

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Международный государственный экологический
университет имени А. Д. Сахарова»



Факультет экологической медицины

Кафедра экологической медицины и радиобиологии

Г. Н. Шилов

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ
ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ**

Курс лекций

Минск
2008

УДК 615.849.1+616-073.75
ББК 53.6
Ш59

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
МГЭУ им. А. Д. Сахарова (протокол № 3 от 19 декабря 2007 г.)

Автор:

кандидат медицинских наук *Г. Н. Шилов*

Рецензенты:

доцент кафедры лучевой диагностики БелМАПО,
кандидат медицинских наук *А. А. Гончар*
профессор кафедры экологической медицины
МГЭУ им. А. Д. Сахарова *А. И. Хоменко*

Шилов, Г. Н.

Ш59 Теория и практика основных методов лучевой диагностики :
курс лекций / Г. Н. Шилов. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова,
2008. – 72 с.

ISBN 978-985-6823-82-7.

Издание представляет собой теоретические и практические основы базисных методов лучевой диагностики (включая самые современные), используемых для исследования различных органов и систем человека.

В пособии достаточно глубоко освещены теория и принципы работы технического оборудования, используемого в соответствующих методах лучевой диагностики, механизмы взаимодействия радиации с биологическим субстратом, базисные принципы радиационной безопасности, а также основные синдромы и симптомы патологических состояний, где наиболее востребовано применение таких классических методов рентгенологического исследования, как рентгеноскопия и рентгенография (при патологии легких и опорно-двигательного аппарата). Особое внимание акцентировано на ультразвуковом методе исследования как наиболее безвредном и доступном.

Курс лекций предназначен для студентов высших учебных заведений медико-биологического профиля, а также для врачей смежных специальностей, желающих более подробно ознакомиться с методами лучевой диагностики.

УДК 615.849.1+616-073.75
ББК 53.6

ISBN 978-985-6823-82-7

© Международный государственный
экологический университет имени
А. Д. Сахарова, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ЛЕКЦИЯ 1. ВВЕДЕНИЕ В ЛУЧЕВУЮ ДИАГНОСТИКУ	5
История развития лучевой диагностики	7
Группировка излучений, применяемых в радиологии	9
Биологическое действие ионизирующих и неионизирующих излучений	11
Дозиметрия	14
Меры защиты пациентов и персонала	17
ЛЕКЦИЯ 2. МЕТОДЫ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ	19
Теория и общие принципы лучевой диагностики	19
Способы и методы рентгеновской интроскопии	20
Основные рентгенологические методы исследования	22
Контрастные методы исследования	25
ЛЕКЦИЯ 3. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ДИГИТАЛЬНОЙ ИНТРОСКОПИИ	28
Цифровая (дигитальная) рентгенография	28
Компьютерная томография	28
Магнитно-резонансная томография.....	34
ЛЕКЦИЯ 4. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ДИГИТАЛЬНОЙ ИНТРОСКОПИИ	44
Ультразвуковой метод исследования (УЗИ).....	44
Радионуклидный метод диагностики.....	48
ЛЕКЦИЯ 5. ЛУЧЕВАЯ АНАТОМИЯ	54
Рентгеноанатомия легких и рентгеносемиотика основных симптомов легочной патологии	54
Рентгеноанатомия и рентгеносемиотика опорно-двигательного аппарата	60
ЛЕКЦИЯ 6. ПРИМЕНЕНИЕ УЗИ	64
Применение УЗИ в кардиологии	64
Применение УЗИ в акушерстве, гинекологии и урологии	65
ВОПРОСЫ	70
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	71

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лучевая диагностика, являющаяся составной частью медицинской визуализации, находится на переднем плане диагностического процесса в современной медицине. В ней наиболее ярко воплощаются новейшие разработки медицинской науки и современных технологий. В данном курсе лекций представлены базисные виды традиционного рентгенологического исследования (рентгеноскопия, рентгенография, линейная томография), современные методы (рентгеновская гелиокальная и спиральная компьютерная, позитронно-эмиссионная и магнитно-резонансная томография, ультразвуковое исследование и радионуклидная диагностика), а также основные синдромы и симптомы патологических состояний, где наиболее востребовано применение таких классических методов рентгенологического исследования, как рентгеноскопия и рентгенография (т. е. при патологии легких и опорно-двигательного аппарата). Особое место отведено ультразвуковому методу исследования как наиболее безвредному и доступному.

Каждый из перечисленных методов, занимая определенное место в системе клинического и профилактического обследования населения, обладает как достоинствами, так и недостатками, что фактически и служит критерием его диагностических возможностей. В настоящее время с помощью методов лучевой диагностики ставится большинство всех первичных диагнозов, а в некоторых областях клинической медицины диагностика вообще немыслима без их применения.

В свою очередь, благодаря внедрению в практическое здравоохранение новейших компьютерных технологий и способов цифровой обработки изображения, возможности и роль методов лучевой диагностики в медицине еще более возрастают.

Целью написания данного курса лекций явилась необходимость создать у студентов четкое представление об основополагающих принципах устройства, возможностях, показаниях и противопоказаниях для использования перечисленных методов, основах рентгеносемиотики поражения легких и опорно-двигательного аппарата, а также показать, что во многих случаях методы лучевой диагностики не заменяют, а лишь дополняют друг друга.

ЛЕКЦИЯ 1

Введение в лучевую диагностику

Лучевая диагностика – наука о применении различного рода излучений для изучения строения и функции органов и систем человека в целях диагностики и профилактики болезней.

Лучевая диагностика является неотъемлемой частью медицинской радиологии, состоящей из лучевой диагностики и лучевой терапии. Однако с учетом того факта, что около 95 % информации человек получает при помощи зрительного анализатора (на зрительный анализатор работает 3/4 головного мозга), правильнее было бы отнести лучевую диагностику к медицинской визуализации (medical imaging), основанной на получении изображения органов и систем человека с помощью различных полей и излучений.

История развития лучевой диагностики тесно связана с историей развития физики XX в. и прежде всего с открытием рентгеновского излучения и искусственной радиации. На этих двух основополагающих открытиях, по сути, и зиждется вся радиология и лучевая диагностика в частности. Отдавая дань ученым, сыгравшим ключевую роль в этих фундаментальных открытиях, будет несправедливо не остановиться на этом более подробно.

История открытия рентгеновского излучения

День рождения медицинской радиологии и лучевой диагностики в частности датирован 8 ноября 1895 г. Именно вечером этого дня в баварском городе Вюрцбурге профессор-физик местного университета Вильгельм Конрад Рентген, работая с катодной трубкой, случайно заметил свечение, исходящее от банки с кристаллами платиноцианистого бария. В короткий срок с помощью самодельных приборов и остроумных приемов Рентген настолько полно изучил новое излучение, что практически до 1908 г. к его данным не было добавлено ничего существенного.

К слову сказать, легенда о случайности открытия рентгеновского излучения весьма живуча. Однако ее нетрудно опровергнуть, поскольку, во-первых, и до Рентгена многие ученые, работая с катодной трубкой, замечали свечение экранов и засвечивание фотопластинок, во-вторых, свое образование Рентген получил в Страсбурге на базе блестящей классической школы Кундта (из которой, кстати, вышли такие знаменитые русские физики, как А. Ф. Иоффе и П. Н. Лебедев) а в-третьих, как сказал знаменитый французский микробиолог Луи Пастер, «случай выбирает подготовленный ум».

Любопытно, что общественность узнала об открытии Рентгена из газетной статьи «Сенсационное открытие», опубликованной 5 января 1896 г. в венской газете одним предприимчивым молодым человеком, выпросившим снимки кисти руки у своего родственника, которые разослал Рентген

своим коллегам в виде рождественского подарка. Сам же доклад ученого научному обществу был отложен в связи с рождественскими каникулами и состоялся только 23 января 1986 г. Тогда же он продемонстрировал свое открытие, сделав снимок кисти известного анатома – профессора Келликера, который, потрясенный открытием, тут же предложил назвать новые лучи именем Рентгена. Естественно, что после своего знаменитого сообщения имя Рентгена стало сразу известно всему миру.

В связи с этим следует особо подчеркнуть скромность и благородство Рентгена, поскольку он, приобретя мировую известность и признание, не изменил ни своим занятиям, ни своему замкнутому образу жизни, отклонив при этом даже предложенное ему место президента научного общества, звание академика Прусской академии наук, а также предложения дворянства и различных орденов. Полученную же в 1901 г. Нобелевскую премию он передал на нужды Вюрцбургского университета, продолжая до конца жизни называть открытые им лучи X-лучами.

Открытие естественной и искусственной радиоактивности

Явление естественной радиоактивности было впервые открыто французским физиком Анри Беккерелем, который подробно изучал явления люминесценции и фосфоресценции.

Сама история открытия явления естественной радиоактивности напоминает открытие рентгеновского излучения, т. е. как раз когда Его величество случай «выбрал подготовленный ум». Известно, что совместно с другим физиком и математиком Анри Пуанкаре, вдохновленный рентгеновским открытием и поиском новых загадочных лучей, Беккерель выдвинул идею о том, что X-лучи могут испускаться и фосфоресцирующими веществами. Для своих опытов он использовал кристаллы одного из самых сильных фосфорисцирующих веществ – калийуранилсульфата. Ход эксперимента был следующий: вначале Беккерель положил на солнечный свет неэкспонированную фотопластинку, обернутую двойным слоем черной бумаги, – фотопластинка оказалась незасвеченной; затем он проделал то же самое, но поверх пластинки положил покрытый солью урана металлический крест, после чего получил его изображение на пластинке; однако, проведя повторно эксперимент с крестом без солнечного облучения, он получил тот же результат, т. е. изображение креста на фотопластинке. Естественно было сделать вывод о том, что соли урана излучают особый вид лучей, которые вначале в силу предполагаемой их специфичности называли «урановыми». Однако в 1898 г. Мария Складовская-Кюри обнаружила, что «урановые» лучи может излучать и торий, а Резерфорд показал, что на самом деле это смесь излучений, куда входят α -частицы, β -частицы и γ -излучение. Тем не менее 10 декабря 1903 г. именно Анри Беккерелю была вручена Нобелевская премия.

История развития лучевой диагностики

Родоначальник лучевой диагностики – рентгеновский метод – появился после открытия в 1895 г. рентгеновского излучения, что дало начало развитию новой медицинской науки – рентгенологии. Первыми объектами исследования были костная система и органы дыхания. В 1921 г. была разработана методика рентгенографии на заданной глубине – послойно, и в практику широко вошла томография, значительно обогатившая диагностику.

Новые возможности появились благодаря контрастированию полых органов (сначала органов желудочно-кишечного тракта путем введения взвеси сернокислого бария, а затем сосудистой и мочевой системы путем введения жидких контрастных веществ). Кроме того, рентгеновское исследование сосудов дало толчок развитию нового направления – рентгенохирургии, при которой под контролем рентгеновского экрана производится расширение суженного участка сосуда, удаление атеросклеротических бляшек и т. д.

В 1970–1980-е годы в лучевой диагностике происходят революционные преобразования. В практику внедряются новые методы получения изображения. Этот этап характеризуется переходом от одного вида излучения (рентгеновского), применяемого для получения изображения, к другим: 1) ультразвуковому излучению; 2) длинноволновому электромагнитному излучению инфракрасного диапазона (термография); 3) излучению радиочастотного диапазона (ЯМР – ядерно-магнитный резонанс). Также используются ЭВМ для обработки сигналов и построения изображения и осуществляется переход от одномоментного изображения к сканированию (последовательная регистрация сигналов от разных точек).

В течение трех месяцев после открытия Рентгена итальянский физик Энрико Сальвиони создает первый рентгеноскопический аппарат, который состоял из рентгеновской трубки и флуоресцентного экрана с одной стороны и окуляра – с другой. Человек помещался между рентгеновской трубкой и экраном, на котором даже в незатемненном помещении можно было видеть изображение. Месяцем позже Томас Эдисон обнаружил, что вольфрамат кальция флуоресцирует ярче, чем исходный платиносинеродистый барий. В мае 1897 г. на выставке в Нью-Йорке Эдисон установил рентгеноскопический аппарат и публика развлекалась тем, что любой мог рассматривать собственные конечности в X-лучах.

Развивается не только аппаратное обеспечение. Постоянно совершенствуются методики рентгенологических исследований и появляются новые. Впервые в истории врачи получили в свои руки инструмент, позволяющий заглянуть внутрь человеческого тела без хирургического вмешательства. В результате метод исследования с помощью X-лучей чрезвычайно быстро распространился в Европе и США. Меньше чем через месяц после публикации Рентгена 20 января 1896 г. врачи г. Дартмунда (США) с помощью X-лучей увидели перелом руки.

В России под руководством изобретателя радио А. С. Попова в 1897 г. был запущен первый рентгеновский кабинет. Рентгеновский аппарат был даже установлен на крейсере «Аврора». Теперь при сражениях моряки сразу же могли быть обследованы методом «пулеграфии», который позволял находить осколки в теле. В 1919 г. врач Карлос Хьюсер из Аргентины проводит первое рентгенологическое исследование сосудистой системы с внутривенным введением контрастного вещества. В качестве контрастного вещества использовался иодид калия, благодаря которому сосуды становились непрозрачными для рентгеновских лучей.

В 1927 г. португальским врачом Эгазом Монизом был впервые разработан и реализован метод рентгеновской ангиографии (он получил изображения сосудов головного мозга). В 50-х годах XX в. активно развивается рентгенохирургия. Некоторые хирургические операции могут проводиться под контролем рентгеновского луча, тем самым снижая инвазивность процедур. Гудвин представляет методику чрезкожной нефростомии, а Селдингер совершенствует методику ангиографии Мониза (в обоих случаях игла или катетер отбрасываются во время операции при помощи рентгеновских установок).

По мере развития рентгенологии разрабатывались методы и средства, обеспечивающие безопасность пациентов и медицинского персонала. В рентгеновских кабинетах появились специальные датчики контроля уровня облучения. В 20-х годах прошлого столетия были определены стандартные лучевые нагрузки, требуемые для получения качественных изображений. Обязательным в исследованиях стало применение специальных свинцованных экранов.

Все производители рентгеновского диагностического оборудования постоянно совершенствуют существующие и предлагают новые технологии снижения лучевой нагрузки. Все более строгими становятся требования: с момента появления (в 1931 г.) допустимая лучевая нагрузка при исследовании уменьшилась более чем в 10 раз.

Новые горизонты рентгенологических методов открылись с созданием цифровых систем. Цифровая рентгеноскопия стала возможна с момента появления цифровых электронно-оптических преобразователей на базе приборов с зарядовой связью. Цифровая рентгенография в настоящее время существует в двух исполнениях: оцифрованной и прямой цифровой. В оцифрованной рентгенографии (computed radiography) экспозиция проводится на пластины, которые затем считываются на специальных станциях-ридерах. В прямой цифровой рентгенографии изображение получается непосредственно с детектора, на который в свою очередь проводится экспозиция рентгеновскими лучами. Цифровая рентгенология – это путь к дальнейшему снижению лучевой нагрузки при одновременном улучшении качества изображений. Открыты возможности, прежде недоступные для рентгенологов, – телемедицинские консультации и беспленочные способы рабо-

ты. За более чем вековую историю рентгенодиагностика не только развивалась сама, но и породила такие методики, как *рентгеновская компьютерная томография* (КТ) и рентгеновская остеоденситометрия. Помимо методов, в основе которых лежит рентгеновское излучение, рентгенология заложила основу для ультразвуковой диагностики, радионуклидной диагностики и *магнитно-резонанной томографии* (МРТ). Все перечисленные методики в настоящее время объединяются под эгидой лучевой диагностики.

Как уже отмечалось ранее, в январе 1896 г. было опубликовано первое сообщение В. К. Рентгена «О новом виде лучей» и публично произведен первый рентгеновский снимок.

Немедленно после этого гениального открытия началось быстрое распространение его по всему миру. Так, уже в январе 1896 г. была изготовлена первая в России рентгеновская трубка, а 16 января Н. Г. Егоров в Медико-хирургической академии, а также И. И. Боргман и А. Л. Гершун в Петербургском университете выполнили рентгеновские снимки кисти.

В феврале 1896 г. началось систематическое исследование больных в Медико-хирургической академии, сделано первое сообщение о применении рентгеновских лучей в целях изучения анатомии на живом человеке (В. Н. Тонков). В последующие годы развитие рентгенологии шло бурными темпами. В 1918 г. в Петрограде был основан научно-исследовательский рентгеновский институт. Позднее такие институты были открыты в Харькове, Киеве, Москве и других городах.

Огромную роль в развитии рентгенологии сыграли российские ученые И. Р. Тарханов, Я. Т. Диллон, Н. И. Неменов, И. С. Рейнберг, Д. Г. Рохлин, Г. А. Зедгенидзе, Л. Д. Линденбратен, Л. С. Рознштраух и др.

В нашей республике значительный вклад в рентгенологию внесли Б. М. Сосина, М. М. Маркварде, А. Н. Михайлов, И. И. Лазюк, Г. Д. Голуб и др. Они сыграли большую роль в развитии науки, внедрении ряда научных разработок в практику и подготовке специалистов для лечебных учреждений.

В последние десятилетия наряду с широким применением классической рентгенологии бурно развиваются и другие виды лучевого исследования, такие как КТ и МРТ. У истоков этих методов в Беларуси стояли такие рентгенологи, как Л. И. Никитина, Ю. И. Сельхов, И. В. Булаев, Г. Н. Шилов, А. И. Антоненко.

Группировка излучений, применяемых в радиологии

Все излучения, используемые в медицинской радиологии, разделяют на две большие группы: ионизирующие и неионизирующие. Как показывает само название, первые, в отличие от вторых, при взаимодействии со средой вызывают ионизацию атомов, т. е. их распад на противоположно заряженные частицы – ионы.

К числу неионизирующих излучений принадлежит тепловое (инфракрасное) и резонансное, возникающее в объекте (в том числе и теле человека), помещенном в стабильное магнитное поле, под действием высокочастотных электромагнитных импульсов. Кроме того, к неионизирующим излучениям условно относят ультразвуковые волны, представляющие собой упругие колебания среды.

Инфракрасное излучение испускают все тела, температура которых выше абсолютного нуля. Интенсивным источником такого излучения являются ткани человеческого тела. Как известно, инфракрасные (ИК) волны относятся к электромагнитным излучениям. По длине волн они занимают промежуточное положение между видимым светом и радиоволнами. Диапазон ИК-лучей составляет от 76 дм до 1000 мкм. Интенсивность ИК-излучения пропорциональна 4-й степени температуры тела, т. е. возрастание температуры тела в два раза приведет к увеличению интенсивности ИК-излучения в 16 раз. Максимальное излучение человека лежит в области длинноволнового ИК-излучения и составляет в среднем 9,6 мкм. Энергия ИК-лучей меньше, чем световых, поэтому они не действуют на фотоматериалы.

Ультразвук представляет собой волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц упругой среды. В зависимости от частоты колебания звуковые волны делят на инфразвук – до 20 колебаний в секунду (20 Гц), собственно звук – от 20 Гц до 20 кГц – и ультразвук – свыше 20 кГц. В медицинской диагностике применяют ультразвук частотой от 0,8 до 15 млн герц (МГц).

Общим свойством ионизирующих излучений является их способность ионизировать атомы окружающей среды, в том числе атомы, входящие в состав тканей человека. Все эти излучения делят на две группы: квантовые (состоящие из фотонов) и корпускулярные (состоящие из частиц). Это деление в значительной мере условно, так как любое излучение имеет двойственную природу и в определенных условиях проявляет то свойства волны, то свойства частицы. Но для радиологической практики это деление по ряду соображений удобно.

К квантовым ионизирующим излучениям относят тормозное (в частности, рентгеновское) и гамма-излучение. К корпускулярным излучениям причисляют пучки электронов, протонов, нейтронов, мезонов и других частиц.

Различают естественные и искусственные источники ионизирующих излучений. Первым естественным источником является космическое излучение, приходящее из Вселенной на Землю. В его состав входят протоны, нейтроны, атомные ядра и другие частицы. Они нередко обладают исключительно высокой энергией, но благодаря наличию атмосферы Земли (а ее масса составляет, кстати, около 5 млрд т) тратят эту энергию главным образом на взаимодействие с атомами воздуха. На поверхности Земли интен-

сивность космического излучения сравнительно мала. Вторым естественным источником являются радиоактивные элементы, распределенные в земных породах, воздухе, воде, живых организмах (в том числе в тканях человека). Все указанные источники определяют радиоактивность окружающей среды – естественный (природный) радиационный фон.

