clinical Hospital “Lapino” of the “Mother and Child” Group of companies; 111 1st Uspenskoe Shosse, Lapino, Moscow region 143081, Russia

Contacts: Aleksandr Evgen'evich Pankratov a.pankratov@oncoart.ru

A brief review focuses on the radiation diagnostics methods used in the examination of patients with myeloma and plasmacytoma. Modern imaging techniques, such as positron emission tomography combined with computed tomography (PET/CT) and magnetic resonance imaging, facilitate diagnosis and allow assessing the extent of the process and efficiency of treatment performed. Moreover, each of these methods has its own advantages and disadvantages. The most promising is PET/CT, which has sensitivity and specificity comparable to magnetic resonance imaging, while having unique advantages.

Key words: myeloma, plasmacytoma, positron emission tomography combined with computed tomography, radiology

For citation: Pankratov A. E., Zeynalova P. A. The role of PET/CT in the diagnosis and response assessment in patients with multiple myeloma. Onkogematologiya = Oncohematology 2021;16(3):33–9. (In Russ.). DOI: 10.17650/1818-8346-2021-16-3-33-39.

Множественная миелома (ММ) — злокачественное заболевание, характеризующееся пролиферацией одного клона плазматических клеток, происходящих из В-клеток в костном мозге. Часто возникает инвазия в костное вещество, что разрушает костные структуры и приводит к боли в костях и их переломам. Иногда плазматические клетки инфильтрируют другие

органы и вызывают различные симптомы. Клон плазматических клеток продуцирует моноклональный белок (М-белок), который может привести к почечной недостаточности, вызванной легкими цепями (белок Бенс-Джонса) или гипервязкостью из-за чрезмерного количества М-белка в крови. Диагноз зависит от выявления аномальных моноклональных плазматических

клеток в костном мозге, М-белка в сыворотке или моче, признаков повреждения конечных органов и клинической картины, соответствующей ММ [1].

О распространенности процесса можно судить с помощью методов лучевой диагностики, таких как рентгенография, компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ) и позитронная эмиссионная томография, совмещенная с КТ (ПЭТ/КТ). При этом каждый из этих методов визуализации имеет свои достоинства и недостатки.

Согласно Российским клиническим рекомендациям (2020) всем пациентам при установке диагноза ММ перед началом терапии, при оценке эффективности терапии, а также при подозрении на рецидив заболевания в качестве альтернативы КТ всего скелета для уточнения наличия и распространенности поражения костей, выявления костных плазмочитом с определением их размеров рекомендуется выполнить ПЭТ/КТ [2].

Однако, прежде чем подробно рассматривать место ПЭТ/КТ в диагностике ММ, имеет смысл кратко определить значение каждого из методов визуализации. Цели всех методов лучевой диагностики – выявление опухолевых очагов и возможная оценка активности процесса в них для определения распространенности процесса (стадии заболевания) и оценки эффективности лечения. Все методы лучевой диагностики можно условно разделить на 2 категории: морфологические, определяющие структуру ткани, и анатомо-функциональные, определяющие не только морфологию, но и отчасти функциональную активность ткани. К первым мы отнесем классическую рентгенографию и КТ, ко вторым – МРТ и ПЭТ/КТ.

Выявление костных и экстрамедуллярных очагов заболевания по данным МРТ и ПЭТ/КТ заложено в систему анатомо-функционального стадирования Durie–Salmon Plus (табл. 1) [3].

Рентгенография костей

Классическая рентгенография используется при первоначальном обследовании пациентов с ММ. Рентгенограммы должны включать заднепереднюю проекцию грудной клетки, переднезаднюю и боковую проекции шейного, грудного и поясничного отделов позвоночника, плечевой и бедренной костей, переднезаднюю и боковую проекции черепа и переднезаднюю проекцию таза [4].

