

Д.А. Лежнев
И.В. Иванова

Основы лучевой диагностики

Учебное пособие

Министерство образования и науки РФ

Рекомендовано ФГАУ «Федеральный институт развития образования»
в качестве учебного пособия для использования в образовательном
процессе образовательных организаций, реализующих программы высшего
образования по специальности 31.05.01 «Лечебное дело»

Регистрационный номер рецензии 105 от 25 апреля 2017 г.



Москва
ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	5
Введение	6
Глава 1. Методы лучевой диагностики.	7
1.1. Рентгенологический метод исследования	8
1.2. Рентгеновская компьютерная томография	14
1.3. Ультразвуковое исследование.	20
1.4. Магнитно-резонансная томография	24
1.5. Радионуклидная диагностика.	31
1.6. Медицинская термография.	34
1.7. Основы радиационной безопасности	34
1.8. Контрастные вещества для лучевой диагностики	36
Глава 2. Рентгенологическое исследование костей и суставов	40
2.1. Рентгеносемиотика в остеологии	42
2.1.1. Изменение формы и величины кости	43
2.1.2. Изменение контуров кости	45
2.1.3. Изменение структуры костной ткани	45
2.2. Рентгеносемиотика изменений надкостницы	53
2.3. Рентгеносемиотика изменений суставов.	56
Глава 3. Рентгенологическое исследование органов грудной клетки	62
3.1. Рентгеноанатомия органов грудной клетки	63
3.2. Рентгеносемиотика заболеваний органов грудной клетки	71
Глава 4. Рентгенологическое исследование пищеварительного тракта	83
4.1. Рентгеносемиотика при заболеваниях органов пищеварительного тракта.	85
4.2. Методика исследования и рентгеноанатомия пищевода	89
4.3. Методика исследования, рентгеноанатомия желудка и двенадцатиперстной кишки	92
4.4. Методика исследования и рентгеноанатомия тонкой кишки.	95
4.5. Методика исследования и рентгеноанатомия толстой кишки	96

Глава 5. Рентгенологическое исследование в урологии	101
5.1. Методика выполнения обзорной урограммы и рентгеноанатомия почек	102
5.2. Экскреторная урография	105
5.3. Рентгенологическое исследование нижних мочевыводящих путей	109
Вопросы для контроля и самоконтроля	112
Примеры заданий в тестовой форме	113
Эталоны ответов.	122
Список литературы	123

Глава 1

МЕТОДЫ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ

Под лучевой диагностикой понимают следующий комплекс медицинских неинвазивных исследований:

- рентгенологическое исследование (рентгенография, рентгеноскопия);
- рентгеновская компьютерная томография (РКТ);
- ультразвуковое исследование (УЗИ);
- магнитно-резонансная томография (МРТ);
- радионуклидная диагностика (РНД);
- медицинская термография.

Результат диагностического исследования — медицинские изображения исследуемой области (рентгенограммы, томограммы, сцинтиграммы, сонограммы). Все разделы лучевой диагностики имеют единую семиотику, в которой ведущим является «теневого образ».

Скиалогия (греч. *skia* — тень, *logos* — учение) — особый раздел научных знаний, изучающий закономерности образования теневого изображения и разрабатывающий правила определения строения и функции органа в норме и при патологических изменениях. Логика клинического мышления в лучевой диагностике основана на правильном проведении скиалогического анализа, включающего подробную характеристику свойств теней:

- их положение;
- количество;
- величину;
- форму;
- интенсивность;
- структуру;
- характер контуров.

Перечисленные характеристики описываются четырьмя законами скиалогии:

- **законом абсорбции** (определяет интенсивность тени объекта в зависимости от его атомного состава, плотности, толщины);

- **законом суммации теней** (описывает условия формирования образа за счет суперпозиции теней сложного трехмерного объекта на плоскость);
- **проекционным законом** (представляет построение теневого образа с учетом того, что пучок рентгеновского излучения расходящийся и его сечение в плоскости приемника всегда больше, чем на уровне исследуемого объекта);
- **законом тангенциальности** (определяет контурность получаемого образа).

Рентгеновское, ультразвуковое, магнитно-резонансное или иное изображение объективно и отражает истинное морфофункциональное состояние исследуемого анатомического объекта. Трактовка врачом-специалистом полученных данных основана на уровне теоретической подготовки исследователя и его способности к клиническому мышлению.

1.1. РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Наука рентгенология получила свое название в честь профессора Вюрцбургского университета Вильгельма Конрада Рентгена, открывшего 8 ноября 1895 г. X-лучи, названные впоследствии его именем (рис. 1).

Само открытие В.-К. Рентген совершил поздним вечером. Уходя из



Рис. 1. Вильгельм Конрад Рентген

лаборатории, ученый погасил свет в комнате и заметил в темноте зеленоватое свечение — флюоресценцию, исходившую от экрана, покрытого кристаллами платино-синеродистого бария. Как оказалось, кристаллы отреагировали на воздействие расположенной неподалеку электровакуумной трубки, которая в тот момент находилась под высоким напряжением. При отключении тока свечение экрана прекращалось, а при повторном включении снова возобновлялось. Трубка была обернута в черную светонепроницаемую бумагу, поэтому В.-К. Рентген предположил,

что при прохождении через нее электрического тока она испускает какие-то невидимые лучи, способные проникать через непрозрачные среды и возбуждать кристаллы бария. В последующем В.-К. Рентген назвал их X-лучами.

Через 50 дней ученый представил председателю Вюрцбургского физико-медицинского общества рукопись из 17 страниц, содержащую описание открытых им X-лучей. Этот день, 28 декабря 1895 г., вошел в историю как официальная дата открытия рентгеновских лучей. Вместе с рукописью ученый представил также первую рентгенограмму, сделанную ранее, 22 декабря, на которой была запечатлена рука его жены Берты Рентген. В 1901 г. В.-К. Рентген был удостоен за свое открытие первой Нобелевской премии в области физики. Впоследствии науку, изучающую воздействие рентгеновских лучей на организм, назвали рентгенологией. В.-К. Рентген не взял патента, подарив свое открытие всему человечеству.

Разработка и внедрение рентгенологического метода — настоящая революция в медицине. Первый рентгеновский аппарат в России был создан выдающимся изобретателем А.С. Поповым и использовался в Кронштадтском морском госпитале для выявления инородных тел. Такой аппарат находился и на крейсере «Аврора». В 1918 г. в Петрограде был основан первый научно-исследовательский рентгенологический институт, первым президентом которого стал профессор А.Ф. Иоффе, вице-президентом и руководителем медико-биологического отдела — профессор М.И. Немёнов.

Рентгеновские лучи — электромагнитные колебания, не воспринимаемые органами чувств. Излучатель (рентгеновская трубка) — электровакуумный прибор с источником излучения электронов (катод) и мишенью, в которой они тормозятся (анод) (рис. 2, а, б). Катод представляет собой спираль, анод — диск со скошенной поверхностью в месте контакта с попадающими на него электронами. Высоковольтное напряжение для разогрева катода подается через высоковольтный кабель с трансформатора, который находится в генераторном устройстве. При подведении к рентгеновской трубке высокого напряжения накалившаяся спираль катода начинает выбрасывать ускоряющийся поток электронов, которые затем резко тормозятся на вольфрамовой пластинке анода, что и приводит к появлению рентгеновских лучей. Площадь анода, на которую попадают электроны, называют фокусом. В современных рентгеновских трубках обычно два фокуса: большой и малый. В аноде свыше 95% энергии электронов превращается в тепло-

вую энергию, нагревающую анод до $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более. По этой причине с увеличением длительности экспозиции допустимая мощность снижается.