Искусственными источниками ионизирующих излучений являются различные технические устройства, созданные человеком.

Рентгеновское излучение занимает область электромагнитного спектра между гамма- и ультрафиолетовым излучениями и представляет собой поток квантов (фотонов), распространяющихся прямолинейно со скоростью света (300 000 км/с). Эти кванты не имеют электрического заряда. Масса кванта составляет ничтожную часть атомной единицы массы. Энергию квантов измеряют в джоулях (Дж), но на практике часто пользуются внесистемной единицей электрон-вольт (эВ). Рентгеновское излучение возникает при торможении быстрых электронов в электрическом поле атомов вещества (тормозное излучение) или при перестройке внутренних оболочек атомов (характеристическое рентгеновское излучение). Тормозное излучение имеет непрерывный спектр, зависящий от анодного напряжения на рентгеновской трубке. Средняя эффективная энергия квантов составляет приблизительно $2/3$ от максимального напряжения, приложенного к трубке. Например, при максимальном напряжении 50 кВ средняя энергия рентгеновских квантов около 30 кэВ, при 100 кВ – 65 кэВ, при 150 кВ – 100 кэВ. Именно в данном диапазоне энергий рентгеновское излучение используют в рентгенодиагностике.

Рентгеновское излучение обладает рядом свойств, решительно отличающих его от видимого света. Оно проникает через тела и предметы, не пропускающие свет, вызывая свечение ряда химических соединений (на этом, кстати, основана методика рентгеноскопии). Оно разлагает галоидные соединения серебра, в том числе находящиеся в фотоэмульсиях, что позволяет получать рентгеновские снимки. Важнейшим свойством рентгеновского излучения является способность вызывать распад нейтральных атомов на положительно и отрицательно заряженные частицы (ионизационное действие). Отсюда понятно, что это излучение не безразлично для живых организмов, поскольку обуславливает определенные изменения в биосубстрате.

Биологическое действие ионизирующих и неионизирующих излучений

Касаясь истории изучения биологического действия излучения, в первую очередь следует упомянуть И. Р. Тарханова, который в 1896 г. в результате экспериментов на лягушках, домашних мухах и бабочках установил влияние рентгеновского облучения на ряд систем организма, родоначальника радиобиологии Е. С. Лондона, изучавшего действие гамма-излучения радия на ферменты, токсины и различные ткани живых объектов

и показавшего высокую чувствительность к облучению кроветворной системы и клеток половых желез, а также Г. С. Филиппова и Г. А. Надсона, которые впервые в мире установили влияние излучений на наследственность.

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом

Все излучения (ионизирующие и неионизирующие) способны вызывать изменения в живых организмах, т. е. характеризуются биологическим действием. Оно является результатом поглощения энергии излучения биологическим объектом.

Известно, что энергия ультразвуковых волн и высокочастотных электромагнитных колебаний, используемых в диагностике, значительно ниже энергии, которая способна вызывать изменения в живых организмах, т. е. до настоящего времени вредных последствий от ультразвуковых и магнитно-резонансных исследований не зарегистрировано. Их можно считать практически безвредными.

Ионизирующие излучения различного рода, пройдя через биологический объект, действуют в принципе одинаково: все они вызывают ионизацию. Распределение возникающих ионов по пути следования частиц или фотонов различно, так как оно зависит от их природы и энергии. Поскольку протоны и α -частицы имеют большую массу, заряд и энергию, они движутся в тканях прямолинейно, образуя густые скопления ионов, т. е. у них большая линейная потеря энергии в тканях. Длина их пробега зависит от исходной энергии частицы и характера вещества, в котором она перемещается.

Электрон также способен производить ионизацию вещества, вырывая орбитальный электрон из системы встречного атома. Однако движется он в ткани хаотично, так как обладает малой массой и, следовательно, может изменять свое направление под действием электрических полей атомов, а образующиеся ионы распределены по пути его следования гораздо менее густо, чем в случае протонного пучка или α -частиц. Механизм взаимодействия быстрых нейтронов с веществом определяется столкновением с ядрами водорода. Эти ядра вырываются из атомов и сами создают в тканях короткие густые скопления ионов. После замедления нейтроны захватываются атомными ядрами, что может сопровождаться выделением гамма-квантов высокой энергии или протонов высокой энергии, которые в свою очередь также дают плотные скопления ионов. Часть ядер, в частности ядра атомов натрия, фосфора и хлора, вследствие взаимодействия с нейтронами становятся радиоактивными. Поэтому после облучения человека потоком нейтронов в его теле остаются радионуклиды, являющиеся источником излучения (так называемая наведенная радиоактивность).

Таким образом, в результате взаимодействия заряженных и нейтральных частиц с атомами человеческих тканей происходит ионизация вещества тканей. При этом для каждого вида излучения характерно определенное

микрораспределение ионов в тканях. При взаимодействии же тормозного и гамма-излучения с веществом часть их энергии превращается в кинетическую энергию электронов, которые и производят ионизацию среды. Именно процесс ионизации обуславливает биологические эффекты излучений.

Первый этап биологического действия ионизирующих излучений представляет собой физический процесс взаимодействия излучения с веществом, т. е. излучения сами или опосредованно вызывают возбуждение и ионизацию атомов биосистем, приводя к появлению в тканях возбужденных и ионизированных атомов и молекул, обладающих высокой химической активностью. Они вступают во взаимодействие друг с другом и окружающими атомами, что в свою очередь приводит к возникновению большого количества высокоактивных свободных радикалов и перекисей.

Поглощение энергии излучения и первичные радиационно-химические реакции совершаются практически мгновенно – в течение миллионных долей секунды. Затем в тысячные доли секунды радиационно-химический процесс ведет к изменению расположения и структуры молекул и, следовательно, к нарушению биохимии клеток. Морфологические и функциональные изменения клеток проявляются уже в первые минуты и часы после облучения. Последнее воздействует на все компоненты клеток. В первую очередь, особенно при сублетальных и летальных дозах, поражаются ядерные структуры – ДНК, дезоксирибонуклеопротеиды и ДНК-мембранные комплексы: наблюдается торможение роста и деления клетки, в которой обнаруживаются дистрофические изменения, вплоть до ее гибели. Изменения в хромосомном аппарате клетки сказываются на ее наследственных свойствах, т. е. ведут к радиационным мутациям. Они могут развиваться также и в соматических клетках, приводя к снижению жизнеспособности их потомков или к появлению клеток с новыми качествами. Полагают, что эти новые популяции клеток могут быть источником рака и лейкоза. Мутации, развившиеся в половых клетках, не отражаются на состоянии облученного организма, но могут проявиться в последующих поколениях, что может повлечь возрастание числа наследственных болезней, которых и без того достаточно в человеческой популяции.

Биологический эффект облучения отнюдь не сводится только к клеточным и тканевым реакциям, лежащим в основе сложных процессов нарушения деятельности нервной, кроветворной, эндокринной, иммунной и других систем организма. Он определяется величиной поглощенной дозы и распределением ее в человеческом теле. При равной дозе наибольшие последствия сопровождают облучение всего тела. Менее выражена реакция после облучения отдельных частей тела. При этом не все равно, какие части облучены. Облучение живота, например, дает гораздо больший эффект, чем воздействие в той же дозе на конечности. Но вместе с тем биологический эффект зависит и от радиочувствительности облученных тканей и органов.

Радиочувствительность – это чувствительность клетки и ее тканей к лучевому повреждению и их способность к восстановлению после облучения. Чувствительность клетки к облучению зависит от многих факторов: вида излучения (энергии квантов или частиц), стадии митотического цикла, степени оксигенации, функционального состояния клетки в момент облучения. Особенно поражаются клетки, которые в этот момент находились в состоянии повышенной функции (например, в периоде синтеза ДНК). Большую роль играют внешние условия: температура, содержание воды, кислорода и т. д.

Так, в частности, установлено, что степень лучевых реакций тесно связана с парциальным напряжением кислорода в биосубстрате. Это явление получило название кислородного эффекта. Чем меньше кислорода в клетке, тем меньше лучевое повреждение.

Лучевые повреждения ярко проявляются в активно пролиферирующих тканях (лимфоидная, кроветворная и т. д.) и гораздо скромнее и в более отдаленные сроки — в мало обновляющихся тканях (костная, хрящевая, мышечная, жировая). Вообще малодифференцированные клетки более чувствительны к облучению. Говоря о тканевой радиочувствительности, надо учитывать, что гибель части клеток компенсируется деятельностью систем клеточного обновления, которая зависит от общего числа стволовых клеток, интенсивности клеточной пролиферации, состояния кровотока и оксигенации клеток.

Дозиметрия

Дозиметрия ионизирующих излучений – это специальный раздел радиационной физики и техники. Дозиметрический анализ предполагает: а) измерение активности источника излучения; б) определение качества и количества испускаемых им излучений, т. е. создаваемого им поля излучения (лучевого поля); в) определение величины и распределения энергии, поглощенной в любом объекте, находящемся в сфере действия данного источника (внесенном в лучевое поле).

Единицей активности радионуклида в системе единиц СИ является беккерель (Бк).

1 Бк равен 1 ядерному превращению за 1 с. На практике еще пользуются внесистемной единицей Кюри (Ки). $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}$ ядерных превращений за 1 с. $1 \text{ Бк} = 0,027 \text{ нКи}$.

Характеристику поля излучения определяют расчетным путем (по таблицам) или с помощью измерительных приборов. Их приемной частью (детекторами излучения) служат ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, сцинтилляционные счетчики, полупроводниковые кристаллы или химические системы. Решающее значение для оценки возможного биологического действия излучения имеет характеристика его поглощения в тканях.

Величина энергии, поглощенной в единице массы облучаемого вещества, называется дозой, а та же величина, отнесенная к единице времени, – мощностью дозы излучения.

Поглощенная доза (D) – основная дозиметрическая единица. Она равна отношению средней энергии, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе вещества в этом объеме. Единицей поглощенной дозы в СИ является Грей (Гр). $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$. Поглощенную дозу определяют расчетным путем (используя для этой цели компьютеры и математические программы) или посредством введения в облучаемые ткани и полости тела миниатюрных датчиков излучения.

При рентгенологической и радионуклидной диагностике, а также при терапевтическом облучении больного поглощенная энергия в теле человека всегда распределена неравномерно. Поэтому для более точной характеристики дозного поля введены дополнительные величины. Во-первых, это понятие об интегральной дозе. Под ней понимают полное количество энергии, поглощенной в организме человека. Во-вторых, это понятие о гонадной, костномозговой дозах и о дозе в «критическом органе». Как показывают эти термины, речь идет о поглощенных дозах в половых железах, костном мозге и в органе, который в наибольшей степени подвергается облучению (при радионуклидной диагностике – это орган, в котором создается наибольшая концентрация радионуклида).

Единицы измерения ионизирующих излучений

Рентген (Р) – внесистемная единица экспозиционной дозы излучения, под воздействием энергии которого в 1 см^3 воздуха при нормальных условиях образуются пары ионов суммарным зарядом в 1 электростатическую единицу ($2,08 \times 10$ пар ионов).

Кулон/кг (К/кг) – системная единица экспозиционной дозы излучения, при котором в 1 кг сухого воздуха образуются ионы суммарным зарядом в 1 К.

Рад – внесистемная единица поглощенной дозы излучения, при котором в 1 г вещества поглощается 100 эрг энергии.

Грей (Гр) – системная единица поглощенной дозы излучения, при котором в 1 кг вещества поглощается 1 Дж энергии. $1 \text{ Гр} = 100 \text{ Р}$.

Кюри (Ки) – единица активности радиоактивного вещества, соответствующая активности 1 г Ra, в котором за 1 с происходит 37 млрд распадов ядер.

Беккерель (Бк) – системная единица активности, соответствующая 1 распаду ядра в 1 с.

Бэр (биологический эквивалент рентгена) – внесистемная единица эквивалентной дозы (дозы воздействия), определяемая как воздействие дозы излучения в 1 Р (или рад), умноженная на коэффициент, величина которого зависит от вида излучения. Для гамма-, бета- и рентгеновского излучения $k = 1$, для α -излучения $k = 10$.

Зиверт (Зв) – системная единица эквивалентной дозы, соответствующая 1 Гр, умноженному на указанный выше коэффициент k . $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$.

Любое медицинское применение ионизирующих излучений требует соблюдения правил радиационной безопасности и противолучевой защиты пациентов и персонала лучевых отделений.

Широкое использование ионизирующих излучений в медицинской практике, народном хозяйстве и научных исследованиях повысили возможность облучения человека в дозе, превышающей естественный радиационный фон. Основное значение имеет медицинское облучение. Оно обуславливает примерно 90 % лучевой нагрузки на население, т. е. 90 % популяционной дозы. Главный вклад в эту нагрузку вносит рентгенология.

Техника безопасности и охрана труда при работе с ионизирующими излучениями регламентированы официальными инструкциями, изданными Министерством здравоохранения РБ. В них определены требования по обеспечению радиационной безопасности медицинского персонала, больных и населения. Контроль над выполнением инструкций осуществляют органы санитарного надзора. Эти требования должны быть известны каждому врачу, поскольку он намечает показания к радиологическим исследованиям и непосредственно участвует в них.

В настоящее время в РБ действуют «Нормы радиационной безопасности и основные требования и правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» и «Санитарные правила работы при проведении медицинских рентгенологических исследований».

Первое обязательное требование заключается в том, что всякое лучевое исследование должно проводиться оправданно, т. е. по строгим показаниям. При этом ведущим аргументом является необходимость получения важной диагностической информации, т. е. всегда надо отдавать предпочтение тем методам, которые не связаны с облучением больного или сопровождаются меньшим облучением. Так, в частности, проверочные рентгенологические исследования не проводят беременным и детям до 14 лет, а радионуклидные процедуры – детям в возрасте от 1 года до 16 лет, а также беременным и кормящим матерям. Детям до года радионуклидные исследования вообще не выполняют, если нет жизненных показаний. Радионуклидные, а также рентгенологические исследования, связанные с относительно большим облучением гонад (исследования кишечника, почек, поясничного отдела позвоночника, таза и др.), женщинам в детородном возрасте рекомендуется проводить в течение первой недели после менструации.

Второе обязательное требование заключается в соблюдении правил радиологического обследования больных. Оно должно проводиться только лицами, имеющими специальную подготовку. Терапевты, пульмонологи,

кардиологи, хирурги, урологи и другие врачи, не прошедшие курсов специализации по радиологии или рабочего прикомандирования для овладения соответствующими методиками, не имеют права самостоятельно выполнять радиологические процедуры. Всю ответственность за обоснованность, планирование и проведение исследования несет врач-радиолог.

Все работники радиологических отделений, лица, находящиеся в смежных помещениях, а также больные, подвергающиеся исследованию или лечению, должны быть защищены от действия ионизирующих излучений.

Меры защиты пациентов и персонала

Защитой называют совокупность устройств и мероприятий, предназначенных для снижения физической дозы излучения, воздействующей на человека, ниже предельно допустимой дозы (ПДД). Для лиц, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений (категория А), ПДД является такое наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год, при котором равномерное облучение в течение 50 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами. Для лиц, которые по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию ионизирующих излучений (категория Б), устанавливается предел дозы (ПД) за календарный год. При этом принимаются в учет три группы критических органов: I группа – все тело, гонады и красный костный мозг; II группа – мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталик глаза и другие органы, за исключением тех, которые относятся к I и III группам; III группа – кожный покров, костная ткань, кости предплечья, голени и стопы. Основные дозовые пределы указываются в специальных таблицах.

При радионуклидных диагностических исследованиях предельно допустимые дозы устанавливаются для того, чтобы предотвратить как непосредственные лучевые повреждения, так и возникновение злокачественных опухолей и возможные генетические последствия.

Противолучевая защита обеспечивается целым рядом факторов. К ним относятся правильное размещение радиологических кабинетов в медицинских учреждениях и наличие стационарных и нестационарных защитных устройств.

Стационарными устройствами являются неподвижные сооружения, изготовленные из соответствующих материалов (кирпич, баритобетон, свинец, свинцовое стекло и др.). Эти сооружения (стены, перекрытия, защитные двери, смотровые окна) обеспечивают защиту от прямого и рассеянного излучения всех лиц, находящихся в смежных с источником излучения помещениях.

Нестационарными устройствами называют перемещаемые приспособления, предназначенные для защиты персонала и больных, находящихся в тех же кабинетах, где расположены источники излучения. К таковым принадлежат разнообразные защитные ширмы, кожухи, в которые заключены рентгеновские трубки, сейфы для хранения радиоактивных препаратов, контейнеры для размещения и транспортировки радионуклидов, защитные стерилизаторы.

В рентгеновских кабинетах обязательно использование средств индивидуальной защиты – фартуков и перчаток из просвинцованной резины. Участки тела больного, которые не должны подвергаться облучению, покрывают просвинцованной резиной. В радионуклидных лабораториях все сотрудники также обязаны применять средства индивидуальной защиты – спецодежду, фартуки, бахилы, перчатки, а также пользоваться дистанционным инструментарием.

Существенным фактором противолучевой защиты является рациональное расположение рабочих мест персонала с максимальным удалением их от источников излучения – это так называемая защита расстоянием (вспомним, что интенсивность облучения убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника до облучаемой поверхности).

Во всех медицинских учреждениях, где имеются источники ионизирующих излучений, организован радиационный контроль. Он осуществляется службой радиационной безопасности учреждения или специально выделенным должностным лицом, а также соответствующими ведомственными службами с применением дозиметрических приборов. Учитывая существование профессиональной вредности у персонала рентгенологических кабинетов, трудовое законодательство предусматривает ряд льгот: сокращенный рабочий день, удлиненный отпуск, надбавку к заработной плате, более ранний уход на пенсию. К работе в рентгенологическом отделении не допускаются лица моложе 18 лет, а также беременные. Существует, кроме того, перечень заболеваний, при которых не разрешается работа в сфере ионизирующего излучения.

ЛЕКЦИЯ 2

Методы лучевой диагностики

Теория и общие принципы лучевой диагностики

Источником рентгеновского излучения для медицинских целей является рентгеновская трубка (рис. 1).

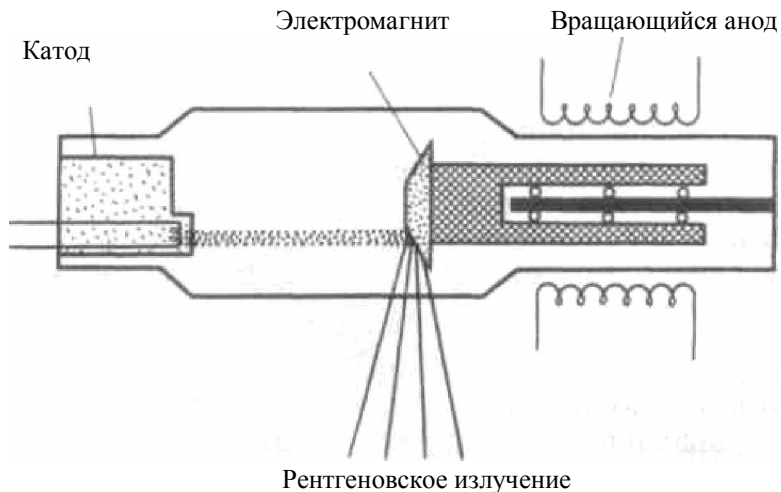


Рис. 1. Схема рентгеновской трубки [7]

Рентгеновская трубка представляет собою вакуумный стеклянный сосуд, в концы которого впаяны два электрода – катод и анод. Этот сосуд помещен в свинцовый кожух, в котором оставлено выходное окно для рентгеновских лучей. У выходного окна расположен коллиматор (диафрагма, сделанная из двух пар взаимно перпендикулярных свинцовых шторок, т. е. приспособление для ограничения размера облучаемого поля). Катод выполнен в виде тонкой вольфрамовой спирали. При его нагревании вокруг спирали образуется облако свободных электронов (термоэлектронная эмиссия). Под действием высокого напряжения, приложенного к полюсам рентгеновской трубки, они разгоняются и фокусируются на аноде (который также часто сделан из вольфрама). Анод вращается с огромной скоростью (до 10 тыс. оборотов в 1 мин), чтобы поток электронов не попадал в одну точку и не вызвал из-за перегрева расплавление анода. В результате торможения электронов на аноде часть их кинетической энергии превращается в электромагнитное излучение. Таким образом, рентгеновское излучение – это тормозное излучение.

