

Лекция 4

Тема 3 Методы структурной диагностики. Рентгенодиагностика

1. **Виды интроскопии в медицине**
2. **Ионизирующее излучение и неионизирующее излучение**
3. **Применение рентгеновского излучения в медицине**
4. **Основные методы рентгенологического исследования**
5. **Основные элементы рентгеновских аппаратов**
6. **Принципы защиты от рентгеновских лучей**
7. **Приспособления, позволяющие уменьшить лучевую нагрузку на врача и пациента**

1. Виды интроскопии в медицине

Интроскопия (дословный перевод с латинского - внутривидение) это неразрушающее (неинвазивное) исследование внутреннего строения объекта и протекающих в нём процессов с помощью звуковых волн, электромагнитного излучения различных диапазонов, постоянного и переменного электромагнитного поля и потоков элементарных частиц.

Раздел медицинской диагностики, связанный с использованием различных физических полей и воздействия электромагнитных, ультразвуковых и корпускулярных излучений, с целью визуализации внутренних структур тела, называется *медицинской интроскопией*, или *лучевой диагностикой*.

Методы лучевой диагностики являются основными при диагностике большинства заболеваний в практике терапевтов, ортопедов-травматологов, неврологов и нейрохирургов, онкологов, хирургов, акушеров-гинекологов, отоларингологов и многих других. Роль методов лучевой диагностики еще больше возросла с внедрением цифровых методов получения изображения.

Кроме диагностики заболеваний лучевые методы используются также для лечения, оценки результатов лечения, а также для наблюдения за течением патологического процесса.

Лучевая терапия, наряду с хирургическим вмешательством и химиотерапией, является одним из основных методов лечения злокачественных новообразований.

В зависимости от диапазона электромагнитного излучения можно выделить следующие виды медицинской интроскопии:

1. Ядерно-магнитно-резонансная (ЯМР) интроскопия базируется на основе радиоволнового излучения (с длиной волны λ от 5×10^{-5} до 10^{10} м и частотами от 6×10^{12} до нескольких Гц) и используется в методе магнитно-резонансной томографии.

2. Инфракрасная интроскопия основана на инфракрасном излучении (с длиной волны λ от 700 до 10^5 нм и частотами от 3×10^{12} до $0,42 \times 10^{15}$ Гц). К ИК-интроскопии относятся методы термография, тепловидение.

3. Эндоскопическая интроскопия использует диапазон видимого излучения (с длиной волны λ от 400 до 760 нм и частотами от $0,39 \times 10^{15}$ до $0,75 \times 10^{15}$ Гц).

4. Ультрафиолетовая интроскопия использует область ультрафиолетового излучения (с длиной волны λ от 200 до 400 нм и частотами от $0,39$ до $0,75 \times 10^{15}$ Гц), применяется в основном в терапевтических целях.

5. Рентгеновская интроскопия с λ рентгеновского излучения от 80 до 10^{-4} нм и частотами от $0,37 \times 10^{16}$ до $3,0 \times 10^{23}$ Гц, включает в себя рентгеновские методы исследования, как классические, так и различные новые технологии.

6. Радионуклидная или радиоизотопная интроскопия на основе гамма-излучения с длиной волны менее 10^{-4} нм и частотой более $3,0 \times 10^{23}$ Гц, включает в себя методы ядерной медицины.

7. Ультразвуковая интроскопия основана на излучении не электромагнитной, а акустической природы. В ее основе лежат упругие колебания и волны с частотами более 20 кГц с верхним пределом ультразвуковых частот $10^9 - 10^{13}$ Гц.

2. Ионизирующее и неионизирующее излучение

Методы лучевой диагностики основаны на применении ионизирующих и неионизирующих излучений.

Ионизирующее излучение. Это энергия, которая высвобождается атомами в форме электромагнитных волн или частиц, и ее достаточно для ионизации атомов и молекул, и разрыва химических связей. Ионизирующие излучения включают квантовые и корпускулярные излучения. В медицинской интроскопии к квантовым излучениям относят рентгеновское (тормозное) и гамма-излучения, к корпускулярным излучениям относят потоки электронов, протонов, нейтронов и других частиц.

Люди каждый день подвергаются воздействию *естественного* и *искусственного* излучения.

Основным источником естественного излучения являются космические лучи - потоки заряженных частиц высокой энергии, которые приходят к Земле из космического пространства и постоянно бомбардируют её атмосферу.

На втором месте по естественной радиации — излучение от почвы, горных пород, строительных материалов и предметов быта, в состав которых входят радиоактивные вещества.

Искусственные (техногенные) источники ионизирующих излучений созданы человеком. Они могут быть изготовлены с целью использования ионизирующего излучения от этих источников, либо происходящих в них процессов для других целей (например, производство электрической и/или тепловой энергии).

