

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ И ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

ОСНОВЫ РАДИОНУКЛИДНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Учебно-методическое пособие



Минск БГМУ 2019

УДК 616-073(075.8)

ББК 53.6я73

О-75

Рекомендовано Научно-методическим советом университета в качестве учебно-методического пособия 20.02.2019 г., протокол № 6

Авторы: ассист. С. Л. Качур; ассист. Г. А. Алесина; канд. мед. наук, доц. Т. Ф. Тихомирова; канд. мед. наук, доц. И. И. Сергеева; канд. мед. наук, доц. А. И. Алешкевич

Рецензенты: канд. мед. наук, доц., зав. каф. ультразвуковой диагностики Белорусской медицинской академии последипломного образования О. М. Жерко; канд. мед. наук, доц. каф. лучевой диагностики Белорусской медицинской академии последипломного образования Т. Н. Лукьяненко

Основы радионуклидной диагностики : учебно-методическое пособие / С. Л. Качур [и др.]. – Минск : БГМУ, 2019. – 39 с.

ISBN 978-985-21-0417-3.

Освещены основные вопросы раздела учебной программы, посвященного радионуклидной диагностике: изложены методики проведения исследований, даны показания и противопоказания к их применению; описаны особенности радионуклидного исследования щитовидной железы, печени, почек; приведена семиотика патологических изменений.

Предназначено для студентов 3-го курса лечебного, педиатрического факультетов и медицинского факультета иностранных учащихся, может быть рекомендовано также для обучения врачей-интернов и клинических ординаторов.

УДК 616-073(075.8)

ББК 53.6я73

ISBN 978-985-21-0417-3

© УО «Белорусский государственный
медицинский университет», 2019

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- КТ — компьютерная томография
МРТ — магнитно-резонансная томография
ПЭТ — позитронно-эмиссионная томография
РФП — радиофармацевтический препарат
ЭКТ — эмиссионная компьютерная томография
ОФЭКТ — однофотонная эмиссионная компьютерная томография
УЗИ — ультразвуковое исследование
ДТРА — диэтилентриаминпентаацетат
MAG3 — бензоилмеркаптоацетилглицерин
DMSA — 2,3-димеркаптоянтарная кислота

МОТИВАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕМЫ

Тема занятия: Принципы и основы радионуклидной диагностики. Радионуклидная диагностика щитовидной железы, печени и почек.

Общее время занятий: 9 ч.

Трудно назвать область практической медицины, где не использовались бы методы радионуклидной диагностики. По своей значимости они не уступают таким современным диагностическим методам, как рентгеновская КТ и МРТ, а в некоторых ситуациях даже превосходят их. В отличие от КТ и МРТ с их высокой чувствительностью и специфичностью методы радионуклидной диагностики способны отразить не только морфологические изменения, но и динамику физиологических и биохимических процессов, рассмотреть их на клеточном уровне.

Существующий сегодня арсенал РФП позволяет проводить функциональные исследования практически всех органов. Радионуклидная диагностика не стоит на месте. Внедряются в практику новые методы — ПЭТ/КТ, ПЭТ/МРТ. Использование гидридных методик позволило более точно определять топографическую локализацию очагов аномального распределения РФП.

Базовые знания по вопросам радионуклидной диагностики являются обязательными для врача любой специальности.

Цель занятия: ознакомиться с общими вопросами, методами и технологиями радионуклидной диагностики; изучить особенности радионуклидной диагностики щитовидной железы, печени, почек.

Задачи занятия:

- усвоение знаний по классификации методов радионуклидной диагностики;
- получение представления о технологиях радионуклидных исследований;
- усвоение знаний о показаниях и противопоказаниях к проведению различных методов радионуклидной диагностики;
- усвоение знаний об особенностях формирования визуальной информации, достоинствах и недостатках методов;
- приобретение практических навыков по интерпретации результатов радионуклидных исследований щитовидной железы, печени, почек;
- приобретение практических навыков оформления протоколов исследования щитовидной железы, печени, почек.

Требования к исходному уровню знаний. Успешное изучение темы «Принципы и основы радионуклидной диагностики. Радионуклидная диагностика щитовидной железы, печени и почек» основывается на базе приобретенных студентом знаний и умений из следующих дисциплин:

- физика: радиоактивность, виды радиоактивных распадов, характеристики различных видов ионизирующих излучений (рентгеновских лучей, гамма-излучения, потоков частиц).
- радиационная медицина: воздействие различных видов ионизирующих излучений и физических явлений на живой организм; дозиметрия, виды дозы; радиационная безопасность при лучевых исследованиях в медицине, эффективная эквивалентная доза.
- нормальная анатомия и нормальная физиология: щитовидная железа, гепатобилиарная и мочевыделительная системы.

Контрольные вопросы по теме занятия:

1. На чем основаны методы радиоизотопной диагностики?
2. Показания и противопоказания к радиоизотопной диагностике.
3. Какие методики радиоизотопной диагностики вы знаете? В чем заключается их сущность, и какова разрешающая способность?
4. Какие патологии можно выявить с помощью радиометрии, радиографии, сканирования, сцинтиграфии?
5. Дайте определение понятий «горячий очаг», «холодный очаг».
6. Этапы йодного обмена в организме.
7. Показания и противопоказания для исследования щитовидной железы, печени, почек методами радионуклидной диагностики.
8. Методы радионуклидной диагностики щитовидной железы, печени, почек.
9. Радиоизотопная диагностика заболеваний щитовидной железы, печени, почек.

ОСНОВЫ РАДИОНУКЛИДНОЙ ДИАГНОСТИКИ

В клинической практике все большее значение приобретают мало-травматичные способы диагностики заболеваний внутренних органов, среди которых можно выделить и радионуклидную диагностику. Это самостоятельный научно обоснованный клинический раздел лучевой диагностики, предназначенный для распознавания патологических состояний отдельных органов и систем с помощью радионуклидов и меченых соединений. Методы радионуклидной диагностики основаны на принципе регистрации и измерения излучений от введенных в организм РФП или на регистрации излучения от биологических материалов.

Радиофармацевтический препарат (меченое соединение, индикатор) — химическое соединение, содержащее в своей молекуле определенный радионуклид. Применяемые при этом радионуклиды отличаются от своих аналогов (стабильных элементов), содержащихся в организме или поступающих в него с пищевыми продуктами, лишь физическими свойствами, т. е. способностью распадаться и давать излучение. Поэтому исследования с использованием небольших индикаторных количеств радионуклидов воспроизводят перемещение этих элементов в организме, не влияя на течение физиологических процессов. С помощью РФП можно изучать состояние обмена веществ, функцию органов и систем, скорости движения крови и лимфы, обмена газов, течение секреторно-экскреторных процессов, а также получать анатомотопографические изображения органов и тканей.

Требования, предъявляемые к РФП:

1. Применение конкретного РФП должно быть физиологически обоснованным.

2. РФП должен иметь низкую радиотоксичность. Радионуклид, входящий в состав РФП, должен создавать минимальную лучевую нагрузку на организм обследуемого. Известно, что активность введенного в тело человека препарата со временем уменьшается как вследствие распада его атомов (т. е. физического процесса), так и в связи с выведением его из организма (т. е. биологического процесса). Время распада половины общего количества ядер атомов радионуклида называют *физическим периодом полураспада* ($T_{\text{физ}}$) (табл. 1). Время, за которое активность препарата, введенного в организм, уменьшается вдвое в результате выведения, называют *периодом биологического полувыведения* ($T_{\text{биол}}$). Время, в течение которого активность введенного препарата уменьшается вдвое за счет обоих процессов, называют *эффективным периодом полувыведения* ($T_{\text{эфф}}$).

3. Энергия излучения РФП составляет от 50 до 400 кэВ (наиболее часто используются РФП с энергией излучения 100–250 кэВ).

4. $T_{\text{эфф}}$ соответствует времени исследования (от 6–10 ч до 14 сут).

5. РФП — стойкое химическое соединение с отсутствием фармакологического действия.

Физические периоды полураспадов изотопов, входящих в состав РФП

Изотоп	РФП, в составе которого можно встретить данный изотоп	Период полураспада физический	Применение в медицине
^{131}I	Бенгальский розовый, гиппуран, йодид натрия, альбумин человеческой сыворотки	8,05 сут	Радионуклидное исследование щитовидной железы, поглочительно-выделительной функции печени и почек
^{123}I	Йодид натрия, гиппуран	60 сут	Радионуклидное исследование щитовидной железы, почек
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	Пертехнетат, ДТРА, DMSA, МАГЗ, МАА, глюкогептонат, фитат, НДА, гидроксипрофосфат, метилendifосфонат	6 ч	Радионуклидное исследование щитовидной железы, печени, почек, легких
^{201}Tl	—	73 ч	Радионуклидное исследование сердечно-сосудистой системы
^{127}Xe	—	36,3 сут	Радионуклидное исследование легких
$^{81\text{m}}\text{Kr}$	—	13,1 с	Радионуклидное исследование легких
^{198}Au	Коллоидные растворы	2,7 сут	Радионуклидное исследование барьерной функции печени
$^{113\text{m}}\text{In}$	Коллоидные растворы, гидроксид индия, макроагрегат человеческой сыворотки	1,7 ч	Радионуклидное исследование барьерной функции печени
^{197}Hg	Неогидрин	2,7 сут	Сканирование почек

РФП делятся на группы: органотропные, опухолотропные и без выраженного селективного накопления.

Преимуществом радионуклидной диагностики по сравнению с другими методами является ее универсальность, поскольку радионуклидные исследования применимы для диагностики заболеваний и повреждений различных органов и систем. Эта универсальность обусловлена возможностью исследования биохимических процессов и анатомо-функциональных изменений, т. е. всего комплекса нарушений, имеющих при различных патологических состояниях.

Задачи радионуклидной диагностики:

- 1) изучение функционального и морфологического состояния органов;
- 2) верификация диагноза;
- 3) ранняя диагностика онкологической патологии с установлением стадии заболевания по системе TNM;
- 4) осуществление контроля за эффективностью проводимого лечения.

Противопоказания к радионуклидным исследованиям:

- 1) женщины репродуктивного возраста в период установленной или возможной беременности;

- 2) женщины в период лактации;
- 3) дети до 16 лет, исследования которым проводятся с профилактической целью.

Методы радионуклидной диагностики можно разделить на 2 большие группы: *in vivo* и *in vitro*. Исследования *in vitro* не сопровождаются введением РФП в организм пациента, что исключает лучевую нагрузку. В отличие от методики исследований *in vitro* другие способы радионуклидной диагностики — *in vivo* — сопровождаются введением РФП пациенту преимущественно внутривенным способом. Такие исследования, естественно, связаны с определенной лучевой нагрузкой на пациента, находящейся, однако, в пределах допустимых величин, не превышающих дозу облучения при выполнении одного рентгеновского снимка.

Методы *in vivo* подразделяются:

- 1) на динамические методы, которые позволяют оценить функциональное состояние исследуемых органов или систем: радиометрия, радиография (гамма-хронография), динамическая сцинтиграфия;

- 2) статические (гамма-топографические) методы, позволяющие получить информацию об анатомо-топографическом состоянии внутренних органов и систем. К ним относятся сканирование, статическая сцинтиграфия.

Методы *in vitro* подразделяются на радиоиммунный анализ и иммунорадиометрический анализ.

Все радиодиагностические приборы устроены по единому принципу (независимо от их конкретного назначения). Каждый из них состоит из 3 блоков:

1. Детектор (сцинтилляционный кристалл йодида натрия) — часть прибора, воспринимающая ионизирующее излучение и преобразующая его в электрические сигналы.

2. Блок электроники, обеспечивающий необходимые манипуляции с электрическими сигналами.

3. Блок индикации — система представления врачу данных о радиоактивности на дисплей в виде *числовых значений, кривых, анатомо-топографических изображений*.

В зависимости от способа и типа регистрации излучений все приборы разделяются на следующие группы (рис. 1):

- 1) радиометры (лабораторные и медицинские);
- 2) радиографы;
- 3) сканеры;
- 4) сцинтилляционные гамма-камеры.