При этом частота ложноотрицательных результатов составляет 30–70 %, что приводит к значительной заниженной оценке при диагностике и стадировании ММ. Литические поражения становятся очевидными при обычной рентгенографии, когда уже потеряно 30–50 % минеральной плотности кости. Таким образом, в начале заболевания могут быть не выявлены изменения кости на обычных рентгенограммах. Кроме этого, по данным рентгенографии нельзя отличить остеопению при ММ от более распространенных при-

Таблица 1. Система стадирования Durie–Salmon Plus

Table 1. Durie–Salmon Plus Staging System

Стадия Stage	Число очагов, выявляемых по данным МРТ или ПЭТ/КТ Number of lesions detected by MRI or PET/CT
I B	0–4
II A или B II A or B	5–20
III A или B III A or B	>20

Примечание. А – нормальная функция почек; В – сниженная функция почек (уровень креатинина >2 мг/дл и/или выявленные экстрамедуллярные очаги по данным МРТ или ПЭТ/КТ); МРТ – магнитно-резонансная томография; ПЭТ/КТ – позитронная эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией.

Note. A – normal renal function; B – reduced renal function (creatinine level >2 mg/dL and/or identified extramedullary lesion on MRI or PET/CT); MRI – magnetic resonance imaging; PET/CT – positron emission tomography combined with computed tomography.

чин остеопении, например старческого и постменопаузального остеопороза [5]. Почти 80 % пациентов с миеломой будут иметь рентгенологические доказательства поражения костей при обследовании скелета, наиболее часто затрагиваются следующие области: позвонки – у 65 % пациентов, ребра – у 45 %, череп – у 40 %, плечи – у 40 %, таз – у 30 % и длинные кости – у 25 % [6]. Еще одним важным недостатком классической рентгенографии и КТ является невозможность оценить статус активности миеломы и эффективность лечения [3].

Компьютерная томография

Компьютерная томография имеет более высокую чувствительность, чем рентгенография всего скелета, при обнаружении небольших остеолитических поражений, особенно в областях, которые не могут быть точно визуализированы с помощью простой рентгенографии, таких как грудина, ребра или лопатки. Таким образом, КТ в первую очередь показана для обнаружения ранних участков разрушения кости, не выявляемых с помощью рентгенографии. Более того, КТ поможет точно выявить наличие и определить размер миеломатозных образований мягких тканей, обеспечивая оптимальные условия для фокальной пункционной биопсии и точно идентифицируя сдавление спинного мозга и/или нервных корешков [7]. В дополнение к этим показаниям КТ является «золотым стандартом» при оценке стабильности сломанных позвонков, риска переломов, в частности позвоночника и таза, а также при планировании лучевой терапии или хирургии. Дополнительные преимущества КТ по сравнению с рентгеновскими лучами включают более быстрое получение изображений и высококачественную трехмерную реконструкцию. По сравнению с обычной рентгенографией одним из основных недостатков КТ

является более высокий уровень радиационного облучения — до 3 раз выше, чем при рентгенографии всего скелета [8].

Магнитно-резонансная томография

Магнитно-резонансная томография является «золотым стандартом» для оценки миеломатозного поражения позвоночника. МРТ обеспечивает превосходное качество изображения благодаря своей высокой чувствительности по сравнению с таковой обычной рентгенографии. МРТ точно показывает наличие любого сдавления спинного мозга и/или нервных корешков и позволяет распознавать образования мягких тканей. МРТ поможет предсказать риск перелома позвонка, даже если она не помогает прогнозировать уровень перелома. МРТ — лучший инструмент для дифференцировки доброкачественных и злокачественных переломов позвонков, вызванных остеопорозом. Это очень помогает в клинической практике, поскольку внешний вид и распространение переломов позвонков у пациентов с доброкачественным остеопорозом и пациентов с ММ схожи. МРТ поможет точно оценить процент потери высоты позвонков перед чрескожной вертебропластикой или кифопластикой. МРТ позволяет обнаруживать осложнения заболевания, такие как отложения амилоида в мягких тканях, и является стандартным методом диагностики аваскулярного некроза головки бедренной кости, который может отмечаться при стероидной терапии [8].