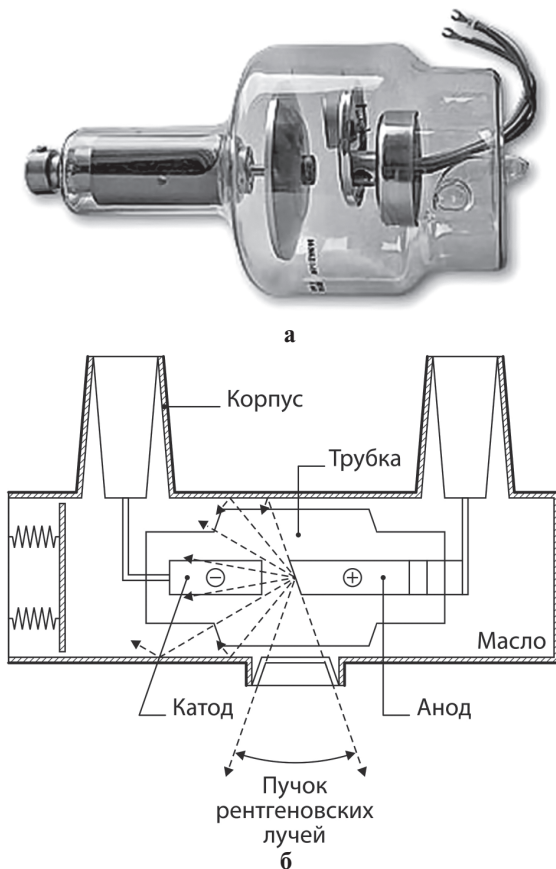


Рис. 2. Строение рентгеновской трубки: а — внешний вид рентгеновской трубки; б — схема строения рентгеновской трубки

Рентгенодиагностическую трубку размещают в просвинцованном кожухе, заполненном трансформаторным маслом. В кожухе есть отверстия для подсоединения высоковольтных кабелей и выходное окно, через которое выводится пучок излучения. Для минимизации дозы рентгеновского излучения в современных рентгеновских аппаратах

(например, в цифровом малодозовом флюорографе) на выходном окне закреплено устройство для коллимации. Один из способов повышения производительности рентгеновской трубки — система вращения анода. Для этого в кожухе рентгеновской трубки размещено соответствующее устройство.

Рентгеновские лучи обладают определенными свойствами, которые и объясняют возможность получения изображения при рентгенологическом исследовании.

- **Проникающая способность лучей** — способность проникать сквозь биологические и небиологические объекты. Проникающая способность зависит от длины волны и мощности излучения: чем больше энергия и меньше длина волны, тем больше проникающая способность.
- **Поглощающее свойство** — способность тканей и органов «задерживать» рентгеновские лучи. Это свойство находится в прямой зависимости от химического строения, плотности и объема изучаемого объекта: чем больше атомный вес вещества, тем больше поглощение. Костная ткань обладает наибольшей плотностью, а значит, и поглощающей способностью, поэтому при рентгенологическом исследовании костная ткань определяется более четко, а паренхиматозные органы значительно меньше задерживают рентгеновские лучи, вследствие чего их дифференцировка существенно ниже.
- **Флюоресцирующее свойство** — способность лучей вызывать свечение некоторых химических веществ (флюоресцирующих), при этом происходит возбуждение атомов кристаллов некоторых солей, которые начинают светиться различными оттенками. Данное свойство лежит в основе рентгеноскопии — методики получения теневого изображения на экране рентгенодиагностического аппарата.
- **Фотохимическое свойство** — способность вызывать почернение пленки благодаря разложению галоидных соединений серебра, составляющих основу фотослоя. Данное свойство позволило использовать рентгеновские лучи для рентгенографии.
- **Ионизирующее свойство** заключается в том, что под воздействием кванта рентгеновского излучения нейтральный атом любого элемента может стать положительным ионом (потеряв один электрон), а другой атом (присоединив лишний электрон) — отрицательным. Так образуется пара ионов разноименного знака.

По количеству образовавшихся ионов можно контролировать интенсивность рентгеновского излучения или его дозу. На этом основан один из методов дозиметрии.

- **Биологическое действие** — важное свойство рентгеновских лучей. Наиболее чувствительны к ионизирующему излучению молодые, малодифференцированные клетки с высоким уровнем обмена веществ. На этом явлении радиочувствительности тканей основана лучевая терапия злокачественных опухолей. Различают:
 - **прямое** повреждающее действие — на атомарном и молекулярном уровнях;
 - **непрямое** действие — через продукты расщепления воды (радиолита воды).

Все методики традиционной рентгенодиагностики отличаются друг от друга только приемником излучения, в качестве которого используются:

- рентгеновская пленка;
- флюоресцирующий экран;
- полупроводниковая кремниевая пластина.

На сегодняшний день в качестве приемника излучения чаще всего используют какую-либо систему детекторов. Таким образом, традиционная рентгенография переходит на цифровой (дигитальный) принцип получения изображений.

Существуют негативные и позитивные изображения одного и того же объекта. Органы и ткани, обладающие высокой рентгеновской плотностью (кости, сердце, купола диафрагмы), на негативных изображениях белого цвета, а на позитивных — черного (рис. 3, а, б). Независимо от того, оценивается позитивное или негативное изображение, принято использовать следующую терминологию:

- **затемнение** — участок более высокой плотности по сравнению с окружающими тканями, который выглядит как более светлый участок;
- **просветление** — область повышенной прозрачности, которая выглядит как более темный участок.

Основные рентгенологические методики — рентгенография и рентгеноскопия.

- **Рентгеноскопия** — методика рентгенологического исследования, при которой рентгеновские лучи попадают на соответствующий приемник изображения, а получаемое изображение выводится на экран монитора. Основным преимуществом рентгеноскопии яв-

ляется возможность оценки функции органов, поскольку исследование проводится в режиме реального времени. К недостаткам этой методики относят большую лучевую нагрузку, так как пациент более длительное время подвергается воздействию рентгеновского излучения в отличие от рентгенографии.

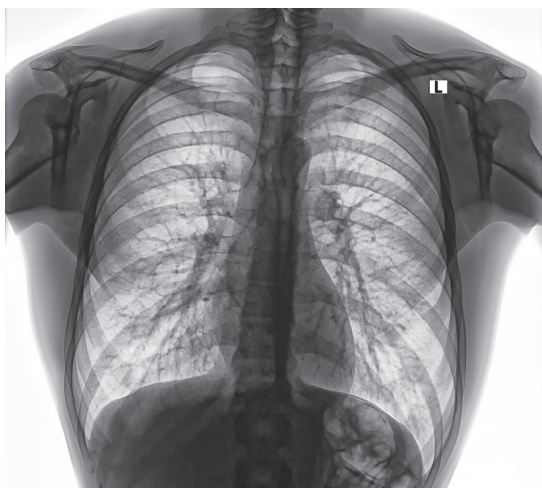
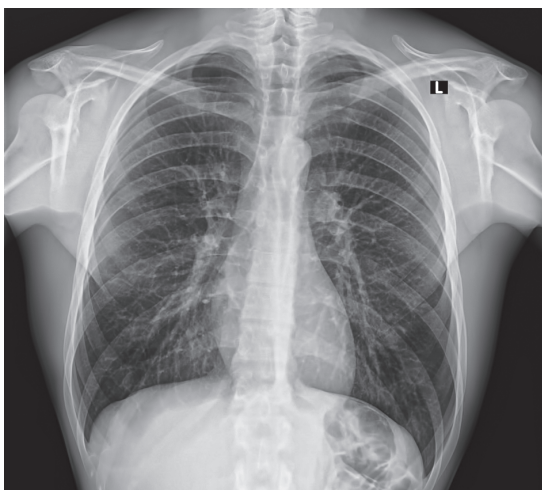
**а****б**

Рис. 3. Рентгенограмма органов грудной клетки в прямой проекции: а — позитивное изображение; б — негативное изображение

- **Рентгенография** — методика рентгенологического исследования, при которой изображение объекта проецируется на кассету с пленкой, т.е. это статическое изображение. К недостаткам рентгенографии по сравнению с рентгеноскопией относится невозможность оценить функцию изучаемого органа, а также суммация всех деталей.

В зависимости от целей и задач исследования различают обзорные и прицельные рентгенограммы.

- **Обзорная рентгенограмма** охватывает целую анатомическую область (обзорная рентгенограмма органов грудной клетки, обзорная рентгенограмма брюшной полости).
- **Прицельная рентгенограмма** позволяет получить детальное изображение какой-либо части исследуемого органа или структуры, небольшого патологического объекта (прицельная рентгенограмма правого легкого, прицельная рентгенограмма диафиза бедренной кости).

Некоторые органы поглощают рентгеновское излучение в большей или меньшей степени, чем окружающие ткани, вследствие чего можно получить их контрастное рентгеновское изображение. Явление, благодаря которому это осуществимо, получило название естественного контрастирования. Например, легкие, будучи практически воздушной средой, мало ослабляют рентгеновское излучение, в то время как кости делают это намного интенсивнее. Мягкие ткани занимают промежуточное положение между указанными структурами по степени ослабления, поэтому изображение органов грудной клетки и костного скелета получаются благодаря естественной контрастности. Тем не менее большинство органов и тканей организма поглощают излучение практически в одинаковой степени, в связи с этим для визуализации органов, не обладающих естественной контрастностью (например, органы желудочно-кишечного тракта, органы мочевыделительной системы), применяют специальные методики, основанные на явлении искусственного контрастирования.

1.2. РЕНТГЕНОВСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ

РКТ — метод послойного рентгенологического исследования органов и тканей. Авторы этого метода Г. Хаундсфилд и А. Кормак в 1979 г. получили Нобелевскую премию за его разработку.

Любой компьютерный томограф состоит из нескольких функциональных систем:

- гентри — специальный штатив, в котором находятся рентгеновская трубка, механизмы для формирования узкого пучка излу-

чения; в центре гентри расположено отверстие (апертура), куда помещают пациента;

- томографический стол, который перемещает пациента внутри гентри;
- многоуровневая компьютерная система для сбора, накопления, реконструкции и анализа данных;
- пульт управления томографом;
- дисплей для визуального контроля и анализа изображений.

Различия в конструкциях томографов обусловлены прежде всего выбором траектории сканирования. На сегодняшний день в клинической практике обычно применяются спиральные мультidetекторные сканеры — мультисрезовая компьютерная томография (МСКТ) (рис. 4, а, б).

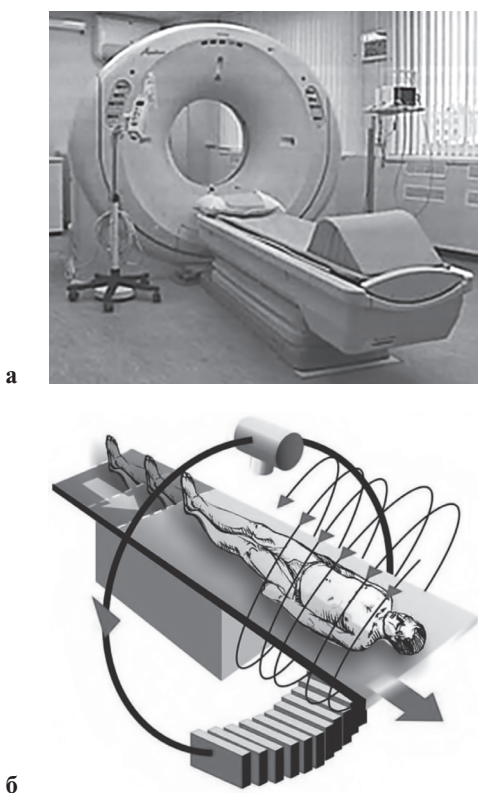


Рис. 4. Рентгеновская компьютерная томография: а — спиральный компьютерный томограф; б — схема проведения спиральной компьютерной томографии

Принцип работы компьютерного томографа заключается в том, что интересующий врача участок тела человека сканируют узким пучком рентгеновского излучения. Детекторы измеряют степень его ослабления, сопоставляя количество фотонов до и после прохождения через исследуемый объект или зону исследования. Результаты измерений передаются в компьютер, и по ним, в соответствии с законом абсорбции, вычисляются коэффициенты ослабления излучения для каждой проекции исследования (рис. 5, а–в).

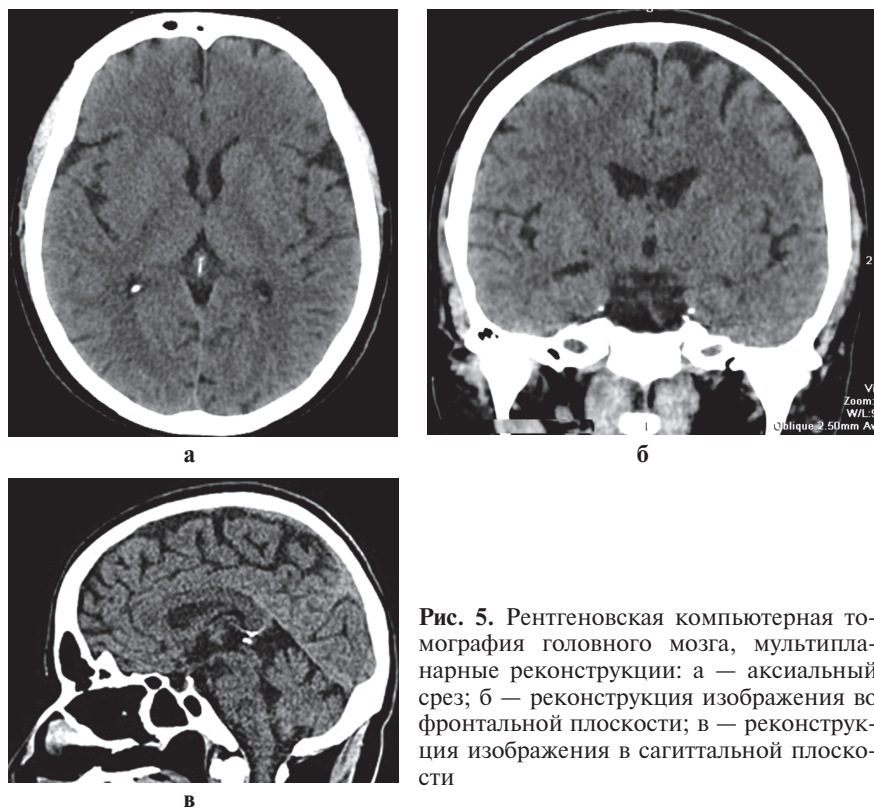


Рис. 5. Рентгеновская компьютерная томография головного мозга, мультипланарные реконструкции: а — аксиальный срез; б — реконструкция изображения во фронтальной плоскости; в — реконструкция изображения в сагиттальной плоскости

В настоящее время для всех тканей и органов в норме, а также для большинства патологических субстратов разработаны коэффициенты абсорбции по шкале Хаунсфилда. Точкой отсчета в этой шкале считают воду, коэффициент поглощения которой принят за ноль. Верхняя граница шкалы (+3000 HU) соответствует поглощению рентгеновских

лучей металлом, а нижняя (-1000 HU) — воздухом. Получение точной количественной информации не только о размерах и пространственном расположении, но и о плотности органов и тканей — важнейшее преимущество РКТ перед традиционным рентгенологическим методом.

Диагностические возможности РКТ расширяются. Мультидетекторные системы с 64—320 линейками детекторов позволяют выполнять исследования в условиях реального времени, осуществлять многоплоскостные и трехмерные реконструкции (рис. 6, а—в, см. цв. вклейку). Возросло значение РКТ как метода интраоперационного контроля при рентгенохирургических вмешательствах.

При определении показаний к РКТ необходимо учитывать целесообразность ее использования в каждом конкретном случае, принимая во внимание результаты, полученные на этапе первичного клинико-рентгенологического обследования, а также исходить из диагностических возможностей других, в том числе и нелучевых, методов исследования.

Показания к РКТ:

- скрининговая диагностика — исключение потенциально серьезного диагноза в группах риска при наличии:
 - головных болей;
 - обмороков;
 - травм головы;
 - подозрения на рак легкого;
- диагностика по экстренным показаниям:
 - тяжелые травмы;
 - нарушение мозгового кровообращения;
 - подозрение на повреждение сосуда (расслаивающая аневризма аорты);
 - острые повреждения полых и паренхиматозных органов (как осложнения основного заболевания или в результате проводимого лечения);
- плановая диагностика — для окончательного подтверждения диагноза;
- контроль результатов лечения;
- проведение лечебных и диагностических манипуляций:
 - пункции;
 - дренирования;
 - аблации и др.

Одна из методик РКТ, используемая в клинической практике, — конусно-лучевая компьютерная томография. В основе получения изображения

лежит круговое сканирование объекта конусовидным пучком рентгеновских лучей. Регистрация полученного изображения осуществляется на плоскую панель CCD-матрицу. Благодаря конусно-лучевой технологии всего за один оборот рентгеновской трубки вокруг исследуемого объекта получается первичное трехмерное изображение, готовое к дальнейшей постпроцессорной обработке в стандартных плоскостях. Важное преимущество конусно-лучевой компьютерной томографии по сравнению с РКТ — значительное снижение дозы облучения пациентов за счет:

- импульсного воздействия рентгеновского излучения во время сканирования;
- высокой чувствительности плоскопанельного детектора (рис. 7, а, б).

