

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

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ (общие вопросы)

Учебно-методическое пособие



Минск БГМУ 2011

УДК 616-073.916.002 (075.8)
ББК 53.64 я73
С56

Рекомендовано Научно-методическим советом университета в качестве
учебно-методического пособия 23.06.2010 г., протокол № 11

А в т о р ы: И. И. Сергеева, Т. Ф. Тихомирова, М. М. Маркварде, В. В. Рожков-
ская, А. И. Алешкевич, С. Б. Борейко

Р е ц е н з е н т ы: зав. каф. ультразвуковой диагностики Белорусской медицин-
ской академии последипломного образования, д-р мед. наук, доц. А. И. Кушнеров;
зав. рентгеновским кабинетом отделения лучевой диагностики Республиканского кли-
нического медицинского центра управления делами Президента Республики Беларусь,
д-р мед. наук, проф. Э. Е. Малевич

Современные технологии лучевой диагностики (общие вопросы) : учеб-
С56 метод. пособие / И. И. Сергеева [и др.]. – Минск : БГМУ, 2011. – 35 с.

ISBN 978-985-528-274-8.

Представлены сведения о физических основах различных методов лучевой диагностики и
возможностях их использования в практике. Рассмотрен аспект радиационной безопасности при
их применении. Включен также перечень формализованных вопросов для проведения с помо-
щью компьютерной программы «Экзаменатор» текущего и итогового контроля знаний по со-
временным технологиям лучевой диагностики.

Предназначено для студентов всех факультетов, врачей-интернов и клинических ординаторов.

УДК 616-073.916.002 (075.8)
ББК 53.64 я73

ISBN 978-985-528-274-8

© Оформление. Белорусский государственный
медицинский университет, 2011

Введение

История развития методов лучевой диагностики берет начало с 8 ноября 1895 года — момента открытия рентгеновских лучей. Это событие дало начало новой медицинской науке — рентгенологии.

С тех пор рентгенология претерпела бурное развитие, произошло усовершенствование технологий и методик.

Появились новые технологии медицинской визуализации, которые завоевали прочные позиции в диагностике заболеваний всех органов и систем, и в настоящее время продолжают интенсивно развиваться.

Сегодня лучевая диагностика включает в себя как методы традиционного рентгенологического исследования (рентгенографию, рентгеноскопию, рентгенофлюорографию и др.), так и современные рентгеновские методы с использованием компьютерных технологий — рентгеновскую гелиолокальную и мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ). Широкое применение получили методы радионуклидной диагностики (радиоиммунный анализ, сцинтиграфия). Развиваются методы радионуклидной диагностики с применением томографической технологии — однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), позитронная эмиссионная томография (ПЭТ).

Особое место в лучевой диагностике занимают методы исследования, не связанные с использованием источников ионизирующих излучений, получившие в последние десятилетия широкое применение в практическом здравоохранении. К ним относятся ультразвуковое исследование (УЗИ) и магнитно-резонансная томография (МРТ).

Ультразвуковой метод исследования пришел в медицину значительно позже рентгеновского, но развивался настолько стремительно, что буквально за несколько десятилетий стал незаменимым благодаря простоте, информативности, отсутствию противопоказаний, что особенно важно при исследовании детей и беременных. За короткий период был пройден путь от серошкального сканирования до методик с цветным изображением и возможностью изучения сосудистого русла.

МРТ — самый перспективный из методов лучевой диагностики. В сравнении с УЗИ и рентгеновской компьютерной томографией (РКТ) данный метод экономически более затратный и технически более сложный. Сегодня он считается самым высокоинформативным в исследовании большинства органов и систем.

Следует отметить, что все диагностические методы развивались параллельно, иногда вытесняя, но чаще дополняя друг друга. Однако наилучший эффект дает комплексная диагностика. Использование нескольких лучевых методов повышает качество диагностики. Врач лучевой диагностики может разработать оптимальный план обследования и при необходимости дополнить одно исследование другим.

Рентгенодиагностика

Из всех перечисленных методов лучевого исследования наиболее широкое распространение в практическом здравоохранении получили методы рентгенодиагностики. Необходимо иметь в виду, что рентгенологические и радионуклидные методы исследования, являясь источниками ионизирующих излучений, оказывают повреждающее воздействие на биологические ткани, в связи с чем исследования должны назначаться по строгим показаниям и с соблюдением определенных защитных мероприятий.

Различают основные и специальные (вспомогательные) методы рентгенодиагностики.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

К основным методам относятся рентгеноскопия, рентгенография и рентгенофлюорография.

Рентгеноскопия представляет собой просвечивание грудной клетки или брюшной полости пациента непосредственно за флюоресцирующим рентгеновским экраном. Пучок рентгеновских лучей, генерируемый рентгеновской трубкой, пройдя сквозь тело больного, попадает на флюоресцирующий экран и формирует позитивное теневое изображение соответственно неодинаковой плотности исследуемых органов и тканей (рис. 1).

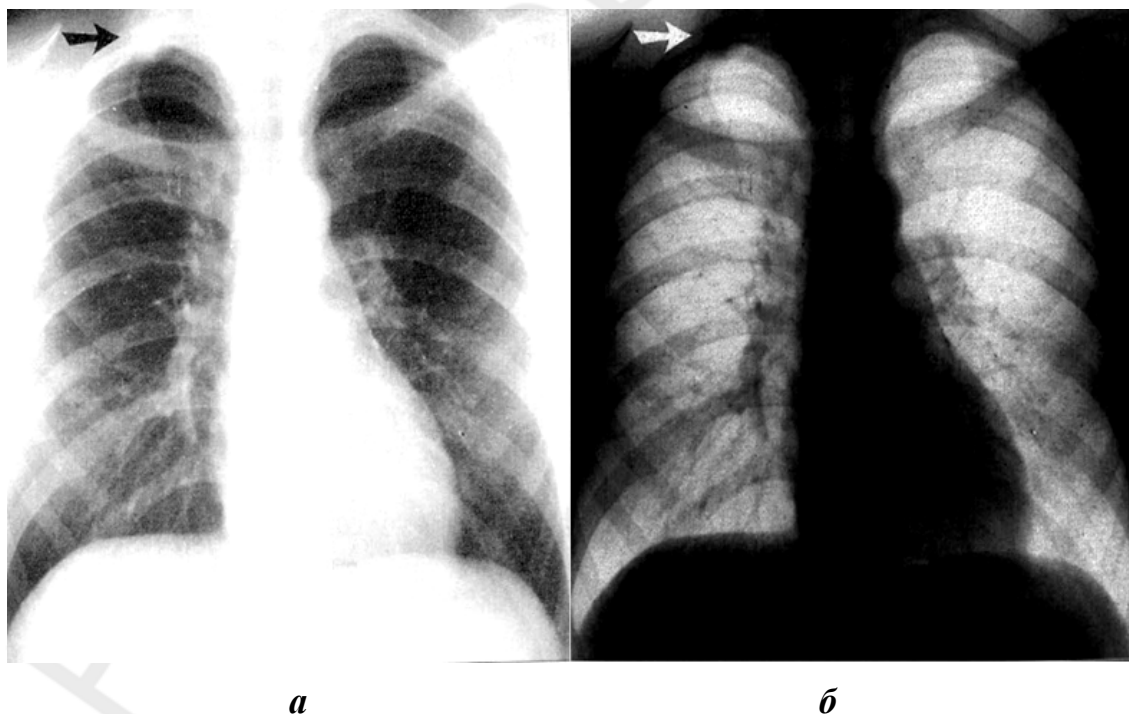


Рис. 1. Рентгеновское изображение органов грудной полости:
а — негативное; б — позитивное

Методика просвечивания проста и экономична, позволяет исследовать больного в различных проекциях и положениях (многоосевое и полипозиционное исследование), оценить анатомо-морфологические и функциональные особенности изучаемого органа. Вместе с тем, для метода характерны определенные недостатки: значительная лучевая нагрузка на больного, величина которой находится в прямой зависимости от размеров изучаемого поля, продолжительности исследования и ряда других факторов; относительно низкая разрешающая способность и др. В последние годы, учитывая перечисленные недостатки, стремятся оснащать рентгеновские аппараты электронно-оптическими усилителями, а метод просвечивания больных непосредственно за флюоресцирующим экраном применяется значительно реже.

Рентгенотелевидение — современная методика рентгеноскопии, при которой производится просвечивание с помощью аппарата, оснащенного электронно-оптическим преобразователем (ЭОП). При этом получаемое позитивное изображение в виде телевизионного сигнала воспроизводится на экране телевизионного монитора. Данная методика в значительной степени устраняет недостатки обычной рентгеноскопии. В частности, появилась возможность регулировать яркость и контрастность изображения, при этом увеличивается разрешение изображения, улучшаются условия работы в рентгеновском кабинете (светлое помещение), а также на порядок снижается лучевая нагрузка на больного и персонал.

Рентгенотелевизионное просвечивание выполняется с соблюдением многоосевого и полипозиционного исследования. При этом используются следующие возможности просвечивания:

- ортоскопия — исследование при вертикальном положении больного и горизонтальном направлении пучка рентгеновских лучей (используется наиболее часто);
- трохоскопия — больной находится в горизонтальном положении при вертикальном направлении рентгеновского пучка;
- латероскопия — больной находится в горизонтальном положении на боку, ход пучка рентгеновских лучей также горизонтальный.

Рентгенография — получение теневого аналогового изображения исследуемого органа или определенной области на рентгеновской пленке. Последняя представляет нитроацетатную основу, покрытую тонким слоем светочувствительной эмульсии — желатина, содержащую мельчайшие кристаллики галогенида серебра в невозбужденном (незасвеченном) состоянии. Эмульсия чувствительна не только к рентгеновским лучам, но и дневному свету, поэтому её сохраняют в светонепроницаемых коробках различного стандартного формата (13×18, 13×24, 24×30, 35×35 см и др.), на которых обычно обозначены марка рентгеновской пленки, чувствительность, срок годности, условия химической обработки и др.