По своей значимости в диагностике ММ, а также в дополнение к МРТ все большее внимание привлекает ПЭТ/КТ.

Позитронная эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией

ПЭТ/КТ — метод лучевой диагностики, обеспечивающий трехмерную анатомо-функциональную визуализацию органов и тканей, основанный на оценке степени захвата ими специфического радиофармацевтического препарата, чаще фтордезоксиглюкозы (^{18}F -ФДГ).

Международной рабочей группой по миеломе (International Myeloma Working Group, IMWG) был достигнут консенсус, направленный на разработку рекомендаций по оптимальному применению ПЭТ/КТ [9].

ПЭТ/КТ позволяет оценить все тело целиком за одно исследование и за короткое время, при этом обеспечивая относительно высокую чувствительность и достаточную специфичность для обнаружения как костномозговых, так и внекостномозговых очагов заболевания. Однако наиболее значительное достоинство ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ — ее способность оценивать с хорошей точностью тяжесть заболевания и различать метаболически активные и неактивные очаги.

Подготовка пациента к ПЭТ/КТ и исследование.

Процедура получения и реконструкции изображений является стандартной. Подготовка пациента включает

голодание в течение не менее 6 ч до исследования, прекращение пероральной противодиабетической терапии, внутривенное введение радиофармацевтического препарата и время ожидания около 50–70 мин после его введения до начала сканирования. Положение лежа на спине во время сканирования считается предпочтительным для оптимального считывания и интерпретации изображений, но не обязательным. Время сканирования составляет 20–40 мин. Обезболивающие препараты не препятствуют распределению ^{18}F -ФДГ и могут вводиться для повышения уровня комфорта пациента. Общая продолжительность процедуры составляет около 80–90 мин.

Объем сканирования ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ должен включать по крайней мере череп, верхние конечности и бедра; при необходимости нижние конечности могут быть включены в объем сканирования полностью. Низкодозная КТ (120 кВ, 80 мА) необходима для коррекции и интерпретации изображения. Гиперметаболические поражения костей, независимо от лежащих в основе литических поражений при КТ, идентифицируются по стандарту ПЭТ с пределом пространственного разрешения около 5 мм. Почечная недостаточность и металлические костные имплантаты не являются противопоказаниями к использованию ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ.

После реконструкции изображения должны интерпретироваться на выделенной рабочей станции, обеспечивая слияние изображений и многоплоскостные сечения. Максимальный стандартизованный уровень накопления (SUV_{max}), рассчитанный с учетом массы тела, является стандартным полуколичественным показателем, который может быть рассмотрен для интерпретации изображений, особенно при оценке ответа на терапию. Характер поглощения, SUV_{max} и различные фармакокинетические параметры ^{18}F -ФДГ коррелируют с процентным содержанием плазматических клеток костного мозга [10]. Было обнаружено, что среднее значение отсечки, равное 4 для SUV_{max} , позволяет различать активное и неактивное заболевание после терапии [11].

По результатам систематического обзора, выполненного J. Caers и соавт., не было выявлено различий в чувствительности и специфичности между ПЭТ/КТ и МРТ [12].

ПЭТ/КТ в диагностике ММ. Авторами консенсуса было рекомендовано включить ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ в диагностическую работу при ММ из-за ее более высокой чувствительности и способности обнаруживать повреждения костей на более ранней стадии, чем у рентгенографии всего тела (уровень доказательности 1, класс А). ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ следует рассматривать как ценный инструмент из-за ее способности идентифицировать литические поражения и экстрамедуллярные массы, а также из-за способности предоставлять надежную прогностическую информацию (уровень доказательности 2, класс В). Авторы рекомендуют использовать ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ, чтобы отличить активную

ММ от тлеющей, если рентгенография всего тела не выявляет этих процессов, а МРТ всего тела недоступна (уровень доказательности 1, класс А). В настоящее время доступность ПЭТ/КТ ^{18}F -ФДГ на базовом уровне позволяет сравнивать изображения до лечения с изображениями после лечения и идентифицировать пациентов, которые, как считается, имеют негативную визуализацию минимальной остаточной болезни (уровень доказательности 2, класс В) [9].