Неионизирующее излучение. - это электромагнитные излучения различной частоты, не вызывающие ионизацию атомов и молекул вещества. Электромагнитные волны также переносят энергию, тем большую, чем

больше их частота. Энергия электромагнитных волн воздействует на организм человека, при этом на биологическую реакцию влияют следующие параметры:

- Частота излучения,
- интенсивность электромагнитного поля,
- продолжительность излучения,
- модуляция сигнала, т.е изменение амплитуды,
- частоты или фазы колебаний,
- периодичность действия,
- сочетание частот электромагнитного поля.

К неионизирующим излучениям можно отнести:

- ИК излучение;
- резонансное излучение (излучение, возникающее в объекте в постоянном магнитном поле под действием радиочастотных импульсов);
- ультразвуковое излучение.

3. Применение рентгеновского излучения в медицине

Основу лучевой диагностики составляет рентгеновский метод, который включает в себя как классическое рентгеновское исследование, так и различные новые технологии (обычная рентгеновская томография, компьютерная томография (КТ), ангиография, КТ-ангиография).

История рентгенологии начинается с 1895 года, когда профессор физики Вюрцбургского университета Вильгельм Конрад Рентген начал свои экспериментальные исследования электрического заряда в вакуумных трубках. 8 ноября 1895 года В.К. Рентген работал в своей лаборатории с электровакуумной трубкой, на которую подавался ток высокого напряжения. Чтобы облегчить наблюдения, Рентген затемнил комнату и обернул трубку плотной непрозрачной черной бумагой. К своему удивлению, он увидел на стоявшем на некотором удалении экране, покрытом платиноцианистым барием, полосу флюоресценции. Удивление его было связано с тем, что на тот момент уже было известно, что катодные лучи были короткодействующими и могли вызывать свечение вещества только вблизи трубки. В данном же случае речь шла о воздействии на расстоянии около двух метров. Рентген тщательно проанализировал и проверил возможность ошибки и убедился, что источником излучения является именно вакуумная трубка, а не часть цепи или индукционная катушка. Флюоресценция появлялась всякий раз только при включении трубки.

Тогда В.К. Рентген предположил, что свечение экрана связано не с катодными лучами, а другим видом лучей, ранее неизвестными, которые способны воздействовать на значительном расстоянии. Эти лучи он так и назвал – *X-лучи (неизвестные лучи)*.

Последующие семь недель Рентген не выходил из своей лаборатории, проводя исследования с новым видом неизвестных или X-лучей.

Широкую известность приобрела выполненная Рентгеном с помощью X-лучей фотография кисти жены Берты Рентген, выполненная 22 декабря 1895 года (рис. 2). На ней отчетливо видны кости на фоне изображения мягких тканей (задерживающих X-лучи в меньшей степени) и тень от кольца на пальце. Фактически это была первая рентгенограмма в истории. За очень короткий отрезок времени Рентген изучил и описал все основные свойства новых X-лучей.

Рентген стал первым (1901 г.) лауреатом Нобелевской премии по физике «в знак признания необычайно важных заслуг перед наукой, выразившихся в открытии замечательных лучей, названных впоследствии в его честь». Решением I Международного съезда по рентгенологии в 1906 г. X-лучи были названы рентгеновскими.

По способу получения рентгеновское излучение подразделяют на тормозное и характеристическое.

Тормозное рентгеновское излучение возникает при бомбардировке быстрыми электронами или ионами поверхностей твердых мишеней. Заряженные частицы в этом случае испытывают сильное торможение и становятся источником электромагнитных волн.

Характеристическое излучение. Линейчатый спектр РИ возникает после ионизации атома с испусканием электрона с одной из его оболочек при столкновении атома с быстрой заряженной частицей или при поглощении им кванта электромагнитного излучения. Ионизованный атом за время $10^{-16} - 10^{-15}$ с переходит в основное состояние с меньшей энергией. Избыток энергии излучается в виде кванта определенной частоты. Частота этого кванта характерна для определенного атома. Поэтому это излучение называют характеристическим. Измеряя энергию характеристического излучения, можно определять концентрацию различных ядер исследуемого вещества с высокой точностью.

Применение в медицине рентгеновского излучения основано на том, что органы и ткани поглощают рентгеновские лучи, причем в разной степени, в зависимости от их плотности и химического состава. Чем сильнее поглощение, тем интенсивнее отбрасываемая органом тень на экране или пленке.

В большей степени лучи поглощаются в костях, в меньшей – в мягких тканях и жидких средах организма, ещё меньше – в жировой клетчатке и почти не задерживаются в газах. Если плотность биологических тканей различается на 15-20%, то изображения хорошо различимы.