Рентгеновскую пленку в затемненной фотолаборатории помещают в специальную кассету между усиливающими экранами (картонные пластины, покрытые флюоресцирующим слоем) и плотно закрывают. Затем, уложив кассету под исследуемый объект и отметив на ней правую или левую сторону объекта (маркировка свинцовыми буквами), производят снимок.

При рентгенографии пучок рентгеновских лучей, пройдя через тело больного, попадает на рентгеновскую пленку и, возбуждая кристаллики галогенида серебра, образует в эмульсии скрытое электрическое изображение. После химической обработки пленки: последовательно в растворе проявителя (восстановление металлического серебра), фиксирующем растворе (удаление из эмульсии остатков невосстановленного серебра), — затем промывки и сушки, изображение становится видимым — черным белым (см. рис. 1).

Готовый снимок надписывается (номер и дата исследования, фамилия, инициалы и возраст пациента, подпись рентгенолаборанта) и затем рассматривается в проходящем свете на негатоскопе. Полученное изображение позволяет оценить анатомические (форма, размеры, положение) и структурные особенности органов. При этом следует учитывать следующие особенности:

- на рентгеновском снимке изображение негативное — обратное по теневым характеристикам позитивному, получаемому при рентгеноскопии;
- изображение несколько увеличенное, так как пучок рентгеновских лучей имеет расходящийся характер, а исследуемые органы обычно удалены на некоторое расстояние от кассеты с пленкой;
- изображение плоскостное и суммационное. Поэтому для получения пространственного представления об органе или процессе, его объемности и локализации, выполняют несколько снимков, как минимум в двух взаимно перпендикулярных проекциях, чаще в прямой и боковой.

При рентгенографии рентгеновская трубка располагается на расстоянии 100–120 см от объекта. При этом объект исследования максимально (вплотную) приближают к пленке, что позволяет получить изображение более отчетливым и по величине близким к истинным размерам исследуемого органа.

Различают обзорные и прицельные рентгенограммы. На обзорных рентгенограммах получают изображение всего органа, на прицельных — его части.

Для улучшения качества изображения, особенно крупных объектов, производят снимки с отсеивающей решеткой, которая обычно размещается между объектом и кассетой.

Выбор положения пациента и направления пучка рентгеновских лучей обычно зависит от характера, целей исследования, применяемых методов и предполагаемых патологических изменений.

Методу рентгенографии присущи следующие достоинства:

- метод довольно прост при выполнении и широко применяется;
- рентгеновский снимок является объективным документом, который может длительно храниться;
- сопоставление особенностей изображения на повторных снимках, выполненных в различные сроки, позволяет изучить динамику возможных изменений патологического процесса;
- относительная малая лучевая нагрузка (по сравнению с режимом просвечивания) на больного.

Показания к рентгенографии очень широкие, *противопоказаний* практически нет, за исключением терминальных состояний или состояний, требующих срочного оперативного вмешательства.

Цифровая рентгенография — современный метод исследования, при котором приемником излучения являются высокочувствительные датчики, формирующие цифровое изображение (прямая цифровая рентгенография) или ЭОП, которые создают аналоговый видеосигнал, превращаемый в последующем с помощью аналогово-цифрового преобразователя в цифровой сигнал. Цифровой код обрабатывается компьютером и трансформируется в видимое (аналоговое) изображение на экране дисплея. Компьютерная обработка информации дает возможность улучшить качество изображения путем изменения контрастности, яркости, четкости, размеров, устранения технических погрешностей, выделения зон интереса.

Цифровая рентгенография обладает рядом достоинств, к которым относятся значительное снижение лучевой нагрузки (в десятки раз), экономических затрат (не используется дорогостоящая рентгеновская пленка). Кроме того, появляется возможность архивировать электронное изображение и сохранять его в памяти рабочей станции либо на специальных носителях и, при необходимости консультации, вызвать на экран монитора для повторного анализа либо передачи по локальным сетям в другие отделения и учреждения.

Принцип цифровой обработки информации используется также в РКТ, МРТ и при некоторых исследованиях ультразвуковой диагностики.

Рентгеновская флюорография представляет крупнокадровое фотографирование изображения с рентгеновского экрана (формат кадра 70×70, 100×100, 110×110 мм). Метод предназначен для проведения массовых профилактических исследований органов грудной клетки. Достаточно высокое разрешение изображения крупноформатных флюорограмм и меньшая затратность позволяют также использовать метод для исследования больных в условиях поликлиники или стационара больницы (рис. 2).

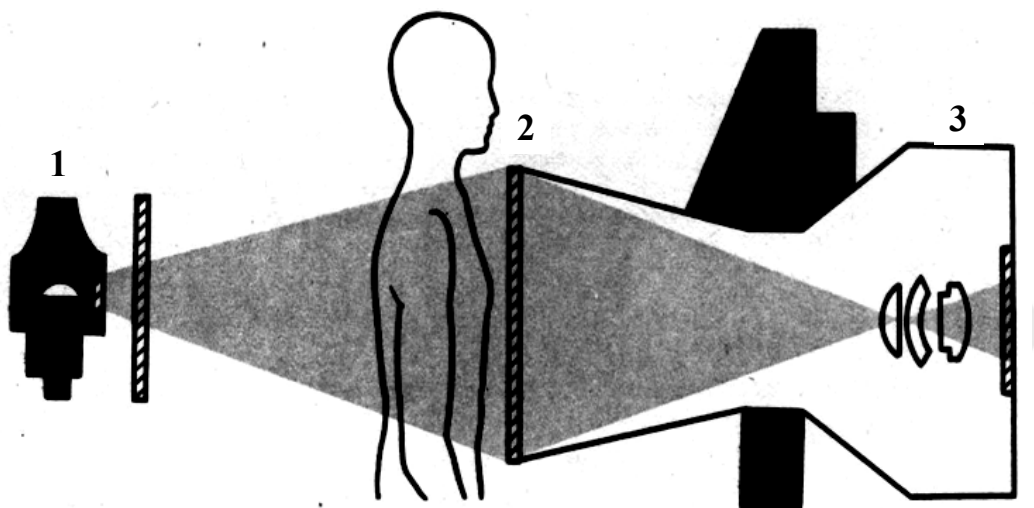


Рис. 2. Схема простейшей рентгеновской флюорографии
(Л. Д. Линденбратен, И. П. Королук)

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Специальные методы предназначены для самых разнообразных целей диагностики. Среди них различают неинвазивные и инвазивные.

Неинвазивные — методы, применение которых не связано с введением в полости исследуемых органов (сосуды, пищеварительный канал и др.) инструментов и через них контрастных веществ. Например, обзорная рентгенография, рентгеноскопия пищевода и желудка и др.

Инвазивные — методы исследования, связанные с введением в полости органов (сосуды, пищеварительный канал, брюшная полость и др.) различных инструментов (эндоскопов, рентгеноконтрастных катетеров и др.), через которые возможно проведение различных диагностических процедур — взятие проб на газовый состав, введение контрастных препаратов при ангиокардиографии или ангиопульмонографии, а также проведение некоторых лечебных манипуляций, например эндоваскулярной дилатации или ангиопластики.

Нередко инвазивные методы сами по себе представляют оперативное вмешательство и производятся в специально оборудованной рентгенооперационной с соблюдением всех правил асептики.

Специальные методы исследования удобно подразделять на однотипные по своему назначению группы:

- методы искусственного контрастирования;
- методы, регулирующие размеры получаемого изображения;
- методы пространственного исследования объектов;
- методы оценки движения.

Методы искусственного контрастирования. При рентгенологическом исследовании различных органов и систем человека естественная плотность внутренних органов и тканей не всегда достаточна для успеш-

ной оценки особенностей их изображения. В целях визуализации внутреннего строения различных органов прибегают к искусственному контрастированию с помощью рентгеновских контрастных веществ (РКВ).

Различают две группы методов искусственного контрастирования: методы прямого и непрямого контрастирования.

Прямое контрастирование основано на введении контрастных веществ непосредственно в полость исследуемого органа или в окружающую его полость (или ткань) — методы исследования органов пищевого канала, ангиография, фистулография.

Непрямое контрастирование основано на способности некоторых органов избирательно улавливать из крови контрастное вещество, концентрировать его и выводить со своим физиологическим секретом. Методы непрямого контрастирования применяют для рентгенологического исследования почек и печени.

Методы искусственного контрастирования используются:

- в *гастроэнтерологии* — исследование различных отделов органов пищеварения (пищевод, желудок, 12-перстная кишка, тонкая и толстая кишка; желчевыводящие пути — холангиография операционная, чресдренажная, ретроградная эндоскопическая, внутривенная холеграфия и др.);

- *ангиологии* — все виды сосудистых исследований (артериография, флебография, лимфография и др.);

- *кардиологии* (ангиокардиография);

- *пульмонологии* (бронхография, ангиопульмонография);

- *гинекологии* (гистеросальпингография, пневмопельвиография);

- *урологии* (экскреторная урография, ретроградная урография);

- *неврологии* (миелография, каротидная артериография);

- *оториноларингологии* (гайморография и др.);

- *остеологии* (артрография, фистулография и др.).

Рентгеноконтрастные вещества. РКВ подразделяются на рентгенопозитивные (тяжелые) и рентгенонегативные (газообразные). К рентгенопозитивным РКВ относятся вещества с высокой молекулярной массой и поглощающие рентгеновское излучение в значительно большей степени, чем ткани организма. Из них наиболее широкое применение получили следующие препараты: сульфат бария и йодированные препараты на различной основе.