В проспективном исследовании Т.В. Bartel и соавт., сравнивавшем ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ, рентгенографию всего тела и МРТ осевого скелета, было выявлено преимущество ПЭТ/КТ над рентгенографией в 46 % случаев (чувствительность 92 % против 61 %). Чувствительность ПЭТ/КТ позвоночника уступала таковой МРТ, недооценивая заболевание у трети пациентов. Тем не менее ПЭТ/КТ выявляла участки активного заболевания в областях за пределами поля зрения МРТ [13].

Оценка эффективности лечения с помощью ПЭТ/КТ.

Опубликованы результаты исследования с участием 596 пациентов, обследованных с помощью ПЭТ/КТ в разные моменты времени (7-й день индукции, конец индукции, после трансплантации и при поддерживающем лечении). Продемонстрировано, что пациенты, достигшие полного подавления активности ^{18}F -ФДГ в очаговых поражениях после лечения в каждый исследуемый момент времени, имели незначительные различия в показателях безрецидивной и общей выживаемости по сравнению с пациентами без поражений на исходном уровне. Важно отметить, что в каждый момент времени пациенты без обнаруживаемых поражений имели значительно лучший результат по

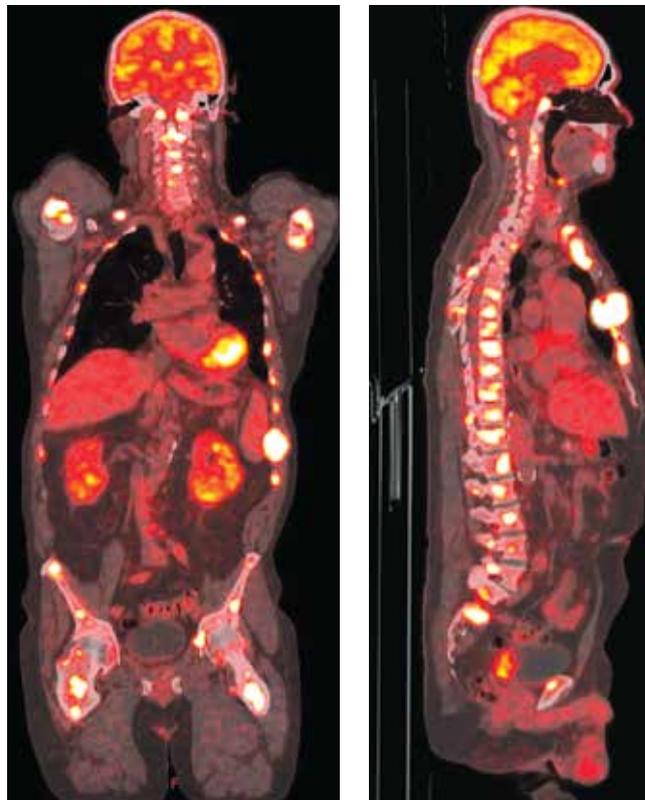


Рис. 1. Позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией, с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой (первичная диагностика) пациента М. 65 лет. Множественная миелома, поражение костей осевого скелета, грудины, ребер, длинных трубчатых костей

Fig. 1. Positron emission tomography, combined with computed tomography, with ^{18}F -fluorodeoxyglucose, primary diagnostics. Patient M., 65 years old, multiple myeloma, damage of axial skeleton bones, sternum, ribs, long bones