В зависимости от вида преобразователя рентгеновского излучения (см. принципиальную схему) целесообразно выделить 4 типа приемников: *рентгеновскую пленку, флюоресцирующий экран, рентгеновский электронно-оптический преобразователь (ЭОП) и дозиметрический датчик*. На них соответственно построены 4 основных метода рентгенологического исследования: *рентгенография, рентгеноскопия, рентгентелевизионная рентгеноскопия и цифровая рентгенография (в том числе компьютерная томография)*.

Современная рентгенодиагностическая установка представляет собой сложное техническое устройство. Оно насыщено элементами телеавтоматики, электроники, электронно-вычислительной техники. Многоступенчатая система защиты обеспечивает радиационную и электрическую безопасность персонала и больных.

Рентгенодиагностические аппараты принято делить на универсальные, позволяющие производить рентгеновское просвечивание и рентгеновские снимки всех частей тела, и аппараты специального назначения. Последние предназначены для выполнения рентгенологических исследований в неврологии, челюстно-лицевой хирургии, стоматологии, маммологии, урологии, ангиологии. Созданы также специальные аппараты для исследования детей, для массовых проверочных исследований (флюорографы), для исследований в операционных. Для рентгеноскопии и рентгенографии больных в палатах и реанимационном отделении применяют передвижные рентгеновские установки.

Способы и методы рентгеновской интроскопии

Все методики рентгеновской интроскопии можно отобразить одной принципиальной схемой (рис. 2).

В состав типового рентгенодиагностического аппарата входят: питающее устройство, пульт управления, двигающиеся в различных плоскостях механический стол и штатив с закрепленной на ней рентгеновской трубкой. Установка (рис. 3) получает питание из сети в виде переменного тока низкого напряжения. В высоковольтном трансформаторе сетевой ток преобразуется в переменный ток высокого напряжения. Это напряжение на аноде, достигает в современных рентгеновских аппаратах от 40 до 150 кВт и более. Оптимальная характеристика пучка рентгеновского излучения, генерируемого в трубке, технически определяется также и рядом других параметров: мощностью тока накала и размером пучка разгоняемых от катода к аноду электронов.

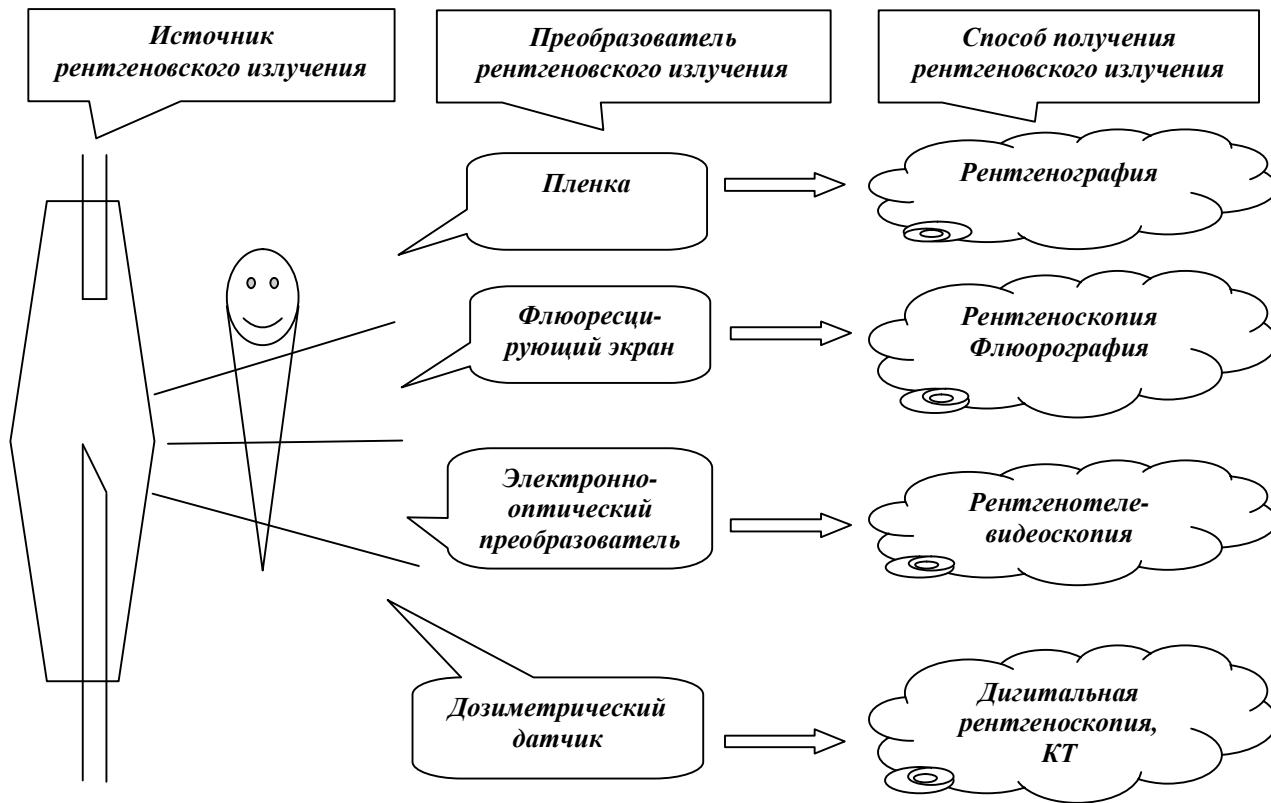


Рис. 2. Принципиальная схема рентгеновской интроскопии

Выбор и регулировка технических условий осуществляется автоматически с помощью микропроцессоров. Монитор, пульт управления, приемник и преобразователь излучения, а также проявочная машина выносятся в отдельные помещения. К вспомогательным устройствам относятся штатив для просвечивания, стол для снимков, люминесцентный экран, кассетодержатели, а также приборы для преобразования электрического тока (трансформаторы, регулирующие устройства) в зависимости от заданных условий исследования больных.

Одной из первостепенных задач при проведении рентгенологического исследования является максимальная защита персонала и больных от рентгеновского излучения. Для этого существуют специальные, чрезвычайно жесткие требования к устройству рентгеновских кабинетов (специальные, не пропускающие рентгеновских лучей стены, большая площадь кабинетов, индивидуальные средства защиты и т. д.). Очень важным является максимальное ограничение облучаемого поля с помощью диафрагмы, рациональное сокращение времени исследования и другие мероприятия. Согласно существующему законодательству, рентгеновское исследование производится только при клинических показаниях, а профилактическое рентгеновское обследование населения строго ограничено, особенно обследование детей.

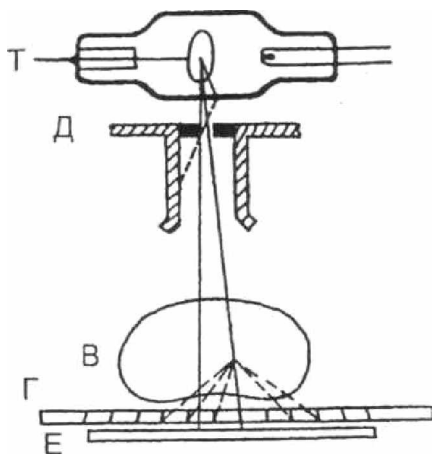


Рис. 3. Принципиальная схема стандартной рентгеновской установки: Т – рентгеновская трубка; Д – диафрагма; В – объект съемки; Г – отсеивающая решетка; Е – приемник излучения (в частности, кассета с рентгеновской пленкой) [17]

Основные рентгенологические методы исследования

К основным рентгенологическим методам исследования относятся рентгеноскопия, рентгенография, рентгенофлюорография и линейная томография.

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

теневое позитивное изображение соответственно неодинаковой плотности исследуемых органов и тканей.

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 напрямую зависит от размеров изучаемого поля, продолжительности исследования и ряда других факторов), относительно низкая разрешающая способность и др. В последние годы, учитывая перечисленные недостатки, производители стремятся оснащать рентгеновские аппараты электронно-оптическими преобразователями (ЭОП), а метод просвечивания больных непосредственно за флуоресцирующим экраном применяется значительно реже.

Рентгенотелевидение – современная методика рентгеноскопии, при которой производится просвечивание с помощью аппарата, оснащенного 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 (т. е. возможность работать в светлом помещении), а также на порядок снижается лучевая нагрузка на больного и персонал.

Рентгенотелевизионное просвечивание также 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 области на рентгеновской пленке. Последняя представляет нитроацетатную основу, покрытую тонким слоем светочувствительной эмульсии (желатина), содержащую мельчайшие кристаллики галогенида серебра в невозбужденном (не засвеченном) состоянии. Эмульсия чувствительна не только к рентгеновским лучам, но и к дневному свету, поэтому ее сохраняют в светонепроницаемых коробках различного стандартного формата (13 × 18 см, 13 × 24 см, 24 × 30 см, 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 не восстановленного серебра), затем промывки пленки и сушки – изображение становится видимым – черно-белым.

Готовый снимок надписывается (номер и дата исследования, фамилия, инициалы и возраст пациента, подпись рентген лаборанта) и затем рассматривается в проходящем свете на негатоскопе. Полученное изображение позволяет оценить анатомические (форма, размеры, положение) и структурные особенности органов. При этом необходимо 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 и целей исследования, применяемой методики и предполагаемых патологических изменений. Методу рентгенографии присущи следующие достоинства: он довольно прост при выполнении и широко применяется; рентгеновский снимок – объективный документ, который может длительно храниться; сопоставление особенностей изображения на по-

вторных снимках, выполненных в различные сроки, позволяет изучить динамику возможных изменений патологического процесса; относительно 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.

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

В связи с тем, что актуальность использования флюорографии как метода массовых профилактических исследований значения не утратила, в настоящее время производится замена парка старых флюорографов на современные, оснащенные электронно-оптическими преобразователями или блоками прямого считывания изображения, что позволяет на порядок снизить лучевую нагрузку.

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 30–50°. Различают томографию *продольную*, *поперечную* и *со сложным циклом движения* (круговым, синусоидальным). 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 и забрюшинного пространства, костно-суставного аппарата и др.

Контрастные методы исследования

Контрастные методы рентгенологического исследования относятся к специальным инвазивным методам, сопряженным с введением в полости исследуемых органов (к примеру, сосудов, пищеварительного тракта и др.) соответствующих инструментов и через них – контрастных веществ. Необходимость в контрастных методах исследования связана с тем, что при рентгенологическом исследовании различных органов и систем человека естественная плотность внутренних органов и тканей не всегда достаточна для успешной оценки особенностей их изображения. В целях визуализации внутреннего строения различных органов и сосудов прибегают к искусственному кон-

трастированию с помощью контрастных рентгеновских веществ. Методы искусственного контрастирования широко используются в *гастроэнтерологии* (исследование различных отделов желудочно-кишечного тракта: пищевода, желудок, двенадцатиперстная кишка, тонкая и толстая кишка, пневмоперитонеум; желчевыводящих путей: холангиография, холецистография); в *ангиологии* (все виды сосудистых исследований: ангиокардиография, флебография, лимфография и др.); в *кардиологии* (ангиокардиография); в *пульмонологии* (бронхография, ангиопульмонография, диагностический пневмоторакс); в *гинекологии* (гистеросальпингография, пневмопельвиография, маточная флебография); в *урологии* (экскреторная урография, ретроградная урография); в *неврологии* (миелография, пневмовентрикулография, каротидная ангиография).

Рентгеноконтрастные вещества (РКВ) – соединения, применяющиеся для контрастных методов исследования. Они подразделяются на *рентгенопозитивные (тяжелые)* и *рентгенонегативные (газообразные)*. К рентгенопозитивным РКВ относятся вещества с высокой молекулярной массой, поглощающие рентгеновское излучение в значительно большей степени, чем ткани организма. Из них наиболее широкое применение получили такие препараты, как сульфат бария и йодированные препараты на различной основе.

Сульфат бария предназначен исключительно для исследования желудочно-кишечного тракта и используется в виде водной взвеси (суспензии) различной консистенции. Тонкодисперсная водная взвесь, приготовленная с помощью ультразвукового миксера, создает наиболее благоприятные условия для исследования мелких структур слизистой оболочки пищеварительного канала.

Эффективно также использование комбинированных методов исследования: двойного контрастирования – введения в желудок (кишку) водной взвеси сернокислого бария в сочетании с газообразными веществами – или тройного контрастирования – с дополнительным наложением пневмоперитонеума. Нередко комбинированное контрастирование сочетается с линейной или компьютерной томографией.

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 они 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 кардиотраст, триотраст, уротраст, верографин, гипак, билигност, урографин и др.

При внутрисосудистых введениях ионных РКВ возможны побочные реакции различной степени тяжести (слабые, выраженные, тяжелые): болевые

ощущения (в груди, животе, сосудах); чувство тепла или жара, головокружение, приливы крови, головная боль, озноб; 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 и прочие побочные проявления.

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 – Shering) и омниopak (иогексол – Nycjmed), к неионным димерам – визипак (иодиксанол и иомерон Nycjmed), а также изовист (иотролан – Shering), иопамирон (иопамидол), оптирей (иоверон).

Применение неионных препаратов сопровождается значительно меньшим (в 3–5 раз) риском развития побочных реакций. Неионные препараты отличаются низкой осмолярностью и минимальным воздействием на биологические мембраны, что обуславливает их незначительную токсичность и хорошую переносимость при ангиографии. Неионные препараты используются также при необходимости болюсного внутриартериального и венозного введения, при миелографии, 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 с целью выявления врожденных пороков пищевода у новорожденных и др. К ним относятся йодлипол, липиодол, йодатол, сверхжидкий липиодол и др. Препараты выпускаются в ампулах по 10 мл (стерильно). Йодированные РКВ (таблетки) используются также для холецистографии: холевид, йопагност, билимин и др.

Газообразные вещества (ГВ) относятся к рентгеногегативным контрастным веществам. Сюда включают атмосферный воздух, молекулярный кислород, углекислый газ и закись азота. ГВ используются для введения в различные отделы пищеварительного канала при двойном контрастировании, при введении в плевральную полость (диагностический пневмоторакс), в брюшную полость (диагностический пневмоперитонеум), в забрюшинное пространство (ретропневмоперитонеума), в средостенье (пневмомедиастинум) и др.

ЛЕКЦИЯ 3

Основные методы цифровой интроскопии

Цифровая (дигитальная) рентгенография

Цифровая (дигитальная) рентгенография – современный метод исследования, осуществляемый при оснащении рентгенодиагностического аппарата устройством для цифровой обработки рентгеновского изображения (т. е. когда возможен перевод аналогового изображения в цифровое) (рис. 4). Последнее в процессе рентгенографии выводится на экран дисплея персонального компьютера, что создает ряд преимуществ. Метод позволяет производить оценку среднего уровня плотности тени и суммарного диапазона между светлой и темной частями изображения (что улучшает диагностические возможности), существенно снизить лучевую нагрузку на пациента, архивировать электронное изображение и сохранять его в памяти рабочей станции либо на специальных носителях (магнитных, оптических, магнито-оптических, серверах) либо пересылать по локальным сетям в другие отделения и учреждения и при необходимости повторной консультации немедленно истребовать на экран дисплея.

Компьютерная томография

Компьютерная томография – метод послойного рентгенологического исследования органов и тканей, позволяющий измерять плотность любого участка этих тканей. Она основана на компьютерной обработке множественных рентгеновских изображений поперечного слоя, выполненных под разными углами.

С помощью КТ можно изучать все части тела, любые органы, судить о положении, форме, величине, состоянии поверхности и структуре органа, определять ряд функций (в том числе и кровотоков в органе).

Идея компьютерной томографии (в советской литературе сокращенно обозначается КТ, в зарубежной – СТ) родилась в Южно-Африканской Республике у физика А. Кормака в Кейптаунской больнице Хроте Схюр. Он рассчитал взаимодействие узко направленного пучка рентгеновского излучения с веществом мозга и в 1963 г. опубликовал статью о возможности компьютерной реконструкции изображения мозга. Спустя 7 лет эти исследования продолжил англичанин Г. Хаунсфилд. Время сканирования первого объекта (мозг, законсервированный в формалине) на созданной им экспериментальной установке составило 9 ч. В 1972 г. была произведена первая томограмма женщине с опухолевым поражением мозга, а уже 19 апреля 1972 г. на конгрессе Британского радиологического института Г. Хаунсфилд и врач Дж. Амброус выступили с сенсационным сообщением «Рентгенология проникает в мозг». В 1979 г. А. Кормака и Г. Хаунсфилда были удостоены Нобелевской премии.

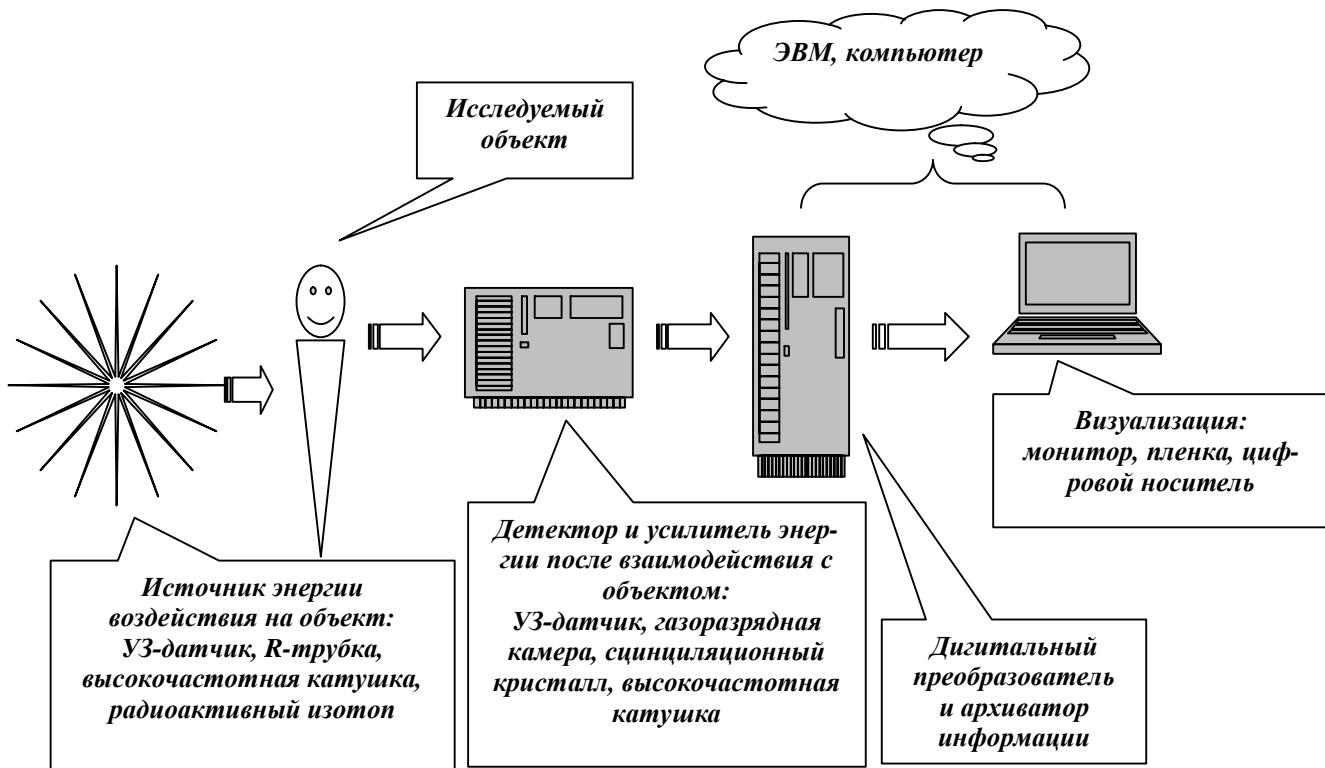


Рис. 4. Принципиальная схема аппарата для цифровой интроскопии

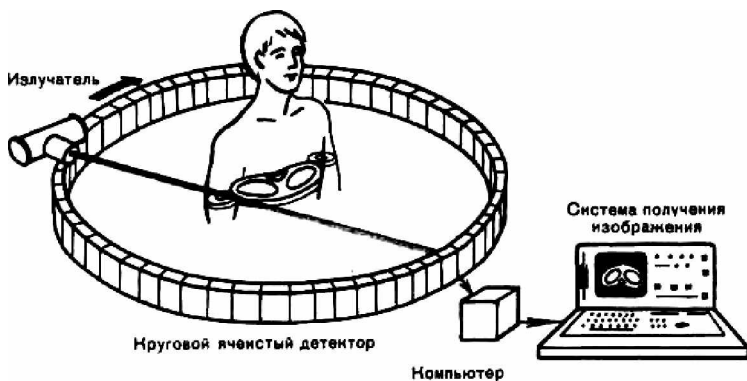


Рис. 5. Схема рентгеновской компьютерной томографии [7]

Схема получения компьютерных томограмм представлена на рис. 5. Узкоколлимированный (ограниченный) рентгеновский пучок сканирует («просматривает») человеческое тело по окружности. Проходя через ткани, излучение ослабляется соответственно плотности и атомному составу этих тканей. По другую сторону от пациента и трубки установлена круговая система датчиков рентгеновского излучения, каждый из которых преобразует энергию излучения в электрические сигналы. После усиления эти сигналы трансформируются в цифровой код, который хранится в памяти компьютера. Зафиксированный сигнал отражает степень ослабления пучка (и, следовательно, степень поглощения излучения) в каком-либо одном направлении. Вращаясь вокруг пациента, рентгеновский излучатель «просматривает» его тело под различными ракурсами (в общей сложности под углом в 360°). К концу вращения излучателя в памяти компьютера оказываются зафиксированными все сигналы от всех датчиков.

