

Остеосцинтиграфия при системных поражениях опорно-двигательного аппарата: параметры нормы, проблемы визуализации и анализа

Ю.Н. Касаткин, В.В. Поцыбина, Д.И. Левчук

Российская медицинская академия последипломного образования

В настоящее время в связи с модернизацией радиологической аппаратуры, внедрением новых методов и способов обработки диагностической информации область применения остеосцинтиграфии в неонкологической практике значительно расширилась. В сравнительных исследованиях установлено, что радионуклидные методики с остеотропными радиофармпрепаратами (РФП) очень чувствительны в оценке скелетного метаболизма у больных с трудно обнаруживаемыми диффузными изменениями в костях, развивающимися при довольно большом перечне системных заболеваний скелета. Выявлена также большая чувствительность метода при первичных поражениях суставов и субклиническом течении артрита. Совершенствование гамма-камер, прогресс в области производства эмиссионных томографов требуют нового подхода к проведению диагностических процедур у данной категории больных, исполнение которых позволило бы значительно увеличить объем получаемой информации при одноразовом введении РФП и минимальном облучении больного. Новые требования относятся также и к методам качественной и количественной оценки результатов радионуклидного исследования опорно-двигательного аппарата (ОДА), так как возникает проблема выбора эталонного участка, который можно было бы принять за норму. Известно, что при системных поражениях ОДА в патологический процесс могут вовлекаться все отделы скелета, включая суставы, мягкие ткани скелета, а также почки.

Принцип радионуклидных методов исследования ОДА основан на способности остеотропных РФП избирательно накапливаться в костной ткани и фиксироваться в повышенных концентрациях в патологически измененных участках с более интенсивным минеральным обменом, чем в здоровой костной ткани.

Остеотропные РФП более активно концентрируются в тех участках, где изменился про-

цесс перестройки костной ткани, при этом сказываются как анатомо-физиологические особенности строения и функции костной ткани, так и различия в процессах нормального и патологического костеобразования.

В качестве остеотропного РФП используются меченные ^{99m}Tc полифосфаты, представляющие собой неорганические фосфаты, либо органические соединения фосфора – фосфонаты, близкие по своей структуре к полифосфатам.

В организме человека и животных эти соединения являются естественными регуляторами образования и распада минерализованных тканей, а также препятствуют растворению гидроксиапатита, так как, будучи включенными в него, стабилизируют его структуру.

В настоящее время в клинической практике наиболее распространенными из них являются пирофосфат (ТСК-7)-СIS (Франция), пирфотех (Россия), TechnoScan РУР (Вук-Mallinckrodt, Голландия), Тесерфос (Hoechst, Германия), метилендифосфонат (МДФ), этиленгидрокси-дифосфонат (ЭГДФ) (Франция, Англия).

При добавлении к ним стерильного изотопического раствора ^{99m}Tc пертехнетата, полученного из генератора, образуется растворимый технециевый комплекс с рН 5,0–7,0, содержащий менее 1% свободного технеция.

Механизм накопления РФП костной тканью. Известно, что фосфатные комплексы, активно включаясь в обменные процессы кости, обладают специфической аффинитивностью к костным гидроксиапатитам (связываются через фосфатную группу с ионами Ca^{++} кристалла гидроксиапатита, а также с незрелым коллагеном). Повышенное накопление их в очагах инфаркта миокарда, зонах воспаления мышечной и синовиальной тканей связывают с изменением энергетического метаболизма клеток, что сопровождается активизацией процессов окислительного фосфорилирования. Нарушение проницаемости клеточной

мембраны, в норме не пропускающей молекулу фосфатного комплекса, способствует форсированной утилизации фосфорно-органических соединений.

Очевидно, помимо основных механизмов фиксации фосфатных комплексов, в организме имеются и другие, еще не до конца изученные, но реально существующие. Подтверждением этому являются публикации о повышенном накоплении фосфатных комплексов, меченных ^{99m}Tc , в опухолях молочных желез, в опухолях яичников, в печени у больных амилоидозом, в селезенке у больных лимфомами.