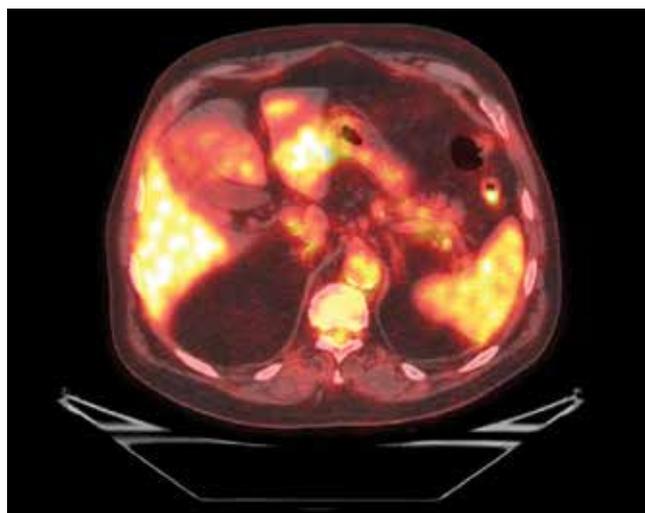
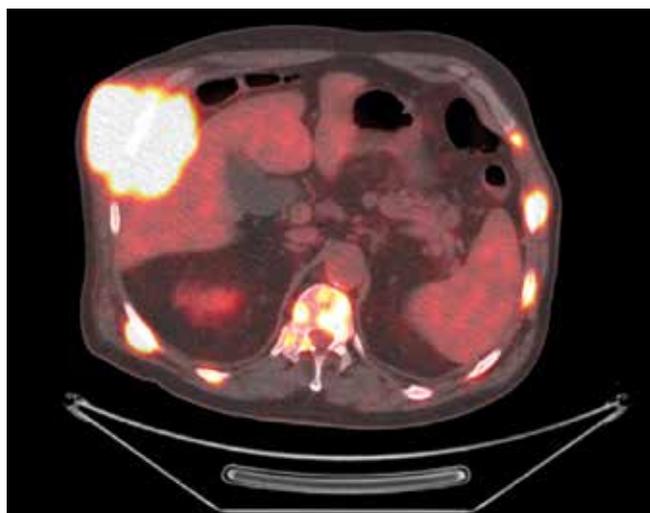


Рис. 2. Позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией, с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой (первичная диагностика) того же пациента М. 65 лет. Множественная миелома, поражение костей осевого скелета, грудины, ребер с большим мягкотканым компонентом, деформирующим контур тела, длинных трубчатых костей до лечения (очаг в теле VIII ребра справа, максимальное стандартизованное значение поглощения 20,6) и через 6 мес после химиотерапии (полный метаболический ответ всех ранее выявленных очагов, редукция мягкотканого компонента)

Fig. 2. Positron emission tomography, combined with computed tomography, with ^{18}F -fluorodeoxyglucose, primary diagnostics. The same patient M., 65 years old, multiple myeloma, damage of axial skeleton bones, sternum, ribs with a large soft tissue component that deforms the body contour, long bones before treatment (lesion in the VIII rib body on the right, maximum standardized absorption value 20.6) and 6 months after chemotherapy (complete metabolic response of all previously identified lesion, reduction of the soft tissue component)

сравнению с пациентами по крайней мере с одним обнаруживаемым очагом в этот момент времени, независимо от того, были ли у них поражения на исходном уровне. Также в этом исследовании статистически достоверно установлено, что наличие более 3 очагов, обнаруженных при ПЭТ/КТ на исходном уровне, было связано с низким уровнем безрецидивной ($p < 0,0001$) и общей ($p < 0,0001$) выживаемости. Не отмечено значимой разницы в показателях ни безрецидивной

($p = 0,3022$), ни общей ($p = 0,7842$) выживаемости между группами пациентов с 0 и с 1–3 локальными очагами [14]. При изначально большом числе очагов для оценки эффективности лечения ПЭТ/КТ позволяет оценить их все сразу как количественно, так и качественно (рис. 1, 2).