В тех случаях, когда рядом расположенные органы одинаково поглощают рентгеновское излучение, они не различимы при рентгенологическом исследовании. В таких ситуациях прибегают к искусственному контрастированию. Таким образом, рентгенологическое исследование может проводиться в условиях естественной контрастности или искусственного контрастирования.

К основным свойствам рентгеновских лучей относятся следующие:

Проникающая способность, на которой основана *рентгенодиагностика*, зависит от плотности тканей. Например, костная ткань обладает наибольшей плотностью, а значит и поглощающей способностью, поэтому при рентгенологическом исследовании дает затемнение высокой интенсивности. А воздух не задерживает лучи и создает просветление, как, например, легочная ткань.

Флюоресцирующее свойство рентгеновских лучей - способность вызывать свечение некоторых химических веществ. На этом свойстве основан метод *рентгеноскопии*.

Фотохимическое свойство заключается в способности вызывать почернение пленки, благодаря разложению галогенидов серебра, составляющих основу фотослоя. На фотохимическом свойстве рентгеновских лучей основана *рентгенография*. При этом лучи, выходя из рентгеновской трубки и проходя через тело человека, вызывают образование теневого изображения на рентгеновской пленке.

Ионизирующее свойство рентгеновских лучей заключается в образовании ионов в той среде, через которую проходят лучи. По количеству образовавшихся ионов можно судить о дозе излучения.

Уровни безопасных величин поглощённой дозы излучения, измеряются радиометром или дозиметром. Безопасным считается уровень радиации до величины, приблизительно 0.5 мкЗв/ч (микрозиверт в час.).

Биологическое или *повреждающее* действие рентгеновских лучей используется в *рентгенотерапии*. Это один из методов лучевой терапии, при котором с лечебной целью используется рентгеновское излучение с энергией от 10 до 250 кВ (в диагностике - 10-150 кВ). С увеличением напряжения на рентгеновской трубке увеличивается энергия излучения и вместе с этим его проникающая способность в тканях возрастает от нескольких миллиметров до 8—10 см.

4. Основные методы рентгенологического исследования

Основными методами рентгенологического исследования являются рентгеноскопия, рентгенография, а также флюорография.

Рентгеноскопия

В зависимости от приёмника излучения различают несколько разновидностей метода.

Рассмотрим рентгеноскопию *с флюоресцирующего экрана*. Схема данного метода: человек находится между источником излучения и экраном, покрытым люминофором - веществом, способным люминесцировать, т.е. преобразовывать поглощаемую им энергию в световое излучение. Пучок рентгеновских лучей проходит через тело человека, часть энергии поглощается и рассеивается органами и тканями, а оставшаяся часть попадает на экран.

В результате на просвечивающем (флюоресцирующем) экране получается плоскостное *позитивное* изображения исследуемого объекта.

Почему изображение позитивное? Это связано с тем, что чем больше лучей попадает на экран, например, после прохождения через неплотные или воздушные структуры, такие как легкие, газовый пузырь желудка, кишечник, полость абсцесса и др., тем ярче будет свечение на экране, т.е. изображение получается светлым, его называют *просветлением*. Если лучи проходят через плотные структуры (например, кости), которые хорошо поглощают лучи, то на экран попадает меньше лучей, соответственно свечение на экране будет слабым, изображение получается темным, его называют *затемнением*.

Рентгеноскопия с экрана электронно-оптического усилителя.

Флюоресцирующий экран в современных условиях заменен на УРИ (усилитель рентгеновского изображения), в состав последнего входит электронно-оптический усилитель или преобразователь (ЭОП). В электронно-оптическом преобразователе рентгеновские лучи преобразуются в *световые и электронные* и яркость изображения усиливается в *3-6 тысяч раз*. Применение УРИ позволяет снизить лучевую нагрузку на пациента и персонал в 15 раз, поэтому стало возможным широкое внедрение различных рентгенохирургических операций.

Рентгеноскопия с кинескопа телевизора. Это более совершенный вид визуального наблюдения за функционирующими органами и системами человека. Суть метода: через систему зеркал и линз изображение передается на телевизионную трубку и экран телевизора. При необходимости изображение можно записывать с помощью кинокамеры, фотокамеры, можно выполнить цифровую рентгеноскопию, можно ввести изображение в компьютер для последующей обработки и анализа изображения его на мониторе.

Качество цифровой рентгеноскопии намного выше по сравнению с аналоговой: во 1-х, существенно ниже доза облучения; во 2-х, разрешение в режиме копии лишь немного уступает разрешению в рентгенографическом режиме, в 3-х - можно сохранять результаты исследования как покадрово, так и в виде видеоряда.

Рентгеноскопия позволяет рассмотреть органы грудной клетки в самых удобных проекциях для врача.

На современных рентгеновских просвечивающих экранах изображение возникает в момент включения рентгеновской трубки и исчезает сразу же после ее выключения. Просвечивание производится при напряжении на трубке 45—85 кВ и токе 2—5 мА в зависимости от плотности объекта и исследуемого органа.