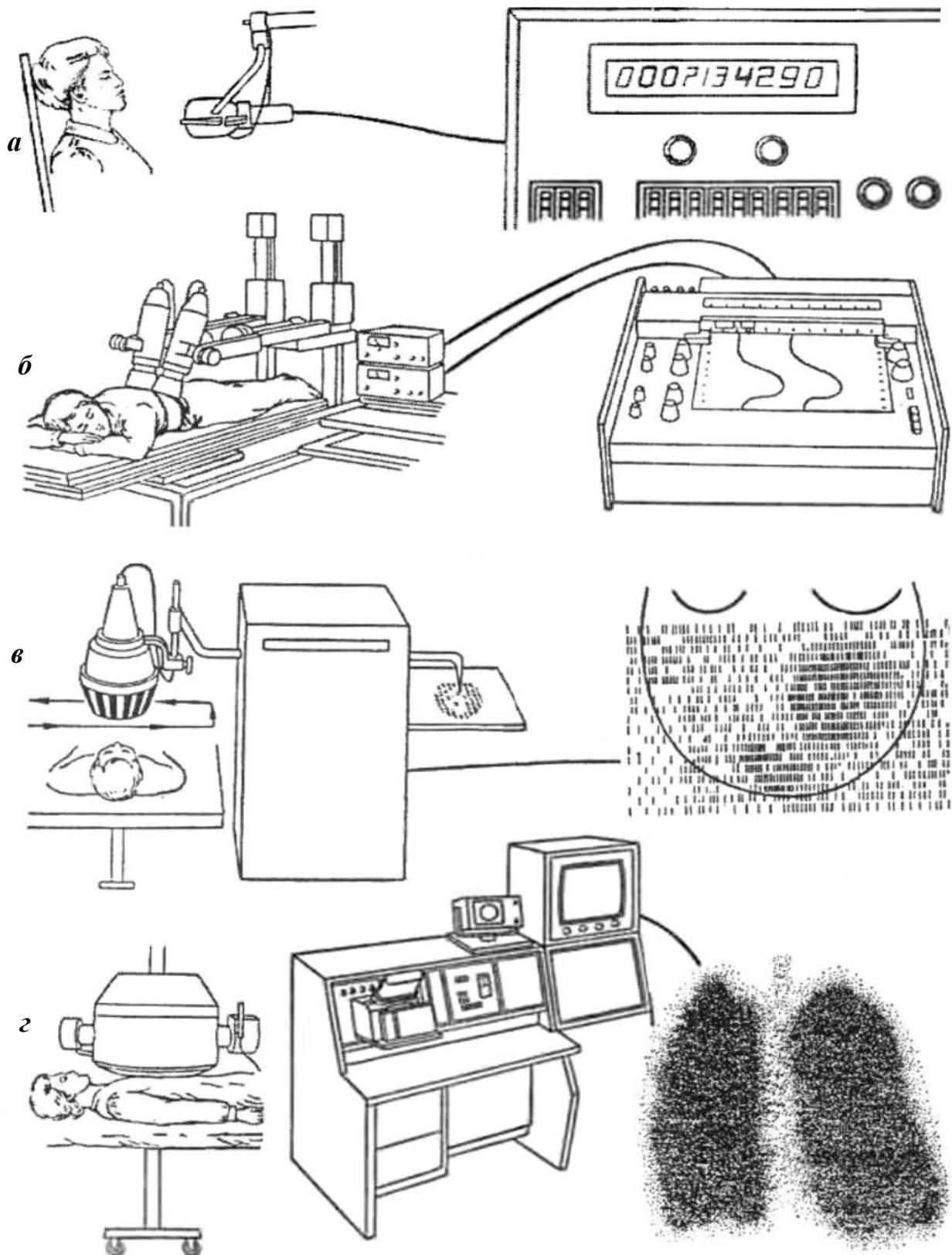


Рис. 1. Радиодиагностические приборы и схемы получения результатов исследования:
 а — радиометр; б — радиограф; в — сканер; z — гамма-камера

ДИНАМИЧЕСКИЕ РАДИОНУКЛИДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Клиническая радиометрия — метод измерения радиоактивности всего тела (части его) после введения в организм РФП путем получения относительных или абсолютных численных показателей, свидетельствующих о концентрации РФП в исследуемых органах и тканях.

Показания: изучение относительно статических, т. е. медленно протекающих процессов накопления в органах и тканях РФП и его выведения, когда требуется измерение либо однократное, либо многократное — через достаточно большие промежутки времени: минуты, часы или сутки (исследование йодного обмена при оценке состояния щитовидной железы).

Радиография (гамма-хронография) — метод непрерывной или дискретной регистрации процессов накопления, перераспределения и выведения РФП из организма или отдельных органов путем получения записи кривой (рис. 2).

Показания: изучение быстропротекающих физиологических процессов (кровотока, газообмена, секреторно-экскреторной функции некоторых органов).



Рис. 2. Радионуклидное исследование функции слюнных желез (радиосиалограмма) в норме (сплошная кривая — правая околоушная слюнная железа; прерывистая — левая околоушная железа):

1 — сосудистая фаза; 2 — секреторная фаза; 3 — фаза равновесия; 4 — фаза экскреции; 5 — фаза повторного накопления РФП

Динамическая сцинтиграфия выполняется быстро, а полученная серия сцинтиграмм дает возможность совмещать статические и динамические исследования (рис. 3).

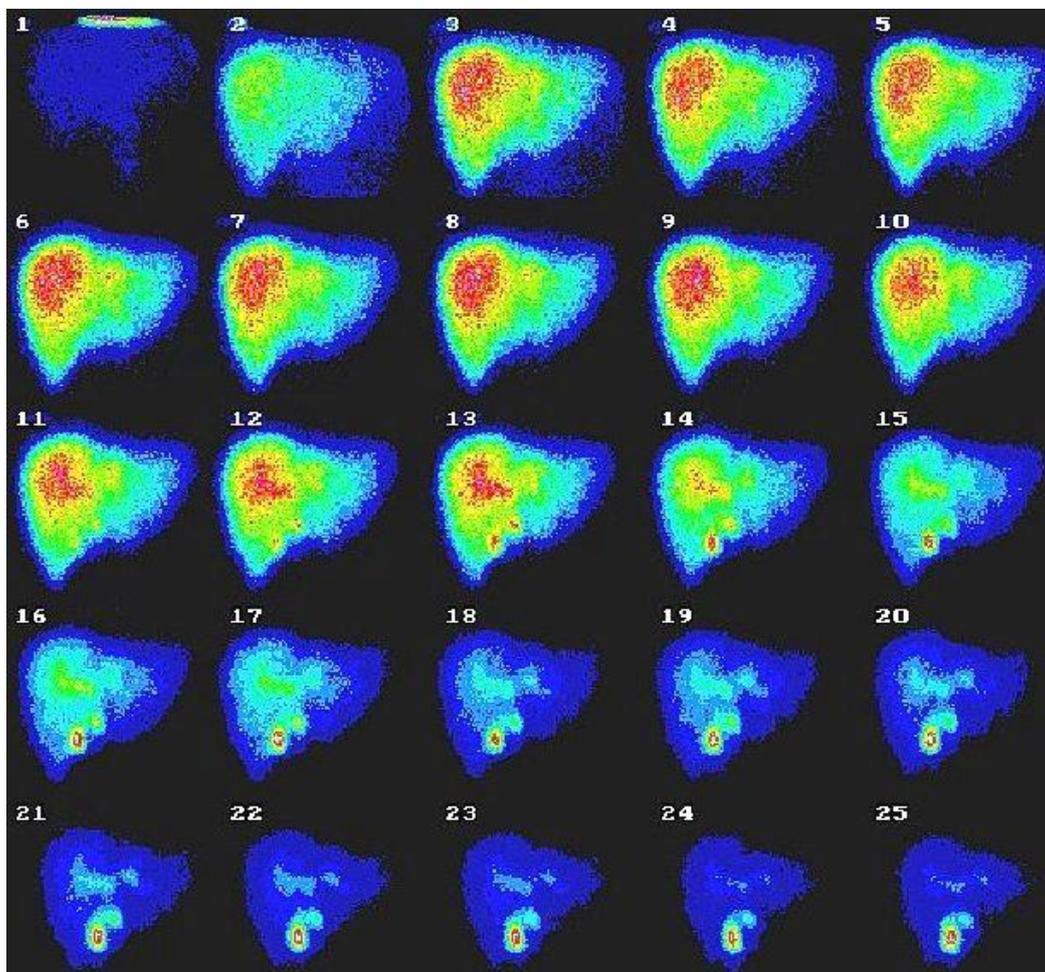


Рис. 3. Динамическая сцинтиграфия печени

СТАТИЧЕСКИЕ РАДИОНУКЛИДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сканирование (англ. scanning от scan — внимательно смотреть, рассматривать) — метод радионуклидной диагностики, который основан на получении двухмерного изображения, отражающего распределение РФП в тканях организма. В клинической практике его используют для исследования почек, печени, легких, щитовидной железы, поджелудочной железы, головного мозга, скелета и др. Исследование проводят с помощью радиодиагностического прибора — сканера. Импульсы излучения автоматически регистрируются построчно движущимся детектором, а затем с помощью специального электронного блока трансформируются в штриховые или цифровые отметки на обычной бумаге. Штриховые или цифровые строчки, постепенно заполняя поле регистрации, образуют сканограмму (рис. 4). По плотности штриховки и ее распределению, а также по цифровым значениям судят о степени накопления РФП в различных участках изучаемой области. В системах цветного сканирования штрихи сканограммы имеют различный цвет. Каждому цвету соответствует определенное число импульсов в единицу времени, а в зависимости от интенсивности излучения цвет штрихов меняется.

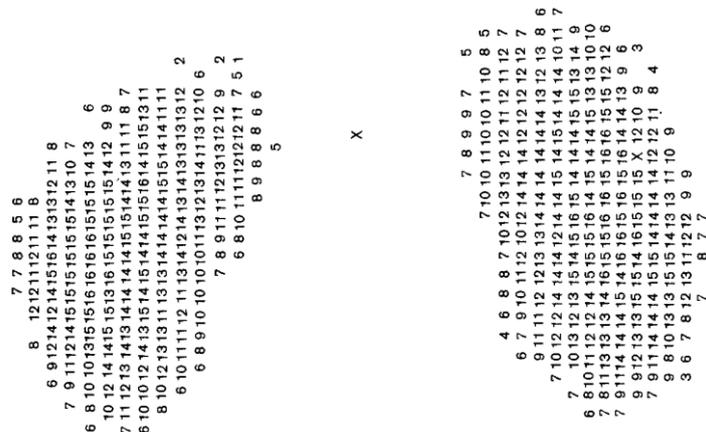


Рис. 4. Сканограмма почек, полученная на цифropечатающем сканере

Статическая сцинтиграфия (лат. scinti[llare] — сверкать, мерцать + греч. Graphō — писать, изображать) — метод радионуклидной диагностики, основанный на визуализации распределенного в тканях организма РФП в определенный момент времени. Регистрация излучения проводится с помощью сцинтилляционной гамма-камеры (рис. 5, 6).



Рис. 5. Гамма-камера

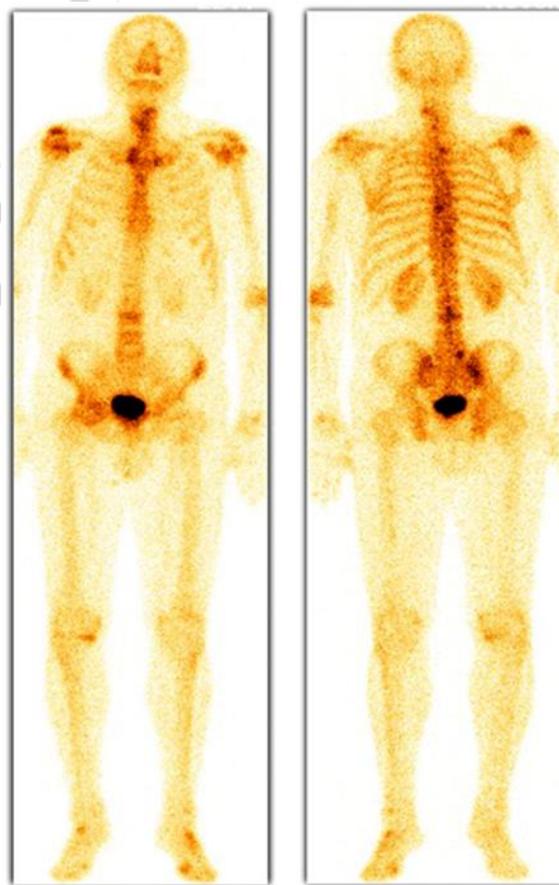


Рис. 6. Статическая остеосцинтиграфия

Показания:

- 1) уточнение топографии внутренних органов (при диагностике пороков развития);
- 2) диагностика патологических процессов;
- 3) определение объема и степени поражения органа или системы.