Поведение фосфатных комплексов в организме, независимо от фирменного состава реагента, практически одинаковое. Накопление препарата начинается сразу же после внутривенного введения. Через 1 ч в скелете накапливается более 30% введенного количества, через 2 ч — в пределах 40–42%. Максимальная концентрация в костях достигается через 3 ч (до 45%). Накопление в других органах и тканях незначительное, выводится почками. Эффективный период полувыведения из костей приблизительно равен эффективному периоду полувыведения из организма и составляет 6 ч.

Аппаратура. Остеосцинтиграфия выполняется с помощью однодетекторной или двухдетекторной гамма-камеры (планарное сканирование всего тела) и однофотонной эмиссионной томографии (гамма-томография суставов осевого и периферического скелета).

Подготовка к исследованию. Не существует какого-либо общепринятого метода подготовки пациента к исследованию костно-суставной системы; не существует также и особых требований, предъявляемых к состоянию пациентов в период инъекции препарата и получения изображения, однако для получения хороших изображений важное значение имеют обеспечение комфорта, правильного положения, неподвижности пациента и опорожнение мочевого пузыря перед исследованием.

Методика исследования. Для получения максимальной информации при одноразовом введении остеотропного РФП оптимальным является проведение поэтапного исследования ОДА при последовательно сменяющихся режимах записи сцинтиграфической информации. Вначале осуществляется регистрация активности болюса в месте введения РФП (пирфотех, пирофосфат не менее 7,4 Мбк/кг) в режиме 1 кадр/с в течение 4 с (1-й этап). При значительном снижении вводимой активности следует учитывать, что уже к третьему этапу

исследования величина активности уменьшится на 25–30% в соответствии с его периодом физического полураспада. Кроме того, ввиду равномерного распределения фосфатов во всем скелете их удельная концентрация в отдельных костях будет невысокой. Препарат вводится в локтевую вену под жгутом в положении пациента лежа на спине под детектором гамма-камеры. Затем после снятия жгута, не меняя положения больного, проводится регистрация активности в процессе формирования изображения всего тела в фазе кровяного пула и экстрацеллюлярной активности при автоматическом движении детектора над пациентом со скоростью 10–15 см/мин — 2-й этап. При этом могут быть использованы матрицы 512×2048 , 256×1024 , 128×512 . Регистрация активности и формирование изображения всего тела на двухдетекторных камерах проводятся одновременно (параллельно) в передней и задней проекциях. Используется универсальный коллиматор либо низкоэнергетический высокого разрешения, ширина окна дифференциального дискриминатора 20% (140 кэВ).

3-й этап заключается в записи изображения всего тела в фазе оптимального соотношения накопления РФП в костях и мягких тканях скелета (через 2–3 ч после введения РФП) в передней и задней проекциях в сочетании с полипозиционной сканографией различных отделов скелета. При изучении периферических отделов скелета (верхние и нижние конечности) смежные области (кости, суставы) должны находиться на одном снимке. Оптимальное число импульсов на кадр составляет 250–600 тыс., либо устанавливается единое время экспозиции, определяемое набором 800 тыс. импульсов над областью грудного отдела позвоночного столба. Применение стандартных условий записи сканограмм на ЭВМ значительно упрощает проведение сравнительного анализа накопления РФП в различных участках скелета, особенно при оценке результатов исследований у больных, наблюдаемых в динамике. Оперативный контроль сканографических данных в процессе исследования осуществляется по дисплею ЭВМ.