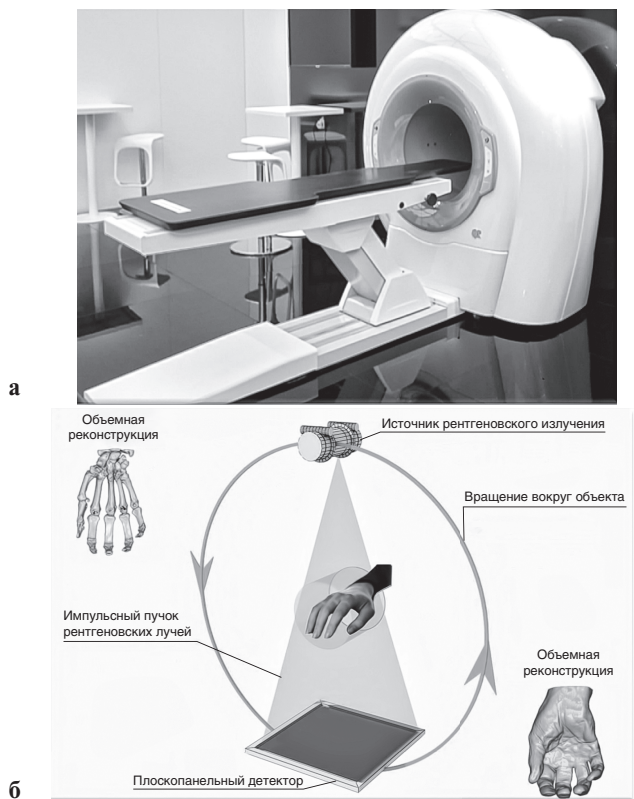


Рис. 7. Конусно-лучевая компьютерная томография: а — конусно-лучевой компьютерный томограф; б — схема получения изображений при конусно-лучевой компьютерной томографии

В настоящее время методику активно применяют не только на первом этапе диагностики, но и для контроля результатов лечения в таких областях, как:

- стоматология и челюстно-лицевая хирургия (повреждения и заболевания челюстно-лицевой области и шеи);
- оториноларингология (повреждения и заболевания придаточных пазух носа и височной кости);
- травматология и ортопедия (повреждения и заболевания дистальных отделов верхних и нижних конечностей) (рис. 8, а, б).

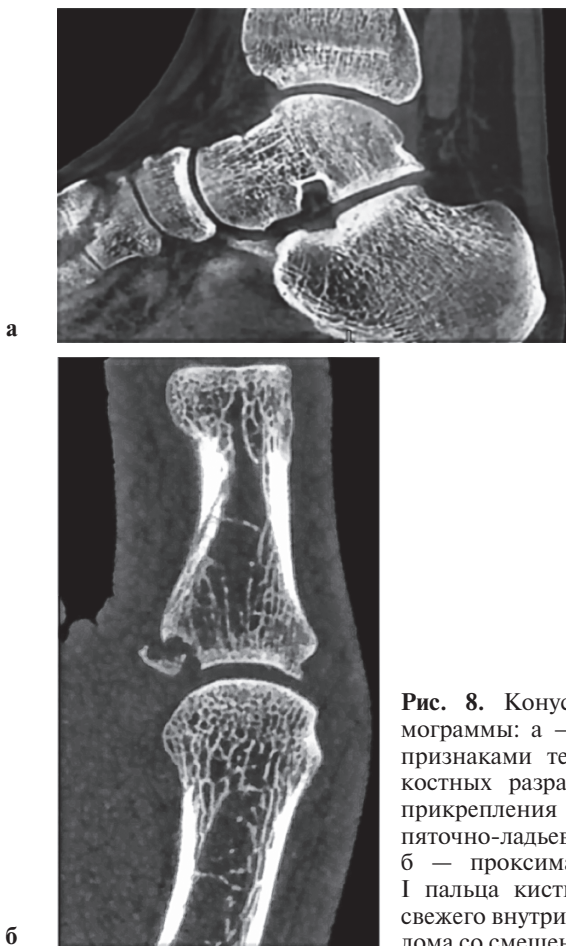


Рис. 8. Конусно-лучевые томограммы: а — левой стопы с признаками тендиноза в виде костных разрастаний в месте прикрепления подошвенной пяточно-ладьевидной связки; б — проксимальной фаланги I пальца кисти с признаками свежего внутрисуставного перелома со смещением

1.3. УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

УЗИ — неинвазивный метод диагностики с помощью ультразвуковых волн частотой от 1 до 20 МГц. Ультразвуковые волны обладают следующими физическими свойствами, благодаря которым возможна визуализация различных органов и тканей:

- **отражение** — основное физическое явление, на основе которого получают информацию о тканях;
- **преломление** — изменение направления распространения волн при переходе из одной среды в другую;
- **рассеяние** — преобразование ультразвуковой волны во множество волн, распространяющихся во всех направлениях;
- **поглощение** — переход энергии ультразвуковой волны в другие виды энергии, в основном в тепло;
- **дифракция** — явление огибания волнами различных препятствий;
- **интерференция** — явление сложения ультразвуковых волн, отраженных различными неоднородностями.

Датчик ультразвуковых приборов — одновременно и генератор и приемник высокочастотных колебаний. Основа датчика — пьезоэлектрические кристаллы. Они обладают двумя свойствами: подача электрических потенциалов на кристалл приводит к его механической деформации с той же частотой, а механическое сжатие от отраженных волн генерирует электрические импульсы.

По способу сканирования различают следующие виды ультразвуковых датчиков (рис. 9):

- конвексный;
- линейный;
- векторный;
- объемный и др.

Каждый датчик имеет свои частотные характеристики, а соответственно, и область применения у них будет различной. Чем ниже частота сканирования, тем на большую глубину проникает ультразвуковая волна.

Классификация ультразвуковых датчиков по областям применения:

- **для наружного обследования** (области живота и малого таза, поверхностно расположенных органов, сердца, головного мозга, сосудов);
- **внутриполостные** (трансвагинальные, трансректальные, интраоперационные, трансуретральные, транспищеводные, эндоскопические с ультразвуковым преобразователем);



Рис. 9. Ультразвуковые датчики

- для специализированных приборов (офтальмологические, транскраниальные, для исследования придаточных пазух носа, для ветеринарии, высокочастотные для поверхностных исследований, для фетальных мониторов).

Для оценки полученных изображений важным критерием считают **эхогенность**, т.е. способность исследуемого объекта отражать ультразвук. Различные структуры организма имеют разную эхогенность, что позволяет их визуализировать и дифференцировать от окружающих тканей. **Изоэхогенность** — нормальная эхогенность (объекты серого цвета), **гипоэхогенность** — сниженная эхогенность (цвет ближе к черному), **гиперэхогенность** — высокая эхогенность (белого цвета), **анэхогенность** (дословно «отсутствие эхогенности») — эхонегативность (образования черного цвета). Чем «чернее» объект на экране УЗИ-сканера, тем ниже эхогенность, чем «светлее» — тем она выше. Например, конкременты и кальцинаты — гиперэхогенные. Так как конкременты имеют очень плотную структуру, ультразвук не может пройти сквозь них, а видит только верхнюю часть конкремента, после которой появляется акустическая тень. Сниженная эхогенность органов обычно

говорит об отеке или воспалительных изменениях. Анехогенные образования — жидкостные. Например, наполненный мочевой пузырь в норме анехогенный (рис. 10, а–г).