РАДИОНУКЛИДНАЯ ДИАГНОСТИКА IN VITRO

Радиоиммунный анализ был разработан R. S. Yalow и S. A. Berson в 50-х гг. прошлого века. Он основан на конкуренции определяемого антигена из клинического материала с определенным количеством идентичного, меченного изотопом антигена с ограниченным количеством антител.

Показания: определение в сыворотке крови (любом биосубстрате: моче, слюне и т. д.) концентрации биологически активных веществ (гормонов, ферментов, аминокислот, опухолевых маркеров и др.).

Радиоиммунный анализ применяется в онкологии, эндокринологии, кардиологии, педиатрии, акушерстве и гинекологии, токсикологии, аллергологии.

Иммунорадиометрический анализ основан на определении антител с помощью изотопной метки. В качестве примеров можно привести радиоаллергосорбентный тест, а также определение онкомаркеров в крови (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика некоторых онкомаркеров

Онкомаркер	Нормальное значение показателя	Органы, в которых диагностируется опухоль
CEA (carcinoembryonic antigen)	8 ng/ml	Легкие, молочные железы, глотка, органы желудочно-кишечного тракта, желчный пузырь, почки, яичники, яички
AFP (alpha-1-fetoprotein)	0–5 IU/ml	Легкие, молочные железы, желудок, печень, яичники
HCG (human chorionic gonadotropin)	0–5 IU/ml	Кишечник, почки, матка, плацента (хорион)
CA 125 (carbohydrate antigen)	0–30 IU/ml	Молочные железы, матка, яичники, печень (метастазы в нее опухолей других органов)
CA 15-3 (carbohydrate antigen)	0–22 IU/ml	Молочные железы, легкие, желудок, печень, поджелудочная железа, матка
CA 19-9 (carbohydrate antigen)	0–30 IU/ml	Желудок, кишечник, желчный пузырь, желчевыводящие пути, матка, печень (в том числе метастазы в нее опухолей других органов)
CA 50 (carbohydrate antigen)	0–10 IU/ml	Легкие, пищевод, желудок, поджелудочная железа, печень (в том числе метастазы в нее опухолей других органов), желчевыводящие пути, матка
CA 72-4 (carbohydrate antigen)	0–3 ng/ml	Легкие, пищевод, желудок, поджелудочная железа, печень (в том числе метастазы в нее опухолей других органов), желчевыводящие пути, матка
PSA (prostate-specific antigen)	0–5 ng/ml	Предстательная железа

В последнее десятилетие получили распространение новые методы радионуклидной диагностики, например ЭКТ — получение томографического среза путем компьютерной реконструкции изображения за счет вращения де-

тектора (гамма-камеры). Выделяют одно- и двухфотонную (позитронную) ЭКТ.

При *однофотонной эмиссионной компьютерной томографии* детектор радионуклидного томографа регистрирует гамма-излучение, вращаясь по заданной программе вокруг тела человека, которому предварительно введен РФП. В результате получают изображения исследуемого органа в виде срезов, которые затем анализируются. Метод используется при исследованиях всех органов.

Позитронно-эмиссионная томография основана на регистрации гамма-квантов, которые образовались в результате распада и аннигиляции введенных в организм человека позитронизлучающих РФП.

Позитрон — частица, имеющая массу, равную массе электрона, с зарядом +1. Позитрон, пролетая в веществе 1–3 мм и сталкиваясь с атомами, теряет свою кинетическую энергию и аннигилирует с образованием двух гамма-квантов. Эти кванты разлетаются в противоположные стороны. Два детектора, расположенные друг против друга, регистрируют совмещенные аннигиляционные фотоны (рис. 7).

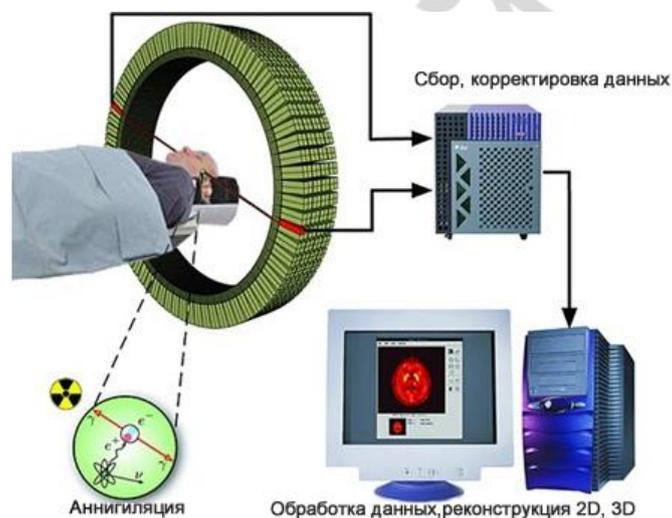


Рис. 7. Схема получения изображения при ПЭТ-диагностике

ПЭТ позволяет проводить количественную оценку концентрации радионуклидов и обладает более широкими возможностями для изучения метаболических процессов в сравнении со сцинтиграфией.

В отличие от КТ и МРТ при ПЭТ оцениваются функциональные изменения на уровне клеточного метаболизма. Это очень важно, поскольку изменения на функциональном клеточном уровне предшествуют морфологическим изменениям.

Для ПЭТ используют ультракороткоживущие позитронизлучающие радионуклиды, период полураспада которых исчисляется минутами или секундами. Исключение составляют фтор-18 и рубидий-82.

Самым распространенным РФП, применяемым для ПЭТ в клинической практике, является фтор-19-дезоксиглюкоза ($T_{\text{физ}} = 109,7$ мин). Исследования выполняют спустя 30–60 мин после внутривенного введения РФП. ПЭТ

с фтор-19-дезоксиглюкозой обладает высокой чувствительностью (94–100 %) в диагностике ряда онкологических заболеваний, однако специфичность, по данным ряда авторов, колеблется в пределах 60–100 %. Ложноположительные результаты, как правило, обусловлены воспалительными процессами. Повышенное накопление фтор-19-дезоксиглюкозы может наблюдаться при таких заболеваниях, как туберкулез, микоз, саркоидоз, послеоперационные инфекции, лучевые поражения и др.

Большинство сложностей и ошибок ПЭТ-диагностики происходят из-за анатомической бедности изображений ПЭТ, поэтому в последние годы широко используется ПЭТ, совмещенная с КТ или МРТ.

Показания к ПЭТ/КТ, ПЭТ/МРТ в онкологии:

- 1) выявление злокачественных новообразований;
- 2) оценка распространенности опухоли (стадирование/рестадирование);
- 3) оценка эффективности проведенного лечения;
- 4) выявление рецидивов (при повышении уровней опухолевых маркеров в сыворотке крови);
- 5) выявление первичного опухолевого очага (при уже выявленных метастазах);
- 6) диагностика рецидива опухоли;
- 7) планирование лучевой терапии;
- 8) определение наиболее «агрессивного» участка опухоли для планирования биопсии;
- 9) динамическое наблюдение.

Противопоказанием к ПЭТ/КТ, ПЭТ/МРТ является беременность (подтвержденная или предполагаемая).

РАДИОНУКЛИДНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Щитовидная железа состоит из двух долей и перешейка. Длина каждой доли варьирует и составляет около 3 см, а ширина — около 3–4 см. Правая доля располагается немного выше левой. В редких случаях может выявляться дополнительная пирамидальная доля. Обычно у взрослых она атрофируется и не определяется.

Стандартное положение щитовидной железы — это область нижней трети шеи, на уровне перстневидного хряща и ниже. Доли располагаются по сторонам от трахеи. Кроме стандартного положения, выделяют несколько вариантов аномальной локализации щитовидной железы. К ним относят сублингвальную (интралингвальную, лингвальную) и ретростермальную (субстермальную, интратрахеальную) локализации щитовидной железы (рис. 8). В очень редких случаях ткань щитовидной железы может определяться в опухолях яичников (*struma ovarii*).

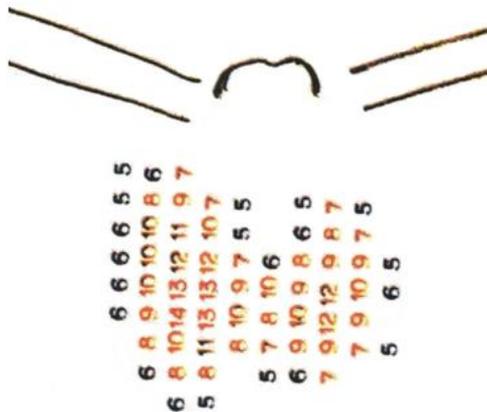


Рис. 8. Сканограмма ретростернально расположенной щитовидной железы. Нормальное распределение РФП

Активность щитовидной железы тесно связана с обменом йода в организме. Выделяются следующие фазы такого обмена:

- неорганическая;
- органическая;
- транспортно-органическая;
- тканевая (периферическая).

Неорганическая фаза включает в себя поступление йода в организм, всасывание аниона йода в пищеварительном тракте и захват йода из плазмы крови щитовидной железой. Источниками йода для организма являются яйца, молоко, морепродукты. Значительная часть поступившего в организм йода захватывается щитовидной железой, а остальная часть экскретируется с мочой.

В *органическую фазу* йод участвует в синтезе гормонов щитовидной железы (трийодтиронин и тироксин). Из фолликулов щитовидной железы гормоны поступают в кровь, где связываются с белками плазмы — *транспортно-органическая фаза*. В ходе *периферического* (тканевого) этапа йодного обмена гормоны щитовидной железы поглощаются тканями организма и участвуют в метаболических процессах, чаще всего потенцируя фосфорилирование в реакциях клеточного гликолиза. Освободившийся в ходе реакций йод частично участвует в синтезе новых гормонов щитовидной железы, частично — выводится из организма.

Активность щитовидной железы регулируется гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной системой.

К радионуклидным методам исследования, позволяющим определить функционально-топографическое состояние щитовидной железы, относятся:

- сканирование;
- сцинтиграфия;
- ОФЭКТ, ОФЭКТ/КТ.

Показаниями для проведения радионуклидных методов исследования являются:

- 1) определение функциональной активности тиреоидной ткани;
- 2) выявление патологических очагов и их функциональной активности;

- 3) обнаружение атипично расположенных участков тиреоидной ткани;
- 4) оценка эффективности лечения и ранних рецидивов различной патологии щитовидной железы (токсический зоб, тиреотоксикоз и др.).

Одним из показаний к проведению сцинтиграфии является подозрение на узловой зоб, по данным УЗИ, различные узловые образования в области щитовидной железы размером 1 см и более, определяемые при пальпации области шеи.

РФП, применяемые при исследовании щитовидной железы:

1. ^{99m}Tc -пертехнетат натрия (NaTcO_4). Период полураспада ^{99m}Tc составляет 6,01 ч. Препарат вводится внутривенно и обычно не вызывает аллергических или побочных реакций. Лучевая нагрузка при инъекции препарата в рекомендованных дозах значительно меньше по сравнению с применяемыми ранее препаратами и составляет для взрослого пациента около 0,9 мЗв. Пертехнетат натрия накапливается в щитовидной железе, но не подвергается дальнейшему распаду. Обычно на 20-й минуте после введения концентрация его в органе значительно снижается. В настоящее время это основной РФП для исследования щитовидной железы.

2. ^{123}I -натрия йодид (применяемый ранее ^{131}I на данный момент практически не используется из-за его высокой лучевой нагрузки на пациента). Период полураспада РФП ^{123}I составляет 13,2 ч. Возможно введение внутривенно и перорально. Препарат позволяет проводить анализ состояния щитовидной железы через 24 ч после введения. Он является максимально специфичным для щитовидной железы, неспецифические участки накопления в окружающих мягких тканях обычно отсутствуют, в отличие от пертехнетата натрия. Но, так как лучевая нагрузка после введения ^{123}I превышает нагрузку после введения пертехнетата натрия, данный препарат используется только по определенным показаниям. Как правило, это эктопия или дистопия щитовидной железы. Может использоваться также на этапах диагностики дифференцированных раков щитовидной железы.