По стандартным программам компьютер перерабатывает полученную информацию и рассчитывает внутреннюю структуру объекта. Данные расчета, свидетельствующие о поглощении излучения в тонком слое органа, выводятся на дисплей. Процессор компьютера обрабатывает цифровую информацию, создавая на экране дисплея реконструированное изображение. Оно состоит из нескольких десятков тысяч светящихся точек, яркость которых пропорциональна плотности тканей, через которые проходил пучок излучения (большим значениям плотности соответствует более светлое изображение). Ввиду большого числа точек врач воспринимает изображение как единое целое. Пользуясь клавиатурой дисплея, можно увеличивать это изображение, выделять и увеличивать отдельные его части, измерять размеры органа и определять плотность каждого участка ткани в условных единицах. По серии двумерных изображений с помощью математических методов обработки можно восстановить объемное изображение объекта.

КТ существенно отличается от традиционной (линейной или конвенциональной) рентгеновской томографии. При обычной томографии рентгеновский пучок, пройдя через объект, воспринимается пленкой и сразу образует на ней скрытое изображение, которое становится видимым после фотопроцессинга пленки. При КТ изображение получают в результате первоначальной трансформации рентгеновского излучения в набор электрических сигналов, которые затем обрабатываются в компьютере, т. е. КТ – это один из вариантов цифровой (цифровой) рентгенографии. Отсюда вытекают важные достоинства КТ: изображение исследуемого слоя свободно от тени всех образований, находящихся в соседних слоях, компьютер рассчитывает величину поглощения рентгеновского излучения в отдельном малом объеме сканируемого слоя. Информация о плотности ткани в любых участках может быть представлена в виде цифр, графиков или в виде точек в координатной сетке в черно-белом или цветном варианте. За нулевую величину плотности принята плотность воды. Плотность кости приравнена к +1000 условных единиц, а воздуха – к –1000 условных единиц, обозначаемых латинской буквой Н по имени Хаунсфилда. Таким образом, согласно этой шкале (шкала Хаунсфилда) весь диапазон плотностей тела человека состоит из 2000 единиц – от –1000 до +1000. Компьютерный томограф способен зафиксировать разницу в плотности ткани всего в 0,5 %, тогда как обычная рентгенограмма – только в 15–20 %.

Конструктивно компьютерный томограф представляет собой сложное и дорогостоящее техническое устройство. Его штатив включает в себя круговую раму, в которой установлены вращающаяся по кругу рентгеновская трубка и расположенные кольцом детекторы (сцинтилляционные счетчики или газоразрядные камеры). В штативе имеется отверстие, в которое помещается стол для укладки пациента (многие КТ столы имеют весовой предел 100–160 кг). С пульта управления этот стол можно передвигать относительно системы трубка – детекторы и тем самым выбирать исследуемые слои. Современные томографы позволяют получать изображения очень тонких слоев – толщиной от 1 до 5 мм.

Непрерывной частью компьютерного томографа является устройство для обработки информации и синтеза изображения. В это устройство входят мини-ЭВМ с различной памятью, накопители информации и другие атрибуты вычислительной техники. Томограф снабжен пакетом программ, которые обеспечивают всесторонний анализ информации: получение гистограмм, выделение зоны интереса, проведение измерений рентгеновского изображения, построение на основе серии поперечных «срезов» реконструированных изображений в прямой и боковой проекциях и т. д. Наконец, в состав компьютерного томографа включено устройство для визуального представления и анализа рентгеновских изображений. Изображение может быть выдано на экран дисплея, получено на пленке или отпечатано на фотобумаге и записано на магнитные носители.

Компьютерные томографы четвертого поколения обеспечивают короткое время сканирования – всего 1–2 с. Этого достаточно, чтобы получить четкое изображение любого органа. Лучевая нагрузка за типовое исследование сравнительно невелика – 0,01–0,02 Гр.

Специальной подготовки больного к КТ органов головы, шеи, груди и конечностей не требуется. При исследовании аорты, нижней полой вены, печени, селезенки, почек больному рекомендуется ограничиться легким завтраком. Для исследования желчного пузыря пациент должен явиться натощак. Перед КТ поджелудочной железы, а также при необходимости изучения переднего края печени необходимо применять меры для уменьшения метеоризма. Если на томограммах не достигается хорошего изображения поджелудочной железы, то пациенту предлагают выпить 20 мл трийодированного контрастного вещества в 500 мл воды. Не следует назначать КТ после проведения рентгеноскопии желудка (т. е. до опорожнения пищеварительного канала от бария), поскольку скопления сульфата бария в желудке или кишечнике обуславливают артефакты в изображении.

В настоящее время разработана дополнительная методика проведения КТ – методика «усиления». Она заключается в томографии в условиях внутривенного введения больному трийодированного контрастного вещества. Этот прием повышает поглощение рентгеновского излучения в связи с появлением контрастного раствора в сосудистой системе органа. При этом, с одной стороны, возрастает контрастность изображения, а с другой – выделяются сильно васкуляризированные образования (например, сосудистые опухоли, метастазы некоторых опухолей), а также бессосудистые или малососудистые участки (кисты, опухоли). При достаточной скорости съемки можно добиться отображения на томограммах кровеносных сосудов органа (КТ-ангиография).

Некоторые модели компьютерных томографов снабжены кардиосинхронизаторами. Они включают рентгеновский излучатель в точно заданные моменты сердечного цикла – в систолу или диастолу. Полученные в результате такого исследования поперечные срезы сердца позволяют визуально оценивать состояние сердца в систолу и диастолу, проводить расчет объемов камер сердца и фракции выброса, анализировать показатели общей и регионарной сократительной функции миокарда.

При анализе томограмм учитывают «ширину окна», избранную при проведении КТ для определенного органа, так как получить равноценное изображение на экране монитора всех исследуемых деталей невозможно, если они по плотности занимают всю шкалу Хаунсфилда (электронно-лучевая трубка не может передать, а наш зрительный анализатор не может воспринять такой диапазон плотностей). Приступая к анализу томограмм, врач «вырезает» из всего образа, хранящегося в памяти компьютера, только участки определенной плотности, например от +100 до +130 Н, и исследует их на мониторе. Этот участок и называют окном.

Значение КТ не ограничивается ее использованием в диагностике заболеваний. Под контролем КТ производят пункции и прицельную биопсию различных органов и патологических очагов. КТ играет важную роль в контроле за консервативным и хирургическим лечением больных, является ценным средством точной локализации опухолевых образований и наводки источника излучения на очаг при планировании лучевого лечения злокачественных новообразований.

Спиральная КТ – это разновидность КТ-технологии. При обычной КТ, когда исследуется, к примеру, грудная клетка, брюшная полость, живот или таз, пациент должен задерживать дыхание при получении каждого среза. Затем КТ-трубка переустанавливается и стол перемещается в новое положение для получения следующего среза. Пациента вновь просят задержать дыхание, пока производится новый срез, чтобы избежать проблем неправильной регистрации изображений, так как, если пациент задерживал дыхание неодинаково каждый раз, часть сканируемого органа может быть полностью пропущена и мелкие поражения не выявлены. Спиральная КТ исключает эту проблему, потому что аппарату не требуется переустановка (рис. 6). Нет ограничивающих кабелей на раме, которые приходится разматывать перед выполнением нового среза. Потребность в таких кабелях отпадает, поскольку используются электрические контакты типа «скользящего кольца», и рентгеновская трубка может постоянно вращаться вокруг пациента, обеспечивая получение данных во время задержки дыхания.

Когда рентгеновская трубка вращается вокруг пациента, стол движется сквозь раму; при этом движение рентгеновской трубки в пространстве описывается винтовой линией (спиралью). В результате получается трехмерный набор данных, который затем реконструируется в изображения, представляющие поперечные сечения тела. Все сканирование может быть выполнено, пока пациент задерживает дыхание (или можно получить несколько меньших спиралей, каждая – на задержке дыхания), что, по существу, исключает проблему неправильной регистрации изображения, которое можно легко реконструировать в различных плоскостях, а также использовать для построения более сложного – трехмерного.

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 8-миллиметровым шагом) соответствует 7,2 мЗв (для сравнения: доза при обычной рентгенографии в двух проекциях составляет 0,2 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.

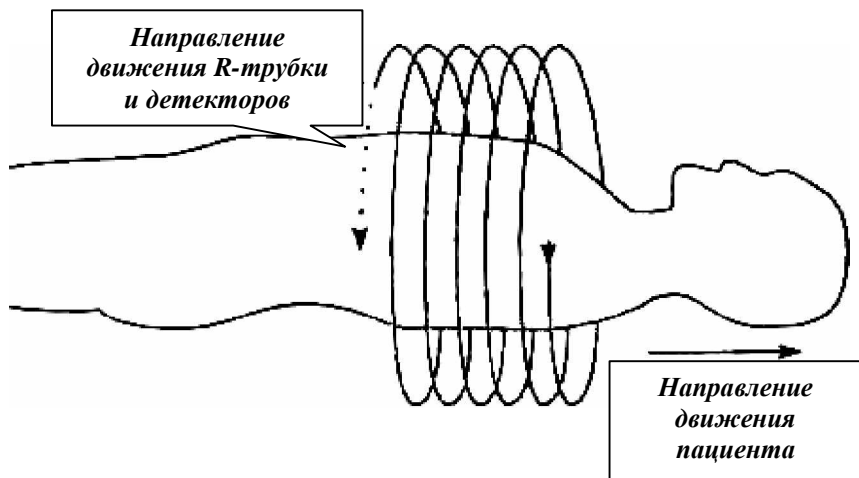


Рис. 6. Рентгеновская спиральная компьютерная томография

Магнитно-резонансная томография

История создания магнитно-резонансной интроскопии

Явление ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) было открыто в 1946 г. исследователями Стэндфордского и Гарвардского университетов независимо друг от друга. За это открытие Ф. Блоч и Е. Персель в 1952 г. были удостоены Нобелевской премии, и уже в 1973 г. Пауль Лаутербур впервые показал возможность с помощью ЯМР получить изображение. Первые же ЯМР-томограммы внутренних органов живого человека были продемонстрированы в 1982 г. на Международном конгрессе радиологов в Париже.

Физические основы ядерно-магнитного резонанса

Первый основополагающий фактор, лежащий в основе ядерно-магнитного резонанса, гласит, что если систему, находящуюся в постоянном магнитном поле, облучить внешним переменным электромагнитным полем, частота которого точно равна частоте перехода между энергетическими уровнями ядер атомов, то ядра начнут переходить в вышележащие по энергии квантовые состояния. Иначе говоря, наблюдается избирательное (резонансное) поглощение энергии электромагнитного поля. При прекращении воздействия переменного электромагнитного поля возникает резонансное выделение энергии. Второй основополагающий фактор, на который опирается магнитно-

резонансное исследование, – это способность ядер некоторых атомов вести себя как магнитные диполи. Этим свойством обладают ядра, содержащие нечетное число нуклонов (в частности, ^1H , ^{13}C , ^{31}P , ^{19}F), отличающиеся ненулевым спином и соответствующим ему магнитным моментом.

Современные МР-томографы «настроены» на ядра водорода (т. е. на протоны, так как ядро водорода состоит из одного протона, а сам он входит в состав наиболее распространенного в организме вещества – воды). Известно, что протон находится в постоянном вращении, и, следовательно, вокруг него имеется магнитное поле, характеризующееся определенным магнитным моментом (или спином). При помещении вращающегося протона в магнитное поле возникает прецессирование протона (нечто вроде вращения волчка вокруг оси, направленной вдоль силовых линий приложенного магнитного поля). Частота прецессирования, называемая также резонансной частотой, зависит от силы статического магнитного поля. Например, в магнитном поле напряженностью 1 тесла (Тл) резонансная частота протона равна 42,57 МГц.

Расположение прецессирующего протона в магнитном поле может быть двояким: по направлению поля и против него. В последнем случае протон обладает большей энергией, чем в первом. Протон может менять свое положение: из ориентации магнитного момента по полю переходить в ориентацию против поля, т. е. с нижнего энергетического уровня на более высокий.

Обычно дополнительное радиочастотное поле прикладывается в виде импульса, причем в двух вариантах: более короткого, который поворачивает протон на 90° , и более продолжительного, поворачивающего протон на 180° . Когда радиочастотный импульс заканчивается, протон возвращается в исходное положение (говорят, что наступает его релаксация), что в свою очередь сопровождается излучением порции энергии. Время релаксации протона строго постоянно. Различают два времени релаксации: T_1 – время релаксации после 180° радиочастотного импульса и T_2 – время релаксации после 90° радиочастотного импульса. Как правило, показатель T_1 больше T_2 .

С помощью специальных приборов можно зарегистрировать сигналы (резонансное излучение) от релаксирующих протонов и на их анализе построить представление об исследуемом объекте.

Магнитно-резонансными характеристиками объекта служат 3 основных параметра: плотность протонов, T_1 и T_2 . Время релаксации T_1 называют спин-решетчатой, или продольной, релаксацией, а T_2 – спин-спиновой, или поперечной, релаксацией. Амплитуда зарегистрированного сигнала характеризует плотность протонов, или, что то же самое, концентрацию элемента в исследуемой среде. Что же касается времени T_1 и T_2 , то оно зависит от многих факторов: молекулярной структуры вещества, температуры, вязкости и др.

МР-томографы не случайно «настроены» именно на протоны, т. е. на ядра водорода. Этого элемента в тканях очень много, а ядра его обладают

наибольшим магнитным моментом среди всех атомных ядер, что обуславливает достаточно высокий уровень МР-сигнала.

В принципе для МР-интроскопии можно использовать не только ядра атомов водорода, но и другие ядра, способные генерировать МР-сигналы, однако их концентрация в тканях значительно ниже, вследствие чего чувствительность метода и качество изображения ухудшаются. Например, при МР-томографии с ядрами атомов фосфора выдержка пока еще достигает одного часа.

Непосредственный анализ электромагнитных сигналов релаксирующих протонов используют для МР-спектроскопии. Специальная же обработка этих сигналов в компьютере позволяет получить изображение слоев исследуемого объекта. Такие исследования назвали МР-томографией. Несмотря на то, что метод основан на явлении ЯМР, его называют магнитно-резонансным (МР), опуская слово «ядерно» для того, чтобы у пользователей не возникало мысли о радиоактивности, связанной с распадом ядер атомов.

Магнитно-резонансная спектроскопия

ЯМР-спектрометрия принадлежит к числу самых точных и чувствительных методов для определения химического состава вещества. В биологии и медицине она широко применяется для лабораторного анализа структуры биологически активных веществ и изучения механизма их действия. В основе МР-спектроскопии также лежит явление ЯМР. Обычно используют резонанс ядер водорода (протонов), реже – углерода, фосфора и других элементов.

Сущность метода состоит в следующем. Исследуемый образец ткани или жидкости помещают в стабильное магнитное поле напряженностью около 10 Тл. На образец воздействуют импульсными радиочастотными колебаниями. Изменяя напряженность магнитного поля, создают резонансные условия для разных элементов в спектре магнитного резонанса. Возникающие в образце МР-сигналы улавливаются катушкой приемника излучения, усиливаются и передаются в ЭВМ для анализа. Итоговая спектрограмма имеет вид кривой. По оси абсцисс отложены доли (обычно миллионные) от приложенного постоянного магнитного поля, а по оси ординат – значения амплитуды сигналов. Интенсивность и форма ответного сигнала зависят от плотности протонов и времени релаксации. Последнее определяется местоположением и взаимоотношениями ядер водорода и других элементов в макромолекулах.

Разным ядрам свойственны различные частоты резонанса. Поэтому МР-спектроскопия позволяет судить о химической и пространственной структуре вещества. С ее помощью можно определить структуру биополимеров, липидный состав мембран и их фазовое состояние, проницаемость мембран. По виду МР-спектра удается дифференцировать зрелые и незрелые опухолевые клетки, оксигенированные и гипоксические ткани, свобод-

ную и связанную воду в протоплазме клеток, получить другие важные для биологии и медицины сведения.

Исключительный интерес представляет новое, перспективное направление – МРТ-спектроскопия, т. е. прижизненная спектроскопия тканей человеческого тела. Для этого используют сложные МР-установки со сверхпроводящими магнитами, обеспечивающими высокую напряженность магнитного поля (свыше 3 Тл). Анализ получаемых на такой установке спектрограмм дает возможность измерять содержание ряда элементов в органах и тканях больного.

Таким путем удастся, например, определить внутриклеточное рН, концентрацию фосфорсодержащих метаболитов (АТФ, АДФ, креатинфосфата, неорганического фосфата), установить содержание глюкозы в мышце сердца или пальмитиновой кислоты в головном мозге и т. д. (что особенно ценно для диагностики ишемии мозга и инфаркта миокарда).

Магнитно-резонансная томография (МРТ) – один из вариантов магнитно-резонансной интроскопии. МРТ позволяет получать изображение любых слоев тела человека. Как уже было сказано, большинство современных МР-томографов «настроено» на регистрацию радиосигналов ядер водорода, широко представленных как в самих тканях, так и в межклеточной жидкости и жире. Следовательно, МР-томограмма представляет собой не что иное, как картину пространственного распределения молекул, содержащих атомы водорода.

МР-томограф (рис. 7) состоит из магнита, создающего статическое магнитное поле, стола для перемещения пациента, градиентных катушек, системы оцифровывания, обработки, хранения и визуализации информации (ЭВМ).

Магнит представляет собой туннель, в котором располагается пациент. Стол для пациента имеет автоматическую систему управления движением в продольном и вертикальном направлениях. Для радиоволнового возбуждения ядер водорода и наведения эффекта спина внутри основного магнита устанавливают дополнительно высокочастотную катушку, которая одновременно является и приемником сигнала релаксации. С помощью специальных (градиентных) катушек накладывают дополнительное магнитное поле, которое служит для кодирования МР-сигналов от пациента.

При воздействии радиочастотных импульсов на прецессирующие в магнитном поле протоны происходит их резонансное возбуждение и поглощение энергии. При этом резонансная частота пропорциональна силе приложенного статического поля. После окончания импульса совершается релаксация протонов – они возвращаются в исходное положение, что сопровождается выделением энергии в виде МР-сигнала. Этот сигнал подается на ЭВМ (мощные высокопроизводительные компьютеры) для анализа, расшифровки и создания образа.