Сульфат бария предназначен исключительно для исследования желудочно-кишечного канала и используется в виде водной взвеси (суспензии) различной консистенции. Тонкодисперстная водная взвесь, приготовленная с помощью электро- или ультразвукового миксера, создает наиболее благоприятные условия для исследования мелких структур слизистой оболочки пищеварительного канала. Эффективно также использование комбинированных методов исследования, например двойно-

го (введение в желудок (кишку) водной взвеси сернокислого бария в сочетании с газообразными веществами) или тройного (с дополнительным наложением пневмоперитонеума) контрастирования. Нередко комбинированное контрастирование сочетается с линейной или компьютерной томографией (КТ).

Йодированные РКВ на водной основе предназначены для контрастирования преимущественно артериальных и венозных сосудов. Из органических соединений йода на водной основе в качестве РКВ применяют производные некоторых ароматических кислот (бензойной, фенилпропионовой, адипиновой и др.), содержащие атомы йода. Выпускаются в ампулах по 10–20 мл различной концентрации — 30–70 %.

РКВ для внутрисосудистых исследований подразделяются на ионные и неионные.

К ионным мономерам относятся водные растворы, такие как кардиограф, триотраст, уротраст, верографин, гипак, билигност, урографин и др.

При внутрисосудистых введениях ионных РКВ возможны побочные реакции различной степени тяжести (слабые, выраженные, тяжелые), которые проявляются в виде болевых ощущений (в груди, животе, сосудах), чувства жара, головокружения, головной боли, озноба. Может появиться зуд кожных покровов, крапивница, сыпь, насморк, чихание, покраснение и набухание слизистых оболочек, отек лица, охриплость голоса, кашель, затруднение дыхания, тошнота, рвота, диспептические расстройства, тахикардия, брадикардия, аритмия, повышение (понижение) артериального давления, удушье, потеря сознания. Тяжелые реакции встречаются редко.

Учитывая возможность возникновения побочных реакций, перед исследованием (за 1–2 дня) обязательно производится проба на чувствительность путем внутривенного введения 1–2 мл препарата. Кроме того, в целях предупреждения или ослабления побочных реакций, рекомендуется использование антигистаминных препаратов.

К *неионным мономерам* относятся ультравист-иопромид (Schering) и омниopak-иогексол (Nycomed), к *неионным димерам* — визипак-иодиксанол и иомерон (Nycomed), а также изовист-иотролан (Schering), иопамирон (иопа-мидол), оптирей (иоверон).

Применение неионных препаратов сопровождается значительно меньшим риском развития побочных реакций (в 3–5 раз). Неионные препараты отличаются низкой осмолярностью и минимальным воздействием на биологические мембраны, что обуславливает их незначительную токсичность и хорошую переносимость при ангиографии. Неионные препараты используются при необходимости болюсного внутриартериального и венозного введения, при пиелографии, а также для исследования лиц с признаками аллергии организма, при бронхиальной астме, гиперфункции щитовидной железы, почечной недостаточности, сахарном диабете и др.

Йодированные РКВ на жировой основе применяют для бронхографии, лимфографии, метросальпингографии, фистулографии, для выявления врожденных пороков пищевода у новорожденных и др. К ним относятся: йодолипол, липиодол, йодатол, сверхжидкий липиодол и др. Препараты выпускаются в ампулах по 10 мл (стерильно).

Йодированные РКВ таблетированной формы используются для холецистографии (холевид, йопагност, билимин и др.).

Газообразные вещества (ГВ) относятся к рентгенонегативным контрастным веществам, например, атмосферный воздух, молекулярный кислород, углекислый газ и закись азота.

ГВ используются для введения в различные отделы пищеварительного канала: плевральную полость (диагностический пневмоторакс), брюшную полость (диагностический пневмоперитонеум), забрюшинное пространство (ретропневмоперитонеум), средостение (пневмомедиастинум) — при двойном контрастировании и др.

Методы, регулирующие размеры получаемого изображения. К ним относятся: телерентгенография и прямое увеличение рентгеновского изображения.

Телерентгенография (снимок на расстоянии). Основная задача метода — воспроизведение рентгенологического изображения, размеры которого на снимке приближаются к истинным размерам исследуемого объекта.

При обычной рентгенографии, когда фокусное расстояние составляет 100 см, мало увеличиваются лишь те детали снимаемого объекта, которые находятся непосредственно у кассеты. Чем дальше отстоит деталь от пленки, тем больше степень увеличения.

Показания: необходимость воспроизведения изображения объекта, размеры которого максимально приближаются к истинным — исследование сердца, легких, челюстно-лицевой области и др.

Методика: объект исследования и кассету с пленкой отодвигают от рентгеновской трубки на значительно большее, чем при обычной рентгенографии расстояние — до 1,5–2 м, а при исследовании лицевого черепа и зубочелюстной системы — до 4–5 м. При этом изображение на пленке формируется центральным (более параллельным) пучком рентгеновских лучей (рис. 3).

Прямое увеличение рентгеновского изображения достигается в результате увеличения при рентгенографии расстояния «объект–пленка».

Показания: методика чаще используется для исследования тонких структур — костно-суставного аппарата, легочного рисунка в пульмонологии.

Методика: кассету с пленкой удаляют от объекта на некоторое расстояние при фокусном расстоянии 100 см. Расходящийся пучок рентгеновских лучей в этом случае воспроизводит увеличенное изображение.

Наилучшее по качеству увеличенное изображение получают при использовании коэффициента в пределах 1,5–1,6 (рис. 4).

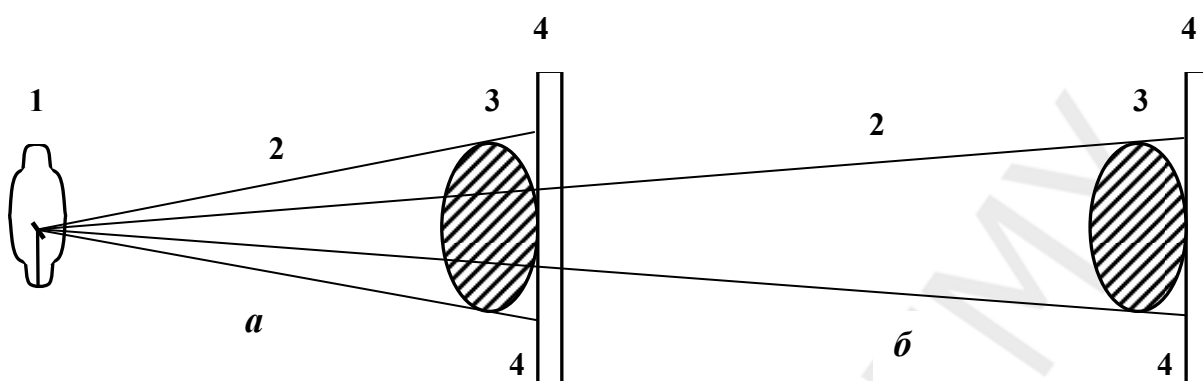


Рис. 3. Условия рентгенографии: *а* — обычная рентгенография; *б* — телерентгенография: 1 — рентгеновская трубка; 2 — пучок рентгеновских лучей; 3 — объект исследования; 4 — кассета с пленкой

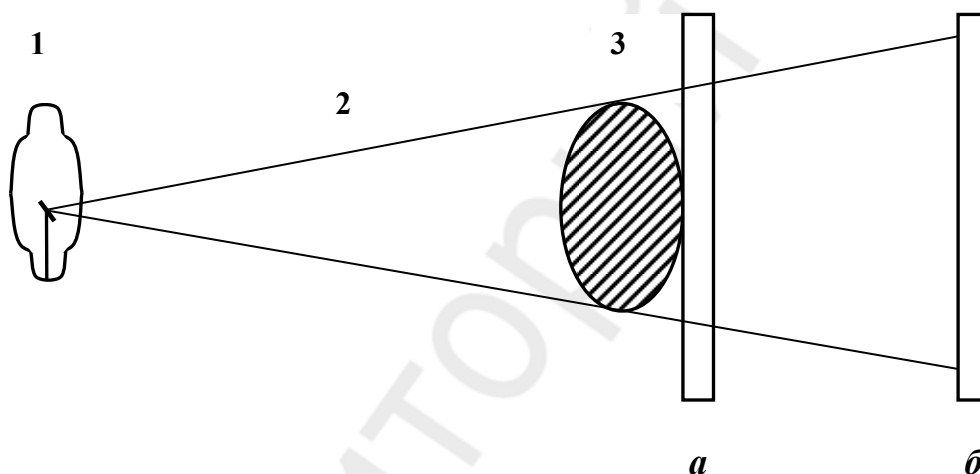


Рис. 4. Условия рентгенографии: *а* — обычная рентгенография; *б* — прямое увеличение рентгеновского изображения: 1 — рентгеновская трубка; 2 — пучок рентгеновских лучей; 3 — объект исследования; 4 — кассета с пленкой

При выполнении метода прямого увеличения целесообразно использовать рентгеновскую трубку с микрофокусом (0,3×0,3 мм и менее). Небольшие линейные размеры фокуса уменьшают геометрическую нерезкость изображения и улучшают четкость структурных элементов.

Методы пространственного исследования. К ним относятся: линейная и компьютерная томографии, панорамная томография, панорамная зонография.

Линейная томография — методика послойного исследования с получением изображения объекта (органа) на заданной глубине. Осуществляется при синхронном движении в противоположных направлениях

рентгеновской трубки и кассеты с пленкой по параллельным плоскостям вдоль неподвижного объекта под углом $30\text{--}50^\circ$ (рис. 5).