Подготовка к исследованию:

1. За 3–4 недели до исследования прекратить применение препаратов стабильного йода, в том числе и наружное применение йодсодержащих антисептиков.

2. По возможности ограничить прием гормональных препаратов щитовидной железы (за 1–2 недели).

3. За месяц до исследования прекратить прием препаратов, подавляющих функцию щитовидной железы (тиреостатики и др.).

4. За 3–4 недели прекратить прием галогенсодержащих препаратов, не проводить рентгенологические исследования с применением йодсодержащих контрастных веществ.

Методика исследования. Препараты вводятся внутривенно. При использовании ^{99m}Tc -пертехнетата натрия исследование начинают через 15–20 мин после введения, при использовании ^{123}I -натрия йодида — через 2–3 ч (возможно проведение исследования до 24 ч после введения).

Положение пациента при исследовании: сидя с запрокинутой головой либо лежа на спине с использованием валика под шею.

При отсутствии тиреоидной патологии на скинтиграмме (сканограмме) визуализируется (рис. 9, 10) щитовидная железа, которая расположена на 2 см выше яремной вырезки грудины и по форме обычно напоминает бабочку или подкову; также определяется относительно равномерное накопление РФП с максимумом в центральных отделах долей.

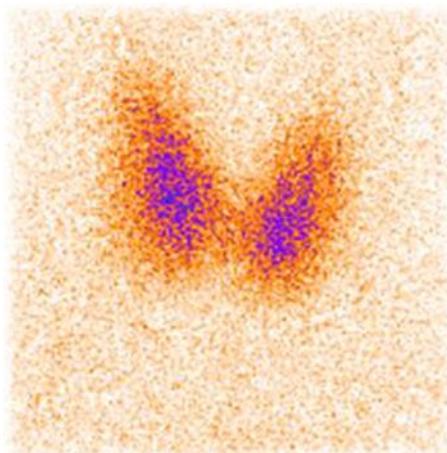


Рис. 9. Сцинтиграмма щитовидной железы. Нормальное распределение РФП



Рис. 10. Сканограмма щитовидной железы. Нормальное распределение РФП

При патологии могут определяться как локальные участки с пониженным или повышенным накоплением препарата, так и диффузное повышение, понижение или неравномерность накопления РФП. Примером диффузного, относительно равномерного, повышенного накопления РФП может быть скинтиграфическая картина Базедовой болезни (диффузный токсический зоб). При данной патологии определяется повышенная продукция тиреоидных гормонов, сопровождающаяся диффузной гиперплазией щитовидной железы.

Локальные участки повышенного накопления препарата определяются как «горячие узлы». Наиболее часто такие изменения на скинтиграммах могут выявляться при токсических и нетоксических аденомах. Токсическая аденома проявляется локальным участком гиперплазии тиреоидной ткани (рис. 11). Также у незначительного количества пациентов «горячий узел» может быть обусловлен злокачественным процессом.

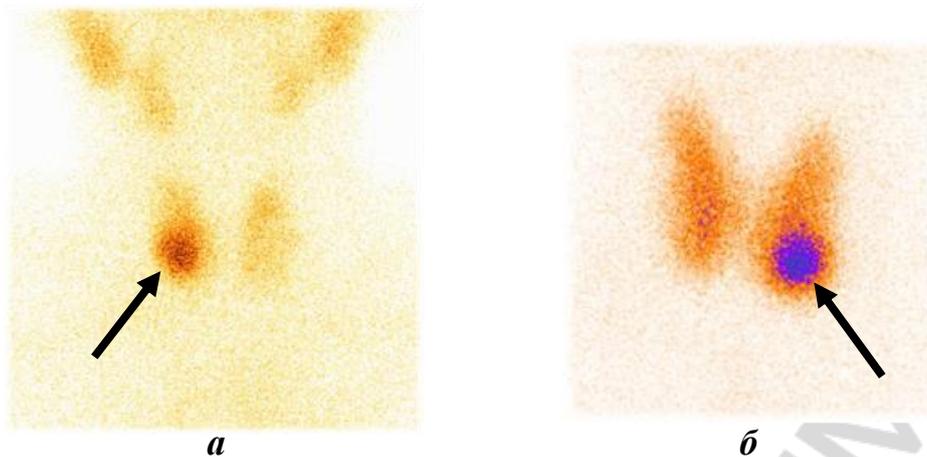


Рис. 11. Сцинтиграмма щитовидной железы. Наличие «горячих узлов»: *а* — в нижнем полюсе правой доли; *б* — в нижнем полюсе левой доли

Локальные участки пониженного накопления или отсутствие накопления препарата, выявляемые вследствие наличия кист, опухолей, рубцов и участков нефункционирующей тиреоидной ткани, называются «холодными узлами» (рис. 12, 13).

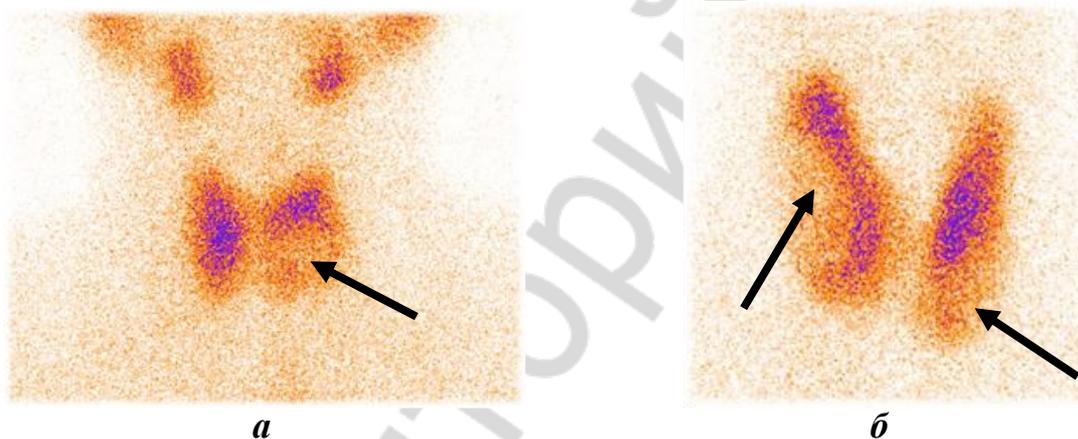


Рис. 12. Сцинтиграмма щитовидной железы. Наличие «холодных узлов»: *а* — в нижнем полюсе левой доли; *б* — в боковых отделах правой доли и нижнем полюсе левой доли

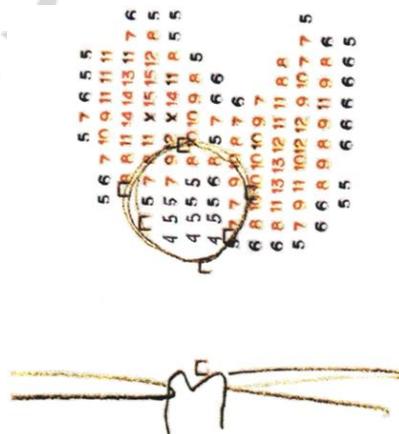


Рис. 13. Сканограмма щитовидной железы. Наличие «холодного узла» в нижнем полюсе правой доли и перешейка щитовидной железы

Для дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных процессов в щитовидной железе часто используют функциональные пробы с тиреотропным гормоном. При доброкачественных процессах после стимуляции тиреотропным гормоном, как правило, можно зафиксировать появление активности в виде накопления РФП в тех участках щитовидной железы, которые раньше не функционировали.

Сцинтиграфическая картина не всегда отражает специфические признаки определенной патологии щитовидной железы (возможно мимикрирование, в том числе небольших злокачественных образований, под доброкачественные процессы). В связи с этим при описании сцинтиграмм необходимо сопоставить клиническую картину заболевания, результаты УЗИ, анализов крови, биопсии и других исследований с полученными результатами сцинтиграфии.

РАДИОНУКЛИДНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЧЕК И МОЧЕВЫВОДЯЩИХ ПУТЕЙ

Радионуклидное исследование почек и мочевыводящих путей основано на изучении их структуры и оценке функций. Морфологическая структура почек, мочевого пузыря, мочеточников хорошо визуализируется с помощью УЗИ, КТ и МРТ, а также внутривенной урографии. Функциональное же состояние данных органов может быть изучено с помощью радионуклидных методов исследования, которые дают возможность оценить не только топографию всего органа и отдельных его частей, но и клубочковую фильтрацию, канальцевую секрецию, уродинамику, состояние паренхимы и кровоснабжение почек. Радионуклидная диагностика позволяет обнаружить нарушения функции почек уже в начальных стадиях заболевания, когда другие методы малоинформативны.

Основные показания к проведению радионуклидного исследования почек и мочевыводящих путей следующие:

- 1) диагностика вазоренальной гипертензии, стеноза почечной артерии;
- 2) выявление пузырно-мочеточникового рефлюкса;
- 3) оценка функционального состояния почек при таких патологиях, как гидронефроз, мочекаменная болезнь, пиелонефрит, гломерулонефрит, острая и хроническая почечная недостаточность;
- 4) предоперационная оценка функционального состояния почек при планируемой трансплантации почки;
- 5) в качестве альтернативного метода у пациентов, у которых имеются противопоказания к проведению внутривенной урографии (повышенная чувствительность к йоду и др.).

Противопоказаниями к проведению радионуклидного исследования почек и мочевыводящих путей являются:

- 1) беременность;
- 2) кормление грудью;

3) терминальная стадия хронической почечной недостаточности.

РФП, применяемые при исследовании почек и мочевыводящих путей:

1. *Гиппуран, меченный ^{131}I* . Данный РФП уже много лет применяется в качестве индикатора при проведении радионуклидной ренографии, но может применяться и для динамической нефросцинтиграфии. После внутривенного введения гиппурана приблизительно 80 % его количества активно секретруется почечными канальцами, а остальные 20 % фильтруются клубочками.

2. *Гиппуран, меченный ^{123}I* . Как и гиппуран, меченный ^{131}I , данный РФП используется при проведении радионуклидной ренографии и динамической нефросцинтиграфии. Применяется у детей из-за его короткого периода полураспада (13,2 ч) и оптимальной, с точки зрения регистрации, энергии гамма-квантов (159 кЭв), позволяющих значительно снизить лучевую нагрузку на пациента.

3. *$^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$ — CaNa_3 -диэтилентриаминпентаацетат, меченный $^{99\text{m}}\text{Tc}$* . Применяется данный РФП как для ренографии, так и для динамической нефросцинтиграфии. $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$ экскретируется из крови путем клубочковой фильтрации.

4. *$^{99\text{m}}\text{Tc-MAG3}$ — бензоилмеркаптоацетилтриглицерин, меченный $^{99\text{m}}\text{Tc}$* . Данный РФП активно секретруется почечными канальцами. $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG3}$ используется для проведения ренографии, динамической нефросцинтиграфии и радионуклидной ангиографии почек. Высокая белковая тропность данного РФП в сочетании с высокой эффективностью экстракции обуславливают получение высококачественных скинтиграфических изображений.

5. *$^{99\text{m}}\text{Tc-DMSA}$ — 2,3-димеркаптоянтарная кислота*. Данный РФП избирательно накапливается в ткани проксимальных извитых канальцев почек. Применяется для статической нефросцинтиграфии и при сканировании почек.

6. *$^{99\text{m}}\text{Tc-глюкогептонат}$* . Данный РФП применяется для статической нефросцинтиграфии.

7. *Неогидрин, меченный ^{197}Hg* . Данный РФП применяется при сканировании почек. Он хорошо накапливается и длительно фиксируется в канальцах почек.

8. *$^{99\text{m}}\text{Tc-этилендицистеин}$* . Данный РФП используется для функциональных исследований почек и мочевыводящих путей. Частично (17 %) фильтруется в клубочках, но основная часть (50 %) секретруется в проксимальной части канальцев.

Различают следующие виды радионуклидного исследования почек:

- радиоизотопную ренографию;
- ангиореносцинтиграфию;
- сканирование почек;
- статическую и динамическую нефросцинтиграфию.