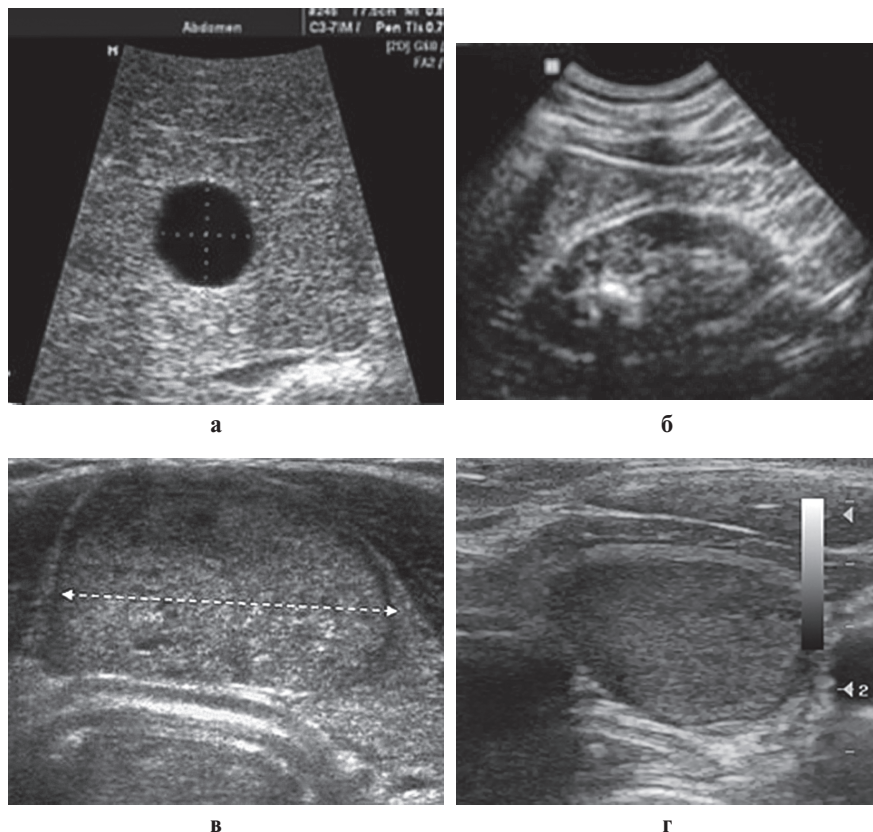


Рис. 10. Ультразвуковое исследование, эхограммы, В-режим: а — анехогенная структура; б — гиперэхогенная структура; в — изоэхогенная структура; г — гипоэхогенная структура

При исследовании выделяют несколько режимов ультразвукового сканирования. Основными режимами работы считают:

- А — амплитудный режим;
- В — двухмерный режим серошкального сканирования;
- М — одномерный режим с разверткой по времени;

- D — спектральный анализ скоростей кровотока с использованием импульсно-волнового доплера (PW) и/или непрерывного доплера (CW);
- CFM (ЦДК) — цветное доплеровское картирование кровотока;
- PD (ЭД) — энергетический доплер (в том числе энергетический доплер).

Также к основным режимам сканирования можно отнести различные комбинации:

- B+M, B+D или B+CFM, B+PD (дуплексный);
- B+D+CFM, B+D+PD или B+M+CFM, B+M+PD (триплексный).

Эхография в А- и М-режиме дает информацию в виде одномерного изображения (М-режим часто используют в кардиологии). В-режим — в виде двухмерных серошкалаых томографических изображений анатомических структур в масштабе реального времени, что позволяет оценивать их морфологическое состояние (используется при исследовании паренхиматозных органов) (рис. 11, см. цв. вклейку).

Доплерография — методика, основанная на использовании эффекта Доплера, сущность которого заключается в том, что от движущихся объектов ультразвуковые волны отражаются с измененной частотой. Этот сдвиг частоты пропорционален скорости движения лоцируемых структур: если движение направлено в сторону датчика, частота увеличивается, если от датчика — уменьшается. Существует немало различных методик доплерографии, среди которых:

- потоковая спектральная доплерография:
 - непрерывная (постоянноволновая);
 - импульсная;
- цветное доплеровское картирование;
- энергетический доплер;
- комбинированные варианты.

Наиболее часто в практике используют цветное доплеровское картирование, при котором неподвижные объекты отображаются оттенками серой шкалы, а сосуды — в цветной шкале. При этом оттенок цвета соответствует скорости и направлению кровотока (рис. 12, см. цв. вклейку).

Назначая УЗИ в плановом порядке, врач должен ознакомить пациента с подготовкой к исследованию. УЗИ органов брюшной полости проводится натощак (предыдущий прием пищи не ранее чем за 6–8 ч до исследования) утром. Из рациона на 1–2 дня следует исключить бобо-

вые, сырые овощи, черный хлеб, молоко. При склонности к газообразованию рекомендован прием Угля активированного* по 1 таблетке 3 раза в день, других энтеросорбентов или Фестала*. При наличии у пациента сахарного диабета допустим легкий завтрак (теплый чай, подсушенный белый хлеб). Для выполнения трансабдоминального исследования органов малого таза (мочевого пузыря, матки или предстательной железы) требуется наполнение мочевого пузыря, в связи с чем рекомендуется воздержаться от мочеиспускания в течение 3 ч или выпить 300–500 мл воды за 1 ч до исследования. При проведении внутривлагалищного исследования (через влагалище у женщин или через прямую кишку у мужчин), наоборот, необходимо опорожнить мочевой пузырь. УЗИ сердца, сосудов, щитовидной железы не требуют специальной подготовки. В настоящий момент противопоказаний к проведению УЗИ не существует, оно не обладает лучевой нагрузкой, его можно повторять неограниченное количество раз.

Показания к УЗИ:

- кардиология (оценка сердца и коронарных артерий);
- оценка паренхиматозных органов брюшной полости и забрюшинного пространства, желчного пузыря, внутри- и внепеченочных желчных протоков;
- исследование органов малого таза;
- скрининговая диагностика плода;
- офтальмология (анализ структур глазницы);
- нервная система (оценка состояния сонных артерий и крупных интрацеребральных сосудов);
- исследования опорно-двигательного аппарата и мягких тканей (выявление изменений сухожилий, мышц, невралгических структур, мягких тканей и поверхности костей);
- неонатология (исследование головного мозга новорожденного через роднички).

1.4. МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ

МРТ — диагностический метод получения изображения на основе эффекта ядерно-магнитного резонанса. В отличие от рентгенологических исследований МРТ, как и УЗИ, не несет лучевой нагрузки, так как для изображений используется радиочастотный диапазон электромагнитного излучения с очень низкой энергией (те же частоты, что в радио- и телевидении) (рис. 13).

Главные преимущества МРТ:

- отсутствие ионизирующего излучения;
- произвольное направление срезов или сбор истинного трехмерного массива данных;
- получение морфологической, метаболической и функциональной информации.



Рис. 13. Магнитно-резонансный томограф

Ядра некоторых атомов, находящихся в постоянном магнитном поле, при облучении переменным электромагнитным полем способны поглощать энергию этого поля. После прекращения воздействия происходит выделение ранее поглощенной энергии в виде радиосигнала. Таким свойством обладают ядра, которые содержат нечетное число нуклонов (от лат. *nucleus* — ядро, общее название протона и нейтрона — частиц, из которых состоят ядра атомов) и вследствие этого имеют ненулевой спин (от англ. *spin* — вращаться), т.е. момент вращения элементарной частицы (если элементарная частица вращается вокруг своей оси, она имеет ненулевой спин) и соответствующий ему собственный магнитный момент. Эти ядра представляют собой магнитный диполь, подобный стержневому магниту. К их числу относятся, в частности,

ядра водорода, углерода, фосфора. В отсутствии внешнего магнитного поля спины этих ядер расположены в пространстве хаотично. При наличии же внешнего постоянного магнитного поля они ориентируются вдоль силовых линий. Кроме того, они совершают вращательное движение вокруг своей оси в виде конуса подобно волчку (рис. 14, а–в).

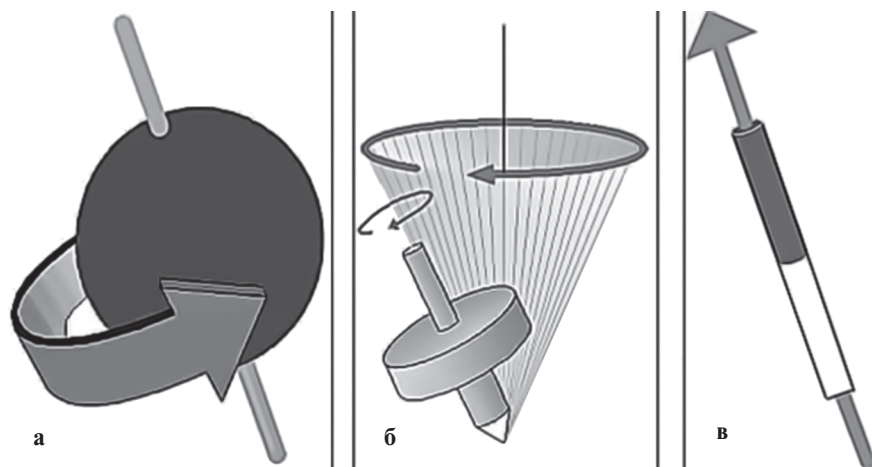


Рис. 14. Принцип ядерного магнитного резонанса: а — протоны вращаются (прецессируют) вокруг собственной оси; б — вращение происходит вокруг оси по типу волчка; в — движение заряженной частицы вызывает формирование магнитного поля, которое можно представить в виде вектора

Такой феномен называется **прецессия** — явление, при котором момент импульса тела меняет свое направление в пространстве под действием момента внешней силы. Находящиеся в состоянии прецессии протоны очень чувствительны к внешнему переменному электромагнитному облучению радиочастотного диапазона, совпадающего с частотой прецессии. Возникает резонанс, в результате которого часть энергии электромагнитного излучения поглощается протонами. При этом происходит изменение направления магнитного момента. Когда радиочастотный импульс заканчивается, протон возвращается в исходное состояние — наступает его релаксация, сопровождающаяся излучением энергии. Протоны водорода обладают двумя видами релаксации: продольной (T1) и поперечной (T2). Первая из них наступает раньше и зависит от структуры молекул, вторая — несколько позже и связана

с взаимодействием между молекулами. При этом время релаксации жира, учитывая стабильную его структуру, массивность молекул, а следовательно, возможность передачи энергии по системе, короче, чем у других водородсодержащих веществ.