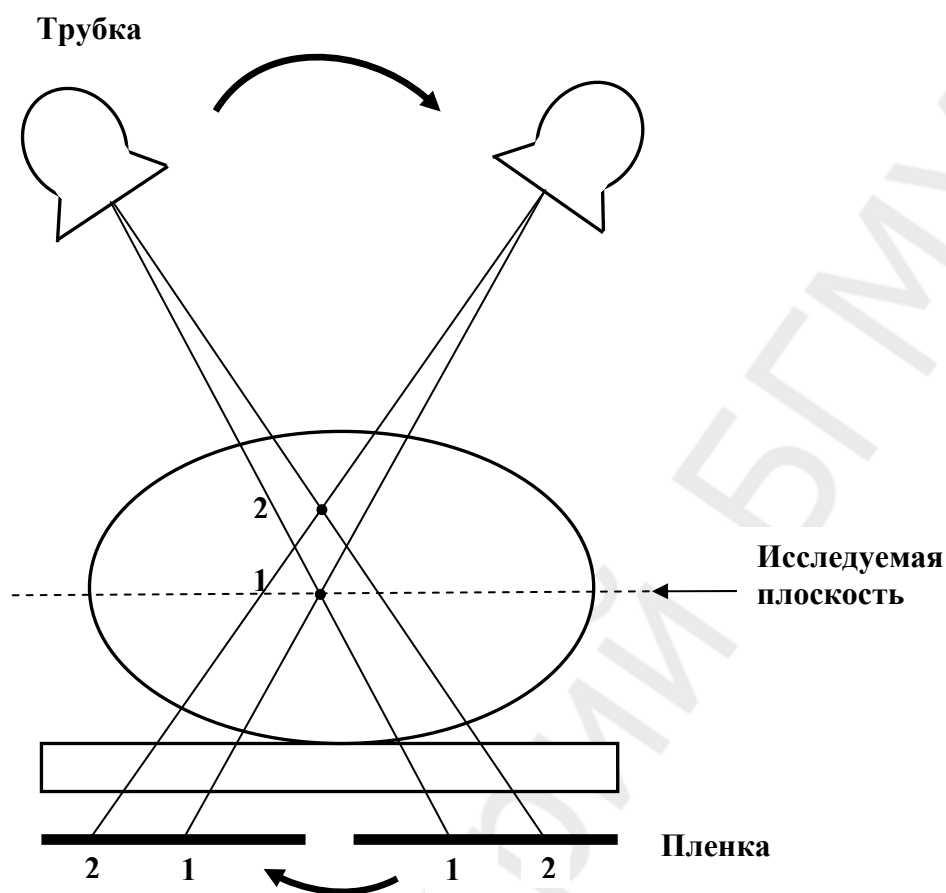


Рис. 5. Линейная томография (схема)

Толщина выявляемого среза зависит от размеров томографического угла и чаще составляет 2–3 мм, расстояние между срезами (томографический шаг) устанавливается произвольно, обычно 0,5–1 см.

Линейная томография используется для исследования органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, органов брюшной полости, костно-суставного аппарата и др.

Линейная зонография — послойное исследование (томография) на линейном томографе под малым углом ($8\text{--}10^\circ$) движения рентгеновской трубки. Толщина среза — 10–12 мм, томографический шаг — 1–2 см.

Панорамная зонография — послойное исследование лицевого черепа с помощью специального многопрограммного панорамного аппарата, при включении которого рентгеновская трубка совершает равномерное движение вокруг лицевой области головы, при этом изображение объекта (верхняя и нижняя челюсти, пирамидки височных костей, верхние шейные позвонки) записывается узким рентгеновским лучом на изогнутую по форме лица кассету с пленкой.

РКТ — это послойное рентгенологическое исследование объекта с помощью компьютерной реконструкции изображения, получаемого при круговом сканировании объекта узким пучком рентгеновского излучения.

Использование множества проекций для получения одного изображения принципиально отличает КТ от всех остальных рентгенологических методик, в том числе и цифровой рентгенографии. На рентгеновском снимке (плёночном и цифровом) или люминесцентном экране изображение возникает после прохождения излучения в одном направлении (одной проекции). При этом происходит обязательная суммация, взаимное наложение составных частей исследуемого объекта. Эффект суммации может быть частично уменьшен с помощью продольной томографии. Однако в этих случаях сказывается влияние анатомических структур, расположенных выше и ниже выделяемого томографического слоя.

Изображение при КТ лишено суммационного эффекта. На его формирование не оказывает влияние число, форма, объем и взаимное расположение тканей, через которые проходят рентгеновские лучи. Эта особенность существенно увеличивает объем информации, содержащейся в каждой компьютерной томограмме, по сравнению с рентгенограммой или обычной томограммой.

Принцип РКТ основан на послойном исследовании органов и тканей тонким импульсным пучком рентгеновского излучения в поперечном сечении с последующей компьютерной обработкой тонких различий поглощения рентгеновских лучей и вторичным получением томографического изображения исследуемого объекта на мониторе или пленке (рис. 6).

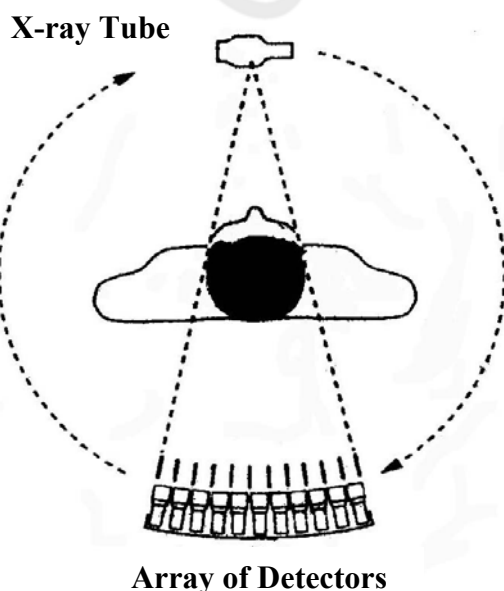


Рис. 6. Рентгеновская компьютерная томография (схема)

КТ позволяет изучить положение, форму, размеры и структуру различных органов и систем, а также их соотношение с другими органами и тканями.

Основой компьютерно-томографического процесса является вычисление линейного коэффициента ослабления рентгеновского излучения в каждой из использованных проекций при сканировании объекта. Построение изображения можно условно разделить на три этапа: сбор проекционных данных в процессе сканирования, реконструкция томографического слоя и его изображение на экране монитора.

Современные рентгеновские компьютерные томографы состоят из 4 частей:

- сканирующая система (рентгеновская трубка и детекторы);
- высоковольтный генератор — источник питания на 140 кВ и с силой тока до 200 мА;
- пульт управления (клавиатура управления, монитор);
- компьютерная система, предназначенная для предварительной обработки поступающей от детекторов информации и получения изображения с оценкой плотности объекта.

Сканирующее устройство компьютерного томографа, или гентри, представляет собой металлическую кольцевидную раму, на которой закреплены рентгеновская трубка и система детекторов. Рентгеновская трубка движется вокруг объекта, расположенного в окне гентри. Излучение, возникающее у анода рентгеновской трубки, суживается таким образом, чтобы получить тонкий пучок веерообразной формы. Для этого используются коллиматоры, установленные у выходного окна рентгеновской трубки и, в некоторых установках, перед системой детекторов. Ширина пучка достаточна для того, чтобы охватить весь диаметр объекта исследования. Толщина пучка рентгеновских лучей может произвольно изменяться от 1,0 (0,5) до 10 мм.

Проходя через ткани, излучение ослабляется соответственно плотности и атомному составу этих тканей. Проходящий через тело пациента пучок рентгеновских лучей фиксируется, в отличие от рутинной рентгенографии, не пленкой, а специальной системой детекторов (их количество может достигать нескольких тысяч), преобразующих энергию излучения в электрические сигналы. В качестве детекторов используются кристаллы йодида натрия или полые камеры, наполненные сжатым ксеноном. Чувствительность детекторов компьютерного томографа в регистрации степени ослабления рентгеновского излучения в 100 раз превышает чувствительность рентгеновской пленки. Таким образом, получаемое при КТ изображение является не аналоговым, как в случае с традиционной рентгенографией, а цифровым.

Вращаясь вокруг пациента, рентгеновский излучатель сканирует его тело под разными углами, проходя в общей сложности 360° . К концу одного полного оборота в памяти компьютера оказываются зафиксированными все сигналы от всех детекторов, на основании которых с помощью компьютерной обработки строится плоскостное изображение — срез. Учитывая, что срез имеет определенную толщину, изображение, получаемое при КТ, состоит не из пикселей (единиц плоскостного изображения, «квадратиков»), а из вокселей — «кубиков».

Участки среза, сильно ослабляющие рентгеновское излучение, выглядят яркими, белыми или светлыми, а участки, пропускающие рентгеновские лучи, — черными или темными.

КТ обладает рядом преимуществ перед обычным рентгенологическим исследованием:

- прежде всего большей чувствительностью, которая позволяет дифференцировать отдельные ткани друг от друга, отличающиеся по плотности в пределах 1–2 % и даже в 0,5 % (при рентгенографии этот показатель составляет 10–20 %);

- дает возможность получить точную количественную информацию о размерах и плотности отдельных органов, нормальных и патологических тканей;

- в отличие от обычной томографии КТ позволяет получить изображение органов и патологических очагов только в плоскости исследуемого среза, что дает четкое изображение без наложения лежащих выше и ниже образований;

- позволяет судить не только о состоянии изучаемого органа, но и взаимоотношении патологического процесса с окружающими органами и тканями, например инвазию опухоли в соседние органы, наличие других патологических изменений;

- позволяет получать 3D-изображения зоны интереса (рис. 7).

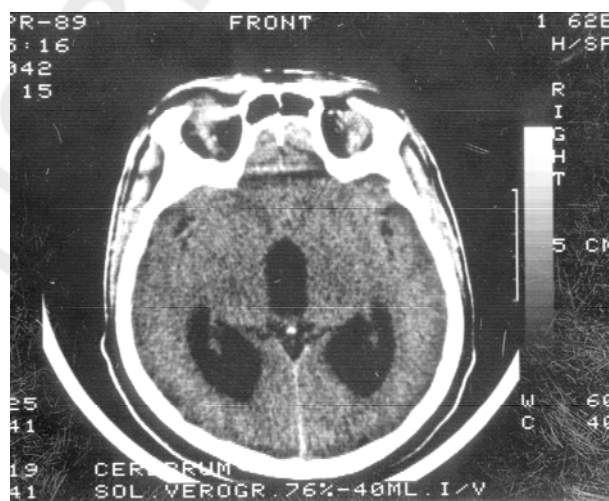


Рис. 7. Компьютерная томография головного мозга

При использовании контрастных веществ (метод так называемого внутривенного контрастного усиления) возрастает возможность более точно выявлять патологические образования, проводить дифференциальную диагностику.