4-й этап исследования — однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) суставов в поперечной, сагиттальной и коронарной проекциях — осуществляется по показаниям при необходимости макроскопического установления локализации полей повышенного и пониженного уровня усвоения радионуклида и более детальной

оценки области поражения. ОФЭКТ не превосходит плоскостное изображение по пространственному разрешению, так как детектирующая система обычно располагается дальше от пациента, чем в случае получения плоскостных изображений, однако томографическое изображение характеризуется гораздо большим контрастом в связи с исчезновением воздействия ниже и выше расположенных тканей. Качественные томографические изображения костей и суставов могут быть получены при условии сочетания адекватной работы системы ОФЭКТ-камеры, правильного положения пациента, точной реконструкции томографических срезов. Сбор данных производится под углом по окружности объекта. После приема информации об одном плоскостном изображении камера поворачивается на определенный угол и принимает данные о другом плоскостном изображении (плоскостной проекции). Этот процесс “поэтапной съемки” повторяется до тех пор, пока не будут пройдены 360° (или иногда 180°) траектории. Исследование осуществляется в положении больного лежа на спине на специальном диагностическом столике для ОФЭКТ, продолжительность исследования около 30 мин. Может быть использован и другой метод, заключающийся в непрерывном повороте, когда камера поворачивается с постоянной скоростью и собирает данные в процессе ротации. При исследовании на одноканальной камере оптимальный протокол для ОФЭКТ костей и суставов, включающий в себя важные особенности, представлен ниже.

Технологический протокол ОФЭКТ

Вводимая доза	15 мКи (555 Мбк) ^{99m} Tc-пирфотех (пирофосфат, метилendisфосфонат и др.)
Начало исследования	Через 2–3 ч после внутривенного введения РФП
Матрица	128 × 128
Коллиматор	Высокого разрешения (при получении изображений мелких образований) либо универсальный. 25–30 с/проекция
Радиус вращения	14–15 см
Траектория вращения	По кругу на 180°–360°
Угол вращения	9°–12°
Толщина среза	2–6 мм

ОФЭКТ-изображения получают на основе сочетания определенного количества плоскостных изображений, регистрируемых под разными углами по отношению к выбранному объекту исследования.

Создание (реконструкция) данных. Чаще всего изображение создается профильтрованным обратным проецированием; однако в настоящее время разрабатывается оборудование, в котором используется реконструкция изображения с помощью методик повторения, характеризующихся большими возможностями коррекции и ослабления фотонов. Применяется следующая последовательность действий:

а) формирование профилей счета активности излучения для каждого ряда пикселей;

б) применение преобразований Фурье по очереди для каждой проекции;

в) фильтрация преобразованных данных. При этом каждая точка в преобразованных данных умножается на значение фильтра.

Лучевые нагрузки, противопоказания, осложнения. Лучевые нагрузки при введении рекомендуемых активностей РФП при исследовании всего скелета составляют на I группу критических органов (все тело, гонады, красный костный мозг) менее 0,01 мЗв/МБк. Лучевые нагрузки на кости регистрируются в пределах 0,22–0,28 мЗв/МБк. Согласно “Правилам и нормам применения открытых радиофармацевтических препаратов в диагностических целях” (Обнинск, 1984 г.), радионуклидные исследования не проводят женщинам в период беременности и лактации, а также детям до 16 лет, относящимся к категории ВД.

Осложнений при проведении указанного комплекса радионуклидных исследований не отмечается.

Оценка результатов остеосцинтиграфии больных системными поражениями скелета заключается в выявлении очагов аномального накопления и распределения остеотропных РФП на различных фазах их кинетики. При этом учитываются особенности накопления и распределения РФП не только в суставах, но и в костях осевого и периферического скелета, состояние внутрисуставных щелей; наличие патологической внесуставной фиксации РФП в мягких тканях скелета и других внутренних органах, соотношение интенсивности накопления РФП в почках и позвоночнике.

Полученные изображения тщательно исследуются непосредственно на экране, оценивается объем распределения маркера путем рассмотрения ряда проекций (срезов) из одно-

го и того же набора данных, полученных от конкретного пациента или выбора для анализа какой-либо одной проекции (среза). Данные ОФЭКТ исследуются в поперечной, сагитальной и фронтальной плоскостях. Во всех случаях имеется возможность производить манипуляции с цветовыми шкалами, вычитанием фона, сглаживанием, контрастированием, представлением изображения на различных матрицах, использовать программы построения изоконтуров и профилограмм.