Вид магнитно-резонансного (МР) изображения определяется используемой импульсной последовательностью. Ее основные характеристики:

- время повторения (TR);
- время эхо (TE).

TR — длительность одной импульсной последовательности, в течение которой происходят:

- подача возбуждающего радиочастотного импульса с резонансной частотой;
- прием ответного сигнала;
- время для стабилизации всей системы.

TE — период от начала подачи радиочастотного импульса до момента сбора ответного радиочастотного сигнала.

При сборе информации через короткое время (TE примерно 10 мс) после подачи возбуждающего радиочастотного сигнала будет получен ответный сигнал практически только от структур, содержащих жир. Данные изображения называются T_1 -взвешенными (T_1 -ВИ), так как основной вклад в формирование изображения дает именно T_1 -релаксация. Высокую интенсивность сигнала на них будут иметь структуры, содержащие жир, низкую интенсивность — содержащие воду.

T_2 -взвешенные изображения (T_2 -ВИ) со временем сбора информации примерно через 100 мс после возбуждающего радиочастотного сигнала дают в основном информацию о T_2 -релаксации. На данных изображениях высокую интенсивность (белый цвет) будут иметь структуры, содержащие как воду, так и жир. Для того чтобы дифференцировать участки, содержащие жир, от зон отека, которые содержат воду, применяют последовательности, селективно подавляющие сигнал от первого. На всех МР-изображениях ткани и вещества, не содержащие протоны водорода (кости, воздух), а также движущиеся объекты (кровь) будут иметь низкую интенсивность сигнала (черный цвет), а структуры, содержащие различное количество жира и воды (мышцы, паренхиматозные органы и т.д.), — промежуточный, различный по интенсивности МР-сигнал (оттенки серого цвета) (рис. 15, а, б).

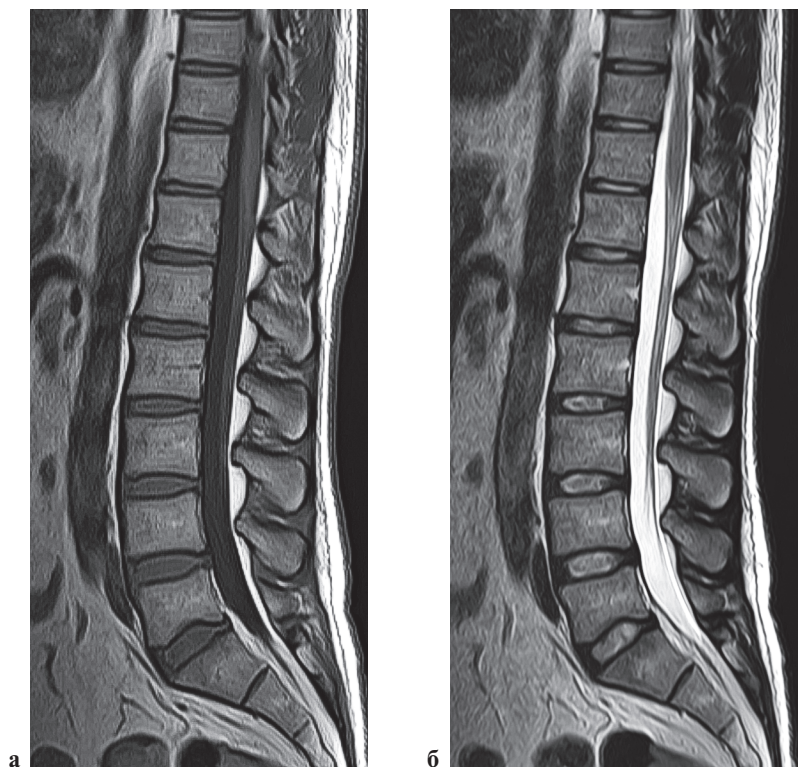


Рис. 15. МР-томограммы пояснично-крестцового отдела позвоночника в сагиттальной плоскости: а — T_1 -ВИ; б — T_2 -ВИ

Некоторые биологические структуры очень незначительно отличаются по времени релаксации, поэтому контрастность между ними недостаточна для их дифференцировки. В таких случаях кроме стандартных T_1 -ВИ и T_2 -ВИ могут быть получены и другие данные. Например, при использовании специальных последовательностей можно убрать сигнал от жира или свободной жидкости, что позволяет оценить зоны воспалительной инфильтрации. Используя различные методики МР-ангиографии, можно, не применяя каких-либо контрастных препаратов, получить информацию о сосудистом русле (как артериальном, так и венозном). Для оценки характера кровоснабжения различных структур, проницаемости естественных барьеров (например, гематоэнцефалического) и увеличения контрастности между нормальной и патологически

измененной тканями дополнительно применяют контрастные гадолинийсодержащие препараты, в том числе органоспецифические (например, гепатотропные). Более того, современные методики позволяют:

- оценить функциональные показатели:
 - диффузию жидкости в различных тканях;
 - проводящие пути центральной нервной системы;
- получить информацию о химическом составе тех или иных структур с помощью МР-спектроскопии, что в ряде случаев позволяет провести дифференциальную диагностику патологических изменений (рис. 16, а, б).

В зависимости от напряженности магнитного поля различают несколько типов томографов:

- до 0,1 Тл — сверхнизкопольный;
- от 0,1 до 0,5 Тл — низкопольный;
- от 0,5 до 1 Тл — среднепольный;
- от 1 до 2 Тл — высокопольный;
- более 2 Тл — сверхвысокопольный.

Противопоказания к проведению МРТ.

- **Абсолютные:** металлические инородные тела, осколки, ферромагнитные импланты, так как под влиянием сильного магнитного поля они могут нагреваться, смещаться и травмировать окружающие ткани. К ферромагнитным имплантам относят:
 - кардиостимуляторы;
 - автоматические дозаторы лекарственных средств;
 - имплантированные инсулиновые помпы;
 - искусственные клапаны сердца с металлическими элементами;
 - стальные имплантаты (зажимы/клипсы на сосудах, искусственные тазобедренные суставы, аппараты металлоостеосинтеза);
 - слуховые аппараты.
- **Относительные:**
 - I триместр беременности;
 - клаустрофобия;
 - некупированный судорожный синдром;
 - двигательная активность пациента (в этом случае у пациентов в тяжелом состоянии или у детей прибегают к анестезиологическому пособию).

По виду изображения МРТ имеют некоторое сходство с РКТ. Однако следует учитывать, что при РКТ оттенок серого цвета определяется степенью поглощения рентгеновского излучения тканями, в то время

как при МРТ — интенсивностью радиосигнала. Кроме того, в основе изображения при РКТ лежат числовые величины коэффициентов ослабления, что позволяет проводить прямую денситометрию, при МРТ такой возможности нет.