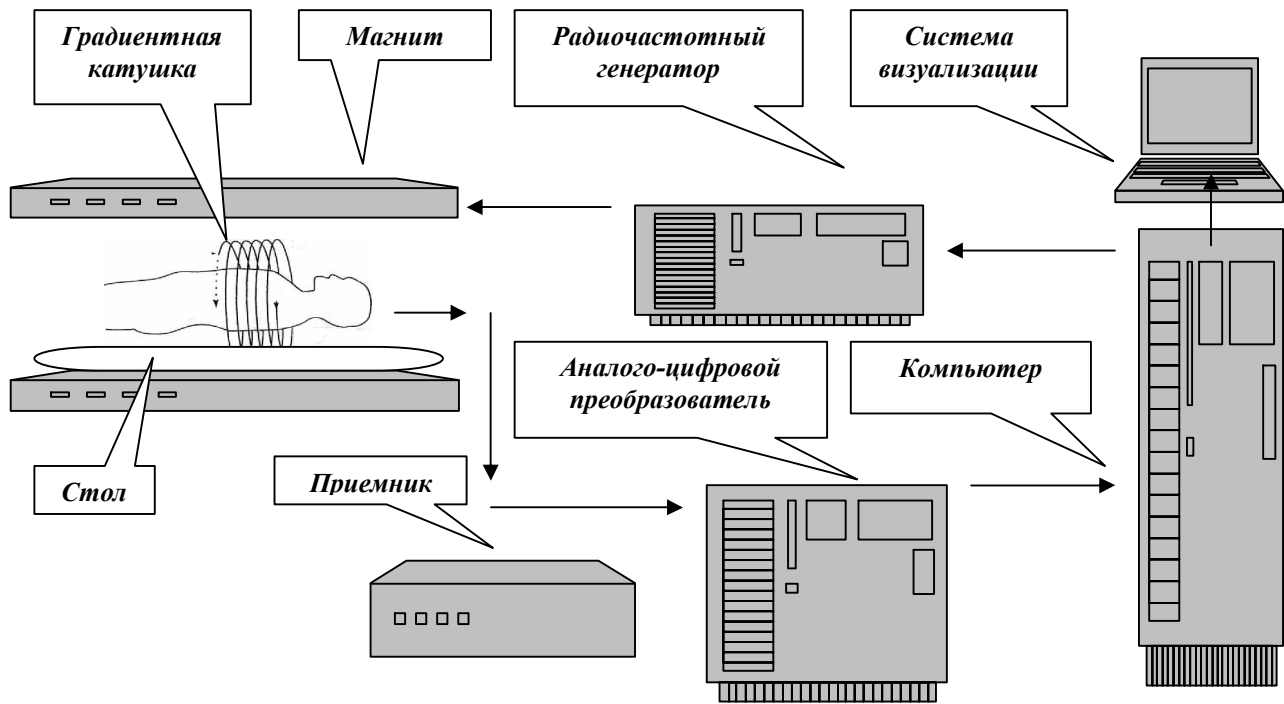


Рис. 7. Принципиальная схема магнитно-резонансного томографа

В современных системах МР-томографов для создания постоянного магнитного поля применяют либо резистивные, либо сверхпроводящие магниты. Резистивные магниты дают сравнительно невысокую напряженность магнитного поля – около 0,2–0,3 Тл. Установки с такими магнитами имеют небольшие размеры, могут быть размещены в таком же помещении, как рентгенологический кабинет, удобны в эксплуатации, однако они дают менее качественное изображение и тем более непригодны для МР-спектроскопии.

В настоящее время для нужд здравоохранения выпускаются магниты различной силы. В клинике обычно используют магнитные поля напряженностью 0,3; 0,5; 1,0 и 1,5 Тл. Магниты 1,0 Тл и более считаются магнитами высокой напряженности поля (высокопольными), что позволяет им создавать более сильный сигнал и более качественное изображение, чем установки с низкой и средней напряженностью поля. Для измерения напряженности магнитного поля используют физическую величину Тесла (Тл) (Тесла – это единица напряженности магнитного поля в системе «СИ»). Для сравнения: напряженность магнитного поля Земли составляет около 1 Гаусс (Гс – единица измерения в системе «СГС»; 1 Тл равен 10 000 Гс). Таким образом, большинство используемых магнитов генерирует поля напряженностью, более чем в 10 000 раз превышающей напряженность земного магнитного поля.

Сверхпроводящие магниты обеспечивают напряженность магнитного поля до 3 Тл и более. Для их работы требуется глубокое охлаждение до -269° , что достигается помещением магнита в камеру с жидким гелием. Эта камера в свою очередь располагается в другой камере с жидким азотом, температура которого -196° , а последняя – в наружной вакуумной камере. Естественно, что к размещению такого МР-томографа в лечебном учреждении предъявляются очень строгие требования, где в первую очередь необходимо наличие отдельного помещения, тщательно экранированного от внешних магнитных и радиочастотных полей.

Для того чтобы получить изображение определенного слоя тканей, градиенты поля «вращают» вокруг больного (подобно тому, как вращается рентгеновский излучатель при компьютерной томографии), т. е. фактически осуществляется сканирование тела человека. Полученные сигналы преобразуются в цифровые и поступают в память ЭВМ.

Известно, что характер МР-изображения определяется тремя факторами: плотностью протонов (т. е. концентрацией ядер водорода), временем релаксации T_1 (спин-решетчатой) и временем релаксации T_2 (спин-спиновой). При этом основной вклад в создание изображения вносит анализ времени релаксации, а не протонной плотности.

Существует ряд способов получения МР-томограмм. Их различие заключается в порядке и характере генерации радиочастотных импульсов и методах анализа МР-сигналов. Наибольшее распространение имеют два способа: спин-решетчатый и спин-эховый. При спин-решетчатом анализируют главным образом время релаксации T_1 . Различные ткани (серое и белое

вещество головного мозга, спинно-мозговая жидкость, опухолевая ткань, хрящ, мышцы и т. д.) имеют в своем составе протоны с разным временем релаксации T_1 . С продолжительностью T_1 связана величина МР-сигнала: чем короче T_1 , тем сильнее МР-сигнал и тем светлее выглядит данное место изображения на телемониторе. Так, жировая ткань на МР-томограммах – белая, вслед за ней идут головной и спинной мозг, плотные внутренние органы, сосудистые стенки и мышцы. Воздух, кости и кальцификаты практически не дают МР-сигнала и поэтому отображаются черным цветом. В свою очередь мозговая ткань также имеет неоднородное время T_1 – у белого вещества оно иное, чем у серого (хотя серое и белое вещество головного мозга отличается по концентрации воды всего на 10 % – продолжительность релаксации в них протонов различается в 1,5 раза), а T_1 опухолевой ткани отличается от T_1 одноименной нормальной ткани.

Указанные взаимоотношения времени релаксации T_1 создают предпосылки для визуализации нормальных и измененных тканей на МР-томограммах. При другом способе МР-томографии, названном спин-эховым, на пациента направляют серию радиочастотных сигналов, поворачивающих прецессирующие протоны на 90° . Вслед за прекращением импульсов регистрируют ответные МР-сигналы. Однако интенсивность ответного сигнала по-прежнему связана с продолжительностью T_2 : чем короче T_2 , тем слабее сигнал и, следовательно, ниже яркость свечения экрана телемонитора, вследствие чего итоговая картина МРТ по способу T_2 противоположна МРТ по способу T_1 (как негатив позитиву).

Таким образом, T_1 и T_2 – это величины, характеризующие физические свойства тканей после их экспозиции серией импульсов с predeterminedенными временными интервалами, т. е. различные ткани имеют различные T_1 - и T_2 -свойства в зависимости от ответа их водородных ядер на радиочастотные импульсы, посылаемые катушкой. Эти дифференциальные свойства используются путем установки параметров аппаратуры: TR (время повторения, или время между радиочастотными импульсами) и TE (время получения эха, или интервал между приложением импульса и приемом ответного сигнала) для получения изображений, основанных на T_1 - или T_2 -свойствах тканей (T_1 - или T_2 -взвешенные изображения). Оба параметра выражаются в миллисекундах (мс). Возможна установка параметров работы, позволяющая получать изображение с учетом комбинации свойств T_1 и T_2 , называемое сбалансированным, или взвешенным, по плотности протонов изображением. Как правило, T_1 -взвешенные изображения имеют низкое TE (около 20 мс) и низкое TR (около 600 мс), тогда как для T_2 -взвешенных изображений оба эти параметра имеют высокие значения (TE – около 80 мс и TR – около 3000 мс). Взвешенные по плотности протонов изображения имеют низкое TE и высокое TR. Если же жидкость на томограмме яркая, но остальное изображение не выглядит T_2 -взвешенным, а TE и TR низкие, то, вероятнее всего, изображение относится к классу градиентного эхо (GE).

Известно, что большинство патологических процессов связано с увеличением содержания воды. Поэтому на T_2 -взвешенных изображениях измененные участки кажутся яркими (жир также остается ярким на этих изображениях и может маскировать патологический сигнал). Для элиминации яркого сигнала, создаваемого жиром, используются специальные МР-методики. Обычно применяется селективное насыщение протонов жира (так называемое химическое насыщение), так как протоны, ассоциированные с жиром, при воздействии магнитного поля ведут себя несколько иначе, чем протоны воды. Повторяющиеся радиочастотные импульсы, нацеленные на протоны жира, приводят к ослаблению сигнала от жировой ткани. Супрессия жира делает патологически яркий T_2 -сигнал более заметным и облегчает его обнаружение. Эти методики эффективны и после введения внутривенного контраста (при МРТ, как при рентгенологическом исследовании, можно применять искусственное контрастирование тканей). С этой целью используют химические вещества, содержащие ядра с нечетным числом протонов и нейтронов (например, соединения фтора или же парамагнетики, которые изменяют время релаксации воды и тем самым усиливают контрастность изображения на МР-томограммах). Постконтрастные изображения, как правило, T_1 -взвешенные, и иногда бывает трудно обнаружить усиление сигнала от ткани, особенно если аномальная зона соседствует с эпидуральной или подковой жировой клетчаткой.

Используемое для описания МРТ сканов понятие интенсивности сигнала относится к яркости сигнала, генерируемого конкретной тканью. Яркие (более белые) ткани являются гиперинтенсивными, более темные – гипоинтенсивными. Ткани, располагающиеся в середине этой шкалы, являются изоинтенсивными. Эти термины обычно применяются в отношении сигнала от патологического образования по сравнению с окружающими тканями (например, опухоль чаще гиперинтенсивна по отношению к соседней ткани). Следует заметить, что для описания характеристики МР-картины используют термин «интенсивность», а не «плотность», который применяется в КТ или обычной рентгенографии. Так, к примеру, интенсивность сигнала жира и воды на T_1 - и T_2 -взвешенных изображениях различается: жир – яркий (гиперинтенсивный) на T_1 -взвешенных и менее яркий на T_2 -взвешенных изображениях; вода – темная на T_1 -взвешенных и яркая на T_2 -взвешенных изображениях. Эти положения важно помнить, потому что патологические процессы в большинстве связаны с повышенным содержанием воды и поэтому гиперинтенсивны на T_2 -взвешенных изображениях и гипоинтенсивны на T_1 . Кроме жира на T_1 изображениях яркими являются также кровь (метгемоглобин при подострых кровоизлияниях), белковоподобные вещества, меланин и гадолиний (контрастный агент для МРТ). Кальций, газ, хронические геморрагии (гемосидерин), зрелая фиброзная ткань на T_2 -взвешенных изображениях выглядят темными.

Важно знать, что интенсивность сигнала крови меняется во времени с изменением свойств гемоглобина (т. е. по мере превращения оксигемогло-

бина в дезоксигемоглобин и метгемоглобин). Это положение полезно для определения давности геморрагического процесса. Острые геморрагии (окси- или дезоксигемоглобин) гипоинтенсивны или изоинтенсивны на T₁-взвешенных изображениях, тогда как подострые геморрагии – гиперинтенсивны. В свою очередь отложения гемосидерина в хронических гематомах гипоинтенсивны при всех режимах (типах последовательностей импульсов).

Сосуды с текущей кровью выглядят как отсутствие сигнала, что дает темную циркулярную или трубчатую картину соответственно на поперечных или продольных изображениях. Исключения из данного правила составляют сосуды с медленным током крови и специальные типы последовательностей импульсов (градиент-эхо), при которых кровеносные сосуды выглядят яркими.

Магнитно-резонансная ангиография

Принципы МРТ позволяют использовать уникальные свойства текущей крови. В частности, можно создавать изображения, отображающие только структуры с текущей кровью – все остальные структуры на них подавлены. Эти принципы могут быть модифицированы так, что будут отображаться только сосуды с определенным направлением кровотока (например, артерии, а не вены). Таким образом, МРТ бывает весьма полезна для обследования пациентов с предполагаемой цереброваскулярной патологией и при подозрении на тромбоз глубоких вен.

Преимущества МРТ по сравнению с КТ

1) отсутствие ионизирующего излучения; 2) возможность многоплоскостной визуализации (осевой, венечной, сагиттальной, косой); 3) лучшая детализация анатомических структур; 4) более высокая чувствительность при выявлении тонких патологических изменений ткани (инфильтрация костного мозга, отек головного мозга); 5) способность характеризовать определенные типы тканей (вещств) на основе интенсивности сигнала (жир, кровь, вода); 6) лучшее контрастирование тканей по сравнению с КТ; 7) возможность реконструировать объемные изображения органов и синхронизировать получение томограмм с зубцами электрокардиограммы; 8) возможность безинвазивного контрастирования сосудов.

Преимущества КТ по сравнению с МРТ

1) превосходит МРТ в оценке изменений, связанных с обызвествлением или окостенением скелетно-мышечной системы, что обусловлено отсутствием сигнала от кальция на МРТ и оптимальной визуализацией кальция, кортикального и губчатого слоя кости на КТ (в частности, лучше обнаруживает классические костные проявления болезни Педжета или оссифици-

рующего миозита, опухолей костей, хотя МРТ имеет преимущество в оценке болезней костного мозга); 2) рассматривается как метод выбора для начальной оценки органов грудной клетки, брюшной полости и таза, обеспечивая изображения анатомических структур с высоким разрешением (тогда как МРТ более полезна для прояснения аномальных находок, выявленных при КТ, которая пока дешевле МРТ, что увеличивает ее привлекательность для населения); 3) снимает проблему клаустрофобии (так как при МРТ исследовании частота клаустрофобии значительно больше из-за малого диаметра отверстия магнита).

Противопоказания к МРТ

Противопоказаниями являются: наличие в теле пациента магниточувствительных устройств или материалов, смещение или потеря функции которых может иметь опасные последствия для здоровья (электрокардиостимуляторы, кохлеарные имплантаты, некоторые протезы сердечных клапанов, стимулятор роста кости или нейростимулятор (ТЕМ5), клипсы или кольца для аневризмы мозга, периорбитальные металлические фрагменты, некоторые протезы пениса). В то же время некоторые производители выпускают ферромагнитные хирургические скрепки и другие устройства, которые безопасны при МРТ.

Чрезвычайно важно проверить каждого пациента до проведения МРТ на предмет выявления этих противопоказаний и поставить в известность рентгенолога, если имеются хоть какие-либо сомнения относительно безопасности исследования.

Открытая МРТ, ее преимущества и недостатки

Открытые МРТ-установки имеют два преимущества: 1) их можно использовать для обследования пациентов, страдающих клаустрофобией; 2) они обеспечивают визуальный контроль во время оперативных вмешательств (это новое применение). В открытых установках пациента помещают в магнит с отверстием большего диаметра или С-образной формы, а не в узкий туннель, как в обычных установках. К сожалению, эти магниты слабее (0,1–0,3 Тл), чем в закрытых установках, и их базовая конструкция ведет к некоторым ограничениям в анатомическом и пространственном разрешении. Поэтому установки с высоким напряжением поля обеспечивают получение более качественных с точки зрения эстетики и диагностики изображений, чем открытые системы, и им следует отдавать предпочтение при любой возможности. В свою очередь, применение перед обследованием ангиолитического препарата позволяет пациенту с клаустрофобией достаточно легко перенести исследование в установке с туннельной формой магнита.

ЛЕКЦИЯ 4

Основные методы дигитальной интроскопии

Ультразвуковой метод исследования (УЗИ)

Физические основы ультразвукового метода исследования

Ультразвуковые волны – это упругие колебания среды с частотой, лежащей выше диапазона слышимых человеком звуков, т. е. выше 20 кГц. Они обладают высокой проникающей способностью, проходят через ткани организма, не пропускающие видимого света, и относятся к числу неионизирующих излучений. В применении в диагностике диапазоне они не вызывают существенных биологических эффектов (т. е. противопоказаний к УЗИ не имеется). По своей интенсивности их энергия не превышает (при использовании коротких импульсов) $0,01 \text{ Вт/см}^2$. Некоторые УЗИ-установки функционируют с использованием эффекта Доплера. Сама процедура УЗИ непродолжительна, безболезненна и может многократно повторяться. Ультразвуковая установка занимает мало места, не требует специальной защиты. Она может быть использована для обследования как стационарных, так и амбулаторных больных.

Таким образом, ультразвуковой метод – это способ дистанционного определения положения, формы, величины, структуры и движений органов и тканей, а также патологических очагов с помощью ультразвукового излучения. УЗИ обеспечивает регистрацию даже незначительных изменений плотности биологических сред. В настоящее время оно стало основным способом визуализации в диагностической медицине и в большинстве случаев применяется на ранних этапах диагностического процесса.

Источник и приемник ультразвукового излучения – УЗИ-установка. Она представляет собой сложное и вместе с тем портативное устройство (рис. 8).

УЗИ-установка производится, как правило, в виде стационарного или передвижного аппарата. Источник и приемник ультразвуковых волн в такой установке – пьезокерамическая пластинка (кристалл), размещенная в антенне (звуковом зонде).

Переменный электрический ток меняет размеры пластинки, возбуждая тем самым ультразвуковые колебания. Применяемые для диагностики колебания обладают малой длиной волны, что позволяет формировать из них узкий пучок, направляемый в исследуемую часть тела. Отраженные волны воспринимаются той же пластинкой и преобразуются в электрические сигналы. Таким образом, эта пластинка является одновременно и ультразвуковым излучателем, и преобразователем.

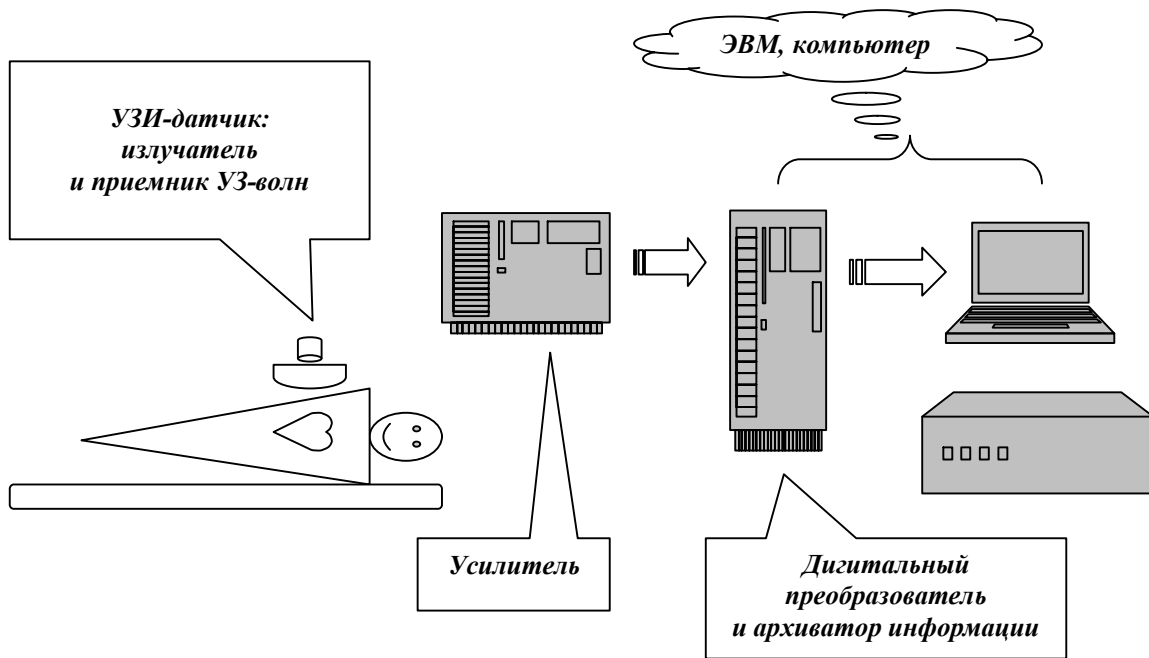


Рис. 8. Принципиальная схема аппарата для УЗИ диагностики

Затем УЗ-волны поступают на высокочастотный усилитель и далее обрабатываются и выдаются пользователю в виде одномерного (в форме кривой) или двухмерного (в форме картинки) изображения. Первое называют эхограммой, а второе – ультразвуограммой (сонограммой), или ультразвуковой сканограммой.