Рентгенография

Рентгенография (греч. *graphein* – писать, изображать) – метод рентгенологического исследования, при котором получают изображение

исследуемого объекта на пленке (прямая или аналоговая рентгенография) или на специальных цифровых устройствах (цифровая рентгенография). Изображение – *статическое*, в отличие от рентгеноскопии, где получают *динамическое* изображение в режиме реального времени.

В результате прохождения через образования разной плотности и состава пучок излучения рассеивается и тормозится, в связи с чем на пленке формируется *негативное* изображение всех тканей разной степени интенсивности: чем плотнее ткань, тем больше она будет поглощать рентгеновские лучи, тем меньше лучей попадает на пленку, и наоборот, чем ткань менее плотная (например, легкие), тем больше лучей она пропускает, и тем больше лучей попадает на пленку. В результате получается теневая картина обратная: кости светлые, а воздушные включения темные. Чтобы не путаться в интерпретации результатов в рентгенодиагностике принято любое рентгеновское изображение (на экране или рентгенограмме) анализировать как позитивное. Поэтому при анализе рентгенограмм на “черное” – говорят “белое” и наоборот.

Снимки в стандартном варианте делают в прямой и боковой проекциях, при необходимости – косой. Иногда используется фокусировка для более детального обследования определенного участка.

Широкое применение в современной медицинской диагностике находит *цифровая рентгенография*, которая позволяет получать изображения при любом необходимом уровне дозы, причем эти изображения можно обрабатывать и отображать различными способами.

Флюорография

Флюорографию проводят с целью профилактического исследования органов грудной полости 1 раз в год всем людям с 15-летнего возраста, а также в группах повышенного риска.

Сущность метода заключается в фотографировании рентгеновского изображения с экрана. При этом изображение получают на фотопленке небольшого формата (110x110 мм, 100x100мм, 70x70 мм), т.е. получают уменьшенное рентгеновское изображение. Изображение на фотопленку может поступать:

- с флюоресцирующего экрана специального рентгеновского аппарата (флюорографа) на рулонную пленку – при флюорографии легких;

- с экрана электронно-оптического усилителя рентгеновского изображения (*УРИ-флюорография*) – при исследовании пищевода, желудка и кишечника;

- с монитора цифрового флюорографа (распечатка на принтере на специальной пленке или на обычной бумаге).

В настоящее время плёночная флюорография постепенно заменяется цифровой, что позволяет уменьшить лучевую нагрузку на пациента и уменьшить расходы на дополнительные материалы (плёнку, проявитель для плёнки). Наиболее распространенной является методика цифровой

флюорографии, использующая оптический усилитель и метод оцифровки рентгеновского изображения с помощью аналогово-цифрового преобразователя.

Преимущества и недостатки рентгеноскопии.

Преимущества.

1. Рентгеноскопия позволяет изучать функциональное состояние различных органов (сердечных сокращений, дыхательных движений ребер, диафрагмы, изменение легочного рисунка и патологических теней при дыхании и др). Это невозможно при рентгенографии, так как фиксируется только один из моментов состояния организма.

2. При рентгеноскопии возможно получения объемного изображения за счет полипозиционного исследования, т.е. больного изучают в вертикальном и горизонтальном положениях с различными поворотами вокруг оси. Рентгенография дает суммарное изображение, так как осуществляется в основном в двух проекциях (прямой и боковой).

3. В процессе рентгеноскопии осуществим контроль выполнения инвазивных (хирургических) рентгенологических процедур, например, катетеризации сердца и сосудов, что невозможно при рентгенографии.

4. При рентгеноскопии требуется меньше времени на исследование.

Недостаток: время экспозиции 5-20 мин – т.о. имеет место большая лучевая нагрузка.

Преимущества и недостатки рентгенографии.

1. Лучевая нагрузка при рентгенографии ниже, чем при рентгеноскопии за счет более короткой экспозиции, или времени воздействия излучения (1-3 с, а не 5-20 мин, как при рентгеноскопии)

2. Рентгенография – незаменимый метод для диагностики заболеваний костей, легких, часто используется для диагностики патологии желудка.

3. Многократная рентгенография позволяет наблюдать за патологическим процессом в динамике, проводить контроль лечения благодаря меньшей лучевой нагрузке по сравнению с рентгеноскопией.

Недостаток: для определения патологии мягких тканей данный метод практически не используется, так как не обладает диагностической информативностью

Преимущества и недостатки флюорографии.

Флюорограф способен за день пропускать большое количество пациентов. При должной организации флюорографический кабинет может обслуживать 100-150 больных в час. Также исследование требует меньше материальных затрат, чем классическая рентгенография.