Построение *профильных кривых* с зон интереса производится путем выбора определенного среза (вертикального или горизонтального). Анализ изображения, полученного в виде кривой, позволяет судить о степени накопления РФП на уровне выбранного среза (строки матрицы).

Построение *изоактивных зон* предусматривает автоматическое установление максимального значения активности, принимаемого за 100%, и выделение участков, характеризующихся одинаковым числом зарегистрированных импульсов.

Цветовой режим выбирается в соответствии с предпочтениями исследователя и сохраняется неизменным при изучении всех изображений.

Печатная копия служит подтверждением тех выводов, которые были сделаны при интерактивном рассмотрении изображения на компьютерном экране. Условием представления изображений в виде печатной копии (на пленке или бумаге) является стабильное выявление соответствующих данных при фиксированной степени вычитания фона (которая может варьировать в зависимости от исследуемого заболевания) и одинаковом контрасте в разных плоскостях.

При количественной идентификации области относительного уменьшения или увеличения концентрации маркера, при расчете коэффициента или индекса относительного накопления препарата (ИН) между очагом (зоной интереса) и эталонной областью в качестве последней может служить регистрируемая активность над областью болюса в месте его введения. Последняя соответствует величине введенной активности и принимается за 100%.

Значения ИН определяются для суставов и костей осевого и периферического скелета, мягких тканей скелета, почек. Рассчитывается также отношение ИН почка/ИН позвоночный столб.

При отсутствии поражения скелета колебания значений ИН в симметричных участках парных костей и суставах, а также рядом расположенных позвонках не превышают 6–8%. Для обозначения степени гиперфиксации РФП в зоне поражения (по аналогии с результатами других органов и систем организма) различают четыре степени накопления РФП: I степень – незначительная (ИН выше значения нормы на 15–25%); II – умеренная (ИН выше значения нормы на 25–50%); III – высокая (ИН выше значения нормы на 50–70%); IV степень – резко выраженная (ИН выше значения нормы на 75%).

По аналогии с оценкой результатов планарной сцинтиграфии ОФЭКТ предусматривает расчет соотношения радиоактивностей в выбранной интересующей области и в эталонной области. При этом вместо эталонной области можно также использовать общий счет радиоактивности в данном срезе или в группе срезов. Это менее чувствительный способ по сравнению с использованием конкретной области, однако он в меньшей степени подвержен влиянию случайных вариаций, которые могут наблюдаться в эталонных областях, и поэтому является более надежным. Можно также перевести величину счета радиоактивности в зоне интереса в проценты или баллы, показывающие отклонение данной величины от среднего значения для всех исследованных интересующих областей.

В зависимости от накопления и характера распределения РФП в костной ткани различают: нормальную, повышенную и сниженную ее метаболическую активность, а в пораженных суставах – воспалительный, дистрофический (метаболический) и смешанный типы поражения.

В норме в фазе “кровяного пула” активность равномерно распределяется по всему телу с повышением ее в области органов с интенсивным кровообращением (сердце, печень, почки) и уровнем фона в области суставов (рис. 1а).

Для сканограмм всего тела (рис. 1б), выполненных в фазе оптимального накопления остеотропного РФП, характерна равномерная концентрация препарата на единицу массы костной ткани. На изображении верхних конечностей в передней проекции видны плечевая, локтевая и лучевая кости, отмечается диффузная активность лучезапястных суставов и области запястья, но отдельные кости запястья неразличимы, фаланги и межфаланго-

вые суставы плохо контрастируются. На изображении нижних конечностей визуализируются бедренная кость и кости голени, имеется незначительное повышение активности диффузного характера в эпифизах костей, составляющих коленные и голеностопные суставы. Уменьшение контрастности от эпифиза к диафизу постепенное, минимальная контрастность соответствует внутрисуставным хрящам (суставная щель). Отдельные кости области стоп, так же как и области запястья, неразличимы. Исключение составляют подростки с незакончившимся периодом роста, у которых имеется выраженное повышение активности в зонах роста.