Частоту ультразвуковых волн подбирают в зависимости от цели исследования. Для глубоких структур применяют более низкие частоты и наоборот. Например, для изучения сердца используют волны с частотой 2,25–5 МГц, в гинекологии – 3,5–5 МГц, для эхографии глаза – 10–15 МГц. На современных установках эхо- и сонограммы подвергают компьютерному анализу по стандартным программам. Распечатка информации производится в буквенной и цифровой форме, возможна также запись на видеоленте, в том числе в цвете. Все ультразвуковые установки (кроме основанных на эффекте Доплера) работают в режиме импульсной эхолокации, т. е. излучается короткий импульс и воспринимается отраженный сигнал.

По принципу действия все ультразвуковые приборы делят на две группы: эхоимпульсные и доплеровские. Приборы первой группы служат для определения анатомических структур, их визуализации и измерения. Приборы второй группы позволяют получать кинематическую характеристику быстро протекающих процессов – кровотока в сосудах, сокращений сердца. Однако такое деление условно, поскольку существуют установки, которые дают возможность одновременно изучать как анатомические, так и функциональные параметры.

Аппараты для УЗИ комплектуются набором датчиков с различной частотой излучения. Предпочтительной частотой для исследования тучных пациентов является частота 2,5 МГц, поверхностно расположенные органы лучше визуализируются частотой 7 МГц. Для исследования глазного яблока и его внутренних структур – до 10 МГц.

Для УЗИ используются различные типы датчиков. *Секторные* при небольшой площадке контакта с кожной поверхностью они обеспечивают широкое поле на больших глубинах (при исследовании внутренних органов через межреберные промежутки, мозга – через роднички новорожденного и др.); *линейные* создают большое поле зрения с хорошим разрешением и используются для исследования поверхностно и глубоко расположенных органов; *конвексные* с выпуклой поверхностью обеспечивают широкое поле обзора на всех глубинах и используются чаще в гинекологии и акушерстве. В клинической практике применяются различные способы УЗИ: *одномерное (эхография)*, *двухмерное (сканирование)* и *доплерография*.

В зависимости от задач исследования употребляют различные виды датчиков. Часть из них предназначена для сканирования с поверхности тела. Другие датчики соединены с эндоскопным зондом, и их используют при внутрисполостном исследовании, в том числе в комбинации с эндоскопией

(эндосонография). Такие датчики, а также зонды, созданные для ультразвуковой локации на операционном столе, допускают стерилизацию.

При проведении *одномерной эхографии* датчик фиксирован, отраженные волны воспроизводятся в одномерном виде (кривой) – А-метод (от англ. *amplitude* – амплитуда). В неврологической и нейрохирургической клиниках этот метод получил название эхоэнцефалографии, с помощью которой определяют размеры желудочков мозга и диенцефальные образования. В глазной клинике используется метод под названием эхоофтальмография. Второй метод – М-метод (от англ. *motion* – движение) – датчик также в фиксированном положении, но используется для исследования движущихся объектов (сердце, сосуды) – эхокардиография и т. д.

При *двухмерном сканировании* – В-метод (от англ. *bright* – яркость) – датчик при исследовании перемещается по поверхности кожи пациента, чем обеспечивается серия сигналов от многих точек органа (объекта) и формирование двухмерного изображения в пределах 64 градиентов серой шкалы. Сильный сигнал проявляется на экране дисплея в виде яркого светлого пятна (эхо-положительные участки), а слабые сигналы – в виде серых оттенков, вплоть до черного цвета (эхо-негативные участки). Получаемое при этом изображение может также воспроизводиться на бумаге с помощью термопечати или лазерного принтера или храниться в оцифрованной форме на жестком диске компьютера, дискете и т. д.

Доплерография – метод УЗИ, основанный на эффекте Доплера, который гласит, что частота излучаемого сигнала отличается от частоты эхо-сигнала (т. е. сигнала, отраженного от движущегося предмета). УЗ-преобразователь (датчик) при проведении исследования по доплеровской методике остается неподвижен и формирует узкий пучок волн, направленный на исследуемый орган. И если объект (орган, кровь в сосуде) в процессе исследования перемещается, то частота УЗ волн, возвращающихся в преобразователь, отличается от первичных волн. По сдвигу частот колебаний судят о скорости движения анатомических структур. Эти результаты могут быть выражены в виде количественных показателей скорости кровотока, в виде кривых и аудиально (звуковыми сигналами).

Двухмерная доплерография в масштабе реального времени (дуплексная сонография) позволяет изучить форму, контуры и просвет кровеносных сосудов, обнаружить сужения и тромбы, отдельные атеросклеротические бляшки, нарушение кровотока, состояние коллатерального кровообращения, сокращения сердца, направление кровотока в камерах сердца и др.

В настоящее время 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 рас-

положенных органов и тканей (молочные железы, лимфатические узлы различной локализации). УЗИ успешно применяется в акушерстве и гинекологии. При исследовании брюшной полости метод УЗИ позволяет достаточно быстро и надежно выявлять спаечные процессы и наличие жидкости в отлогостях (латеральные каналы брюшной полости). Благодаря относительной безвредности метод УЗИ широко используется в педиатрии (многочисленные исследования, наблюдение за динамикой процесса, оценка эффективности лечения и т. д.).

Радионуклидный метод диагностики

Радионуклидный метод диагностики – это способ исследования морфологического и функционального состояния органов и систем с помощью радионуклидов и меченных ими соединений, предназначенный для распознавания патологических процессов.

Данный вид исследования основан на возможности регистрации и измерения излучений от введенных в организм радиофармацевтических препаратов (РФП) или радиометрии биологических проб. Применяемые при этом радионуклиды отличаются от своих аналогов – стабильных элементов, содержащихся в организме или поступающих в него с пищевыми продуктами, – лишь физическими свойствами, т. е. способностью распадаться и давать излучение. Эти исследования с использованием небольших индикаторных количеств радиоактивных нуклидов позволяют проследить кругооборот элементов в организме, не влияя на течение физиологических процессов.

РФП препаратом называется химическое соединение, содержащее в своей молекуле определенный радиоактивный нуклид, разрешенный для введения человеку с диагностической целью. Каждый РФП проходит клинические испытания, после чего утверждается фармакологическим комитетом Министерства здравоохранения. При выборе радиоактивного нуклида обычно учитываются определенные требования: низкая радиотоксичность, относительно короткий период полураспада, удобное условие для регистрации гамма-излучения и необходимые биологические свойства. В настоящее время наиболее широкое применение в клинической практике нашли следующие нуклиды: Se-75, In-111, In-113m, I-131, I-125, Xe-133, Ai-198, Hg-197, Tc-99m. Наиболее пригодные для клинического исследования короткоживущие радионуклиды – Tc-99m и In-113m, которые получают в специальных генераторах непосредственно перед использованием.

Преимуществом радионуклидной диагностики по сравнению с другими методиками является ее уникальная возможность исследования биохимических процессов и анатомио-функциональных изменений в организме.

Особенно эффективно применение радиоиммунологических обследований, выполнение которых не сопровождается введением РФП пациенту и, следовательно, исключает лучевую нагрузку. С учетом того факта, что ис-

следования проводятся чаще с плазмой крови, эти методики получили название радиоиммунологического анализа (РИА) *in vitro*. В отличие от этой методики другие способы радионуклидной диагностики сопровождаются введением пациенту РФП преимущественно внутривенным способом. Такие исследования естественно сопровождаются лучевой нагрузкой на пациента.

Все методики радионуклидной диагностики можно разделить на следующие группы: 1) полностью обеспечивающие установление диагноза заболевания; 2) определяющие нарушения функции исследуемого органа или системы, на основании которых разрабатывается план дальнейшего обследования; 3) выявляющие особенности анатомо-топографического положения внутренних органов; 4) позволяющие получить дополнительно диагностическую информацию в комплексе клинико-инструментального обследования.

В зависимости от способа и типа регистрации излучений все радиометрические приборы также разделяются на группы: 1) для регистрации радиоактивности отдельных проб различных биологических сред и образцов (лабораторные радиометры); 2) для измерения величины абсолютной радиоактивности образцов или растворов радионуклидов (дозкалибраторы); 3) для измерения радиоактивности тела исследуемого или отдельного органа больного (медицинские радиометры); 4) для регистрации динамики перемещения РФП в органах и системах с представлением информации в виде кривых (радиографы); 5) для регистрации распределения РФП в теле больного или в исследуемом органе с получением данных в виде изображений (сканеры) или в виде кривых распределения (профильные сканеры); 6) для регистрации динамики перемещения, а также для изучения распределения в теле больного и исследуемого органа РФП (сцинтилляционная гамма-камера).

Методы радионуклидной диагностики подразделяются на методики *динамического* и *статического* радионуклидного исследования. *Статическое* радионуклидное исследование позволяет определить анатомо-топографическое состояние внутренних органов, установить положение, форму, размеры и наличие нефункционирующих участков или, наоборот, патологических очагов повышенной функции в отдельных органах и тканях и используется в тех случаях, когда необходимо уточнить топографию внутренних органов, например при диагностике пороков развития; выявить опухолевые процессы (злокачественные или доброкачественные); определить объем и степень поражения органа или системы. Для выполнения статических радионуклидных исследований используют РФП, которые после введения в организм пациенту характеризуются либо стабильным распределением в органах и тканях, либо очень медленным перераспределением. Исследования выполняют на сканерах (*сканирование*) или на гамма-камерах (*сцинтиграфия*). Сканирование и сцинтиграфия имеют примерно равные технические возможности в оценке анатомо-топографического состояния внутренних органов, однако сцинтиграфия обладает некоторыми преимуществами.

Динамическое радионуклидное исследование позволяет оценить изменение перераспределения РФП и является достаточно точным способом для оценки состояния функции внутренних органов. К показаниям для их использования относятся 1) наличие клинико-лабораторных данных о возможном заболевании или поражении сердечно-сосудистой системы, печени, желчного пузыря, почек, легких; 2) необходимость определения степени нарушений функции исследуемого органа до начала лечения и в процессе лечения; 3) необходимость изучения сохранившейся функции исследуемого органа при обосновании операции.

Наиболее широко для динамических радионуклидных исследований используются радиометрия и радиография – способы непрерывной регистрации изменения активности. При этом методики в зависимости от цели исследования получили различные названия: *радиокардиография* – регистрация скорости прохождения через камеры сердца для определения минутного объема левого желудочка и других параметров сердечной деятельности; *радиоренография* – регистрация скорости прохождения РФП через правую и левую почки для диагностики нарушения секреторно-экскреторной функции почек; *радиогапатография* – регистрация скорости прохождения РФП через паренхиму печени для оценки функции полигональных клеток.

Радионуклидная диагностика in vitro основывается на использовании меченых соединений, которые не вводятся в организм исследуемого, а смешиваются в пробирке с анализируемой средой пациента. Типичным методом такого вида исследования является радиоиммунологический анализ (РИА). В настоящее время методики РИА применяются в *эндокринологии* – для диагностики сахарного диабета, патологии гипофизарно-надпочечниковой, тиреоидной систем, а также для выявления других эндокринно-обменных нарушений; в *онкологии* – для ранней диагностики злокачественных опухолей и контроля за эффективностью лечения путем определения концентрации альфа-фетопротеина (раковоэмбрионального антигена), а также более специфических туморальных маркеров; в *кардиологии* – для диагностики инфаркта миокарда путем определения концентрации миоглобина, контроля лечения препаратами догиксин, дигитокосин; в *педиатрии* – для определения причин нарушений развития у детей и подростков, вызванных изменениями самотропного и тиреотропного гормонов гипофиза; в *акушерстве и гинекологии* – для контроля за развитием плода путем определения концентрации эстриола, прогестерона (для выявления причин бесплодия женщин путем определения лютеинизирующего и фолликулостимулирующего гормонов).

Особое место среди радионуклидных методов исследования занимают радионуклидная эмиссионная томография и двухфотонная эмиссионная радионуклидная томография (позитронно-эмиссионная томография – ПЭТ), принадлежащие к компьютерной (дигитальной) радионуклидной визуализации (рис. 9).

При эмиссионной томографии, как и при обычной сцинтиграфии, производят регистрацию гамма-излучения введенных в организм РФП, но сбор информации осуществляют с помощью многих детекторов, расположенных вокруг больного, или одного либо двух вращающихся вокруг него детекторов (в ротационной томокамере детекторы укреплены на вращающейся вокруг пациента раме).

Как и при рентгеновской компьютерной томографии, исследуемый объект рассматривают как совокупность тонких параллельных слоев. По характеру излучения используемого радионуклида все эмиссионные томографы разделяют на однофотонные и двухфотонные (позитронные). Выбор РФП осуществляют при однофотонной томографии таким же образом, как и при обычной сцинтиграфии. Компьютерная обработка данных позволяет получать изображение распределения радионуклида в различных слоях тела и количественно проанализировать изменения этого распределения во времени. При наличии достаточного числа поперечных «срезов» можно с помощью алгоритмов реорганизации данных отобразить распределение радионуклида в виде набора продольных и косых томограмм. Эмиссионная томография предоставляет более точную информацию о распределении РФП, чем обычная сцинтиграфия, и позволяет точнее изучать нарушения физиологических, биохимических и транспортных процессов, что важно для ранней диагностики патологических состояний.

При позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) в организм пациента вводят позитрон-излучающий радионуклиды, к которым относятся короткоживущие изотопы: ^{11}C (период полураспада $T_{1/2} = 20,4$ мин), ^{31}N ($T_{1/2} = 10$ мин), ^{15}O ($T_{1/2} = 2,03$ мин), ^{18}F ($T_{1/2} = 110$ мин). Испускаемые этими нуклидами позитроны аннигилируют вблизи атомов с электронами. При аннигиляции пара позитрон–электрон исчезает, образуя два гамма-кванта, разлетающихся в строго противоположном направлении. Каждый из квантов имеет энергию 511 кэВ. Эти два кванта регистрируются двумя противоположно расположенными детекторами. Одновременное появление в обоих детекторах сигналов приводит к срабатыванию схемы совпадений. Компьютерная обработка сигналов с большого числа детекторов, расположенных вокруг больного кольцом диаметром 45–65 см, или же с детекторов, совершающих движение вокруг больного, приводит к восстановлению изображения объекта. Пространственное разрешение ПЭТ хуже, чем на компьютерных рентгеновских и магнитно-резонансных томографах, но чувствительность этого метода значительно их превосходит (можно изучать даже расход глюкозы в центрах черепных нервов). Кроме того, в этом случае возможно воссоздание объемного и цветного изображения объекта на дисплее. Все это позволяет использовать ПЭТ при исследовании тончайших метаболических процессов в мозге, вплоть до мыслительных.

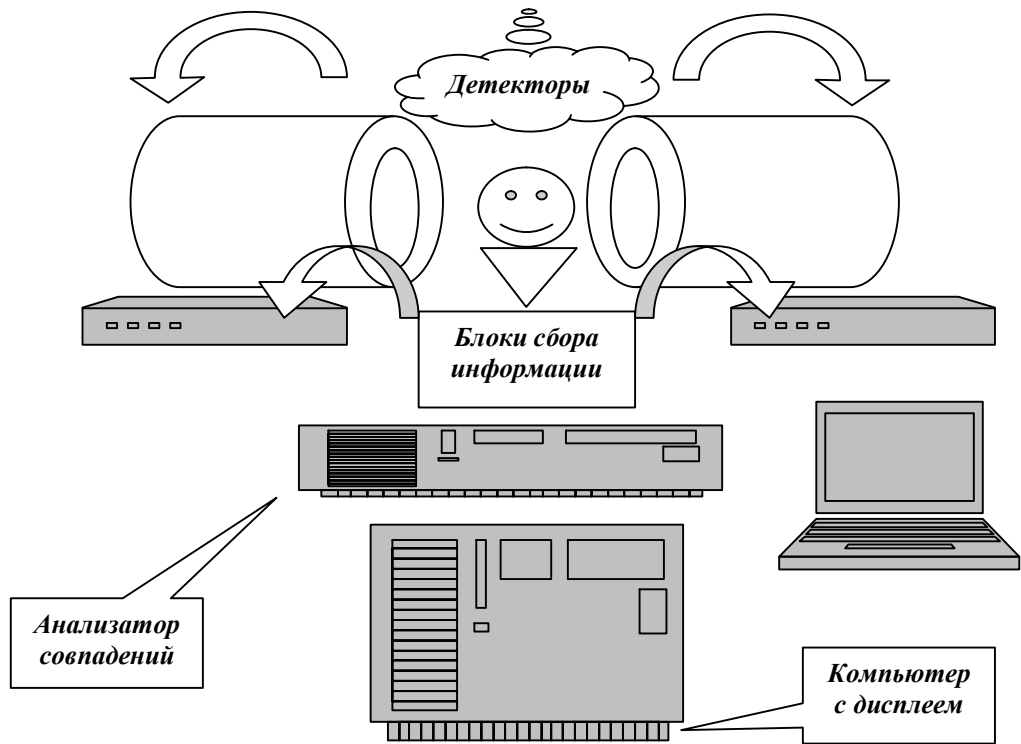


Рис. 9. Схема позитронно-эмиссионного томографа

В свою очередь для проведения ПЭТ необходимо наличие соответствующей аппаратуры и РФП, что сопряжено с определенными трудностями: позитронно-активные радионуклиды очень быстро распадаются, а для их создания необходим циклотрон. Из этого следует, что выполнение ПЭТ возможно только в специализированном радиологическом центре, где должны присутствовать циклотрон, радиохимическая и радиофармацевтическая лаборатории, позитронный томограф и мощный компьютер для обработки информации. Несмотря на все трудности технического порядка, ПЭТ представляется весьма перспективным методом для крупных научно-исследовательских и лечебных центров. С помощью ПЭТ изучают метаболизм глюкозы, жиров и белков в организме, кинетику переноса веществ через клеточные мембраны, динамику концентрации водородных ионов в клетках, усвояемость лекарственных препаратов. Большие надежды возлагают на ПЭТ в ранней диагностике заболеваний головного мозга, в том числе психических.

ЛЕКЦИЯ 5

Лучевая анатомия

Лучевая анатомия – это изображение реальных анатомических структур на соответствующем информационном носителе, полученное с помощью того или иного метода визуализации. Согласно методу визуализации это может быть рентгеноанатомия, КТ-анатомия, МРТ-анатомия, УЗИ-анатомия и т. д. В соответствии с изучаемой анатомической системой лучевая анатомия может быть представлена в виде лучевой анатомии легких, сердца, опорно-двигательного аппарата и т. д. Одним словом, специфика и особенности каждого метода лучевого исследования накладывают свой отпечаток на видение и интерпретацию отображенного анатомического субстрата и несут огромную информационную нагрузку, отраженную в соответствующих клинических руководствах и монографиях.

Цель представленного лекционного курса – продемонстрировать рентгеноанатомию, а также семиотику легких и опорно-двигательного аппарата как анатомических систем, где традиционное рентгеновское исследование (рентгенография) является наиболее значимым.

Рентгеноанатомия легких и рентгеносемиотика основных симптомов легочной патологии

На обзорной рентгенограмме в прямой проекции вырисовываются верхние 5-6 пар ребер. У каждого из них можно выделить тело, передний и задний концы. Нижние ребра частично или полностью скрыты за тенью средостения и поддиафрагмальных органов. Изображение передних концов ребер обрывается на расстоянии 2–5 см от грудины, так как реберные хрящи не дают различимой тени на снимках. У людей старше 17–20 лет в области этих хрящей появляются отложения извести в виде узких полосок по краю ребра и островков извести в центре хряща (что иногда принимается за уплотнения в легочной ткани). Помимо ребер, на рентгенограммах легких имеется изображение костей плечевого пояса (ключиц и лопаток), мягких тканей грудной стенки и органов, расположенных в грудной клетке (легкие, органы средостения).