а



б

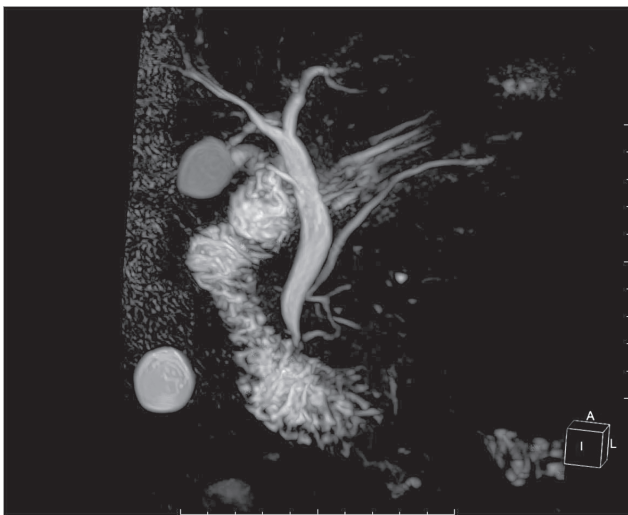


Рис. 16. МР-томограммы: а — МР-ангиограмма сосудов головного мозга; б — МР-холангиопанкреатограмма

Показание к выполнению МРТ — необходимость исследования:

- нервной системы (при аномалиях развития и сосудистых заболеваниях головного мозга, первичных и вторичных опухолях головного и спинного мозга, эпилепсии, инфекционных заболеваниях центральной нервной системы, патологических изменениях сельлярной области, аномалиях развития и вариантов строения сосудов головы и шеи, нейродегенеративных заболеваниях, рассеянном склерозе);
- опорно-двигательного аппарата и мягких тканей (при опухолях костей и мягких тканей, дегенеративных и воспалительных заболеваниях суставов конечностей и позвоночника, спортивных травмах, переломах, не выявляемых с помощью рентгенографии и РКТ);
- органов брюшной полости и забрюшинного пространства (при первичных и вторичных опухолях органов брюшной полости и забрюшинного пространства, для оценки состояния желчевыводящей системы);
- молочных желез (как метод уточняющей диагностики при недостаточной эффективности маммографии и УЗИ);
- органов малого таза («золотой стандарт» для оценки первичных опухолей органов малого таза, их распространенности и наличия регионарных метастазов).

1.5. РАДИОНУКЛИДНАЯ ДИАГНОСТИКА

РНД — один из лучевых методов исследования, основанный на внешней радиометрии излучения, исходящего из органов и тканей после введения радиофармацевтических препаратов (РФП) непосредственно в организм пациента. Радионуклидная визуализация основана на обнаружении излучения, испускаемого находящимся внутри пациента радиоактивным веществом. РФП — фармакологическое соединение, имеющее индивидуальную фармакокинетику в организме. Каждая молекула этого соединения также помечается гамма-излучающим радионуклидом. Однако РФП — не всегда химическое вещество, это может быть и клетка, например эритроцит, меченный гамма-излучателем. Существует множество радиофармпрепаратов. Отсюда и многообразие методических подходов в радионуклидной диагностике, когда применение определенного РФП диктует и конкретную методику исследования. С точки зрения технического обеспечения можно выделить три группы методик радионуклидного исследования.

- **Радиометрию** — информация представляется в виде цифр и сравнивается с условной нормой. Как правило, таким образом исследуют медленно протекающие физиологические и патофизиологические процессы в организме (например, йодпоглотительная функция щитовидной железы).
- **Радиографию** (гамма-хронография) — применяется для изучения быстропротекающих процессов. Например, прохождение крови с введенным РФП по камерам сердца (радиокардиография), выделительная функция почек (радиоренография). Информация представляется в виде кривых «активность—время».
- **Гамма-томографию** — предназначена для получения изображения органов и систем организма и представлена четырьмя основными вариантами.



Рис. 17. Остеосцинтиграмма всего скелета в режиме «все тело»

- **Сканирование** — сканер позволяет произвести радиометрию в каждой точке исследуемой области и нанести информацию на бумагу в виде штрихов различного цвета и частоты, получается статическое изображение органа.
- **Сцинтиграфия** — быстродействующая гамма-камера позволяет проследить в динамике процессы прохождения и накопления РФП в организме. Гамма-камера может получать информацию очень быстро (с частотой до 3 кадров в секунду), поэтому становится возможным динамическое наблюдение, например исследование костно-суставной системы для определения метастатического поражения скелета (остеосцинтиграфия) (рис. 17).
- **Однофотонная эмиссионная компьютерная томография** — вращение блока детекторов вокруг объекта позволяет получить срезы исследуемого органа, что существенно повышает разрешающую способность гамма-томографии.
- **Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ)** — способ, основанный на при-

менении РФП, меченных позитрон-излучающими радионуклидами. При их введении в организм происходит взаимодействие позитронов с ближайшими электронами (аннигиляция), в результате чего образуются два гамма-кванта, разлетающиеся противоположно под углом 180° . Это излучение регистрируется томографами по принципу «совпадения» с очень точными топическими координатами (рис. 18, см. цв. вклейку).

В последнее время в клиническую практику внедряют совмещенные аппаратные системы, например томограф позитронно-эмиссионный, совмещенный с томографом компьютерным (ПЭТ-КТ). При этом за одну процедуру выполняется и изотопное исследование (функциональная информация), и компьютерная томография (структурно-анатомическая информация) (рис. 19, см. цв. вклейку).

Отдельное место в радионуклидной диагностике занимает метод радиоконкурентного анализа (РНД *in vitro*). Одно из перспективных направлений метода — поиск в организме человека так называемых онкомаркеров для ранней диагностики в онкологии.

Показания к РНД:

- заболевания щитовидной железы (наличие узлов, подозрение на неправильное расположение органа, загрудинный зоб, послеоперационные рецидивы узлового зоба);
- изменения миокарда (выявление областей снижения кровотока вследствие ишемии или рубцового повреждения миокарда, а также для определения жизнеспособности кардиомиоцитов);
- исследование нервной системы (нарушение кровоснабжения структур головного мозга на уровне микроциркуляции, оценка кровотока различных отделов головного мозга при острых и хронических нарушениях мозгового кровотока, нервно-психических расстройствах, травмах головного мозга);
- исследование легких (тромбоэмболия легочной артерии, рак легкого, воспалительные заболевания);
- исследование почек и мочевыводящих путей (при подозрении на нарушение функции почек при гломерулонефрите, пиелонефрите, для решения вопроса об этиологии гипертонии у лиц молодого возраста, контроль эффективности оперативного и медикаментозного лечения в уронефрологии);
- исследования опорно-двигательного аппарата (обнаружения метастатического поражения костей у больных с онкологическими заболеваниями различных органов);

- выявление заболеваний органов брюшной полости (оценка функционального состояния гепатобилиарной системы, желчного пузыря, желчных протоков);
- онкологические заболевания (диагностика опухолей легких, предстательной железы, толстой кишки, молочной железы; поиск отдаленных и регионарных метастазов, оценка эффективности лечения, скрининговая диагностика).

1.6. МЕДИЦИНСКАЯ ТЕРМОГРАФИЯ

Медицинская термография — метод регистрации видимого изображения тепловых полей человеческого тела, излучающих инфракрасные импульсы, которые могут быть считаны непосредственно или отображены на экране как тепловой образ. Для регистрации инфракрасного излучения используется специальный прибор — термограф (тепловизор). Метод впервые был применен Р. Лоусоном в 1956 г. для диагностики заболеваний молочных желез.

Физиологическая основа термографии — изменение инфракрасного излучения над патологическими очагами: увеличение при усилении в них кровоснабжения и метаболических процессов и снижение его интенсивности при уменьшении регионарного кровотока и сопутствующих изменениях в тканях (рис. 20, см. цв. вклейку).

Показания к медицинской термографии — скрининговая диагностика и мониторинг:

- инфекций бронхолегочной системы;
- острых синуситов;
- атеросклероза магистральных сосудов;
- варикозной болезни;
- новообразований щитовидной железы;
- заболеваний молочной железы;
- заболеваний предстательной железы;
- остеохондроза;
- артритов и артрозов.

1.7. ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Медицинское облучение имеет некоторые особенности:

- характеризуется высокой мощностью дозы излучения, на несколько порядков превышающей природное облучение;

- является неравномерным, воздействуя в основном на одни и те же органы, в том числе радиочувствительные.

При проведении медицинских рентгенодиагностических исследований опираются на три основополагающих принципа радиационной безопасности.

- **Принцип нормирования** реализуется установлением гигиенических нормативов облучения. Для учета неравномерности облучения тела пациента и различной радиочувствительности органов и тканей Международная комиссия по радиационной защите ввела понятие эффективной дозы облучения (S), измеряемой в единицах зиверт (Зв). $1/1000 \text{ Зв} = 1 \text{ миллизиверт (мЗв)}$. Эффективная доза — величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Это расчетная величина, которую указывают при каждом рентгенологическом исследовании в истории болезни или в амбулаторной карте пациента. Для **практически здоровых лиц** годовая эффективная доза при проведении профилактических медицинских рентгенологических и научных исследований не должна превышать 1 мЗв/год. Медицинский персонал, работающий с ионизирующим излучением, подразделяют на две категории.