Основные достоинства и недостатки методов визуализации, применяемых в диагностике миеломной болезни, сведены в табл. 2 [8].

Таблица 2. Достоинства и недостатки различных методов визуализации при ММ

Table 2. Advantages and disadvantages of various imaging techniques for MM

Метод Method	Достоинство Advantage	Недостаток Disadvantage
Рентгенография X-ray	<p>Бюджетный. Low cost.</p> <p>Широкая доступность. Wide availability.</p> <p>Способность обнаруживать участки скелета, в основном вовлеченные в заболевание. Ability to detect the skeleton areas mainly involved in the disease.</p> <p>Возможность обнаружения поражений с риском надвигающегося перелома длинных костей Ability to detect lesions at risk of impending fracture in the long bones</p>	<p>Ограниченная чувствительность. Limited sensitivity.</p> <p>Неспособность четкой визуализации отдельных областей (грудина, позвоночник). Failure to carefully visualize several areas (sternum, spine).</p> <p>Неспособность отличить доброкачественную остеопению от злокачественной. Failure to distinguish benign versus malignant osteopenia.</p> <p>Длительность исследования/терпимость пациента не идеальны. Examination duration/patient tolerance is not ideal.</p> <p>Неспособность оценить ответ на лечение Failure to assess treatment response</p>
КТ CT	<p>Высокая чувствительность (обнаруживает небольшие остеолитические поражения). High sensitivity (detects small osteolytic lesions).</p> <p>Возможность обнаружения повреждений грудины, ребер или лопаток. Ability to detect lesions in sternum, ribs or scapulae.</p> <p>Быстрее, чем рентгенография. Faster than X-ray.</p> <p>Возможность трехмерной реконструкции изображений. Possibility of three-dimensional reconstruction of images.</p> <p>«Золотой стандарт» в оценке стабильности сломанных позвонков и оценке риска переломов. Gold standard in evaluating the stability of collapsed vertebrae, and estimating the risk of fractures.</p> <p>Способность обнаруживать образования мягких тканей. Ability to detect soft tissue masses.</p> <p>Оптимальный инструмент для фокальной биопсии иглой и планирования лучевой терапии/хирургии Optimal guide for focal needle biopsy and radiation therapy/surgery planning</p>	<p>Более высокий уровень лучевой нагрузки по сравнению с рентгенографией всего скелета. Higher level of radiation exposure compared to whole skeleton X-rays.</p> <p>Более высокая стоимость по сравнению с рентгенографией всего скелета. Higher cost compared to whole skeleton X-rays.</p> <p>Неспособность отличить доброкачественную остеопению от злокачественной. Failure to distinguish benign versus malignant osteopenia.</p> <p>Неспособность оценить ответ на терапию Failure to assess treatment response</p>