Стандартное программное обеспечение томографа позволяет не только получить тонкий срез исследуемой области, но и произвести масштабирование полученного изображения, выделить зоны интереса, провести измерение величин интересующих объектов. Принципиально важной является возможность получения точной количественной характеристики условной плотности тканей, измеряемой в единицах Хаунсфилда. За нулевую отметку принята плотность воды. Плотность воздуха составляет -1000 , плотность кости — $+1000$. Остальные ткани человеческого тела занимают промежуточное положение, в большинстве случаев их плотность колеблется от 0 до 200–300 единиц по шкале Хаунсфилда. Естественно, весь диапазон плотностей одномоментно отобразить ни на пленке, ни на дисплее невозможно, поэтому во время исследования врач сам выбирает ограниченный диапазон на шкале Хаунсфилда — «окно», величина которого составляет несколько десятков единиц. Выбирается это «окно» в зависимости от планируемой зоны осмотра и предполагаемой патологии.

При проведении КТ не ограничиваются получением одного среза. Выполняется пошаговая серия срезов на расстоянии 0,3–10 мм друг от друга в зависимости от области предполагаемой патологии. Современные компьютерные томографы оснащены мощным программным обеспечением и по совокупности полученных срезов могут воссоздать 3D-реконструкцию выбранного объекта. Это существенно облегчает работу врача по трактовке полученного изображения, особенно когда зона интереса имеет большую протяженность. Также 3D-реконструкция объекта позволяет специалистам смежных специальностей (в первую очередь хирургам) получить представление о пространственном взаиморасположении исследуемых объектов.

Безусловно, проведение КТ, получение множества срезов требует определенного времени. Время между циклами сканирования оказывается значительно больше времени самого сканирования. Обычно суммарное время получения изображения составляет 2–10 с, после чего следует временной интервал в 5–15 с, необходимый для перемещения стола в новую позицию. Отсюда и техническое совершенствование аппаратов, которое заключается, в том числе, и в стремлении уменьшить продолжительность исследования.

При использовании спиральной РКТ запись изображения в память ПК производится непрерывно (рис. 8).

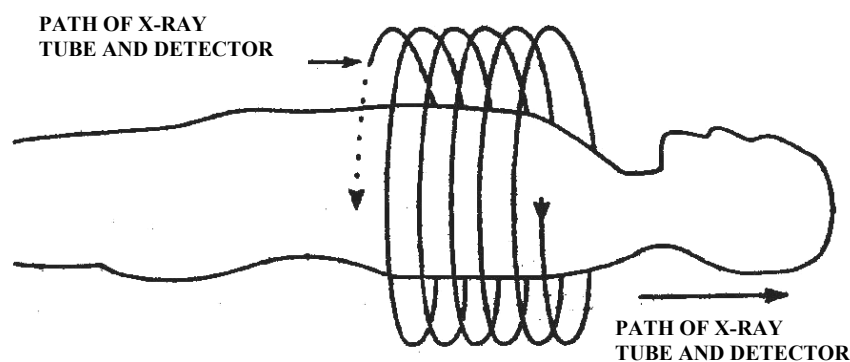


Рис. 8. Рентгеновская спиральная компьютерная томография (схема)

Специальная программа ПК позволяет реконструировать полученные данные в любой иной плоскости или воспроизвести трехмерное изображение органа или группы органов. Это позволяет значительно ускорить процесс сканирования, а следовательно сократить время обследования, снизить лучевую нагрузку и получать более качественные реконструкции изображений как в различных плоскостях, так и в 3D-варианте.

Вариантом спиральной технологии является мультисканирование. В этом случае рентгеновская трубка непрерывно вращается вокруг объекта, но стол с пациентом остается неподвижным или совершает колебательные движения вперед–назад на небольшом участке. Мультисканирование позволяет получать изображение поперечного сечения объекта в реальном масштабе времени. Такой вариант сканирования используется для выполнения интервенционных процедур под контролем КТ.

Основные термины, используемые при описании исследования:

- гиперденсный — участок, обладающий высокой способностью поглощать рентгеновские лучи, выглядит белым (светлым), например кость, свежая кровь;
- гиподенсный — участок, свободно пропускающий рентгеновские лучи, выглядит темным (черным). Например, газ, ликвор, область отека;
- изоденсный — участок со средней способностью поглощать рентгеновские лучи. Например, мышечная ткань.

Противопоказания к проведению исследования:

- крайне тяжелое состояние пациента;
- беременность.

Принимая во внимание высокую диагностическую эффективность РКТ и признанный во всем мире авторитет метода, следует, однако, помнить о том, что использование современной РКТ сопряжено со значительной лучевой нагрузкой на пациента, что приводит к увеличению коллективной (популяционной) эффективной дозы. Последняя, например, при исследовании органов грудной клетки (25 слоев с шагом 8 мм) соответствует 7,2 мЗв (для сравнения, доза при обычной рентгенографии в двух

проекциях составляет 0,42 мЗв). Таким образом, лучевая нагрузка при РКТ в 36–40 раз превышает дозу обычной двухпроекционной рентгенографии, например органов грудной клетки. Данное обстоятельство диктует жесткую необходимость использования РКТ исключительно по строгим медицинским показаниям.

Методы регистрации движения. Методы данной группы используются при исследовании сердца, мочевыводящей системы, пищевода, желудка и др. К ним относятся видеоманнитная запись и УЗИ.

Видеоманнитная запись (ВЗ) — метод динамического исследования. Осуществляется в процессе рентгеноскопии через ЭОП. Изображение в виде телевизионного сигнала записывается с помощью видеоманнитфона на магнитную ленту и благодаря многократному просмотру позволяет изучить функцию и анатомические особенности исследуемого органа без дополнительного облучения пациента.

Методы радионуклидной диагностики

Радионуклидная диагностика — самостоятельный научно обоснованный клинический раздел медицинской радиологии, предназначенный для распознавания патологических состояний отдельных органов и систем с помощью радионуклидов и меченых соединений.

Эти исследования основаны на принципе регистрации и измерения излучений от введенных в организм радиофармацевтических препаратов (РФП) или радиометрии биологических сред. РФП — это разрешенное к применению с диагностической целью химическое соединение, в молекуле которого содержится определенный радионуклид. РФП бывают разными по химическому составу, содержащемуся в нем радиоактивному изотопу, и в зависимости от этого они по-разному накапливаются в различных органах, тканях и выводятся из организма. РФП разнообразны, в них используются различные изотопы: I-131, I-125, Tc-99m, In-113m, Xe-133, Au-198, Se-75, Hg-197 и др. Наиболее широко применимы в клинической практике изотопы Tc-99m.

К РФП, применяемым для диагностических целей, предъявляется ряд требований:

- низкая лучевая нагрузка на организм обследуемого;
- относительно короткий период полураспада (от 8 ч до 14 дней);
- удобный для регистрации энергетический спектр излучения;
- химическая нетоксичность;
- определенные биологические свойства.

Способность РФП избирательно накапливаться в органах или областях-мишенях делает этот метод незаменимым при изучении в физиологи-

ческих условиях функционального состояния отдельных органов в норме и при патологии. Метод дает возможность также визуализировать отдельные органы и ткани, т. е. получить объективные данные о величине, форме, топографическом расположении органа и наличии в нем очаговых или диффузных патологических изменений.

Исследования *in vivo* сопровождаются введением РФП пациенту преимущественно внутривенным путем и, естественно, сопровождается лучевой нагрузкой на пациента. Радиоиммунологические исследования, выполнение которых не сопровождается введением РФП в организм (*in vitro*), исключают лучевую нагрузку.

Аппаратура для радионуклидных исследований (РНИ) устроена принципиально одинаково и состоит из трех составных частей, соединенных в следующей последовательности:

- детектор, преобразующий ионизирующее излучение в электрические импульсы;
- блок электронной обработки;
- блок представления данных.

Показаниями для радионуклидных исследований служат функциональные и морфологические изменения различных органов и систем.

Детектором обычно является сцинтиллятор, в котором под воздействием заряженных частиц или фотонов возникают световые вспышки — сцинтилляции. Таким веществом является чаще всего монокристалл (в частности, йодида натрия). Эти вспышки улавливаются фотоэлектронными умножителями (ФЭУ), которые превращают световые вспышки в электрические импульсы. Сцинтилляционный кристалл и ФЭУ размещают в коллиматоре — специальном металлическом кожухе, который ограничивает «поле видения» кристалла размерами изучаемой области (фрагмента тела пациента).

Радионуклидная диагностика *in vivo*. В клинической практике широко применяются методы, которые позволяют оценить состояние функции органов или систем. К ним относятся: радиометрия, радиография, или гамма-хронография.

Метод, основанный на принципе определения состояния функции отдельных органов и систем путем получения относительных или абсолютных показателей, носит название **радиометрия**.

Методы, основанные на принципе определения функции отдельных органов и систем путем получения записи кривой, получили следующее названия:

- радиокардиография, или гамма-хронография сердца;
- радиоэнцефелография, или гамма-хронография черепа;
- радиоренография, или гамма-хронография почек;
- радиогепатография, или гамма-хронография печени;

- радиопульмонография, или гамма-хронография легких.