К недостаткам метода флюорографии можно отнести повышенную лучевую нагрузку, в связи с чем флюорографию рекомендуют проходить не чаще 1 раза в год.

Главный недостаток метода – слишком маленький размер и низкое разрешение изображения в сравнении с обзорным рентгено снимком. Поэтому он относится к профилактическим методам, и в сомнительных случаях для глубокого обследования врач посылает больного после пройденной флюорографии на уточняющую рентгенографию/-скопию.

5. Рентгеновские аппараты

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.

Медицинские рентгеновские аппараты делятся на рентгенодиагностические и рентгенотерапевтические.

Рентгенодиагностические аппараты делятся на универсальные, позволяющие производить рентгеновское просвечивание и рентгеновские снимки всех частей тела, и аппараты специального назначения - для исследований в неврологии, челюстно-лицевой хирургии и стоматологии, маммологии, урологии, ангиологии.

Созданы также специальные аппараты для исследования детей, для массовых проверочных исследований (флюорографы), для исследований в операционных.

В зависимости от конструкции и условий эксплуатации Рентгенодиагностические аппараты разделяют на стационарные, передвижные и переносные.

Стационарные аппараты предназначены для эксплуатации в специально оборудованных помещениях.

Передвижные рентгенаппараты бывают трех типов:

- перевозимые на специальных автомобилях, например флюорографы;
- разборные полевые, предназначенные для исследования больных и раненых в военно-полевых, экспедиционных и экстремальных условиях;
- палатные, используемые для рентгенодиагностики в условиях стационара, вне рентгеновского отделения.

Переносные рентгеновские аппараты, используют для рентгенодиагностики на дому.

Основными элементами рентгенодиагностического аппарата являются

- рентгеновский излучатель,
- рентгеновское питающее устройство

- штативно-механические устройства.
- приемник излучения

Рентгеновский излучатель - устройство для генерирования излучения. Он содержит:

1. рентгеновскую трубку
2. высоковольтный генератор.

Конструктивно рентгеновский излучатель представляет собой разборный стальной освинцованный моноблок, заполненный маслом.

Рентгеновская трубка представляет собой высоковольтный электровакуумный прибор. Трубка состоит из накаливаемого катода, являющегося источником электронов, и анода, в веществе которого тормозятся электроны, ускоренные электрическим полем, приложенным к электродам трубки.

Электроды трубки помещаются в стеклянный баллон, объединяющий элементы трубки в единую конструкцию. Как и любая высоковольтная техника, рентгеновская трубка вакуумируется. Давление в трубке около 10^{-4} Па. Для чего нужен вакуум? Это необходимо для того, чтобы электроны, покидающие катод, не сталкивались с какими-либо частицами, в частности молекулами газа, и не меняли своего направления, и попадали на анод, а также для того, чтобы не было пробоя диэлектрика в пространстве между анодом и катодом. Если вакуум нарушается, во внутреннее пространство трубки попадают частички пыли, воздух, и трубка начинает искрить.

Рассмотрим устройство и принцип работы рентгеновской трубки. Перед включением высокого напряжения нить накала подогревного катода нагревается током низкого напряжения. Катод начинает испускать свободные электроны (т.е. происходит эмиссия электронов), которые образуют вокруг него электронное облако.

При включении высокого напряжения электроны устремляются к положительному аноду (антикатоде) и при столкновении с ним происходит резкое торможение и превращение их кинетической энергии в тепловую и энергию рентгеновского излучения.

Анод имеет наклонную поверхность, для того, чтобы направить возникающее рентгеновское излучение под углом к оси трубки.

Анод изготовлен из хорошо проводящего тепло материала для отвода теплоты, образующейся при ударе электронов. Поверхность анода выполнена из тугоплавких материалов, имеющих большой порядковый номер в табл. Менделеева, например из вольфрама.

Для того, чтобы рентгеновское изображение (или тень объекта) было четким, не размытым, необходимо добиться того, чтобы излучала не вся поверхность анода, а небольшое пятно, или точка, в которой должны сфокусироваться электроны. Чем меньше будет это пятно, тем четче будет полученное изображение. Поэтому конструктивно приходится учитывать две противоположные задачи:

1. с одной стороны, электроны должны попадать на одно место антикатада, с другой стороны - нельзя допускать перегрева анода. Для этого желателен равномерный распределение электронов по разным участкам анода. Поэтому все стационарные, многие передвижные и палатные аппараты комплектуют трубками с вращающимся анодом. На слайде слева приведена современная рентгеновская трубка: катод находится в специальной чашечке, анод имеет форму диска, причем поверхность диска также скошена (угол составляет 12-15 град), т.е. его срез имеет форму трапеции.

Диск вращается с помощью специального мотора. Между катодом и анодом прикладывается напряжение - до 150 кВ. Чем больше напряжение, тем быстрее разгоняются электроны, и тем более быстрые фотоны получаются на выходе. Выход тормозного и характеристического излучения осуществляется через тонкое бериллиевое окно, пронизываемое для этого излучения.