Метод Method	Достоинство Advantage	Недостаток Disadvantage
МРТ MRI	<p>Функциональный метод визуализации. Functional visualization method.</p> <p>Высокая чувствительность (раннее обнаружение деструкции кости ММ). High sensitivity (early detection of MM bone destruction).</p> <p>Отсутствие радиационного воздействия. No radiation exposure.</p> <p>«Золотой стандарт» визуализации осевого скелета. The “gold standard” for axial skeleton visualization.</p> <p>Может предсказать риск перелома позвоночника. Can predict the risk of vertebral fracture.</p> <p>«Золотой стандарт» для различения доброкачественных и злокачественных переломов позвонков, вызванных остеопорозом. The “gold standard” for distinguishing between benign <i>versus</i> malignant vertebral fractures caused by osteoporosis.</p> <p>Способность обнаруживать сдавление спинного мозга/нервов и наличие образований мягких тканей. Ability to detect spinal cord/nerve compression and presence of soft tissue masses.</p> <p>Возможность обнаружения амилоидных отложений и аваскулярного некроза головки бедренной кости. Possibility of detecting amyloid deposits and avascular necrosis of the femoral head.</p> <p>Элективная методика правильной диагностики солитарной плазмцитомы и бессимптомной ММ. An elective technique for the correct diagnosis of solitary plasmacytoma and asymptomatic MM.</p> <p>Возможность оценить ответ на лечение. The ability to assess treatment response.</p> <p>Прогностическое значение на исходном уровне и после лечения Prognostic significance at baseline and after treatment</p>	<p>Более высокая стоимость по сравнению с рентгенографией и КТ. Higher cost compared to X-ray and CT.</p> <p>Длительное время сбора данных (укорачивается при использовании протокола МРТ всего тела с DWI). Prolonged acquisition times (overcome by whole body-MRI).</p> <p>Ограниченное поле обзора (укорачивается при использовании протокола МРТ всего тела с DWI). Limited field of view (overcome by whole body-MRI).</p> <p>Ограничивающие факторы пациента (клаустрофобия или металлические устройства в теле) Patient limiting factors (claustrophobia or metal devices in the body)</p>
ПЭТ/КТ PET/CT	<p>Функциональный метод визуализации. Functional visualization method.</p> <p>Высокие чувствительность и специфичность. High sensitivity and specificity.</p> <p>Визуализация всего тела в разумные сроки и за одну процедуру. Imaging of the whole body in a reasonable time frame and a single procedure.</p> <p>Возможность обнаружения медуллярных и экстрамедуллярных поражений. Possibility of detecting both medullary and extramedullary lesions.</p> <p>Возможность выявления осложнений, связанных с ММ и лечением (инфекции, воспаления). Ability to identify complications related with MM and treatment (infections, inflammation).</p> <p>Элективная методика правильной диагностики солитарной плазмцитомы и бессимптомной ММ. An elective technique for the correct diagnosis of solitary plasmacytoma and asymptomatic MM.</p> <p>«Золотой стандарт» для дифференцировки активного и неактивного заболевания: лучший инструмент для оценки ответа на лечение. The “gold standard” for differentiating active and inactive disease: the best tool for assessing treatment response.</p> <p>Прогностическое значение на исходном уровне и после лечения Prognostic significance at baseline and after treatment</p>	<p>Более высокая стоимость по сравнению с КТ и МРТ. Higher cost compared to CT and MRI.</p> <p>Более высокий уровень радиационного облучения по сравнению с рентгенографией и КТ. Higher level of radiation exposure compared to X-ray and CT.</p> <p>Предел пространственного разрешения 0,5 см. The spatial resolution limit is 0.5 cm.</p> <p>Ложноотрицательные результаты при очень низком поглощении фтордезоксиглюкозы, либо замаскированных диффузным поглощением фтордезоксиглюкозы, либо расположенных в «затемненных местах» (череп) False negative results with very low uptake of fluorodeoxyglucose, either masked by diffuse uptake of fluorodeoxyglucose, or located in “obscured sites” (skull)</p>

Примечание. ММ – множественная миелома; КТ – компьютерная томография; МРТ – магнитно-резонансная томография; ПЭТ/КТ – позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с КТ; DWI – диффузно-взвешенное изображение.