Оба легких на прямой обзорной рентгенограмме видны раздельно: они образуют так называемые легочные поля, которые пересекаются тенями ребер. Между легочными полями находится интенсивная тень средостения. Легкие здорового человека заполнены воздухом и поэтому на рентгенограмме представляются очень светлыми.

Легочные поля имеют определенную структуру, которую называют легочным рисунком. Он образован тенями артерий и вен легких и в меньшей степени – окружающей их соединительной тканью. В медиальных отделах

легочных полей между передними концами II и IV ребер видна тень корней легких. Главным признаком нормального корня является неоднородность его изображения: в нем можно различить тени отдельных крупных артерий и бронхов. Корень левого легкого расположен немного выше правого, а его нижняя часть скрывается за тенью сердца.

Легочные поля и их структура видны только потому, что в альвеолах и бронхах содержится воздух. У плода и у мертворожденного ребенка ни легочные поля, ни их рисунок на снимке не отражаются. Только в результате первого вдоха после рождения воздух проникает в легкие и появляется изображение легочных полей и рисунка в них.

Легочные поля делят на верхушки – участки, расположенные выше ключиц, верхние отделы – от верхушки до уровня переднего конца II ребра, средние – между II и IV ребрами, нижние – от IV ребра до диафрагмы. Снизу легочные поля ограничены тенью диафрагмы. Каждая половина ее при исследовании в прямой проекции образует плоскую дугу, идущую от бокового отдела грудной стенки до средостения. Наружный отдел этой дуги составляет с изображением ребер острый реберно-диафрагмальный угол, соответствующий наружному отделу реберно-диафрагмального синуса плевры. Наиболее высокая точка правой половины диафрагмы проецируется на уровне передних концов 5–6 ребер (слева – на 1–2 см ниже).

На боковом снимке изображения обеих половин грудной клетки и обоих легких накладываются друг на друга, однако структура ближайшего к пленке легкого выражена резче, чем противоположного. В верхней части рентгенограммы определяется изображение верхушки легкого, в передней – тень грудины, в задней – контуры обеих лопаток и тени III–IX грудных позвонков с их дугами и отростками. От позвоночника к грудиने в косом направлении вниз и вперед идут ребра.

В легочном поле на боковом снимке выделяются два светлых участка: позадигрудинное (ретростернальное) пространство – область между грудной и тенью сердца и восходящей аорты и позадисердечное (ретрокардиальное) пространство – между сердцем и позвоночником. На фоне легочного поля можно различить рисунок, образованный артериями и венами, которые направляются в соответствующие доли легких. Обе половины диафрагмы на боковом снимке имеют вид дугообразных линий, идущих от передней грудной стенки до задней. Высшая точка каждой дуги находится примерно на границе ее передней и средней третей. Вентральнее этой точки расположен короткий передний скат диафрагмы, а дорсальнее – длинный задний скат. Оба ската со стенками грудной полости составляют острые углы, соответствующие реберно-диафрагмальному синусу.

Посредством междолевых щелей легкие разделяются на доли: левое – на две (верхнюю и нижнюю), правое – на три (верхнюю, среднюю и нижнюю). Верхняя доля отделяется от другой части легкого косой междолевой

щелью, а от средней доли – горизонтальной междолевой щелью. Знание проекции междолевых щелей очень важно, так как позволяет устанавливать топографию внутрилегочных очагов. Непосредственно на снимках границы долей не видны, и их проводят приблизительно. Косые щели направляются от уровня остистого отростка III грудного позвонка к месту соединения костной и хрящевой части IV ребра. Проекция горизонтальной щели идет от точки пересечения правой косой щели и средней подмышечной линии к месту прикрепления к груди IV ребра.

Более мелкой структурной единицей легкого является бронхолегочный сегмент. Это участок легкого, вентилируемый отдельным (сегментарным) бронхом и получающий питание от отдельной ветви легочной артерии. Сегменты разделены между собой соединительно-тканными прослойками. Согласно принятой номенклатуре, в легком выделяют 10 сегментов (в левом легком медиальный сегмент часто отсутствует).

Элементарной морфологической единицей легкого является ацинус – совокупность разветвлений одной концевой бронхиолы с альвеолярными ходами и альвеолами. Несколько ацинусов составляют легочную дольку. Границы нормальных долек на снимках не дифференцируются.

Лучевые симптомы, синдромы поражения легких и их расшифровка

Рентгенологических признаков легочной патологии достаточно много. Среди них выделяются три главных синдрома: затемнение легочного поля или его части, просветление легочного поля или его части и изменения легочного и корневого рисунка.

Затемнение легочного поля или его части. Большинство легочных заболеваний сопровождается уплотнением легочной ткани, т. е. снижением или отсутствием ее воздушности. Уплотненная ткань сильнее поглощает рентгеновское излучение. На фоне светлого легочного поля появляется тень (или затемнение). Положение, величина и форма затемнения зависят от объема поражения. Различают несколько типовых вариантов затемнений: *обширное затемнение, ограниченное затемнение, круглая тень в легочном поле, кольцевидная тень в легочном поле и очаговая тень.*

Обширное затемнение наблюдается, если патологический процесс захватил все легкое. В этом случае на рентгенограмме в той или иной степени затемнено все легочное поле, и тогда говорят об обширном затемнении. Затемнение всего легочного поля чаще всего вызывается закупоркой главного бронха и ателектазом (спаданием) соответствующего легкого. Такое легкое безвоздушно, поэтому тень его совершенно однородна. Кроме того, оно уменьшено, из-за чего органы средостения смещены в сторону затемнения. Этих двух признаков достаточно, чтобы распознать ателектаз легкого.

Похожую на ателектаз легкого картину может дать состояние после удаления легкого (пневмонэктомии).

Обширное затемнение легочного поля может наблюдаться при воспалительной инфильтрации (например, при пневмонии), однако органы средостения при пневмонии остаются на месте, а на фоне затемнения можно уловить просветы бронхов, заполненных воздухом.

Затемнение легочного поля может также быть вызвано не только уплотнением легочной ткани, но и жидкостью, скопившейся в плевральной полости. При большом выпоте затемнение становится обширным и однородным, как при ателектазе, однако органы средостения при этом смещены в противоположную сторону. Из приведенной информации видно, что такому синдрому, как обширное затемнение легочного поля, соответствует своя морфологическая интерпретация.

Если патологический процесс поражает не все легкое, а какую-то его часть (долю или сегмент), а на рентгенограммах обнаруживается тень, совпадающая по положению, величине и форме с этой измененной частью, то в этом случае говорят об ограниченном затемнении легочного поля. Чаще всего ограниченное затемнение легочного поля можно наблюдать при пневмонической и туберкулезной инфильтрациях, а также опухолевом процессе. В первом случае очаговые затемнения имеют нерезкие очертания, а при наличии опухоли форма тени, как правило, имеет неровные, хорошо отграниченные контуры.

Синдром *круглой тени в легочном поле* подразумевает такое затемнение легочного поля, при котором тень патологического образования во всех проекциях исследования имеет форму круга, полукруга или овала диаметром более 1 см. Такую тень могут давать эозинофильный или туберкулезный инфильтраты, туберкулема, округлый участок пневмонической инфильтрации, инфаркт легкого, закрытая киста (бронхиальная, эхинококковая), доброкачественная или злокачественная опухоли, а также многие другие патологические состояния.

Дифференциальная диагностика одиночных и округлых множественных теней в легких оказывается достаточно трудной. Большую роль играют данные анамнеза и клинической картины заболевания. Однако известно, что заболевания, дающие круглые тени на рентгенограмме, встречаются редко. Дифференциальный диагноз приходится проводить главным образом между закрытыми кистами, туберкулемами и опухолями легких.

Закрытая киста определяется как круглая, или овоидная тень, резко отграниченная от окружающей легочной ткани. Контуры ее четкие, дугообразные, а тень, как правило, абсолютно однородна.

Дифференцировать туберкулему, доброкачественную опухоль или раковый узел легче, если имеются рентгенограммы прошлых лет, поскольку можно установить темп роста образования. В пользу туберкулемы указы-

вают также туберкулезные очаги вокруг или в других отделах легких, тогда как при первичном раке легкого отмечаются быстрый темп роста и возникновение в его корне увеличенных лимфатических узлов.

Синдром кольцевидной тени в легочном поле – это, как правило, рентгенологическое отображение полости, содержащей газ или жидкость, что в первую очередь подразумевает замкнутость кольца на рентгенограммах в разных проекциях (сосуды на снимке в какой-либо одной проекции могут обманчиво напоминать кольцо).

Одинокaя киста врожденной природы обуславливает на снимках тонкую кольцевидную тень, расположенную на неизменном легочном фоне, тогда как полость абсцесса содержит газ и жидкость, что дает горизонтальный уровень жидкости; стенки абсцесса толстые, а в окружающей легочной ткани расположена зона инфильтрации.

Свежая туберкулезная каверна имеет вид кольцевидной тени, а ее размеры колеблются от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Периферический рак легкого также может давать симптом полости, однако при этом наружные контуры полости неровные и сравнительно резко ограничены от окружающей легочной ткани.

Очаговая тень – это округлые или неправильной формы теневые образования, размеры которых варьируют от 0,5 мм до 1 см. Следует заметить, что очаговая тень является самым частым видом затемнения. Очаги до 2 мм называют милиарными, от 2 до 4 мм – мелкими, от 4 до 8 мм – средними, а от 8 до 12 мм – крупными.

Число очаговых теней бывает самым разным. Если они охватывают довольно значительную область (к примеру, верхушку легкого), то говорят об ограниченной диссеминации, если же большую территорию – то говорят о распространенной диссеминации.

Для дифференциального диагноза в первую очередь имеет значение расположение очаговых теней (так, наличие их в верхушках и наружных отделах подключичной зоны в большинстве случаев указывает на туберкулезную природу заболевания). Наличие же очагов в средних и нижних отделах легких характерно для очаговой пневмонии. Нерезкие очертания очагов, усиленный рисунок в той же зоне и их склонность к слиянию – признак активного воспалительного процесса, тогда как четко очерченные очаги – свидетельство затихшего воспалительного поражения.

Прозветление легочного поля или его части. Повышение прозрачности легочного поля или его части также является проявлением ряда патологических состояний легких. Они могут быть обусловлены как наличием воздуха в плевральной полости (пневмоторакс), так и уменьшением количества мягких тканей, опосредованного увеличением количества воздуха в легком за счет вздутия легочной ткани (эмфизема), или снижением притока крови в легкое (что имеет место при некоторых врожденных пороках сердца).

Дифференцировать такие состояния достаточно легко. Так, при пневмотораксе на фоне просветления нет никакого легочного рисунка и виден край спавшегося легкого, тогда как при легочном малокровии рисунок обеднен, а при эмфиземе легочный рисунок усилен. Более того, при эмфиземе легких чаще наблюдается двустороннее диффузное повышение прозрачности легочных полей, размеры их увеличены, а малоподвижная диафрагма упрощена и низко расположена.

Изменения легочного и корневого рисунка. Изменения легочного рисунка – один из ключевых синдромов, наблюдающийся при ряде легочных заболеваний, поскольку, будучи образован в первую очередь артериями, исходящими из корня, он вовлекается в патологический процесс, затрагивающий как паренхиму легкого, так и его корень.

В норме можно выделить некоторые общие показатели нормального легочного и корневого рисунка. Так, у здорового человека рисунок четко прослеживается в обоих легочных полях. Он составлен из прямых или дугообразных разветвляющихся полосок, кружков и овалов, представляющих собой теневое отображение артерий и вен, проходящих в легких под разными углами к направлению пучка рентгеновского излучения. В прикорневой зоне находятся самые крупные сосуды, поэтому рисунок здесь богаче, а элементы его крупнее. К периферии калибр сосудов уменьшается, а в наружной зоне легочных полей заметны лишь очень мелкие сосуды. Для нормального рисунка всегда типичны правильность ветвления, т. е. веерообразное отхождение элементов рисунка от корня к периферии, непрерывное уменьшение размеров этих элементов от прикорневой до наружной зоны, резкость контуров и отсутствие ячеистости.

В изображении корня легкого можно различить тени артерий и светлые полосы крупных бронхов. В случае полнокровия легких и застоя крови в них калибр сосудов в корнях возрастает. При фиброзе клетчатки в воротах легкого тень корня становится малодифференцированной – в ней уже не удастся проследить очертания отдельных анатомических элементов. Наружный контур корня делается неровным, иногда выпуклым, в сторону легочного поля. При увеличении бронхопульмональных лимфатических узлов в корне вырисовываются округлые образования с наружными дугообразными контурами.

Среди многообразных вариантов изменения легочного рисунка особую роль играют два: *усиление рисунка* и *деформация рисунка*.

Под *усилением рисунка* понимают увеличение числа элементов в единице площади легочного поля и увеличение в объеме самих элементов (классическим примером служит застойное полнокровие легких при митральных пороках сердца). Изменения при этом являются двусторонними и захватывают оба легочных поля на всем протяжении: в корнях находятся расширенные ветви легочной артерии, которые прослеживаются до периферии легочных полей.

Под *деформацией рисунка* понимают изменение нормального положения элементов рисунка и их формы; при этом меняется направление тени сосудов, а их очертания становятся неровными и расширяются к периферии.

Такие изменения могут затрагивать как ограниченные территории, что является результатом перенесенного воспаления, так и обширные, что встречается при диффузных (или диссеминированных) изменениях в легких.

Рентгеноанатомия и рентгеносемиотика опорно-двигательного аппарата

Известно, что у человека насчитывается более 200 костей. Среди них выделяют трубчатые кости (длинные: плечевая, кости предплечья, бедренная, кости голени; короткие: ключицы, фаланги, кости пястья и плюсны), губчатые (длинные: ребра, грудина; короткие: позвонки, кости запястья, плюсны, сесамовидные), плоские (кости черепа, таза, лопатки) и смешанные (кости основания черепа). Все виды костей четко отражаются на рентгенограммах. Поскольку рентгеновское излучение поглощается главным образом минеральными солями, то на снимках видны, как правило, плотные части кости, т. е. костные балки и трабекулы. Мягкие ткани (надкостница, эндоост, костный мозг, сосуды и нервы, хрящи, синовиальная жидкость, фасции и мышцы в физиологических условиях) не дают структурного рентгеновского изображения.

Костные балки губчатого вещества состоят из большого числа тесно прилегающих друг к другу костных пластинок, которые образуют густую сеть, напоминающую губку. В корковом слое костные пластинки расположены очень плотно. Метафизы и эпифизы состоят преимущественно из губчатого вещества, что дает на рентгенограмме особый костный рисунок, составленный переплетом костных балок. Эти костные балки и трабекулы располагаются в виде изогнутых пластинок, соединенных поперечными перекладинами, или имеют вид трубок, образующих ячеистую структуру. Соотношение костных балок и трабекул с костномозговыми пространствами обуславливает костную структуру.

На рентгенограммах у трубчатых костей различаются диафизы, метафизы, эпифизы и апофизы. Диафиз – это тело кости. На всем протяжении диафиза выделяется костномозговой канал. Он окружен компактным костным веществом, которое обуславливает интенсивную однородную тень по краям кости, т. е. кортикальным слоем. Внутренний контур кортикального слоя сравнительно ровный.

Участки кости, в которых теряется изображение костномозгового канала, состоят преимущественно из губчатой кости и называются метафизом.

У детей они отделены от суставного конца кости (эпифиза) светлой полоской эпиметафизарного росткового хряща. Кортикальный слой по направлению к эпифизу истончается и превращается в области суставной по-

верхности в очень тонкую замыкающую пластинку. Так как суставной хрящ на рентгенограммах не дает тени, между эпифизами (т. е. между суставной головкой одной кости и суставной впадиной другой) определяется светлая полоса, называемая рентгеновской суставной щелью.

Апофизом называется не образующее синостоза добавочное ядро окостенения в необычном месте (передние углы тел позвонков, нижний угол лопатки, бугристость большеберцовой кости).

Рентгеновское изображение плоских костей существенно отличается от картины длинных и коротких трубчатых костей. Так, к примеру, в своде черепа хорошо дифференцируется губчатое вещество (диплоический слой), окаймленное тонкими и плотными наружной и внутренней пластинками. В костях таза выделяется структура губчатого вещества, покрытого по краям довольно выраженным кортикальным слоем. Смешанные же кости имеют в рентгеновском изображении самую различную форму, которую можно правильно оценить, производя снимки в различных проекциях.

Лучевые симптомы и синдромы поражения скелета

Прежде чем приступить к описанию лучевых симптомов и синдромов поражения скелета, надо иметь в виду, что рентгенограмма отображает лишь минерализованную основу кости, поэтому разные патологические процессы, развивающиеся в опорно-двигательной системе и дающие столь пеструю рентгенологическую картину, бывает трудно дифференцировать без знания клиники и лабораторных данных.

Основные отклонения от нормы, наблюдаемые при рентгенологическом исследовании, можно классифицировать следующим образом: 1) изменения положения, формы и величины костей; 2) изменения поверхности костей (т. е. их контуров); 3) изменения костной структуры (нарушение целостности костных балок, перестройка структуры кости, деструкция, секвестрация кости); 4) изменения рентгеновской суставной щели.

Первая группа признаков встречается при аномалиях развития или же при переломах и вывихах. Аномалии развития возникают вследствие снижения прочности кости (при витаминной недостаточности, гормональных нарушениях и т. д.). Изменение величины кости может являться следствием ее разрушения (в частности, при опухолевом процессе).

Гиперостоз, или утолщение кости, может иметь место в результате повышенной функциональной нагрузки или же быть следствием избыточного разрастания и окостенения надкостницы (в частности, при расстройствах кровообращения, интоксикациях, воспалительных поражениях). Недоразвитие, или атрофия кости, часто случается при снижении ее двигательной функции и нейродистрофических нарушениях.

Изменения наружной поверхности кости наблюдаются при деструкции кортикального слоя воспалительного или опухолевого происхождения, од-

нако наиболее часто изменения контуров кости объясняются структурной перестройкой в надкостнице.

В норме надкостница на рентгенограммах не видна, но в патологических условиях (воспаление или опухоль) она может визуализироваться. При воспалительном процессе такое патологическое состояние называют *периоститом*, при невоспалительном – *периостозом*. Воспалительное поражение надкостницы характеризуется ее отслоением от поверхности кости экссудатом с последующим обызвествлением (так называемый отслоенный периостит). Он имеет вид нежной узкой прерывистой полоски, расположенной на некотором расстоянии от контура кости. Масса обызвествленной надкостницы может увеличиваться и приобретать картину бахромы (так называемый «бахромчатый» периостит). При костных опухолях (саркомах) часто наблюдается окостенение надкостницы, отодвинутой от краев новообразованием (периостит в виде козырька, а также игольчатый периостит).

Изменения костной структуры возникают, прежде всего, при переломах и выражаются в перерыве костных балок и трабекул. В кости появляется линия, или щель, перелома, имеющая различное направление и протяженность. При нейродистрофических поражениях может наблюдаться рассасывание костной ткани (на снимках при этом наблюдается дефект костного вещества неправильной формы с расплывчатыми границами). При расстройстве питания костной ткани развивается *остеонекроз*. Омертвевший участок выглядит более плотным на фоне окружающей кости. Костные балки в области некроза не выдерживают обычной нагрузки и спрессовываются, что приводит к деформации кости и еще большему повышению интенсивности ее тени. При ряде заболеваний возникает деструкция – разрушение костных балок и целых участков кости и замещение их гноем, грануляциями или опухолевой тканью. На рентгенограмме очаг деструкции выглядит как дефект в кости. Контуров свежих деструктивных очагов неровны, в то время как края давно существующих очагов становятся ровными и уплотненными. Деструкция нередко ведет к отторжению костных фрагментов и их омертвлению. Такие свободно лежащие и некротизированные куски кости называют *секвестрами*.