В рентгеновских аппаратах трубка находится в кожухе, заполненном трансформаторным маслом со свинцовой оболочкой для защиты от неиспользуемого излучения. В кожухе имеются также гнезда для присоединения высоковольтных кабелей.

Второй элемент излучателя рентгеновского аппарата - высоковольтный *генератор*, или блок генераторов. Он предназначен для преобразования электрической энергии в тормозное (рентгеновское) излучение с диапазоном ускоряющего напряжения от 40 до 150 кВ.

Рентгеновское питающее устройство

Устройством рентгеновским питающим (УРП) называется комплекс электрической, электромеханической и электронной аппаратуры, обеспечивающий питание рентгеновской трубки, выбор, регулирование и стабилизацию режимов ее работы, ее защиту от перегрузки при проведении различных видов диагностических исследований, а также согласованное взаимодействие всех узлов и блоков рентгеновского аппарата.

Основными техническими параметрами УРП являются: диапазон регулирования анодного напряжения (кВ) и анодного тока (мА) рентгеновской трубки при снимках (рентгенографии) и просвечивании (рентгеноскопии); предельно допустимая мощность, выделяемая на аноде трубки (кВт) при снимках и просвечивании; диапазон длительностей включения рентгеновского излучения (с) или количества электричества, протекающего через трубку (мКл); точность выполнения уставок анодного напряжения и тока, количества электричества или длительности включения излучения.

Радиационными показателями качества работы УРП являются: стабильность дозы излучения, спектральный состав, удельный радиационный выход.

Диапазон рабочих напряжений УРП медицинских рентгеновских аппаратов в зависимости от назначения меняться от 10 до 400 кВ и более. Для рентгенодиагностических аппаратов это значение ограничивается 150 кВ.

Более высокие напряжения имеют УРП рентгеновских аппаратов предназначенных для глубокой терапии.

Диапазон регулирования анодного тока составляет от десятых долей миллиампер в режиме просвечивания до 2-3А в режиме снимка.

В зависимости от длительности включения рентгеновского излучения различают следующие режимы работы УРП:

- длительный,
- повторно-кратковременный
- кратковременный.

На длительный режим рассчитаны УРП аппаратов для *лучевой терапии* (до 30 мин).

Повторно-кратковременный режим используется при *рентгеноскопии* до 5 минут с мощностью 100-500 Вт.

Кратковременный режим находит применение при *рентгенографии* с мощностью от 0,5 до 200 кВт и длительностью от 0,001 до 10 секунд. При этом необходимы переры-вы между включениями от десятков секунд до нескольких минут во избежание перегрева и выхода рентгеновской трубки из строя.

Допустимые длительности рабочих циклов и перерывов определяются нагрузочной способностью рентгеновской трубки и рентгеновского излучателя.

Системы УРП непрерывно совершенствуются в направлении улучшения их технических и эксплуатационных характеристик.

Основная тенденция развития УРП на современном этапе это введение микропроцессорной техники для автоматизации управления аппаратом, повышения удобства обслуживания, расширение автоматики управления по исследуемым органам тела, технической диагностики, повышение надежности, уменьшения массы и габаритов, широкое использование преобразования напряжения на повышенной частоте для получения анодного напряжения рентгеновских трубок.

Штативно-механические устройства - служат для взаимной ориентации в пространстве излучателя, пациента и приемника излучения.

Современные рентгеновские комплексы позволяют производить весь спектр исследований без перемещения пациента. При этом перемещается сам аппарат.

Приемник излучения — устройство для преобразования рентгеновского излучения, прошедшего через исследуемый объект, в видимое изображение или электрический сигнал.

Эволюцию развития приемников излучения условно можно разбить на 4 этапа:

1) На 1 этапе, в начале XX века, основными приемниками рентгеновского излучения являлись рентгеновская пленка для рентгенографии и люминесцентный экран для рентгеноскопии.

2) На следующем этапе, в начале 50-х годов, их заменили пленка с усиливающими экранами и усилители рентгеновского изображения (УРИ) на базе рентгеновских электронно-оптических преобразователей (РЭОП).

3) В конце XX века в рентгенографии начали применять цифровые детекторы, а в рентгеноскопии - цифровые усилители рентгеновского изображения.

4) Наконец, на 4 этапе, на пороге XXI века наметилась тенденция к интеграции приемников излучения: появились универсальные цифровые приемники.

Рассмотрим виды приемников излучения.

Рентгеновская пленка

Первыми приемниками изображения в рентгенографии были стеклянные пластинки, покрытые галоидами серебра. Позднее появилась фотопленка, способная воспринимать рентгеновское излучение.