При полипозиционной статической сцинтиграфии области позвоночного столба (рис. 2б) отчетливо определяются границы каждого позвонка, распределение РФП на всем протяжении позвоночного столба равномерное, контрастность изображения его слегка превышает таковую в почках.

При полипозиционной статической сцинтиграфии черепа передняя проекция (рис. 2а) характеризуется повышенным захватом РФП областью лицевого черепа по сравнению с костями свода черепа. В задней проекции наибольшая активность регистрируется в шейном отделе позвоночника – с постепенным уменьшением уровня активности в височных, затылочной и теменной костях.

При сцинтиграфии области таза в задней проекции (рис. 2г) максимально контрастируются подвздошно-крестцовые сочленения, в передней (рис. 2в) – подвздошные ости.

ОФЭКТ-изображения костей и суставов характеризуются равномерным и идентичным распределением активности в парных костях и суставах во всех проекциях и отчетливой визуализацией внутрисуставных щелей (рис. 1–3).

Профильные кривые с области симметричных костей и суставов имеют равномерный характер с двумя пиками, по одному над каждой из сторон. Кривая с области крестцово-подвздошных (КП) суставов имеет три пика, по одному над каждым КП суставом и над крестцовой костью (рис. 4).

Уровень регистрируемой активности в почках примерно соответствует либо несколько ниже такового позвоночного столба, а в мягких тканях скелета – очень незначительно отличается от фона и составляет не более 1,5% от введенной активности. При превышении указанных уровней фиксация препарата в почках

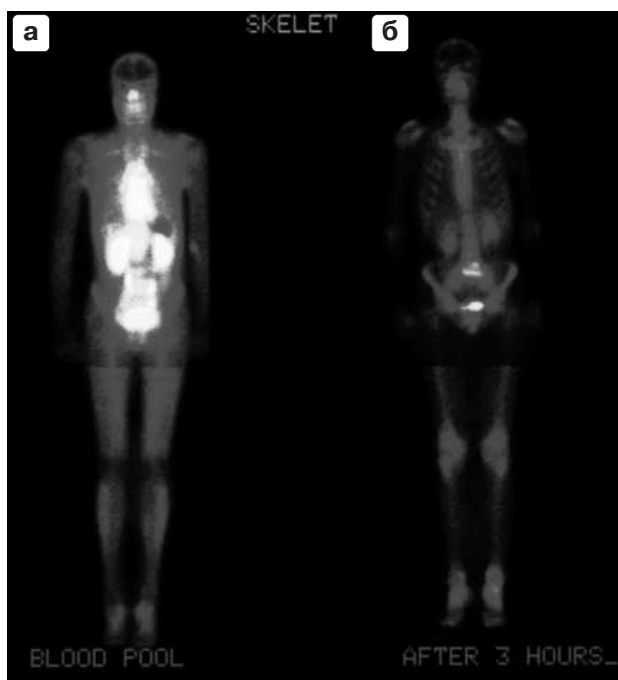


Рис. 1. Сканограммы всего тела в норме (передняя проекция): а – на фазе “кровяного пула”, б – на фазе оптимального соотношения накопления РФП в костях и мягких тканях скелета (через 3 ч после введения РФП).