Радиоизотопная ренография (гамма-хронография почек) проводится на функциональных радиометрических установках, снабженных 3–4 трубными детекторами и регистрирующим устройством.

Положение пациента при исследовании: сидя или лежа. Следует помнить, что параметры нормы в зависимости от положения обследуемого значительно отличаются.

Подготовка к исследованию:

1. Перед исследованием пациенту рекомендуют выпить стакан негазированной воды.

2. Людям, принимающим диуретики, нужно отменить их за день до обследования.

3. Если при радионуклидной ренографии планируется использование РФП, меченных радионуклидным йодом, то обязательная подготовка состоит в предварительном приеме йода в небольших количествах (в течение 3 дней необходимо принимать по 3 капли раствора Люголя внутрь). Это необходимо для того, чтобы «заблокировать» стабильным йодом щитовидную железу.

Расположение детекторов при радиоизотопной ренографии: два детектора устанавливаются по центру проекции каждой почки согласно их анатомическому расположению, третий датчик располагается над областью сердца (над III межреберьем по левому краю грудины). При наличии четвертого датчика он устанавливается в проекции мочевого пузыря.

В качестве РФП для проведения ренографии используют:

- гиппуран, меченный ^{131}I (реже гиппуран, меченный ^{123}I);
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA;
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG3.

Препарат вводят в локтевую вену из расчета 0,01–0,02 МБк на 1 кг веса пациента.

В результате исследования получают кривые «активность – время» с детекторов, расположенных над областью почек (ренограммы) и сердца. Ренограммы отражают функциональную способность почек, третья кривая — клиренс крови, то есть скорость очищения крови от препарата (рис. 14).

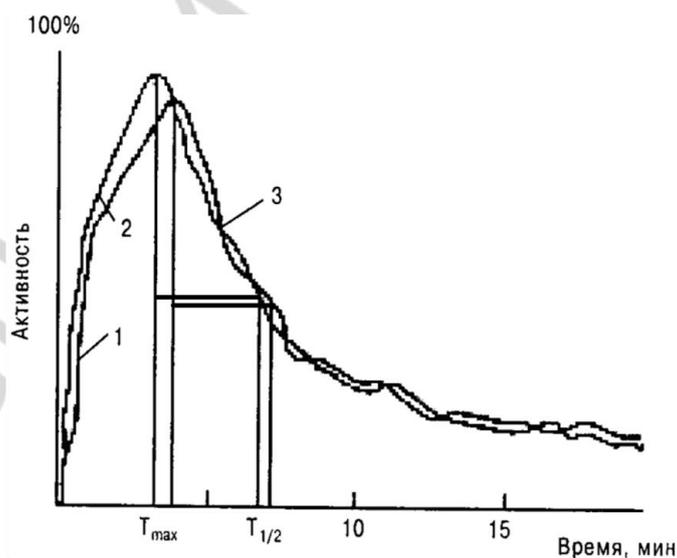


Рис. 14. Нормальные ренограммы, полученные при исследовании с гиппураном, меченным ^{131}I :

1 — сосудистый сегмент; 2 — секреторный сегмент; 3 — экскреторный сегмент

На ренографической кривой условно выделяют 3 сегмента:

1) сосудистый — быстрый подъем кривой в первые секунды после инъекции РФП, отражающий поступление последнего в сосудистое русло и начало накопления в паренхиме почки; время прохождения первичного болюса составляет в среднем 17–20 с;

2) секреторный — более пологое возрастание амплитуды ренограммы в течение 4 мин (до достижения максимума), обусловленное преимущественно накоплением РФП в канальцах;

3) экскреторный — сегмент отражает преимущественно выведение РФП из почки: вначале происходит быстрое, в течение 10 мин, выведение РФП, после чего темпы снижения кривой в норме замедляются, отражая факт выведения РФП в мочевой пузырь.

Следует отметить, что соотношение каждого сегмента ренограммы с определенной функцией является в какой-то степени условным, так как в почках все процессы взаимосвязаны и взаимозависимы, а на образование каждого сегмента в той или иной степени влияет и почечный кровоток, и канальцевая секреция, и экскреция РФП.

При визуальной оценке ренограмм в первую очередь учитывают их форму и симметричность. В норме ренографические кривые симметричны, характеризуются достаточно острым пиком и имеют все три сегмента. Небольшие быстрые колебания кривой во вторую или третью фазу встречаются довольно часто и являются физиологичными.

Для оценки ренограмм используют следующие основные количественные показатели:

– T_{\max} — время достижения максимальной радиоактивности (в норме варьирует в пределах 2–5 мин) — отражает секреторную емкость почек;

– $T_{1/2}$ — период полувыведения препарата, то есть время снижения высоты ренограммы на 50 % от максимального значения (в норме составляет 6–12 мин) — отражает экскреторную способность почек;

– $T_{1/2\text{кл}}$ — период полуочищения крови от препарата или время, за которое происходит двукратное снижение максимального уровня кривой клиренса крови (в норме колеблется от 10 до 14 мин).

Существует несколько основных типов изменений ренограмм при нарушении функции почек (рис. 15, 1–4):

– афункциональный — характеризуется снижением амплитуды сосудистого сегмента при отсутствии секреторного и экскреторного фрагментов ренограммы. Наблюдается при нефункционирующей почке (вторичное сморщивание), нефрэктомии или врожденной аплазии почки, при полной окклюзии почечной артерии;

– обструктивный — при нем не наступает снижения ренографической кривой в течение 20 мин и более после введения РФП. Такая картина характерна для выраженного нарушения выделительной функции почки. Чтобы дифференцировать истинную обструкцию мочевыводящих путей (при стенозе или обструкции камнем) от дилатационной уропатии, внутривенно вводят

фуросемид. При обструктивной уропатии введение диуретика не отражается на форме кривой, а при функциональной задержке выведения РФП происходит быстрое снижение амплитуды ренограммы;

– изостенурический — отмечается выраженное снижение и удлинение секреторно-эксcretорного участка кривой в сочетании с уплощенным пиком ренограммы. Имеет место при поражении почек в стадии сморщивания, когда резко нарушается концентрационная способность и продуцируется изостенурическая моча;

– паренхиматозный — характеризуется различной степенью снижения сосудистого сегмента, секреторный сегмент удлинен, эксcretорный сегмент также удлиняется и становится более пологим. Отмечается при воспалительных, дегенеративных и склеротических процессах в паренхиме почки, при которых страдают клетки эпителия проксимальных отделов канальцев.

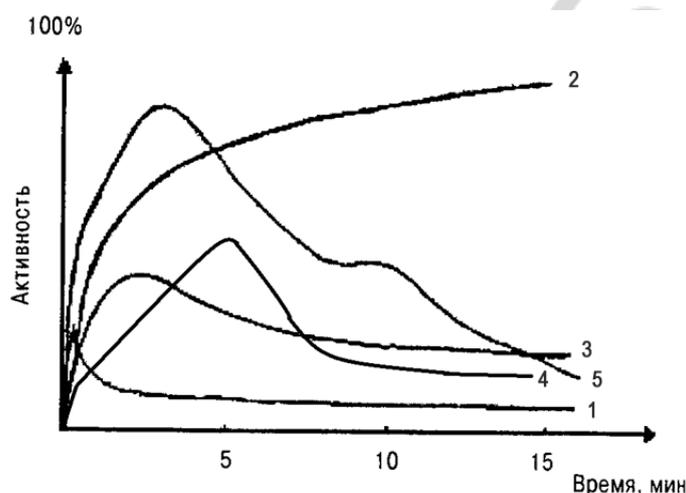


Рис. 15. Основные типы ренографических кривых при патологии почек (схема):
1 — афункциональный; 2 — обструктивный; 3 — изостенурический; 4 — паренхиматозный; 5 — повторный подъем на ренографической кривой при пузырно-мочеточниковом рефлюксе

Повторный подъем на ренографической кривой наблюдается при пузырно-мочеточниковом рефлюксе (рис. 15, 5).

Существуют и менее распространенные типы патологических ренограмм, которые следует индивидуально интерпретировать в каждом конкретном случае. Так, уменьшение сосудистого сегмента может свидетельствовать как о снижении почечного кровотока, так и об уменьшении объема функционирующей паренхимы. Снижение амплитуды кривой можно считать ложноположительным, например, при нефроптозе, когда в поле зрения детектора попадает только часть почки. Удлинение периода полураспада крови указывает на снижение суммарной выделительной функции почек. Кроме того, снижение секреторного и удлинение эксcretорного сегментов может указывать на выраженные стенотические изменения почечной артерии, что имеет важное значение в плане диагностики вазоренальной формы артериальной гипертензии.

Таким образом, радиоизотопная ренография позволяет оценить индивидуальную ренальную функцию путем изучения поглотительной и выделительной способности каждой почки.

Сканирование почек и статическая нефросцинтиграфия используются для оценки анатомо-топографических особенностей и функционального состояния паренхимы почек. Изображения почек получают путем последовательной регистрации гамма-излучения от предварительно введенных в организм РФП с помощью сканера либо детектора гамма-камеры.

Для сканирования почек и статической нефросцинтиграфии применяют:

- неогидрин, меченный ^{197}Hg ;
- DMSA и глюкогептонат, меченные $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Данные радионуклидные исследования проводят в положении пациента лежа на животе либо сидя. РФП вводят внутривенно в дозе 100–200 мБк и через час после инъекции получают статическое изображение почек в задней и боковых проекциях (при необходимости используют косые проекции).

Чтобы определить расположение почек, на сканограмму (сцинтиграмму) наносят анатомические ориентиры:

- остистый отросток XII грудного позвонка;
- реберные дуги;
- точки пересечения наружного края длинейших мышц спины с XII ребром.

На сканограмме (сцинтиграмме) почки в норме имеют бобовидную форму с равномерным распределением радиоактивности, четкими контурами (рис. 16, 17).



Рис. 16. Сканограмма почек в норме

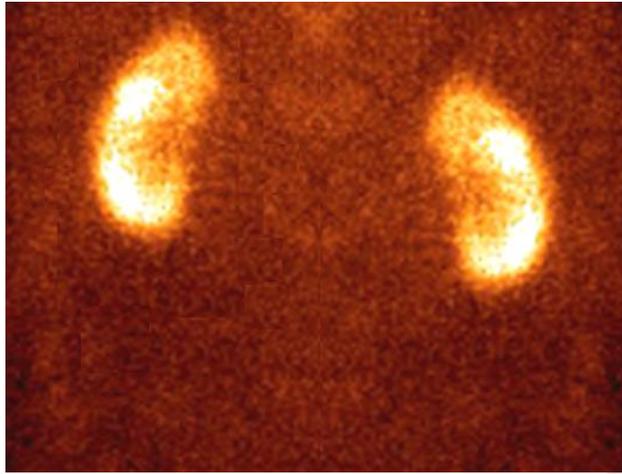


Рис. 17. Сцинтиграмма почек (норма)

Длинная ось почек располагается под углом, открытым книзу. От левой почки детектор гамма-камеры (сканер) фиксирует меньшее излучение, чем от правой, если пациент в момент проведения исследования находится в положении лежа на животе, что обусловлено изменением анатомического взаимоотношения органов, несколько приподнятым во время сканирования верхним отделом туловища и более вентральным расположением левой почки.

При патологии на сканограммах (сцинтиграммах) могут быть выявлены следующие изменения:

- 1) неправильное положение почек;
- 2) увеличение или уменьшение их размеров;
- 3) изменение формы;
- 4) «изъеденность» контуров, пониженное и неравномерное накопление РФП.

Увеличение размеров изображенной почки может быть следствием ее удвоения или компенсаторной гипертрофии.

Пониженное накопление (иногда с уменьшением размеров изображенной почки) с равномерным распределением РФП встречается при нефроптозе (рис. 18) или стенозе почечной артерии.

Изменение положения почки встречается при нефроптозе, врожденных аномалиях и другой патологии.

Диффузно-неравномерное распределение индикатора обнаруживается у пациентов с такими патологиями, как пиелонефрит, гломерулонефрит (рис. 19).

Ограниченные поражения почек (опухоли, туберкулез, ишемический некроз, кисты) выявляются в виде единичных или множественных «холодных узлов», если их размеры не менее 2–3 см (рис. 20).

«Изъеденность» контуров почки может наблюдаться при наличии у пациента рубцовых изменений коркового слоя вследствие инфекции, инфаркта или опухоли.