В последнее время одним из основных методов радионуклидной визуализации является сцинтиграфия. Аппарат, на котором выполняется исследование, называется гамма-камерой. Гамма-камера позволяет за короткое время получить картину распределения радионуклида в органах. Она имеет один неподвижный датчик с сцинтилляционным кристаллом большого диаметра (до 60 см), с помощью которого можно получить на экране изображение целого органа за несколько секунд. С помощью гамма-камеры можно проводить не только изучение топографии органов (определять расположение, форму, размеры, наличие очаговых и диффузных изменений), но также исследовать их функцию, регистрировать гемодинамические процессы и др.

В клинической практике часто применяется специальная методика, позволяющая визуализировать все тело пациента одновременно. Она применяется в основном для визуализации всего скелета с целью обнаружения метастатического поражения костей. Радионуклидный метод позволяет выявить метастазы в кости и остеомиелит раньше, чем они визуализируются при рентгеновском исследовании.

Радионуклидная диагностика in vitro, в частности, радиоиммунный анализ (РИА). Базируется на использовании меченых соединений (анти-тел), которые смешиваются в пробирке с биологической средой пациента (антигенами) непосредственно в лаборатории и не вводятся в организм обследуемого.

Благодаря тесной связи различных органов и систем организма в норме и патологии изучение концентрации самых различных биологически активных веществ при разнообразной патологии выявляет те или иные сдвиги, являющиеся звеньями патогенетических механизмов возникновения или развития заболевания.

Радиоконкурентный анализ используется:

- в кардиологии (диагностика инфаркта, реноваскулярной гипертензии и др.);
- эндокринологии (диагностика заболеваний щитовидной железы, поджелудочной железы, оценка функции гипофиза и др.);
- гематологии (дифференциальная диагностика анемий, диагностика тромбов и др.);
- аллергологии (диагностика иммунореактивности);
- гепатологии (дифференциальная диагностика заболеваний печени);
- онкологии (диагностика ранних форм злокачественных новообразований, контроль эффективности лечения);
- нефрологии (состояние почечных клубочков).

Эмиссионная компьютерная томография. Подобно РКТ, у радионуклидной визуализации есть своя томографическая технология. Применяются 2 основных томографических метода — ОФЭКТ и ПЭТ.

ПЭТ и ОФЭКТ — методы медицинской визуализации, основанные на применении РФП и позволяющие в томографическом режиме изучать биохимические процессы на молекулярном уровне (ПЭТ) и перфузию тканей (ОФЭКТ).

В настоящее время ПЭТ и ОФЭКТ применяются главным образом в трех областях медицины: кардиологии, неврологии, онкологии.

ПЭТ-диагностика более эффективна в сочетании с анатомическими изображениями, которые создаются при помощи КТ. Современные ПЭТ-сканеры имеют интегрированные КТ-сканеры. Совмещение ПЭТ и КТ (или ПЭТ/КТ) позволяет получить изображения не только метаболических процессов, но и самих тканей, внутренних органов и участков скелета. Преимущество ПЭТ/КТ состоит в том, что одновременно проводятся 2 обследования.

Ультразвуковое исследование

УЗИ широко используется для диагностики заболеваний различных органов и систем: сердечно-сосудистой, пищеварительной (печень, желчный пузырь, желчевыводящие протоки, поджелудочная железа, толстая кишка), мочеполовой (почки, надпочечники, мочевой пузырь, мошонка, матка, яичники, предстательная железа), поверхностно расположенных органов и тканей (молочные железы, лимфатические узлы различной локализации).

Ультразвук — механическая продольная волна с частотой колебания частиц среды более 20 кГц, т. е. выше порога слышимости для человека.

В ультразвуковой диагностике наиболее часто используются частоты в диапазоне 2–10 МГц.

Ультразвук используется в лучевой диагностике для решения двух основных задач: формирования секционных изображений и измерения скорости тока крови.

Методику ультразвуковой визуализации называют *УЗИ*, или *ультрасонографией*. Технологию измерения скорости потоков называют *доплерографией*, *доплеровской сонографией*, или *доплеровской флуометрией*.

Ультразвук генерируется датчиком, помещенным на кожу пациента над обследуемой анатомической областью. Наиболее его важная часть — пьезоэлектрические кристаллы, расположенные на поверхности датчика. Эти кристаллы обладают двумя свойствами: подача электрического по-

тенциала на кристалл приводит к его механической деформации (прямой пьезоэлектрический эффект), а механическое сжатие кристалла генерирует электрический потенциал (обратный пьезоэлектрический эффект).

Таким образом, один и тот же пьезоэлемент может быть попеременно то приемником, то источником ультразвуковых волн. Эта часть в ультразвуковых аппаратах называется акустическим преобразователем, трансдюсером, или датчиком.

Любая среда, в том числе и ткани организма, препятствует распространению ультразвука, то есть обладает различным акустическим сопротивлением, величина которого зависит от ее плотности и скорости ультразвука. Чем выше эти параметры, тем больше акустическое сопротивление. Такая общая характеристика любой эластической среды обозначается термином «импеданс».

Достигнув границы двух сред с различным акустическим сопротивлением, пучок ультразвуковых волн претерпевает существенные изменения: одна его часть продолжает распространяться в новой среде, в той или иной степени поглощаясь ею, другая — отражается. Коэффициент отражения зависит от разности величин акустического сопротивления граничащих друг с другом тканей: чем это различие больше, тем больше отражение и, естественно, больше амплитуда зарегистрированного сигнала, а значит, тем светлее и ярче он будет выглядеть на экране аппарата. Полным отражателем является граница между тканями и воздухом.

Чем больше акустическое сопротивление, тем больше отражение ультразвука. Очень большое различие в акустическом сопротивлении существует на границе «мягкая ткань—газ», и почти весь ультразвук отражается от нее. Этим объясняется применение в качестве прослойки между кожей пациента и преобразователем геля для устранения воздуха, который может полностью задержать ультразвуковую волну. Поэтому ультразвуковая сонография не может отобразить скрытые кишечным газом области или заполненную воздухом легочную ткань. Существует также достаточно большое различие в акустическом сопротивлении между мягкой тканью и кортикальной костью. Большинство костных структур таким образом мешает проведению УЗИ.

В простейшем варианте реализации метод позволяет оценить расстояние до границы разделения плотностей двух тел, основываясь на времени прохождения волны, отраженной от границы раздела. В данном формате эхо с различной глубины отражается в виде вертикальных пиков на горизонтальной линии, отображающей глубину (или реальное время). Сила эха определяет высоту или амплитуду каждого из полученных пиков, отсюда и термин «амплитудный режим», или ***A-режим*** (от англ. amplitude). Этот метод крайне редко используется для диагностики.

Более сложные методы исследования (например, основанные на эффекте Доплера) позволяют определить скорость движения границы раздела плотностей, а также разницу в плотностях, образующих границу.

В настоящее время наиболее часто в клинической практике используется так называемый ***В-режим*** (от англ. brightness — яркость) (рис. 9). Данный термин означает, что эхо изображается на экране в виде ярких точек, и яркость определяется силой эха.

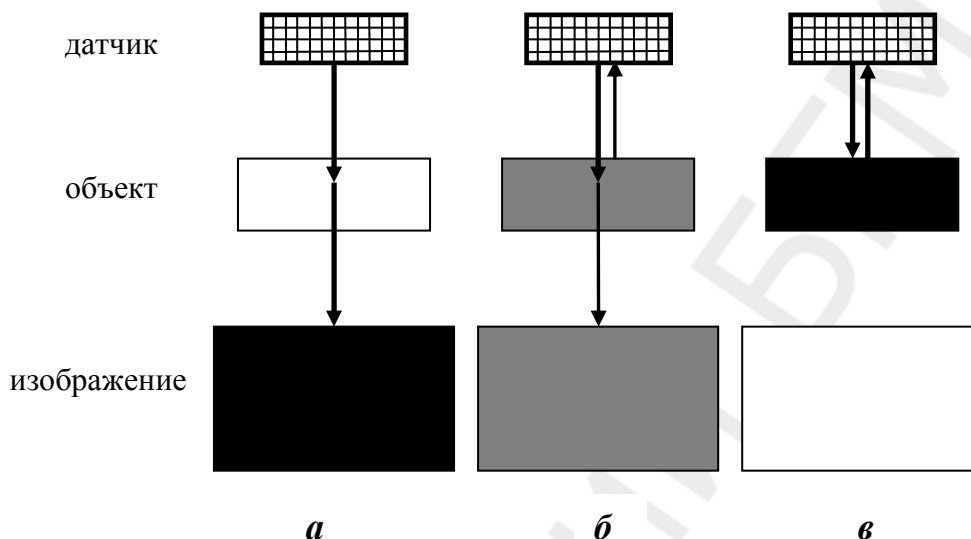


Рис. 9. Принцип получения УЗ-изображений в В-режиме

Это привычное для нас плоскостное (секционное) изображение органов и тканей в режиме реального времени. Формирование изображения определяется тем, что различные ткани по-разному проводят УЗ-волны: некоторые ткани полностью отражают их, другие — рассеивают. Если УЗ-волна (рис. 9, стрелки) свободно проходит через ткань, не отражаясь от нее, на экране это место будет черным, «эхопрозрачным» (рис. 9, *a*). Если ткань умеренно поглощает УЗ-волны, а часть их отражает, то эта ткань «средней эхогенности», на экране она выглядит серой (рис. 9, *б*). Если же ткань полностью отражает УЗ-волны, то на экране визуализируется только граница такого объекта в виде линии «высокой эхогенности» белого цвета, более глубоко расположенные органы и ткани рассмотреть нельзя (рис. 9, *в*).

Соответственно, ткани, отражающие УЗ-волны, называются эхоплотными, или эхогенными, а ткани, пропускающие — эхопрозрачными, или анэхогенными. Чем более светлым выглядит объект, тем выше его эхогенность.

Современные ультразвуковые аппараты могут регистрировать 512 (и даже 1024) оттенков серого цвета, что позволяет получить очень реалистичное изображение органов.