- Категория А — персонал отделения лучевой диагностики, постоянно работающий с рентгеновской аппаратурой (врач-рентгенолог, рентгенолаборант). Для данной категории предельная годовая эффективная доза не должна превышать 20 мЗв/год.
- Категория Б — персонал медицинского учреждения, принимающий участие в проведении рентгенологических исследований (хирург, травматолог и другие, санитарка рентгеновского отделения). Для данной категории предельная годовая эффективная доза не должна превышать 5 мЗв/год.

- **Принцип обоснования** — каждое рентгенологическое исследование должно быть разумно обосновано. Польза от проведения исследования должна превышать вред от его воздействия, а информация, полученная в ходе исследования, будет нужна лечащему врачу для правильного ведения (лечения) пациента. При этом альтернативные (нерадиационные) методы диагностики либо отсутствуют, либо их нельзя применить, либо получаемая с их помощью информация недостаточна.

- **Принцип оптимизации** при проведении рентгенологических исследований (ограничение уровней облучения) — поддержание доз облучения на таких низких уровнях, каких возможно достичь при условии обеспечения необходимого объема и качества диагностической информации или терапевтического эффекта.

Для защиты от рентгеновского излучения сформировался комплекс защитных средств, которые можно разделить на следующие группы:

- средства коллективной защиты:
 - стационарные;
 - передвижные;
- средства индивидуальной защиты персонала и пациента.

Коллективная стационарная защита обеспечивается соответствующим проектированием, размещением и организацией работы отделения лучевой диагностики. Защиту пациента и персонала обеспечивают специальный защитный кожух, в котором находится источник излучения (рентгеновская трубка); диафрагма, ограничивающая поле облучения; и тубус, ограждающий от рассеянного излучения.

К коллективным передвижным средствам защиты принадлежат ширмы, экраны, защитные шторы. К индивидуальным средствам радиационной защиты пациентов и персонала относятся:

- фартук;
- воротник для защиты щитовидной железы и области шеи;
- набор пластин различной формы (для защиты отдельных участков тела);
- защитные перчатки и очки.

При применении защитных средств необходимо предусматривать защиту тела с учетом направленности излучения со стороны рентгеновской трубки.

Таким образом, работа с источниками ионизирующей радиации проводится с учетом требований международных и российских норм санитарной безопасности, законодательных актов и правил эксплуатации.

1.8. КОНТРАСТНЫЕ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ

Для рентгеновских лучей органы и структуры по своему анатомическому строению представляют поглощающую среду неодинаковой толщины и плотности. Органы и ткани могут хорошо дифференциро-

ваться лишь при условии, если они различно поглощают рентгеновские лучи (естественная контрастность). Однако ряд органов имеют приблизительно одинаковые плотность и толщину, а кроме того, нередко расположены в таких топографо-анатомических условиях, которые исключают наличие естественной контрастности и, следовательно, возможность раздельного теневого изображения и изучения органов. Цель искусственного контрастирования — изменение степени поглощения излучения в тканях организма.

Безопасность контрастного вещества (КВ) зависит от его биологической инертности, т.е. отсутствия взаимодействия с биологическими и химическими структурами. Применяемые в настоящее время **рентгеноконтрастные средства (РКС)** делятся на две основные группы.

- Рентгенонегативные — средства с низким атомным весом. К ним относятся воздух и кислород. Поглощают рентгеновское излучение слабее тканей тела. Используют их для контрастирования полых органов (желудок, кишечник, мочевой пузырь).
- Рентгенопозитивные — средства с высоким атомным весом. Эту группу составляют вещества, поглощающие рентгеновское излучение в значительно большей степени, чем биологические ткани, — сульфат бария и йодсодержащие вещества.
 - Сульфат бария — белый порошок, практически нерастворим в воде, используется при исследованиях желудочно-кишечного тракта.
 - Водорастворимые йодсодержащие контрастные вещества предназначены для внутрисосудистого и внутрисполостного введения. При введении в кровеносное русло заполняют сосуды и с током крови поступают в интерстициальное пространство, усиливая его естественную контрастность, и выводятся из организма в основном через мочевыделительную систему. В химии контрастных препаратов йодсодержащие вещества подразделяются:
 - ✧ по электрической активности (ионности) на две группы:
 - ионные;
 - неионные.
 - ✧ по факторам, определяющим безопасность препарата (таким как осмолярность, вязкость, гидрофильность и растворимость).

Методика контрастного рентгенологического исследования кровеносных сосудов — **ангиография**, при которой изучают функциональное

состояние сосудов и протяженность патологического процесса. Ангиографию выполняют для диагностики:

- аневризм;
- сосудистых мальформаций;
- атеросклероза, в т.ч. коронарных артерий (коронароангиография);
- тромбоза;
- пороков развития различных органов;
- опухолевых процессов.

При РКТ введение йодсодержащих КВ осуществляется с помощью автоматического инъектора в значительном объеме и с высокой скоростью (болюсно). Использование РКС может сопровождаться развитием побочных реакций и осложнений. Установлено, что КВ могут имитировать аллергические реакции на их введение. Эти реакции принято называть аллергеноподобными, поскольку их возникновение не связано с реакцией антиген—антитело. Побочные реакции проявляются чаще при использовании высокоосмолярных контрастных средств, чем низкоосмолярных, и, соответственно, ионных, чем неионных. Одно из серьезных осложнений применения РКС — контрастиндуцированная нефропатия, которая проявляется развитием острой почечной недостаточности, возникающей в течение 48–72 ч после внутрисосудистого введения контрастного препарата, и характеризуется повышением концентрации креатинина в сыворотке крови более чем на 25% по сравнению с первоначальным показателем. К наиболее важным факторам риска развития контрастиндуцированной нефропатии, связанным с пациентом, относятся:

- исходная почечная недостаточность;
- сахарный диабет;
- пожилой возраст;
- гиповолемия;
- гипотензия;
- низкий сердечный выброс;
- сердечная недостаточность;
- пересадка почки в анамнезе;
- гипоальбуминемия;
- прием нефротоксичных препаратов.

Адекватная гидратация пациента перед исследованием с использованием РКС — наиболее простая и эффективная мера профилактики развития контрастиндуцированной нефропатии. Увеличение внутрисосудистого объема жидкости у пациентов группы риска может быть

достигнуто приемом жидкости внутрь или внутривенной инфузионной терапией раствором натрия хлорида или натрия бикарбоната. Если нет противопоказаний, пациентам с низким риском контрастиндуцированной нефропатии разрешают свободное потребление жидкости. Рекомендуется прием 500 мл воды или напитков перед и 2500 мл в течение последующих 24 ч после рентгеноконтрастного исследования. Профилактикой контрастиндуцированной нефропатии считают также применение РКС в минимально возможном объеме.

При необходимости в ходе МРТ более точная характеристика гиперваскулярных процессов (опухоли, воспаление, сосудистые мальформации, очаговые поражения) может быть достигнута при использовании внутривенного контрастного усиления. Контрастные препараты, влияющие на время релаксации T_1 , относятся к позитивным, а на T_2 — к негативным. Позитивные КВ принадлежат к группе парамагнетиков. Практическое значение при проведении МРТ на сегодняшний день имеют препараты гадолиния, так как остальные ионы более токсичны и малорастворимы. Препараты гадолиния безопаснее, чем КВ, используемые в РКТ, но все же существует риск развития побочных реакций. Редкое осложнение, встречающееся у пациентов с заболеваниями почек, перенесших МРТ с контрастированием, — нефрогенный системный фиброз.

Новая методика, применяемая в клинической практике, — **эхоконтрастирование** (использование контрастных препаратов при УЗИ), по аналогии с методиками контрастного усиления при РКТ и МРТ. Эхоконтрастные препараты представляют собой микропузырьки воздуха или других газов, инкапсулированные в оболочку различного химического состава диаметром от 2 до 6 мкм. Разница акустического импеданса между газом, выполняющим микропузырек, и окружающими его тканями обеспечивает усиление отраженного от таких пузырьков акустического сигнала. Эхо-контрастные препараты не обладают нефротоксичностью.