Если почка не функционирует, изображение ее на сканограмме (сцинтиграмме) полностью отсутствует (рис. 21).

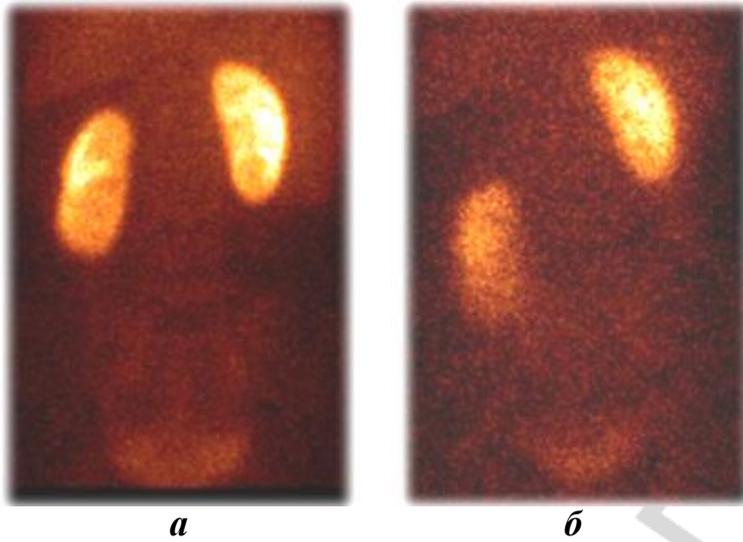


Рис. 18. Статическая нефросцинтиграмма с ^{99m}Tc -DMSA. Непроптоз левой почки: *а* — положение пациента лежа; *б* — ортостаз

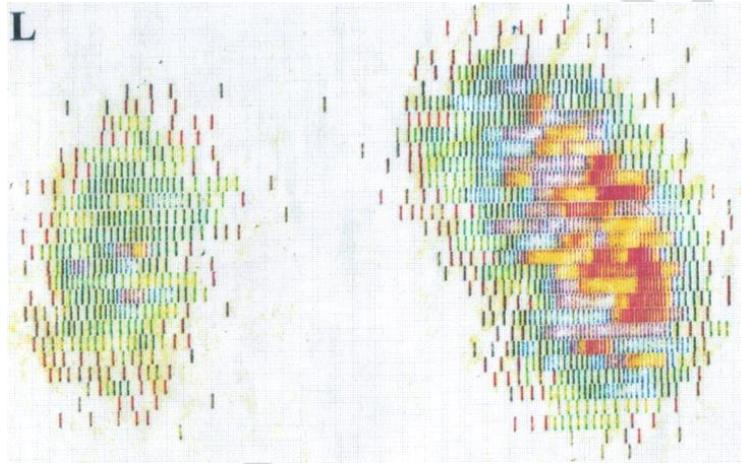


Рис. 19. Сканограмма почек: левая почка — сниженное накопление РФП, правая почка — неравномерное накопление РФП

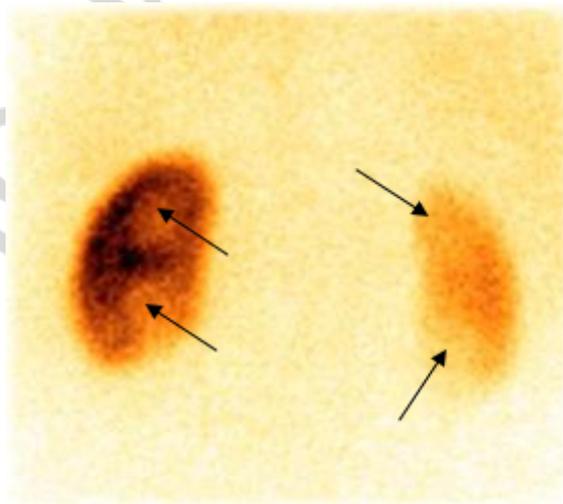


Рис. 20. Сцинтиграмма почек с ^{99m}Tc -DMSA у пациента с поликистозом и стенозом правой почечной артерии. Кисты на сцинтиграмме в виде «холодных узлов» (указаны стрелками)

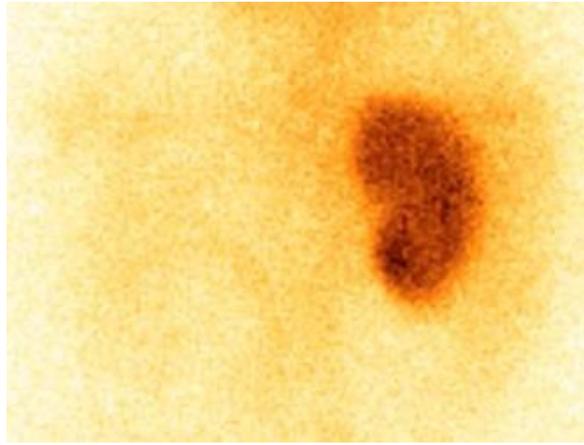


Рис. 21. Сцинтиграмма с ^{99m}Tc -DMSA у пациента со сморщенной левой почкой

Ангиосцинтиграфия почек проводится с целью диагностики одно- и/или двусторонних нарушений гемодинамики почек с количественной оценкой их степени и характера. В основе метода лежит регистрация прохождения внутривенно введенного болюса РФП по брюшной аорте и сосудам почек.

Показания для проведения ангиосцинтиграфии почек:

- подозрение на вазоренальную почечную гипертензию;
- оценка перфузии почечного трансплантата;
- травмы почек.

Исследование может быть выполнено с различными РФП, мечеными короткоживущими нуклидами: ^{99m}Tc -ДТРА, ^{99m}Tc -МАГЗ, ^{123}I -гиппураном.

Для проведения ангиосцинтиграфии почек специальной подготовки пациентов не требуется. Пациент находится в положении сидя спиной к детектору гамма-камеры так, чтобы в поле зрения попадали сердце и почки. РФП вводится болюсно в локтевую вену в дозе 300–400 мБк (8–10 мКи) в объеме 1 мл.

В норме на серии сцинтиграмм визуализируются брюшной отдел аорты, почки, селезенка и печень, появляющиеся в указанной последовательности.

При детальном изучении полученных изображений можно получить информацию о состоянии аорты (особенно при наличии крупных сужений или аневризмы), определить размеры, форму и местоположение почек. По кривым «активность – время» (ангиограммам) (рис. 22), полученным с основных зон интереса, исследуют перфузию почек путем сравнения амплитуды их кривых с динамикой радиоактивности над брюшной аортой. У пациентов с односторонним стенозом почечной артерии визуально выявляются различия в степени перфузии почек (рис. 23) и задержка появления одной из почек на серии ангиосцинтиграмм вследствие поражения соответствующей почечной артерии.

Травматическое повреждение почечных артерий проявляется гипоперфузией почек, варьирующей от снижения легкой степени до полного отсутствия кровоснабжения при разрыве ренальной «ножки».

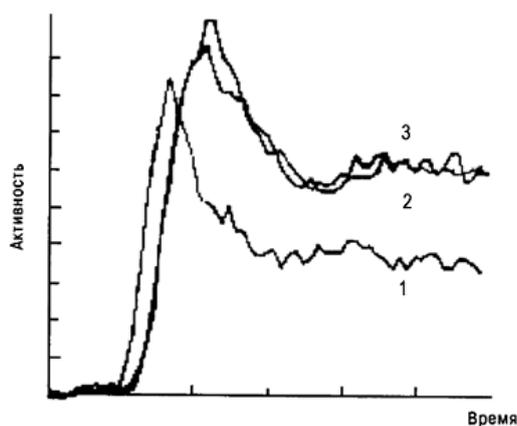


Рис. 22. Нормальное кровоснабжение почек на первой минуте исследования по сравнению с аортой:

1 — аорта; 2 — правая почка; 3 — левая почка

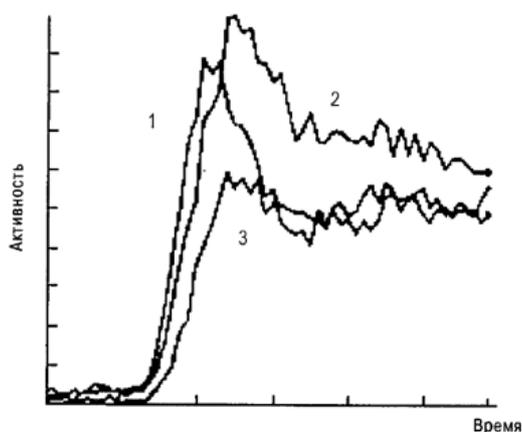


Рис. 23. Ангиосцинтиграммы почек при стенозе левой почечной артерии:

1 — аорта; 2 — правая почка; 3 — левая почка

Динамическая сцинтиграфия почек основана на динамической регистрации радиоактивности в почках и крови после внутривенного введения нефротропного РФП, выводимого почками, и компьютерной обработке получаемых изображений. Для исследования применяются ДТРА, МАГЗ, меченные ^{99m}Tc , гиппуран, меченный ^{131}I . Динамическую сцинтиграфию почек проводят в положении пациента сидя или лежа. Детектор гамма-камеры устанавливают вплотную к спине пациента таким образом, чтобы в поле зрения попадали сердце и почки. Динамическая нефросцинтиграфия может сочетаться с проведением ангиосцинтиграфии.

В процессе диагностики могут быть проведены специальные пробы с использованием медикаментозных препаратов. Для выявления вазоренальной гипертензии динамическую нефросцинтиграфию с ^{99m}Tc -ДТРА часто сочетают с проведением каптоприловой пробы. При этом радионуклидное исследование выполняют дважды: первый раз по стандартному протоколу, а второй — через 3–4 ч после первого или на следующий день в том же режиме записи. При этом за 1 ч до второго исследования пациент принимает перорально каптоприл (Капотен) в дозе 25–50 мг. Суть этой пробы состоит в том,

что у пациента с реноваскулярной гипертензией в ответ на введение каптоприла происходит удлинение T_{\max} на стороне стеноза почечной артерии, снижается скорость клубочковой фильтрации и уровень подъема ренографической кривой, замедляется выведение РФП из почки, а у пациента с эссенциальной гипертензией эти показатели не изменяются. Оптимальным РФП для проведения каптоприловой пробы является ^{99m}Tc -ДТПА, который экскретируется путем клубочковой фильтрации.

Для дифференциальной диагностики обструкционных и функциональных нарушений уродинамики иногда прибегают к диуретической пробе (внутривенное введение фуросемида в дозе 40 мг для взрослых и 0,5 мг/кг для детей).

Результатом динамической нефросцинтиграфии является получение серии сцинтиграмм с изображением почек в различные временные интервалы.

Анализ результатов динамической нефросцинтиграфии включает два этапа:

1. Оценка топографии, размеров, формы почек, наличия задержки индикатора в чашечно-лоханочной системе и мочеточниках.
2. Оценка кривых «активность – время» с области почек. Для количественной оценки реносцинтиграмм используют показатели T_{\max} , $T_{1/2}$ экскреции, $T_{1/2}$ кл.

В норме РФП поступает в паренхиму почек одновременно, обеспечивая их одинаковую визуализацию в первые минуты исследования. На 5–10-й минуте происходит отчетливое перераспределение препарата, в результате которого основная активность перемещается в почечные лоханки и частично в мочевой пузырь (рис. 24). В это время могут визуализироваться и мочеточники в виде слабо различимых линий, соединяющих почки с мочевым пузырем. На 15–20-й минуте четко визуализируется дренаж мочи из почечной лоханки в мочевой пузырь.



Рис. 24. Сцинтиграмма нормального мочевыделительного тракта на 10-й минуте после внутривенной инъекции ^{99m}Tc -ДТПА

Ренографические кривые в норме имеют симметричный вид, хотя, как правило, не идентичны. Пик ренограммы находится в 3–5-минутном интервале времени после инъекции РФП, а двукратное уменьшение активности по отношению к максимальному значению ($T_{1/2}$) наблюдается на 4–9-й минуте исследования (рис. 25).