Жидкости (кровь, моча, ликвор, желчь и др.), а также хрящевая ткань пропускают УЗ-волны, почти их не искажая, поэтому на экране УЗ-сканера эти структуры выглядят практически черными или анэхогенными, гипоэхогенными.

Получаемые изображения динамичны, на них можно наблюдать такие явления, как респираторные движения, пульсация сосудов, сердечные сокращения, движения плода, движения в суставе и др. Датчик подключается к ультразвуковому оборудованию гибким кабелем, что позволяет располагать его в любом положении и под любым углом.

Основные термины, используемые при описании результатов исследования:

- эхонегативная (анэхогенная, гипоэхогенная) структура — структура хорошо проводящая УЗ-волны, на экране монитора выглядит черной или темной (любая жидкость — кровь, моча, выпот, отек, а также хрящевая ткань);

- эхопозитивная структура (эхогенная, гиперэхогенная) — структура, обладающая высоким акустическим сопротивлением, на экране монитора выглядит светлой или белой (конкремент);

- акустическая тень — пространство позади гиперэхогенного объекта, в которое УЗ-лучи не проникают, и оценить содержимое которого невозможно, на экране имеет вид черной полосы (например, участок позади конкремента или область позади костной структуры).

Современные аппараты для ультразвуковых исследований используют цифровые технологии. Генерируемый в датчике аналоговый сигнал преобразуется в цифровой и создается цифровая матрица изображения, в основе которой лежит сила сигнала. Окончательно изображение получают на мониторе и сонограмме (рис. 10).

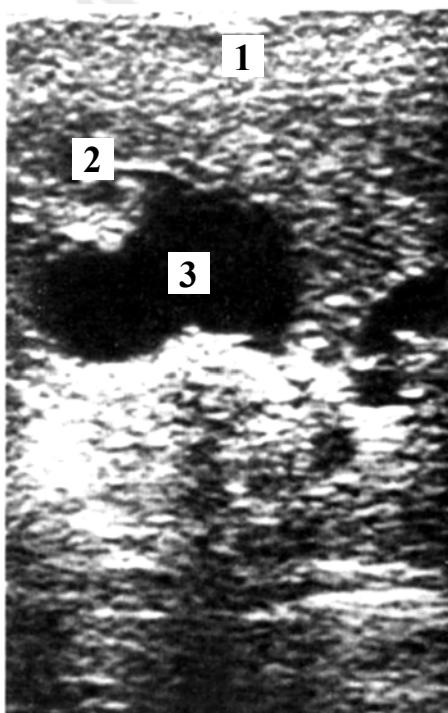


Рис. 10. Ультразвуковое исследование желчного пузыря. Опухоль желчного пузыря:

1 — печень; 2 — опухоль; 3 — желчный пузырь

Допплерография — ультразвуковой метод исследования, позволяющий характеризовать потоки крови в сосудах. В основе этой способности лежит эффект Доплера, согласно которому частота восприятия звука, издаваемого движущимся объектом, изменяется при ее восприятии неподвижным приемником.

При доплеровском исследовании кровеносных сосудов через тело пропускается генерируемый доплеровским датчиком направленный ультразвуковой луч. При пересечении УЗ-лучом сосуда или сердечной камеры небольшая часть ультразвука отражается от эритроцитов. Частота волн эха, отраженного от этих клеток, движущихся в направлении датчика, будет выше, чем у волн, испускаемых им самим. Разница между частотой принятого эха и частотой генерируемого датчиком ультразвука называется **доплеровским сдвигом**. Данный частотный сдвиг прямо пропорционален скорости кровотока. При измерении потока частотный сдвиг непрерывно измеряется прибором.

По сдвигу частот колебаний судят о скорости потока крови. Эти результаты могут быть выражены в виде количественных показателей скорости кровотока, в виде кривых и аудиально (сигналами). Двухмерная доплерография в масштабе реального времени позволяет изучить форму, контуры и просвет кровеносных сосудов, обнаружить сужение и тромбы, отдельные атеросклеротические бляшки, нарушение кровотока, состояние коллатерального кровообращения, сокращения сердца, направление кровотока в камерах сердца и др.

Ограничения метода:

1. УЗ-волны не проникают через кость, следовательно, внутрикостные или прикрытые костями структуры эхографически визуализировать невозможно.

2. УЗ-волны не распространяются через газ, т. е. структуры, прикрытые газом или содержащие газ и воздух, недоступны для исследования.

Магнитно-резонансная томография

МРТ — метод исследования пациента в условиях магнитного поля, который отражает распределение атомов водорода (протонов) в тканях. В организме водород встречается в основном в молекулах воды. Так как человек по весу более чем на две трети состоит из воды, этот сигнал является достаточно интенсивным для получения изображения. Вода может быть свободной или связанной с липидами, протеинами или другими биологическими макромолекулами и обмениваться между этими состояниями. От соотношения этих компонентов и их подвижности зависит амплитуда

МР-сигнала, которая заметно отличается для различных тканей и этим обеспечивает высокую контрастность мягких тканей.

МРТ — самый современный универсальный метод получения медицинских изображений. Его преимущества перед другими методами:

- безвредность для организма в связи с отсутствием ионизирующего излучения;
- возможность воспроизведения изображения в любой плоскости и под любым углом;
- возможность реконструкции трехмерного изображения;
- высокая контрастность при воспроизведении мягких тканей;
- получение изображения с контрастом по количеству атомов водорода (протонная плотность), временам релаксации или коэффициенту диффузии;
- селективное изображение сосудов (МР-ангиография);
- количественное определение скорости и профиля течения крови;
- изучение процессов метаболизма с помощью *in vivo* МР-спектроскопии (МРС).

Мировой практический опыт показал, что в клинической практике для повседневной диагностической работы оптимальными являются МР-системы со средней напряженностью магнитного поля. Поля в пределах 0,2–0,5 Тл дают достаточно высокой интенсивности сигнал оптимальной контрастности, что позволяет решать большинство задач в реальной клинико-диагностической работе.

Основная область применения МРТ в клинике — центральная нервная система (головной и спинной мозг). Изображения получают в сагиттальных, фронтальных и других срезах. При исследовании спинного мозга очень эффективным методом является быстрая МР-миелография с селективной визуализацией спинномозговой жидкости и спинного мозга.

Для контрастного усиления изображения исследуемых органов используются диагностические парамагнитные среды, например, магневист (Schering) и др. В отличие от других диагностических сред магневист характеризуется хорошей переносимостью и используется при проведении МРТ всего тела, в том числе органов грудной клетки (легкие, средостение), брюшной полости (печень, селезенка, поджелудочная железа), тазовых органов (мочевой пузырь, репродуктивные органы), забрюшинного пространства (почки, надпочечники, лимфатические узлы), опорно-двигательного аппарата (суставы, мышцы) и др.

Уникальная возможность МРТ — получение селективного изображения сосудов без введения контрастного вещества (МР-ангиография).

Современные модели аппаратов для МРТ используются также при исследовании органов брюшной полости, органов дыхания и костно-суставного аппарата с четким изображением костной ткани, хрящей, связок,

менисков и других анатомических структур. МРТ-аппараты открытого типа удобны для проведения исследований детей.

Реконструкция накопленной в ПК информации позволяет воспроизводить трехмерные МР-изображения. Аппараты с более высокими магнитными полями (2, 3, 4 Тл) создают условия для быстрых и сверхбыстрых методов получения изображения за время менее секунды. Основными областями применения сверхбыстрых методов, таких как мгновенное градиентное эхо (Snapshot FLASH) и эхопланарная томография (EPI), являются динамическая и функциональная томография. Очень важным клиническим применением динамической томографии является МР-маммография.

МРТ используется так же для неинвазивной (без введения контрастного вещества) визуализации функциональных особенностей состояния головного мозга.

Перспективную область применения МРТ в медицине с магнитными полями высокой напряженности (2–4 Тл) представляет *in vivo* МРС, позволяющая изучать и измерять биохимические процессы в живом организме на молекулярном уровне. Новые возможности МРТ тесно связаны с быстрым прогрессом в области вычислительной техники и программного обеспечения.

К проведению МРТ имеются следующие *противопоказания*:

Абсолютные:

- кардиостимуляторы;
- ферромагнитные или электронные имплантаты;

Относительные:

- другие стимуляторы (инсулиновые насосы, нейростимуляторы);
- не ферромагнитные или электронные имплантаты, протезы клапанов сердца;
- кровоостанавливающие клипсы;
- клаустрофобия.

Интервенционная радиология (ИР)

ИР — раздел лучевой диагностики, объединяющий возможности различных способов исследования: катетеризационная ангиография, УЗИ, КТ и др., в сочетании с лечебными мероприятиями — сосудистая хирургия, техническое и фармакологическое обеспечение.

В *кардиологии, ангиологии, сосудистой хирургии* получили признание методы реканализации сосудистых (артериальных и венозных) стенозов и окклюзии: чрескожная баллонная и лазерная ангиопластика, механическая и аспирационная реканализация, тромбэктомия и способы контроли-

руемого тромбозиса, установка стентов, восстанавливающих кровотоки, установка кавафилтров, удаление «забытых» инородных тел и др.

В общей и экстренной хирургии: методы эмболизации сосудов и сосудистых образований при кровотечениях.

В онкологии: эмболизация органов для «выключения».

В гастроэнтерологии: чрескожная чреспеченочная холангиография, чрескожная гастроэнтеростомия, дилатация и стентирование пищевода, дренаж абсцессов брюшной полости и забрюшинного пространства.

В нефрологии и урологии: дренаж почек, исследование в сочетании с эндоскопическими и лапароскопическими манипуляциями — баллонная дилатация и стентирование мочеточников и др.

В гинекологии: исследование репродуктивной системы, сочетание с эндоскопическими и лапароскопическими манипуляциями, реканализация фаллопиевых труб и др.