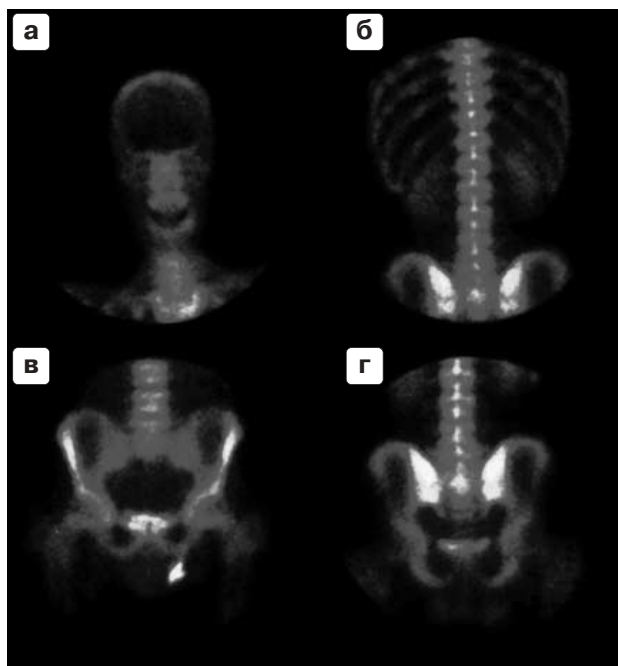


Рис. 2. Сцинтиграфическое изображение различных отделов скелета в норме при полипозиционной сцинтиграфии: а – череп (передняя проекция), б – нижнегрудная, поясничная и тазовая (частично) области (задняя проекция), в – область таза (передняя проекция), г – задняя проекция таза.

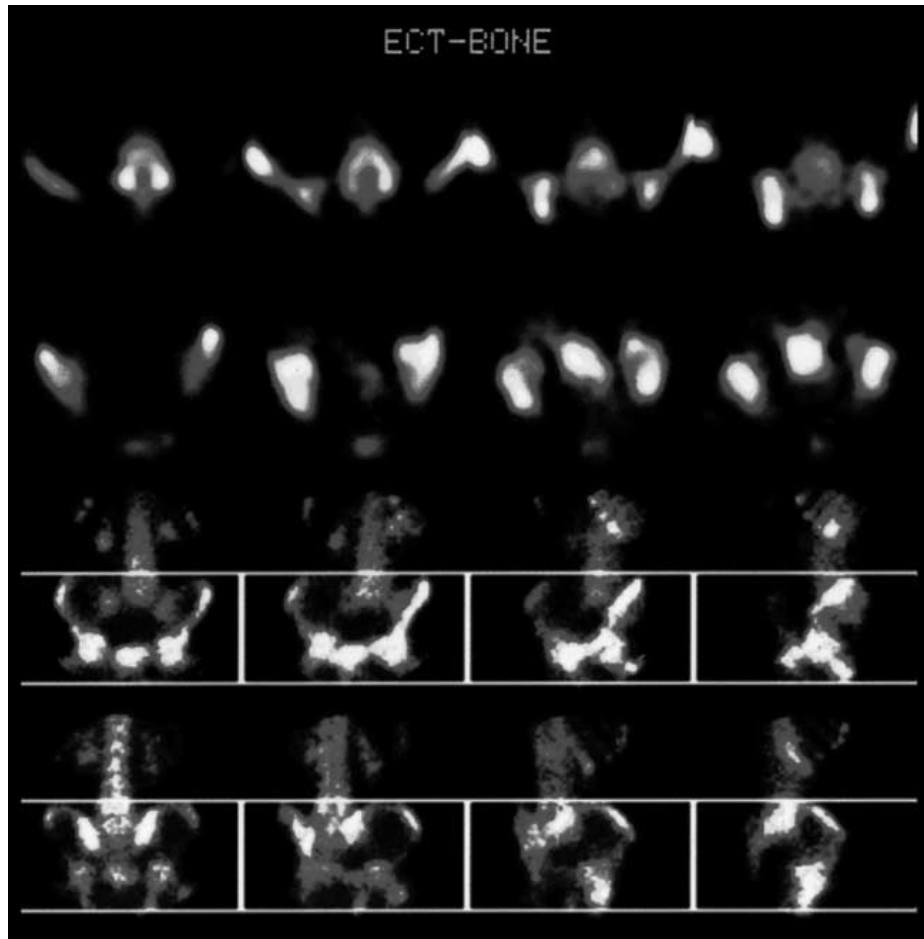
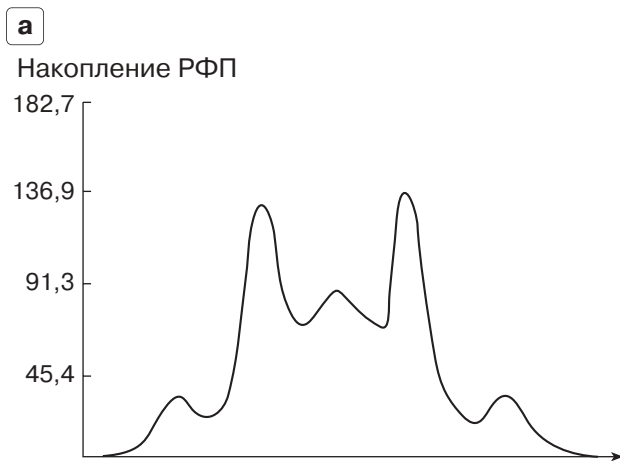