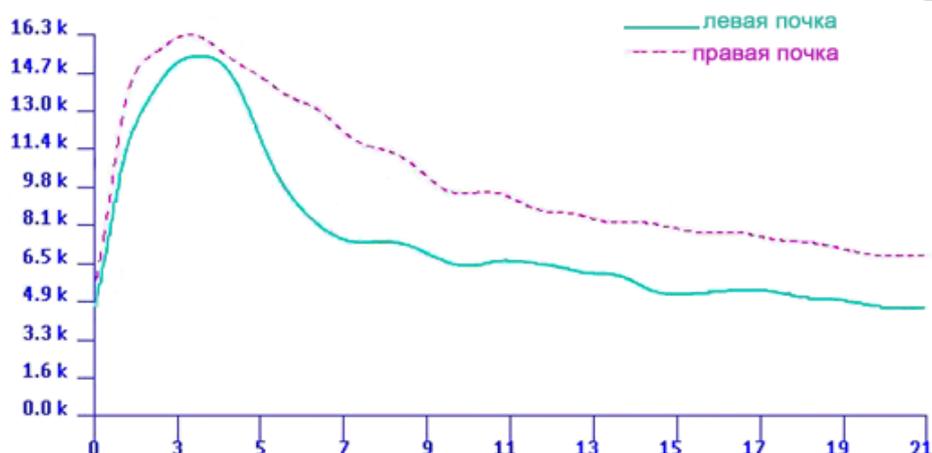


Рис. 25. Нормальные реносцинтиграммы, полученные при исследовании с ^{99m}Tc -DTPA

В настоящее время динамическая нефросцинтиграфия является самым распространенным методом радионуклидного исследования почек и мочевыводящих путей.

РАДИОНУКЛИДНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕЧЕНИ И ЖЕЛЧЕВЫВОДЯЩИХ ПУТЕЙ

Печень является самым крупным органом в теле человека, ее масса составляет около 2 % общей массы тела. К основным функциям печени относятся: обмен белков, углеводов, липидов, ферментов, витаминов; водный и минеральный обмен; пигментный обмен; секреция желчи; детоксикационная функция.

С точки зрения радионуклидной диагностики, в печени условно можно выделить 3 тканевые системы, визуализация которых требует различных РФП:

1. *Гепатобилиарная система* состоит из гепатоцитов и желчевыводящих путей. Эта система исследуется с помощью производных иминодиуксусной кислоты. Желчевыводящие пути осуществляют дренирование желчи в тонкую кишку.

2. *Ретикулоэндотелиальная система* состоит из клеток Купфера, которые функционируют как местные макрофаги. Около 90 % всех клеток Купфера содержатся в печени и селезенке, 10 % оставшихся находятся в красном костном мозге и легких. РФП, используемый для этой системы, — ^{99m}Tc -коллоид (лиофилизированная смесь фитина или фитата, двухлористого олова и двузамещенного фосфата натрия).

3. *Кровеносная система.* В состоянии покоя на долю кровеносного пула печени приходится около $\frac{1}{5}$ объема циркулирующей крови, 25 % которой поступает через печеночную артерию, а 75 % — через портальную вену. Кровеносная система печени обычно исследуется с помощью ^{99m}Tc -эритроцитов или ^{99m}Tc -альбумина.

Различают следующие виды радионуклидного исследования гепатобилиарной системы печени: гепатографию (гамма-хронографию печени), сканирование, статическую и динамическую сцинтиграфии.

РФП, применяемые при исследовании гепатобилиарной системы печени:

1. *Производные иминодиацетиловой кислоты, меченные ^{99m}Tc* (^{99m}Tc -БРОМЕЗИДА (2,4,6-триметил-3-бромфенил-карбамоилметил иминодиуксусная кислота), ^{99m}Tc -DIDA (N 2,6-диэтил-фенил-карбамоилметил иминодиуксусная кислота), ^{99m}Tc -TIDA (N2,4,5-триметил-фенил-карбамоилметил иминодиуксусная кислота)). Все эти соединения имеют обобщенное название — HIDA (гепатобилиарная IDA). HIDA являются стабильными димерами, состоящими из двух молекул иминодиацетиловой кислоты, связанных с одной молекулой пертехнетата. Данные РФП свободно связываются с альбумином в крови и экстрагируются печенью, после чего транспортируются через гепатоциты и секретируются в желчь без изменения своей химической структуры. Далее РФП аккумулируются в желчном пузыре и экскретируются в тонкую кишку. Если функция печени снижена, то происходит компенсаторное усиление почечной экскреции производных HIDA.

2. *Бенгальский розовый, меченный ^{131}I* (калийная соль тетра-йодо-тетра-хлорфлуоресцеина, в составе которой осуществлено замещение стабильных атомов йода радиоактивными).

Гамма-хронографическое исследование поглотительно-выделительной функции печени (гепатография, гамма-хронография печени) — радионуклидное исследование гепатоцитов, основанное на их способности поглощать из крови РФП, обезвреживать его, а затем выделять с желчью в кишечник. Исследование выполняют либо на многоканальной сцинтилляционной установке, либо в гамма-камере. Подготовка пациента к исследованию (если планируется применять в качестве РФП бенгальский розовый, меченный ^{131}I): за 2–3 дня до исследования назначают 3%-ный стабильный йодид калия по 1 столовой ложке 3 раза в день для блокады щитовидной железы, так как ^{131}I может отщепляться от молекул бенгальского розового и накапливаться в щитовидной железе. Положение пациента: лежа на спине. Первый сцинтилляционный детектор размещают в месте проекции правой доли печени, второй — над областью желчного пузыря, третий — над тонкой кишкой (в области пупка), четвертый — над областью сердца. Исследуемому внутривенно быстро вводят 3–6 кБк/кг РФП и в течение 60–90 мин получают гепатографию (рис. 26). При исследовании трехканальным радиометром записывают радиоактивность крови или желчного пузыря в зависимости от того, что представляет больший интерес для диагностики.

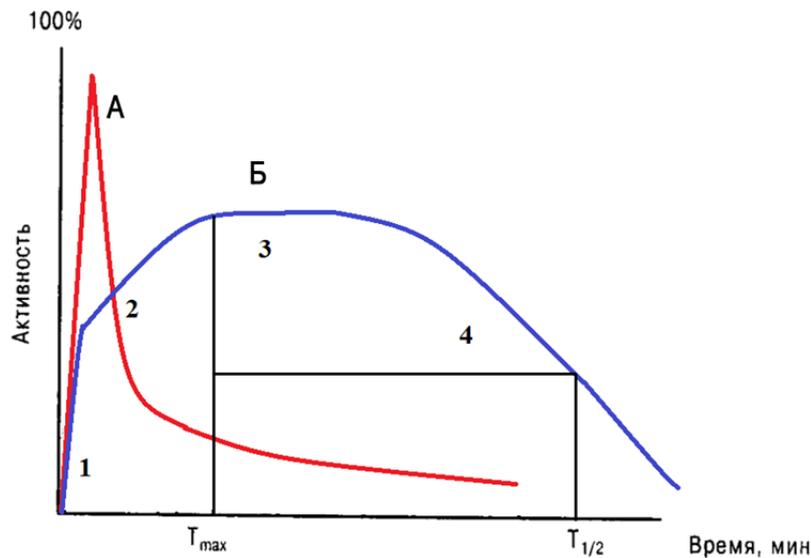


Рис. 26. Радиоизотопная гепатография (схема):

А — кривая детектора, расположенного над областью сердца;
 Б — кривая детектора, расположенного над областью правой доли печени: 1 — сосудистый сегмент; 2 — секреторный сегмент; 3 — плато; 4 — экскреторный сегмент

По кривой, полученной от детектора, расположенного над областью сердца, судят о функции печени по скорости снижения радиоактивности крови. В норме полупериод клиренса крови (время, за которое радиоактивность РФП в крови уменьшается вдвое) составляет 10–15 мин. Кривая радиоактивности над областью печени является составляющей одновременно протекающих процессов захвата гепатоцитами из крови РФП и его выведения желчными путями за пределы печени. На кривой, полученной от детектора, установленного над правой долей печени, выделяют следующие сегменты:

1) *сосудистый* (начальный крутой подъем в течение 40–50 с) — отражает кровоснабжение области печени;

2) *секреторный* (пологий подъем в течение 20–25 мин) — обуславливает преобладание фиксации гепатоцитами РФП над его выведением из печени;

3) *плато* (продолжительность 15–40 мин) — отражает динамическое равновесие поглотительной и выделительной функций печени;

4) *экскреторный* (пологий спуск) — обуславливает преобладание выведения РФП из печени над его поглощением из крови.

Функциональное состояние гепатоцитов оценивают с помощью различных параметров, наиболее информативными считаются следующие:

1) *время максимального накопления РФП печенью (T_{max})*, которое в норме составляет 26–28 мин. Увеличение этого показателя говорит о нарушении поглотительной функции печени. Выделяют 3 степени нарушения поглотительной функции печени: легкая — 29–40 мин, умеренная — 41–50 мин, выраженная — 51 мин и более.

2) *время полувыведения РФП из печени ($T_{1/2 экс}$)*, которое в норме составляет 40–60 мин и отражает выделительную функцию органа. Выделяют 3 степени нарушения экскреторной функции печени: умеренную — 80–120 мин, выраженную — 120–160 мин, резко выраженную — более 160 мин.

Динамическая сцинтиграфия гепатобилиарной системы печени (см. рис. 3) представляет собой комплексное исследование, включающее в себя оценку функционального состояния печени, концентрационной и двигательной функции желчного пузыря, проходимости желчных путей и наличия дисфункции сфинктера Одди. Исследование проводят с помощью гамма-камеры следующими РФП: HIDA, бенгальский розовый, меченный ^{131}I . Процедура выполняется натощак. В процессе исследования пациент находится в горизонтальном положении — лежа на спине. Руки пациента фиксируются вдоль туловища. Центр детектора гамма-камеры проецируется на мечевидный отросток обследуемого. В поле исследования должны входить сердце, печень, селезенка, верхние отделы тонкой кишки. РФП вводится внутривенно в дозе 1,7–2,0 МБк/кг массы тела пациента.

Интерпретация результатов динамической сцинтиграфии гепатобилиарной системы печени включает в себя оценку стандартных показателей на кривых «активность – время», полученных с зон интереса (сердце, печень, желчный пузырь, кишечник), а также оценку формы и размера печени, накопления и распределения РФП, времени начала визуализации желчного пузыря, его формы, размеров, степени контрастирования и формы магистральных желчных протоков.

У здоровых лиц клиренс крови после введения большинства РФП не превышает 5 мин. Максимальная контрастность изображения печени визуализируется на сцинтиграммах, соответствующих паренхиматозной фазе исследования (10–15-я минута). Форма, размеры, контуры изображения соответствуют анатомическим особенностям органа. Начиная с 7-й минуты исследования начинают визуализироваться желчные протоки. Максимальное контрастирование магистральных желчных протоков наступает к 20–25-й минуте исследования. С 10-й минуты исследования РФП начинает поступать в кишечник. К концу исследования радиоактивность в кишечнике превышает таковую в желчных путях. Оценка двигательной функции желчного пузыря и проходимости желчных путей начинают с 60-й минуты исследования после приема пациентом желчегонного завтрака или медикаментозной стимуляции холекинетического акта. По истечении 5–7 мин желчный пузырь сокращается и его изображение уменьшается в размерах. Одновременно наблюдается интенсивное поступление РФП в холедох и двенадцатиперстную кишку.

Сцинтиграфическими признаками хронического гепатита являются удлинение времени достижения максимальной концентрации препарата в паренхиме печени (T_{\max}), длительная задержка препарата в паренхиме печени (сохранение четкого изображения печени на сцинтиграммах после 60-й минуты исследования), повышение накопления РФП в почках, увеличение печени в размерах.

Динамическую сцинтиграфию гепатобилиарной системы печени применяют для диагностики острого холецистита у пациентов с болями в правом верхнем квадранте брюшной полости. Если желчный пузырь, желчные протоки и тонкая кишка не визуализируются через 60 мин от начала исследова-

дования, то диагноз «холецистит» подтверждают. Чтобы отдифференцировать острый холецистит от хронического проводят повторное сканирование через 2–4 ч от момента инъекции РФП. Если через этот промежуток времени желчный пузырь по-прежнему не визуализируется, то ставят диагноз «острый холецистит». Если же происходит заполнение желчного пузыря — говорят о хроническом холецистите.