Использование пленок в качестве преобразователей рентгеновского изображения основано на фотохимическом свойстве рентгеновских лучей, которое заключается в способности вызывать почернение пленки благодаря разложению галогенидов серебра, составляющих основу фотослоя.

Рентгеновская пленка представляет собой тонкую подложку из нитроцеллюлозы, на которую наносится слой фотографической эмульсии, состоящий из суспензии микроскопических кристаллов бромистого серебра в желатине. Толщина эмульсионных слоев достигает 0,03 мм. Для предохранения эмульсионные слои покрывали защитным слоем желатина толщиной 0,001 мм.

Пленки для рентгеновской диагностики могут быть различными по своей чувствительности и контрастности. Современные технологии позволяют создавать высокочувствительные пленки, на которые требуется меньшее количество излучения. Размер кристалликов бромида серебра также играет определенную роль в работе пленки. В случае небольшого размера зёрен, пленка обладает меньшей чувствительностью и требует большего количества излучения, но зато изображение получается более качественное, в силу высокого коэффициента контрастности.

Люминесцентный экран

Назначение рентгеновских люминесцентных экранов заключается в преобразовании коротковолнового рентгеновского излучения в более длинноволновое световое, приближенное к спектральной чувствительности глаза или приемника излучения.

Люминесцентный экран состоит из прозрачной подложки (стекло, целлулоид и др.), на которую нанесен слой рентгеночувствительного люминофора - вещества, способного преобразовывать поглощаемую им энергию в световое излучение (люминесцировать). Технические характеристики рентгеновских экранов зависят от таких параметров, как

химический и гранулометрический составы применяемого люминофора, структура, толщина слоя и др.

Усилители рентгеновского изображения

Усилитель рентгеновского изображения (УРИ) предназначен для многократного увеличения яркости рентгеновских изображений.

До появления УРИ рентгеновское изображение наблюдалось на флюоресцирующем экране, либо регистрировалось на пленку. При мощностях дозы рентгеновского излучения, которые допустимы в медицинской рентгенокопии, яркость флюоресцирующего экрана чрезвычайно мала и глаз рентгенолога работает в режиме сумеречного зрения.

С помощью УРИ только за счет усиления яркости рентгеновского изображения повышается информативность рентгенокопического исследования в несколько раз при мощности дозы в 3-5 раз меньшей, чем на рентгеновском экране.

Принцип работы заключается в следующем. Рентгеновские лучи бомбардируют входной экран (обычно это слой йодида цезия), который флюоресцирует пропорционально интенсивности рентгеновского излучения. Входной люминофор расположен в максимальной близости к фотокатоду, так что свет стимулирует испускание электронов. Эти электроны ускоряются высоким напряжением порядка кВ и фокусируются электрическим полем. Они бомбардируют выходной люминофор, который формирует изображение, являющееся меньшим по размеру, но более ярким, чем полученное во входном люминофоре.

Современные УРИ состоят из электронно-оптического блока, телевизионного канала, монитора и канала цифровой рентгенографии. В электронно-оптическом блоке, который устанавливается на рентгеновском аппарате вместо рентгеновского экрана, происходит преобразование невидимого рентгеновского изображения в видеосигнал. Видеосигнал с телевизионной камеры эл.оптич. блока поступает в блок телевизионного канала, в котором после определенных электронных обработок формируется видеосигнал для монитора и канала цифровой рентгенографии.

Рентгеновская (радиографическая) кассета

Чувствительность пленки крайне низкая. Только 1—2% излучения, формирующего теневое изображение, поглощается пленкой. Поэтому в настоящее время прямое экспонирование пленки практически полностью заменено *рентгеновскими (радиографическими) кассетами*.

Внутренняя поверхность кассеты покрыта люминофором (сцинтиллятором), который образует *рентгеноусиливающий экран*.

Рентгеновская кассета заряжается рентгенографической пленкой между двумя усиливающими экранами. Свечение усиливающих экранов под действием рентгеновского излучения в 60—100 раз повышает чувствительность рентгенографической пленки (при этом снижается доза радиационной нагрузки на пациента), фотографический эмульсионный слой

которой состоит из микроскопических кристаллов бромистого серебра в желатине.

Цифровые детекторы

Запоминающие пластины (CR системы)

Широкое распространение получила цифровая рентгенография, использующая вместо пленки - специальные гибкие пластины многократного использования. Метод основан на фиксации рентгеновского изображения экраном, покрытым специальным люминофором и внешне похожим на обычный усиливающий экран, который также устанавливается в кассету. В момент рентгеновской экспозиции происходит запоминание информации люминофором в виде скрытого изображения, которое способно сохраняться длительное время (до 6 ч). Считывание скрытого изображения производится инфракрасным лазером, который стимулирует люминофор (отсюда другое название: “система на стимулированных люминофорах”).