Радиационная безопасность при лучевых исследованиях

Использование в клинической практике методов радионуклидной диагностики и рентгенологических исследований неизбежно связано с лучевой нагрузкой на пациента. В связи с этим, рентгенорадиологические методы исследования назначаются только по строгим медицинским показаниям, особенно при исследовании детей и беременных женщин.

Чтобы дифференцированно подойти к оценке диагностического значения лучевых методов и их риска, принято делить всех обследуемых на три категории: АД, БД, ВД.

Категория АД — пациенты, которым исследование назначено по жизненным показаниям или в связи с онкологическим заболеванием и подозрением на таковое.

Категория БД — пациенты, которым лучевое исследование проводится по клиническим показаниям с целью установления или уточнения диагноза и выбора тактики лечения (заболевания не онкологического характера).

Категория ВД — лица, которым лучевое исследование проводится с профилактической целью. В категорию ВД отнесены также группы риска: работающие во вредных условиях, связанные с воздействием ионизирующих излучений, с предопухолевыми заболеваниями.

Для предотвращения возникновения непосредственных лучевых повреждений органов и тканей, возникновения злокачественных опухолей, поражения эмбриона и плода, генетических последствий облучения установлены предельно допустимые дозы (ПДД). ПДД определяется величи-

ной полученной человеком эффективной эквивалентной дозы. Единица эффективной дозы — зиверт (Зв), один зиверт равен 114 миллирентген.

Для *категории АД* величина дозы не должна вызвать непосредственные лучевые поражения (150 мЗв в год).

Для *категории БД* величина дозы не должна превысить дозу излучения, которая повышает вероятность отдаленных и генетических последствий (15 мЗв в год).

Для *категории ВД* величина дозы устанавливается с учетом риска не только для отдельного пациента, но и для всей группы облучаемых людей, чтобы не вызвать реального повышения количества генетических осложнений во всей популяции (1,5 мЗв в год).

В соответствии с законом Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения» (№ 122-3 от 5.01.98 г.) установлены следующие основные гигиенические нормативы (допустимые пределы доз) облучения на территории Республики Беларусь в результате воздействия источников ионизирующего излучения:

- для работников средняя годовая эффективная доза равна 0,02 Зв или эффективная доза за период трудовой деятельности (50 лет) — 1 Зв;
- для населения средняя годовая эффективная доза равна 0,001 Зв или эффективная доза за период трудовой деятельности (70 лет) — 0,07 Зв.

Все сотрудники рентгенорадиологических отделений и пациенты, подвергающиеся лучевым исследованиям, должны быть защищены от действия ионизирующего излучения.

Радиационная безопасность пациентов и персонала обеспечивается следующими принципами защиты:

- защита экранированием предполагает: использование защитных средств из просвинцованной резины (фартуки, юбочки, ширмы и пр.), диафрагмирование пучка рентгеновского излучения;
- защита временем (доза прямо пропорциональна времени облучения): выбор наиболее безопасного метода исследования, сокращение времени исследования (квалификация врача), учет результатов предыдущих исследований;
- защита расстоянием (доза обратно пропорциональна квадрату расстояния): использование аппаратов с дистанционным управлением, для пациентов — обеспечение определенного кожно-фокусного расстояния.

Защита персонала рентгенорадиологических отделений обеспечивается также общегосударственными мероприятиями, к которым относятся сокращенный рабочий день, более длинный отпуск, более ранний выход на пенсию и дополнительное питание. В рентгенорадиологических отделениях организован радиационный контроль.

Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгено-
диологических кабинетов, аппаратов и проведению исследований регла-
ментируется санитарными правилами и нормативами.

Репозиторий БГМУ

**Вопросы для компьютерного контроля знаний по теме
«Лучевая диагностика. Общие вопросы, методы, защита,
УЗИ, МРТ, КТ»**

1. Укажите контрастные вещества, применяемые при лимфографии.
2. Каким путем вводится контрастное вещество при каротидной ангиографии?
3. Чем обусловлена незначительность увеличения изображения при телерентгенографии?
4. В каком году Вильгельм Конрад Рентген установил существование в природе X-лучей?
5. Каким способом достигается прямое увеличение рентгеновского изображения?
6. Чем обусловлено прямое увеличение рентгеновского изображения?
7. Каким способом достигается необходимый эффект при телерентгенографии?
8. Перечислите рентгенологические методы, используемые для прямого контрастирования.
9. Перечислите контрастные препараты, используемые для ангиографии.
10. На чем основано использование в рентгенодиагностике методов непрямого контрастирования?
11. В каком количестве и какой концентрации вы будете вводить йодлипол внутривенно для флебографии?
12. Перечислите некоторые рентгенологические методы, при использовании которых применяются газообразные контрастные вещества.
13. Какие основные характеристики позволяет оценить линейная томография при исследовании внутренних органов?
14. Какую основную характеристику позволяет оценивать метод телерентгенографии?
15. Перечислите основные практические меры экранирования, как одного из принципов защиты от вредного воздействия рентгеновских лучей.
16. Укажите основную задачу при реализации дозиметрического контроля защиты.
17. Укажите среднюю годовую эффективную дозу для сотрудников рентгеновского кабинета.
18. Укажите среднюю эффективную дозу за период трудовой деятельности (50 лет) для сотрудников рентгеновского кабинета.
19. Укажите среднюю годовую эффективную дозу для населения.
20. Укажите среднюю эффективную дозу за период трудовой деятельности (70 лет) для населения.

21. С какой целью необходимо включать в суточный рацион молочные продукты работникам рентгеновских кабинетов?

22. С какой целью работникам рентгеновских кабинетов увеличивается заработная плата?

23. Укажите органы, при исследовании которых УЗИ не дает должного диагностического эффекта.

24. Укажите характер предварительной подготовки больного, необходимой для УЗИ органов брюшной полости.

25. Как необходимо установить датчик при УЗИ внутренних органов?

26. Как измерить лучевую нагрузку на больного при проведении УЗИ?

27. При исследовании каких органов РКТ дает наиболее высокий диагностический эффект?

28. Кого не рекомендуется исследовать на рентгеновском компьютерном томографе?

29. Укажите характер предварительной подготовки больного для исследования на рентгеновском компьютерном томографе.

30. Как проводится предварительная проба (перед ангиографическим исследованием) на чувствительность к йодистым препаратам?

31. Укажите вспомогательные (специальные) рентгенологические методы.

32. На чем основывается использование метода КТ?

33. На чем основывается использование метода МРТ?

34. Как изменится изображение органа при рентгенографии, если увеличить расстояние между пациентом и кассетой?

35. Как изменится изображение органа при рентгенографии, если увеличить расстояние между рентгеновской трубкой и пациентом?

36. В чем заключается метод ретроперитонеума?

37. В чем заключается метод пневмоперитонеума?

38. Перечислите рентгенологические методы, позволяющие регистрировать движение исследуемых органов.

Литература

1. Закон Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения». 1998. 6 с.
2. *Кишковский, А. Н.* Неотложная рентгенодиагностика / А. Н. Кишковский, Л. А. Тютин. М. : Медицина, 1989. 463 с.
3. *Коновалов, А. Н.* МРТ диагностика / А. Н. Коновалов. М., 2003.
4. *Линденбратен, Л. Д.* Медицинская радиология и рентгенология (основы лучевой диагностики и лучевой терапии) / Л. Д. Линденбратен, И. П. Королюк. М. : Медицина, 1993. 556 с.
5. *Линденбратен, Л. Д.* Радионуклидная диагностика / Л. Д. Линденбратен, Ф. М. Лясс. М., 1983. 368 с.
6. *Матиас, Хофер* Компьютерная томография / Хофер Матиас. М. : Мед. лит., 2006. 208 с.
7. *Митьков, В. В.* Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике / В. В. Митьков. М. : ВИДАР, 1997. Т. I–IV. 336 с.
8. *Михайлов, А. Н.* Средства и методы современной рентгенографии : практ. рук. / А. Н. Михайлов. Минск : Бел. наука, 2000. 242 с.
9. *Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000).* Минск, 2000. 115 с.
10. *Труфанов, Г. Е.* Магнитно-резонансная томография / Г. Е. Труфанов, В. А. Фокин. СПб. : Фолиант, 2007. 688 с.
11. *Тюрин, И. Е.* Компьютерная томография грудной полости / И. Е. Тюрин. СПб. : Элби-СПб, 2003. 371 с.
12. *Яковец, В. В.* Рентгенодиагностика заболеваний органов головы, шеи и груди : рук. для врачей / В. В. Яковец. СПб. : Гиппократ, 2002. 571 с.
13. *Petterson, H.* Общее руководство по радиологии / H. Petterson. М. : Спас, 1996. 668 с.

Оглавление

Введение	3
Рентгенодиагностика.....	4
Основные методы исследования	4
Специальные методы исследования	8
Методы радионуклидной диагностики	19
Ультразвуковое исследование.....	22
Магнитно-резонансная томография	26
Интервенционная радиология (ИР)	28
Радиационная безопасность при лучевых исследованиях	29
Вопросы для компьютерного контроля знаний по теме «Лучевая диагностика. Общие вопросы, методы, защита, УЗИ, МРТ, КТ»	31
Литература.....	33

Учебное издание

Сергеева Ирина Ивановна
Тихомирова Татьяна Федоровна
Маркварде Мечислав Марьянович и др.

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ
(общие вопросы)**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск А. И. Алешкевич
Редактор Н. В. Оношко
Компьютерный набор Л. М. Шумской
Компьютерная верстка Н. М. Федорцовой

Подписано в печать 24.06.10. Формат 60×84/16. Бумага писчая «Снегурочка».
Печать офсетная. Гарнитура «Times».
Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 1,78. Тираж 500 экз. Заказ 29.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет».
ЛИ № 02330/0494330 от 16.03.2009.
ЛП № 02330/0150484 от 25.02.2009.
Ул. Ленинградская, 6, 220006, Минск.