Радионуклидные исследования ретикулоэндотелиальной системы печени проводят для оценки состояния печени и селезенки с целью определения их формы, размеров, анатомо-морфологической структуры при опухолях, циррозах, гепатитах и других заболеваниях.

Радиофармпрепараты, применяемые при исследовании ретикулоэндотелиальной системы печени:

1. Сульфидные коллоиды.
2. Фитатные коллоиды (технефит ^{99m}Tc , который представляет собой коллоидный раствор ^{99m}Tc на основе лиофилизированной смеси фитина, двухлористого олова и двузамещенного фосфата натрия).

Сканирование и статическая сцинтиграфия печени. Гамма-топография печени может быть выполнена с помощью сканера либо гамма-камеры. Выбор препарата обусловлен целью исследования, которая определяется патологией печени. Исследование гепатобилиарной системы печени проходит с применением НДА, бенгальского розового, меченного ^{131}I , исследование ретикулоэндотелиальной системы печени — с применением сульфидных или фитатных коллоидов.

Количество препарата зависит от чувствительности сканера, размера коллиматора, функционального состояния и размеров печени и находится в пределах 75–150 кБк/кг массы тела пациента. Препараты вводят внутривенно. Положение пациента: лежа на спине. В ряде случаев для лучшего выявления патологии печени сканирование проводят в двух взаимно перпендикулярных проекциях — в положении пациента на спине и на левом боку. Сканирование начинают по достижении максимума радиоактивности печени. Детектор гамма-топографа располагают над областью печени. Подготовка пациента необходима при применении бенгальского розового, меченного ^{131}I , и включает в себя блокаду щитовидной железы стабильным йодом.

Гамма-топография печени позволяет оценить положение, форму, размеры органа, равномерность распределения РФП в тканях, наличие либо отсутствие очаговых образований. Для этого на гамма-топограмму наносят анатомические ориентиры: мечевидный отросток, реберные дуги и т. д.

В норме печень на гамма-топограммах имеет вид прямоугольного треугольника с гипотенузой, соответствующей нижнему краю печени. По среднеключичной линии часто определяется ямка желчного пузыря. Верхний край печени неровный, с выпуклостью в центральной части и сердечным вдавлением слева. Наибольшая регистрация РФП отмечается в центральной части правой доли печени. В сторону левой доли и к периферии печени отмечается уменьшение количества гамма-импульсов (рис. 27, 28).

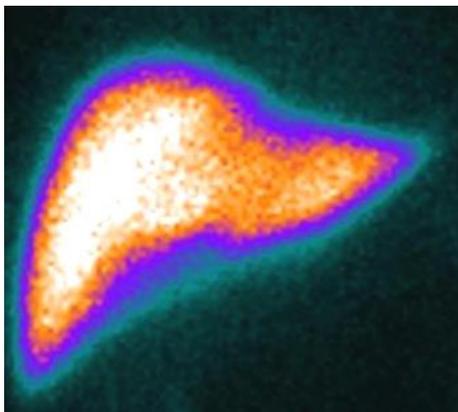


Рис. 27. Сцинтиграмма печени (норма)

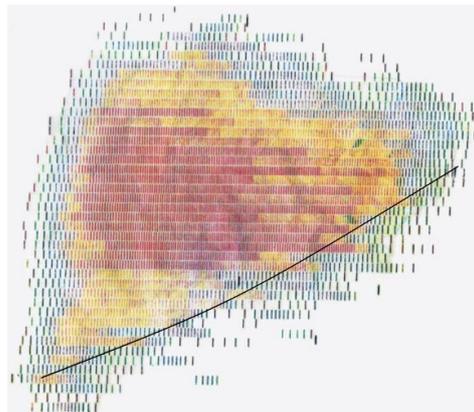


Рис. 28. Сканограма печени (норма)

При сцинтиграфическом исследовании ретикулоэндотелиальной системы печени РФП вводят внутривенно. Специальной подготовки к исследованию не требуется. Положение пациента: лежа на спине. Центр детектора гамма-камеры проецируется на мечевидный отросток обследуемого. В поле исследования входят печень, селезенка, верхние отделы тонкой кишки. РФП в печени распределяется практически равномерно за исключением областей относительно сниженного накопления (ложе желчного пузыря, правая ренальная ямка, ворота печени, область слияния печеночных вен и нижней полой вены). В норме селезенка накапливает не более 7 % введенного РФП.

Кроме визуальной оценки сцинтиграмм, исследуют и количественные параметры, с помощью которых можно оценить тяжесть того или иного патологического процесса в печени, а также эффективность проведенного лечения. Как правило, рассчитывают отношение счета над правой долей к счету над левой долей, отношение счета над печенью к счету над селезенкой, долю селезенки в суммарном накоплении РФП гепатолиенальной системы, размер селезенки.

В основе интерпретации результатов сцинтиграфии лежит концепция, согласно которой любой патологический процесс, протекающий в паренхиме печени, приводит к деструкции ретикулоэндотелиальных клеток.

При *диффузных поражениях* печени (гепатиты (рис. 29), циррозы, отравления тяжелыми металлами, интоксикация после химиотерапии и т. д.) РФП распределяется в паренхиме печени неравномерно, отмечается усиленное накопление его в селезенке и красном костном мозге.

Одним из показаний для проведения сцинтиграфии является ранняя диагностика цирроза печени. При *циррозе печени* изменяются ее размеры (увеличение органа на ранних стадиях заболевания и уменьшение при сформировавшемся циррозе), уровень накопления РФП в печени снижается, индикатор распределяется неравномерно в тканях печени, увеличиваются размеры селезенки и уровень накопления РФП в ней (рис. 30), отмечается также внепеченочный захват РФП легкими и красным костным мозгом.

Очаговые поражения печени (кисты, опухоли, метастазы) выявляются на сцинтиграммах в виде краевых или центрально расположенных участков с пониженным содержанием РФП («холодные узлы») (рис. 31).

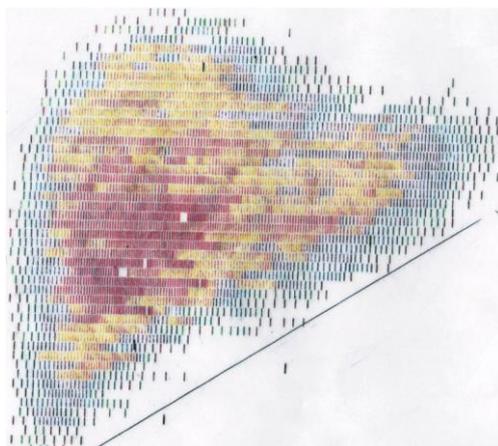
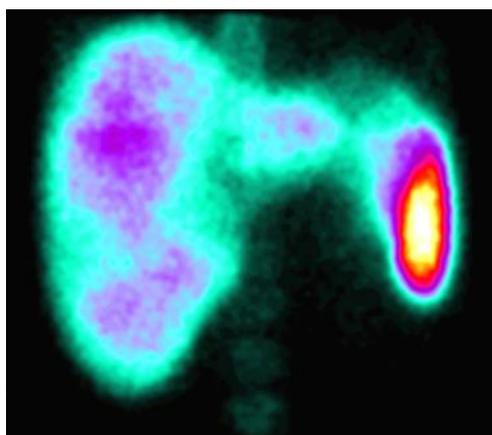
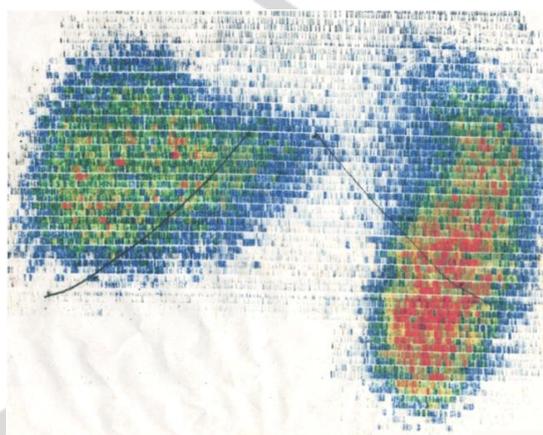


Рис. 29. Сканограмма печени при хроническом гепатите

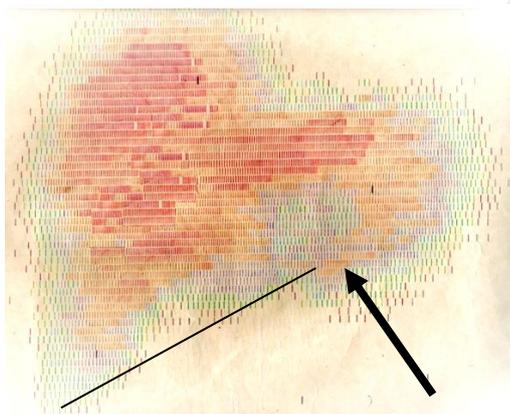


a

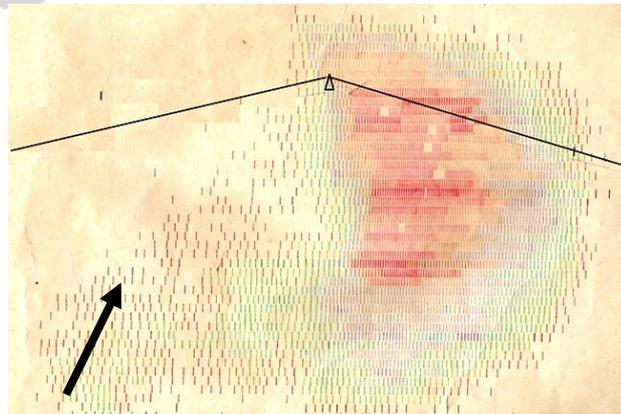


б

Рис. 30. Цирроз печени:
a — сцинтиграмма; *б* — сканограмма



a



б

Рис. 31. Сканограммы печени. Визуализируются «холодные узлы» в печени:
a — область левой доли; *б* — область правой доли

Образования печени, которые имеют диаметр менее 2 см, плохо визуализируются, если только они не расположены поверхностно. С целью повышения эффективности радионуклидной диагностики в области обнаружения злокачественных новообразований печени используют такой РФП, как ^{67}Ga -цитрат. Данный РФП является туморотропным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лучевая диагностика и лучевая терапия* : учебное пособие / А. И. Алешкевич [и др.]. Минск : Новое знание, 2017. 382 с.
2. *Терновой, С. К.* Лучевая диагностика и терапия : учебное пособие / С. К. Терновой, В. Е. Сеницын. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2010. 304 с
3. *Черношей, Д. А.* Методы иммуноанализа, основанные на применении меченых компонентов : учеб.-метод. пособие / Д. А. Черношей, Т. А. Канашкова. Минск : БГМУ, 2007. 28 с.
4. *Радионуклидная диагностика для практических врачей* / под ред. Ю. Б. Лишманова, В. И. Чернова. Томск : STT, 2004. 394 с.
5. *Kovalsky, O.* Radiology. Radiotherapy. Diagnostic Imaging : textbook for stud. of higher med. establishments of 4th accred. level : translated from Ukrainian : Ministry of Health of Ukraine / O. Kovalsky, D. Mechev, V. Danylevych. Vinnytsia : Nova Knyha, 2013. 496 p.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	3
Мотивационная характеристика темы.....	3
Основы радионуклидной диагностики	5
Динамические радионуклидные исследования	9
Статические радионуклидные исследования.....	10
Радионуклидная диагностика <i>in vitro</i>	12
Радионуклидное исследование щитовидной железы.....	14
Радионуклидное исследование почек и мочевыводящих путей.....	19
Радионуклидное исследование печени и желчевыводящих путей.....	30
Список использованной литературы	37

РЕПОЗИТОРИЙ БГМУ

Учебное издание

Качур Светлана Леонидовна
Алесина Галина Алексеевна
Тихомирова Татьяна Фёдоровна и др.

ОСНОВЫ РАДИОНУКЛИДНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск А. И. Алешкевич
Редактор Н. В. Оношко
Компьютерная вёрстка С. Г. Михейчик

Подписано в печать 10.09.19. Формат 60×84/16. Бумага писчая «Хероx office».
Ризография. Гарнитура «Times».
Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 1,9. Тираж 160 экз. Заказ 592.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный медицинский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/187 от 18.02.2014.
Ул. Ленинградская, 6, 220006, Минск.

Репозиторий БГМУ