Note. MM – multiple myeloma; CT – computed tomography; MRI – magnetic resonance imaging; PET/CT – positron emission tomography combined with CT; DWI – diffusion-weighted imaging.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Kyle R.A., Rajkumar S.V. Criteria for diagnosis, staging, risk stratification and response assessment of multiple myeloma. *Leukemia* 2009;23(1):3–9. DOI: 10.1038/leu.2008.291.
- Менделеева Л.П., Вотякова О.М., Рехтина И.Г. и др. Множественная миеломы. Российские клинические рекомендации. М., 2020. Доступно по: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/144_1. [Mendeleeva L.P., Votyakova O.M., Rehtina I.G. et al. Multiple myeloma. Russian Clinical Guidelines. Moscow, 2020. Available at: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/144_1. (In Russ.)].
- Durie B.G. The role of anatomic and functional staging in myeloma: description of Durie/Salmon plus staging system. *Eur J Cancer* 2006;42(11):1539–43. DOI: 10.1016/j.ejca.2005.11.037.
- Dimopoulos M., Kyle R., Fermand J.P. et al. Consensus recommendations for standard investigative workup: report of the International Myeloma Workshop Consensus Panel 3. *Blood* 2011;117(18):4701–5. DOI: 10.1182/blood-2010-10-299529.
- Lütje S., de Rooy J.W., Croockewit S. et al. Role of radiography, MRI and FDG-PET/CT in diagnosing, staging and therapeutical evaluation of patients with multiple myeloma. *Ann Hematol* 2009;88(12):1161–8. DOI: 10.1007/s00277-009-0829-0.
- Dimopoulos M., Terpos E., Comenzo R. et al. International myeloma working group consensus statement and guidelines regarding the current role of imaging techniques in the diagnosis and monitoring of multiple myeloma. *Leukemia* 2009;23:1545–56. DOI: 10.1038/leu.2009.89.
- D'Sa S., Abildgaard N., Tighe J. et al. Guidelines for the use of imaging in the management of myeloma. *Br J Haematol* 2007;137(1):49–63. DOI: 10.1111/j.1365-2141.2007.06491.x.
- Zamagni E., Cavo M. The role of imaging techniques in the management of multiple myeloma. *Br J Haematol* 2012;159(5):499–513. DOI: 10.1111/bjh.12007.
- Cavo M., Terpos E., Nanni C. et al. Role of ¹⁸F-FDG PET/CT in the diagnosis and management of multiple myeloma and other plasma cell disorders: a consensus statement by the International Myeloma Working Group. *Lancet Oncol* 2017;18(4):e206–17. DOI: 10.1016/S1470-2045(17)30189-4.
- Sachpekidis C., Mai E.K., Goldschmidt H. et al. ¹⁸F-FDG dynamic PET/CT in patients with multiple myeloma: patterns of tracer uptake and correlation with bone marrow plasma cell infiltration rate. *Clin Nucl Med* 2015;40(6):e300–7. DOI: 10.1097/RLU.0000000000000773.
- Boellaard R. Standards for PET image acquisition and quantitative data analysis. *J Nucl Med* 2009;50(Suppl 1):11S–20S. DOI: 10.2967/jnumed.108.057182.
- Caers J., Withofs N., Hillengass J. et al. The role of positron emission tomography-computed tomography and magnetic resonance imaging in diagnosis and follow up of multiple myeloma. *Haematologica* 2014;99(4):629–37. DOI: 10.3324/haematol.2013.091918.
- Bartel T.B., Haessler J., Brown T.L. et al. F18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in the context of other imaging techniques and prognostic factors in multiple myeloma. *Blood* 2009;114(10):2068–76. DOI: 10.1182/blood-2009-03-213280.
- Davies F.E., Rosenthal A., Rasche L. et al. Treatment to suppression of focal lesions on positron emission tomography-computed tomography is a therapeutic goal in newly diagnosed multiple myeloma. *Haematologica* 2018;103(6):1047–53. DOI: 10.3324/haematol.2017.177139.

Вклад авторов

А.Е. Панкратов: подбор и перевод литературы для обзора, подготовка текста и иллюстраций;
П.А. Зейналова: выбор темы, окончательное утверждение версии статьи, принципиальные замечания.

Authors' contributions

A.E. Pankratov: selection and translation of literature for review, preparation of text and illustrations;
P.A. Zeynalova: choice of topic, final approval of the article, principal remarks.

ORCID авторов / ORCID of authors

П.А. Зейналова / P.A. Zeynalova: <https://orcid.org/0000-0003-1564-424X>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Financing. The work was performed without external funding.