Большое значение в рентгенодиагностике имеет синдром перестройки костной ткани. Различают физиологическую и патологическую перестройку. К физиологической относят все виды изменения структуры кости, возникающие в процессе нормальной жизнедеятельности человека (труд, спорт). Такая перестройка происходит в костной системе здорового человека на протяжении всей жизни. Для нее характерно уравнивание между процессами созидания и рассасывания кости. Патологическая перестройка может совершаться в результате дистрофических, воспалительных и других процессов и обычно сопровождается преобладанием рассасывания или новообразования костных элементов.

Самым частым видом перестройки является *остеопороз* (разрежение кости). Он выражается равномерным уменьшением количества костных балок в единице объема кости. На рентгенограммах он проявляется повышением прозрачности кости, истончением кортикального слоя и расширением костномозгового канала, подчеркнутостью контуров кортикального слоя вокруг всей кости.

Различают четыре формы остеопороза: местный, регионарный, распространенный и системный.

Местный остеопороз – ограниченный участок разрежения костной структуры (обычно это начальное проявление деструкции кости).

Региональным называют остеопороз, захватывающий целую анатомическую область. Как правило, разрежение костной структуры определяется в суставных концах костей при артритах.

Распространенным называют такой вид остеопороза, когда он распространяется на все кости одной конечности, что обычно связано с нарушением кровообращения или иннервации этой конечности.

Системный остеопороз поражает весь скелет и наблюдается при наследственных болезнях, нарушениях функции эндокринных желез, витаминной и белковой недостаточности, болезнях печени и при лечении стероидными препаратами.

Под *остеосклерозом* понимают такое изменение костной структуры, при котором отмечается увеличение количества костного вещества в единице объема кости. В губчатом веществе определяется мелкопетлистая структура (вплоть до полной неразличимости костного рисунка). В длинных костях устанавливаются утолщение кортикального слоя и сужение костномозгового канала. Остеосклероз может быть ограниченным или системным. Последняя форма сравнительно редка и наблюдается при некоторых врожденных болезнях (мраморная болезнь), отравлениях соединениями фтора (флюороз). Множественные участки остеосклероза в костях выявляются при интоксикации тяжелыми металлами, при некоторых видах лейкоза, деформирующей остеодистрофии, почечной остеодистрофии, остеобластических метастазах рака.

Изменение рентгеновской суставной щели – признак поражения сустава. Равномерное сужение суставной щели чаще всего указывает на дистрофическое состояние суставных хрящей. Неравномерное сужение наблюдается при артритах и может сочетаться с разрушением замыкающих пластинок и субхондрального слоя сочленяющихся костей. При фиброзном анкилозе определяется исчезновение замыкающей костной пластинки, а при костном – переход костных балок из одного эпифиза в другой.

ЛЕКЦИЯ 6

Применение УЗИ

Применение УЗИ в кардиологии

Лучевое исследование функции сердца

Рентгеноскопия по-прежнему является самым простым и доступным методом исследования анатомии и функции сердца, однако она позволяет визуально зарегистрировать относительно грубые нарушения и ее данные являются ориентировочными.

На сегодняшний день в силу своей информативности, безвредности и экономической доступности на первый план выдвинулись ультразвуковые исследования, позволяющие намного точнее оценить как анатомические, так и функциональные нарушения сердечно-сосудистой системы.

В кардиологии применяют несколько ультразвуковых методик: одномерную эхокардиографию, двухмерную эхокардиографию (сонография), доплероэхокардиографию и цветную доплеровскую визуализацию сердца.

Одномерная эхокардиограмма имеет вид группы кривых, каждая из которых соответствует определенной структуре сердца: стенке желудочков и предсердий, межпредсердной и межжелудочковой перегородке, клапанам, перикарду и т. д. Амплитуда кривой на эхокардиограмме указывает на размах систолических движений регистрируемой анатомической структуры.

Сонография дает возможность на экране монитора наблюдать движения стенок сердца и клапанов в реальном масштабе времени.

Для изучения ряда показателей, характеризующих функцию сердца, на экране монитора обводят контур сердца на стоп-кадрах, зафиксированных на вершине зубца R электрокардиограммы и на нисходящем колене зубца T. Специальная программа, имеющаяся в ультразвуковой установке, позволяет сопоставить и проанализировать эти два изображения и получить параметры конечного систолического и конечного диастолического объемов левого желудочка и предсердий, размер поверхности правого желудочка, величину фракции выброса желудочков, фракции опорожнения предсердий, систолического и минутного объема, толщины и массы миокарда. При этом могут быть получены показатели регионарной сократимости стенки левого желудочка, после чего полученные данные сопоставляют с индексами нормы, которые приведены в специальных таблицах.

Доплерографию сердца проводят преимущественно в импульсном режиме. С ее помощью удастся не только изучать движения клапанов и стенок сердца в любой фазе сердечного цикла, но также в выбранном контрольном объеме измерить скорость движения крови, направление и характер ее течения.

В норме кровотоков во всех отделах сердца однонаправленный (иначе ламинарный) и равномерный. Он записывается на кривой доплерограммы как узкая линия, а на звуковом выходе установки обуславливает четкий тональный сигнал. По кривой можно рассчитать объем крови, поступающей за один цикл из предсердия в желудочек. При образовании турбулентного потока, когда частицы крови движутся неравномерно, на доплерограмме появляется широкая неоднородная полоса кривых, а на звуковом выходе выслушивается скребущий шум. Однако в клинике уже достаточно широко используются ультразвуковые аппараты, у которых направления и характеристики потоков крови записываются разными цветами. Движение крови в сторону датчика отображается красным цветом, движение от датчика – синим. Смешение же обоих цветов указывает на разнонаправленные перемещения частиц крови. Интенсивность окраски пропорциональна скорости потока крови. Таким образом, установка для цветной доплеровской визуализации (ангиоинографии) позволяет в едином изображении связать данные как о топографии, так и функции сердца.

Применение УЗИ в акушерстве, гинекологии и урологии

Ультразвуковые исследования – одни из наиболее информативных в акушерстве. С их помощью решаются следующие задачи: 1) определение размеров отдельных частей плода и всего плода в целом (это дает возможность уточнить гестационный возраст, возможные нарушения внутриутробного развития и предполагаемую массу плода); 2) диагностика пороков развития (центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой и мочеполовой систем, опорно-двигательного аппарата); 3) обнаружение многоплодной беременности и локализации плаценты; 4) оценка состояния плода (оценивают функцию сердечно-сосудистой системы плода и особенности плацентарного кровообращения); 5) диагностика возможной внематочной беременности.

Методика ультразвукового исследования

Положение пациентки – лежа на спине. При необходимости она может поворачиваться во время исследования. При проведении УЗИ в ранние сроки беременности методика такая же, как при гинекологическом исследовании. Используют трансабдоминальный и трансвагинальный способы. При диагностической процедуре, проводимой в сроке более 12 недель, мочевой пузырь наполнять не надо (исключая случаи выявления истмико-цервикальной недостаточности).

Эхографическая картина нормальной матки и придатков

Размеры нормальной матки изменяются с возрастом. У новорожденной девочки матка относительно велика, поскольку внутриутробно на нее дей-

ствуют материнские гормоны. После рождения она быстро уменьшается и до начала полового созревания имеет трубчатую форму, причем величина шейки превосходит величину тела матки. Средние размеры матки взрослой женщины составляют $80 \times 40 \times 40$ мм. У много рожавших каждый размер может быть увеличен на 10 мм.

Примерно у 0,5 % женщин выявляются аномалии формы матки, которые обусловлены нарушенными процессами слияния мюллеровых протоков. Трансабдоминальное сканирование позволяет определить форму наружного контура матки и степень разделения (в градусах) ее рогов. Трансвагинальное исследование в секреторную фазу (наилучшая визуализация эндометрия) выявляет форму полости матки. Один из рогов матки, особенно не имеющий сообщения с основной полостью, может приниматься за отдельное новообразование.

Эндометрий представляет собой относительно гиперэхогенную структуру, которую лучше всего оценивать трансвагинальным методом. Как правило, снаружи ее окружает тонкий гипоехогенный ободок, представляющий собой компактный слой миометрия. При измерении толщины эндометрия этот ободок не должен учитываться. Сама толщина варьирует в зависимости от фазы цикла: от 1–4 мм во время менструации до 4–8 мм в первую фазу и 8–16 мм во вторую.

Нормальные фаллопиевы трубы, как правило, не визуализируются. Они становятся видимыми, когда в них или вокруг скапливается жидкость.

Яичники у женщин менструального возраста имеют средние размеры $3 \times 2 \times 2$ см и средний объем 10 см^3 . В норме их структура мелкокистозна, причем размеры кист изменяются в зависимости от фазы менструального цикла. В начале пролиферативной фазы начинается рост сразу многих первичных фолликулов, что приводит к их увеличению до 1 см в диаметре. К середине первой фазы один из фолликулов становится доминантным и продолжает расти, достигая диаметра 2,0–3,0 см. В нем находится зрелая яйцеклетка, которую можно видеть при трансвагинальном УЗИ. Размеры других фолликулов при этом немного уменьшаются.

После овуляции на месте доминантного фолликула формируется желтое тело. Оно содержит кровь, которая постепенно меняет свою структуру. Поэтому эхоструктура желтого тела неоднородна и изменчива. В ряде случаев в растущих первичных фолликулах может не происходить созревания яйцеклетки и последующей овуляции. Такие фолликулы увеличиваются в размерах до 4,0 см и более. Их отличает полностью анэхогенное содержимое, тонкая ровная стенка и отсутствие каких-либо тканевых внутренних включений. С течением времени такие кисты либо самопроизвольно вскрываются, либо подвергаются постепенному обратному развитию. Данные кисты являются доброкачественными и не требуют тщательного ультразвукового контроля. Иная, чем вышеописанная эхоструктура кисты указывает на ее другую природу и степень доброкачественности.

Виды УЗИ в акушерстве

Исходя из целей и объемов получаемой информации можно выделить два вида УЗИ: стандартное и прицельное. Стандартное УЗИ проводится для определения следующих данных: 1) характера содержимого матки (количество и положение плодов, локализация плаценты, объем околоплодной жидкости); 2) фетометрии (определяется бипариетальный размер окружности головки и живота, длина бедренной кости, предполагаемая масса плода, наличие возможных аномалий и пороков развития); 3) других патологических изменений (отечность плаценты, чрезмерное наполнение мочевого пузыря и расширение чашечно-лоханочной системы, асцит, гидроторакс, миома матки и т. д.); 4) визуализации амниотической перегородки при многоплодной беременности для исключения моноамниотической беременности; 5) своевременной диагностики диссоциированного развития плодов (т. е. разницы предполагаемых масс, превышающей 25 %).

Прицельное УЗИ проводится для более тщательного исследования плода при подозрении на пороки развития. В данных ситуациях выполняется более детальный осмотр определенных органов и систем. Нередко нужно проводить исследование на аппарате более высокого уровня, чем при первичном стандартном УЗИ. Результаты осмотра желательно документировать на фото- или видеопленке.

Показания к УЗИ в акушерстве

1. Уточнение срока беременности перед ее прерыванием (искусственный аборт) или родоразрешением (индукция родовой деятельности, кесарево сечение).

2. Оценка развития плода при наличии факторов риска возникновения внутриутробной задержки развития (тяжелый и/или длительно текущий гестоз, фетоплацентарная недостаточность) или макросомии (сахарный диабет).

3. Кровянистые выделения из половых путей.

4. Определение предлежащей части плода, если другими способами это сделать невозможно.

5. Подозрение на многоплодную беременность (выслушивание сердцебиений в двух и более точках; высота стояния матки, не соответствующая сроку беременности; беременность после индукции овуляции).

6. Объемное образование малого таза (выявленное при влагалищном исследовании).

7. Подозрение на пузырный занос.

8. Подозрение на истмикоцервикальную недостаточность.

9. Вероятность внутриутробной гибели плода.

10. Контроль при проведении инвазивных исследований (фетоскопии, кордоцентезе, амниоцентезе, биопсии хориона).

11. Подозрение на анатомическую аномалию матки (миома, двурогая, двойная матка).

12. Контроль положения внутриматочной спирали. Наблюдение за ростом яичникового фолликула.

13. Оценка биофизического профиля плода.

14. Подозрение на аномалии положения и прикрепления плаценты.

15. Определение предполагаемой массы плода.

16. Поиск возможных аномалий развития при обнаружении высокого уровня α -фетопротеина в сыворотке крови беременной.

Наиболее частые причины применения УЗИ в акушерстве

1. Установление срока беременности. Знание точного срока беременности очень важно, поскольку дает возможность достоверно судить о внутриутробном развитии плода, своевременно диагностировать варианты отклонения и точно устанавливать предполагаемую дату родов. Чем раньше беременная осматривается врачом, тем достоверность срока выше. После 20 недель точность УЗИ существенно снижается, а после 34 недель этот метод вообще не должен применяться с целью установления срока. Сроки определяются по стандартным таблицам. Следует обращать внимание, что в некоторых таблицах указываются истинные (гестационные, т. е. от момента зачатия) сроки, а в других – менструальные (с прибавлением двух недель) сроки беременности.

2. Несоответствие размеров матки (высоты дна) сроку беременности. Начиная с 20 недель высота дна матки над симфизом в сантиметрах приблизительно соответствует сроку беременности в неделях. Отклонения на 3 см и более в ту или иную сторону могут быть признаком какой-либо патологии развития плода. Основными причинами уменьшения высоты дна матки являются: 1) плацентарная недостаточность, вызывающая гипотрофию плода; 2) маловодие.

Наиболее достоверно плацентарную недостаточность можно диагностировать путем доплеровского исследования кровотока в сосудах пуповины. Судить о данной патологии по особенностям эхоструктуры плаценты, как правило, невозможно. Признаками гипотрофии плода является отставание основных биометрических параметров от нормальных значений более чем на 2 недели. Основными причинами увеличения высоты дна матки являются: 1) макросомия; 2) многоплодие; 3) многоводие.

3. Диагностика пороков развития плода. УЗИ является эффективным методом диагностики грубых пороков развития плода. Его чувствительность составляет около 50 %, а специфичность близка к 100 %. Выявление пороков развития разных систем и органов возможно в разные сроки бере-

менности. Например, аномалии центральной нервной системы можно обнаружить с 16–18 недель, а дефекты сердца – только с 20–22 недель.

4. Диагностика ранних сроков беременности.

5. Визуализация плодного яйца является несомненным признаком беременности. Как правило, плодное яйцо выявляется через 1–2 недели после ожидаемой, но не наступившей менструации. Оно определяется в виде овоидного гипозоногенного образования, окруженного двойным эхогенным кольцом и расположенного асимметрично в полости матки. Внутреннее кольцо относится к плодному яйцу, наружное кольцо соответствует слою маточного эндометрия.

Наиболее частые причины применения УЗИ в гинекологии

1. Увеличение размеров матки (фибромиома, саркома, аденомиоз).
2. Кистозные образования в области яичников.
3. Утолщение эндометрия.
4. Эктопическая болезнь.
5. Злокачественные новообразования яичников.

Наиболее частые причины применения УЗИ в урологии

1. Патология яичка (гидроцеле, варикоцеле, сперматоцеле, киста придатка яичка, паховая грыжа, эпидидимит, орхит, опухоли яичка).
2. Патология предстательной железы (доброкачественные и злокачественные опухоли, простатит).

Вопросы

1. Медицинская радиология и лучевая диагностика: определение, цели и задачи.
2. Лучевая диагностика в России и Беларуси.
3. Открытие рентгеновского излучения: дата, история, физические основы.
4. Принцип устройства рентгеновской трубки и рентгеновского аппарата.
5. Открытие радиоактивности: история, физические основы.
6. Виды ионизирующих и неионизирующих излучений и их взаимодействие с веществом.
7. Биологическое действие ионизирующего излучения.
8. Радиационная безопасность: принципы и методы.
9. Базисные методы рентгенологического исследования и показание к их проведению.
10. Устройство и принцип работы современного рентгенологического кабинета и стандартного рентгеновского аппарата.
11. Классификация контрастных методов исследования и рентгеноконтрастных веществ.
12. Контрастные методы исследования. Рентгеноконтрастные соединения.
13. Метод КТ: история создания КТ, принципы работы, устройство КТ-томографа.
14. Показания к применению КТ.
15. Преимущество КТ в сравнении с МРТ и другими методами лучевой диагностики.
16. УЗИ: физические принципы, положенные в его основу.
17. Классификация методик УЗИ.
18. Принцип действия и устройство УЗИ-аппарата.
19. Показания к применению УЗИ.
20. Применение УЗИ в кардиологии, акушерстве, гинекологии и урологии.
21. Метод МРТ: история создания МРТ, принципы работы, устройство МР-томографа.
22. Показания к проведению МРТ.
23. Преимущества и недостатки МР-томографии в сравнении с КТ.
24. Радионуклидные методы исследования: сканирование, сцинтиграфия, однофотонная эмиссионная томография, эмиссионно-позитронная томография.
25. Показания для применения сцинтиграфии, эмиссионно-позитронной томографии.
26. Принцип действия и устройство аппарата для сцинтиграфии и эмиссионно-позитронной томографии.
27. Принципы организации и работы кабинета для МР-томографа.
28. Преимущества и недостатки УЗИ в сравнении с КТ и МР-томографией.
29. Рентгеноанатомия и семиотика патологии органов дыхания.
30. Рентгеноанатомия и семиотика патологии опорно-двигательного аппарата.

Список литературы

1. Компьютерная томография мозга / Н. В. Верещагин [и др.]. – М. : Медицина, 1986. – 251 с.
2. Воробьев, Е. И. Контроль радиационной безопасности / Е. И. Воробьев. – М. : Медицина, 1989. – 256 с.
3. Секреты рентгенологии / С. Дуглас [и др.]. – М. : Бином, 2003. – 703 с.
4. Коваль, Г. Ю. Клиническая рентгеноанатомия / Г. Ю. Коваль. – Киев : Здоров'я, 1975. – 600 с.
5. Магнитно-резонансная томография в нейрохирургии / А. Н. Коновалов [и др.]. – М. : Видар, 1997. – 315 с.
6. Эмиссионная гамма-топография / В. Я. Костылев [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 341 с.
7. Линденбратен, Л. Д. Медицинская радиология и рентгенология / Л. Д. Линденбратен, И. П. Королюк. – М. : Медицина, 1993. – 556 с.
8. Михайлов, А. Н. Рентгеносемиотика и диагностика болезней человека / А. Н. Михайлов. – Минск : Выш. школа, 1989. – 608 с.
9. Митьков, В. В. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике / В. В. Митьков, М. В. Медведева. – М. : Видар, 2003. – 1654 с.
10. Общее руководство по радиологии / П. Петерсон [и др.]. – Los Angeles: Nisec, 1995. – 558 с.
11. Ринкк, П. А. Магнитный резонанс в медицине / А. П. Ринкк. – М. : ГэотарМед, 2003. – 247 с.
12. Рентгенодиагностика заболеваний органов дыхания / Л. С. Розенштраух [и др.]. – М. : Медицина, 1987. – 234 с.
13. Трофимова, Т. Н. Нейрорадиология / Т. Н. Трофимова. – СПб. : СПбМАПО, 2005. – 288 с.
14. Холл, Э. Радиация и жизнь / Э. Холл. – М. : Медицина, 1989. – 342 с.
15. Хофер, М. Компьютерная томография. Базисное руководство / М. Хофер. – М. : Мед. лит., 2006. – 208 с.
16. Nuclear Medecine / R. E. Henkin [et al.]. – St. Louis : Mosby-Year Book, 1996. – 986 p.
17. Stark, D. D. Magnetic resonance imaging / D. D. Stark, W. G. Bradley; 2-nd ed. – St. Louis : Mosby-Year Book, 1992. – 1165 p.

Учебное издание

Шилов Георгий Нолианович

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ
ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ**

Курс лекций

Редакторы М. И. Авхимович, С. О. Сараева, О. А. Кучинский

Корректор С. О. Сараева

Компьютерная верстка А. Н. Мигиц

Подписано в печать 04.12.2008. Формат 60×90 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Ризография.

Усл. печ. л. 4,5. Уч.-изд. л. 4,2.

Тираж 65 экз. Заказ № 86.

Издатель и полиграфическое исполнение
учреждение образования «Международный государственный
экологический университет имени А. Д. Сахарова»
ЛИ № 02330/0131580 от 28.07.2005 г.
ул. Долгобродская, 23, 220070, г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: info@iseu.by
<http://www.iseu.by>