Под действием лазера происходит освобождение накопленной на люминофорах энергии в виде вспышек света. Свечение, как у обычных усиливающих экранов, пропорционально числу рентгеновских фотонов, поглощенных запоминающим люминофором. Эти вспышки видимого света преобразуются фотоэлектронным умножителем в электрические сигналы, а затем с помощью аналого-цифрового преобразователя – в цифровые данные, которые формируют цифровую матрицу, отражающую яркостные показатели каждого пикселя. Оставшееся на экране скрытое изображение стирается интенсивной засветкой видимым светом, после чего экран, в отличие от пленки, можно многократно использовать вновь.

Разрешающая способность люминесцентной цифровой рентгенографии в значительной мере определяется размером пикселя, который колеблется от 0,1х0,1 мм при использовании запоминающих экранов не более 20х20 см и до 0,2х0,2 мм в случае использования экранов размером 35х43 см.

Плоскопанельные детекторы рентгеновского излучения (DR системы – панель-детектор)

Плоскопанельный детектор на основе аморфного кремния и сцинтиллятора оксисульфида гадолиния состоит из следующих элементов:

- матрицы на основе фотодиодов;
- сцинтиллятора на активной поверхности области матрицы
- встроенной системы обработки сигнала;
- интерфейса.

Устройство отправляет данные на компьютер пользователя при помощи беспроводного соединения для дальнейшей обработки, распечатки, передачи или архивирования.

Панель-детектор (DR-система) имеет свой аккумулятор. Таким образом, может использоваться старый рентгеновский аппарат, имеющий кассетоприемник и вай-фай панель. Цифровой детектор, вставленный в

касетоприемник, может работать целый день. Все данные передаются с детектора на компьютер через вай-фай.

Устройство интегрируется с любым рентгеновским аппаратом и может использоваться в стандартных экрано-снимочных системах.

6 Принципы защиты от рентгеновских лучей.

При соблюдении правильной техники и методики рентгенологическое исследование является безопасным и не может причинить вреда обследуемому.

Существуют три основных принципа защиты от воздействия рентгеновских излучений.

1. Защита экранированием:

- стационарные средства - баритовая штукатурка стен кабинета, двери с листовым свинцовым покрытием, просвинцованное стекло в смотровых окнах;

- передвижные: защитные ширмы, также с листовым свинцовым покрытием;

- индивидуальные средства: фартуки, перчатки, колпаки и бахилы из просвинцованной резины для персонала.

2. Защита расстоянием - расположение рабочих мест персонала с максимальным удалением их от источника излучения, максимально возможное расстояние между рентгеновской трубкой и пациентом.

3 Защита временем, т.е. чем меньше время облучения (время экспозиции), тем меньше доза. В связи с этим существует строгая регламентация рабочего дня рентгенолога и время проведения рентгенодиагностических процедур.

Например, при рентгенографии экспозиция длится в среднем до 1 - 3 с, рентгеноскопия грудной клетки - 5 мин, желудка - 10 мин и т.д.

7. Приспособления, позволяющие уменьшить лучевую нагрузку на врача и пациента.

Усилитель рентгеновского изображения (УРИ) (электронно-оптический преобразователь) - *принцип работы был рассмотрен выше;*

Устройства для формирования поля излучения в пространстве и во времени. Излучение, выходящее из излучателя необходимо формировать в пространстве и во времени. Для формирования поля излучения в пространстве применяют *диафрагмы, тубусы и отсеивающие растры*. Они располагаются обычно на излучателе, штативе или приемнике излучения. Формирование поля излучения во времени осуществляют с помощью автоматических рентгеновских экспонометров и стабилизаторов яркости.

Тубус - приспособление к рентгеновскому аппарату в виде металлического усеченного конуса, ограничивающее поле облучения;

Диафрагма имеет вид свинцовых шторок, она, как и тубус, сужает поле облучения и уменьшает количество рассеянных лучей с теми же преимуществами.

Отсеивающий растр (отсеивающая решетка) представляет собой набор тонких чередующихся полос из рентгенопрозрачного и рентгенопоглощающего материала, ориентированных на фокус рентгеновской трубки. Растр устанавливается между пациентом и приемником излучения и служит для уменьшения влияния на качество изображения вторичного (рассеянного) излучения. В большинстве современных диагностических рентгеновских аппаратах между растром и кассетой с пленкой располагается камера рентгеноэкспонетра — прибора, который автоматически отключает напряжение на рентгеновской трубке при накоплении пленкой экспозиционной дозы излучения, обеспечивающей заданное значение плотности ее почернения после фотографической обработки.

В отечественной рентгеновской аппаратуре применяются рентгеноэкспонетры ионизационного типа, которые автоматически, под действием ионизации воздуха, подают в реле времени сигнал на отключение аппарата.