Рис. 3. Трансаксиальные эмиссионные томограммы подвздошно-крестцовых сочленений в норме.



и мягких тканях скелета рассматривается как патологическая.

При патологии повышенная или сниженная метаболическая активность костной ткани проявляется диффузным увеличением либо уменьшением накопления РФП по сравнению с нормой.

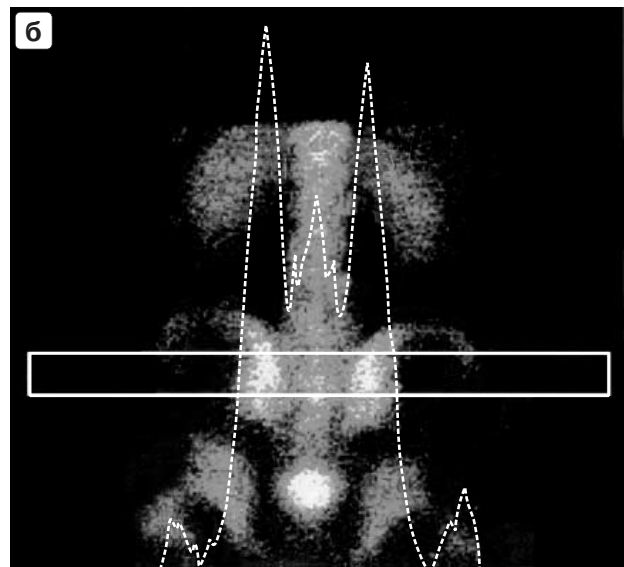


Рис. 4. Сканограмма таза с профилограммой, отражающей характер накопления РФП на уровне подвздошно-крестцовых сочленений и области крестца в норме (а) и при левостороннем сакроилеите (б).

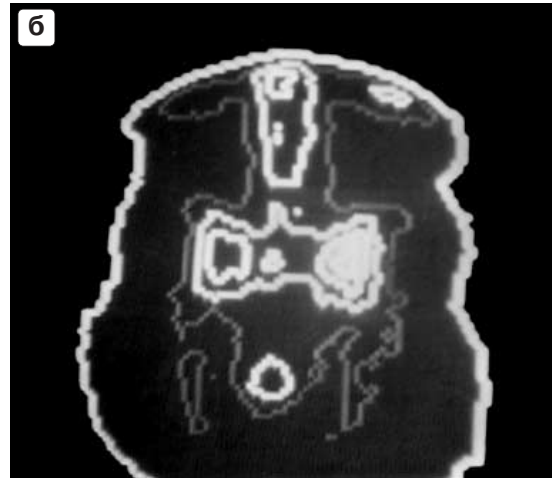
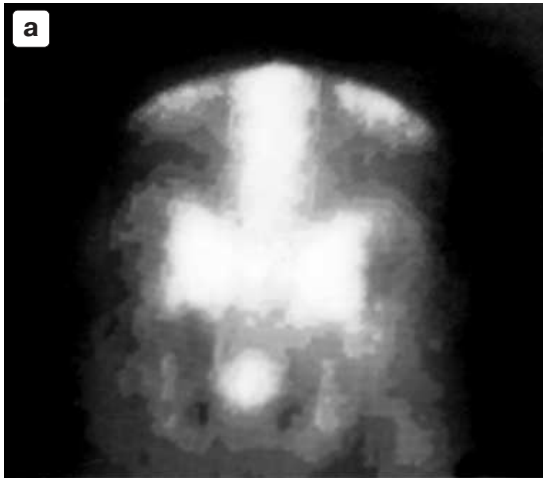


Рис. 5. Задняя планарная сцинтиграмма таза (а) с плохо различимой разницей фиксации РФП в области подвздошно-крестцовых сочленений и отчетливой зоной максимальной фиксации РФП в правом подвздошно-крестцовом сочленении, выделенной с помощью построения изоконтурных кривых (б).

Воспалительные поражения суставов характеризуются гиперфиксацией радионуклида как на ранней (ангиографической), так и на отсроченной (через 2–3 ч) фазах исследования. Повышенная фиксация препарата на фазе “кровяного пула” определяется в области синовиальной оболочки и периартикулярных мягких тканей, а при отсроченных исследованиях – в эпиметафизах костей, составляющих сустав. Суставная щель в подавляющем большинстве случаев представляется деформированной и отчетливо не дифференцируется.

Дистрофический (метаболический) тип при сканировании проявляется отсутствием накопления РФП в области сустава в фазе “кровяного пула” и гиперфиксацией радиоиндикатора диффузного характера в эпиметафизах костей на отсроченных сканограммах. Суставную щель чаще можно проследить в виде неактивной

продольной полосы. Смешанный тип характеризуется сочетанием обоих типов поражения.

Профильные кривые теряют равномерный характер (амплитуда на стороне поражения повышается по сравнению с противоположным симметричным участком). Изосчетные линии в симметричных отделах костей и суставов в норме идентичны, при патологии имеют явные различия (рис. 5).

Необходимо отметить, что качественный анализ изображений скелета хотя и зависит от опытности исследователя, однако в большом количестве случаев можно достаточно полно оценить объем и характер распределения маркера в костях и суставах, выявить очаги аномального накопления и распределения остеотропных РФП в них, не прибегая к технически более сложным методам, в том числе и количественной оценке.

ПО СТРАНИЦАМ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ

РАБОЧАЯ НАГРУЗКА РАДИОЛОГОВ В США

Mythreyi Bhargavan и J.H. Sunshine (Am. J. Roentgenol. 2002. V. 179. P. 1123–1128) опубликовали данные Американского колледжа радиологов о рабочей нагрузке радиологов-диагностов в США. В период 1998–1999 гг. эта нагрузка составила 12800 исследований в год и по сравнению с 1995–1996 гг. возросла на 8,5%. Но число выполняемых процедур было разным в группе частнопрактикующих радиологов (13600 в год) и в группе радиологов, работающих в универ-

ситетских центрах (9400 процедур). Общий рост числа процедур был связан с увеличением доли более сложных исследований (например, МРТ и КТ).

МРТ И ЭЛКТ В ДИАГНОСТИКЕ СТЕНОЗОВ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ

В журнале Diagnostic Imaging Europe (November, 2002) сообщается о работе группы радиологов, посвященной возможностям электроннолучевой КТ и МРТ в выявлении стенозов коронарных артерий. Сама работа была опублико-

вана в Am. J. Cardiol. в июле 2002 г. ЭЛКТ выполняли при задержке дыхания с применением изоосмолярного неионного контрастного вещества. Как ЭЛКТ, так и МРТ обеспечивали неинвазивную визуализацию коронарных артерий. При обследовании 11 женщин и 16 мужчин в возрасте от 38 до 76 лет у 19 из них были обнаружены 34 стеноза (у 10 пациентов в одном сосуде, у 6 – в двух и у 3 пациентов – в трех артериях). Чувствительность, специфичность и точность ЭЛКТ составили 70, 95 и 91%, а МРТ – 46, 90 и 82% соответственно.