

**ФГБОУ ВО «КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра нормальной физиологии**

**Учебно-методическое пособие для студентов  
к практическим занятиям**

**по теме:**

**РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.  
РАДИОАКТИВНОСТЬ.**

## Рентгеновское излучение

**Рентгеновское излучение** — электромагнитные волны с длиной волны от 80 до  $10^{-5}$  нм. Длинноволновое рентгеновское излучение перекрывается коротковолновым УФ излучением, коротковолновое — длинноволновым  $\gamma$  - излучением. Коротковолновое (жесткое) излучение обладает большей проникающей способностью, чем длинноволновое (мягкое). Мягкое излучение сильнее поглощается веществом.

Рентгеновское излучение получают в рентгеновских трубках.

Воздействие рентгеновского излучения на объекты определяется первичными процессами взаимодействия рентгеновского фотона с электронами атомов и молекул вещества.

Рентгеновское излучение в веществе рассеивается или поглощается. При этом могут происходить различные процессы (когерентное рассеяние, некогерентное рассеяние, фотоэффект — первичные процессы, рентгенолюминесценция — вторичный процесс), которые определяются соотношением энергии рентгеновского фотона  $h\nu$  и работой ионизации  $A_{и}$  (работа ионизации  $A_{и}$  — энергия, необходимая для отрыва электронов от атома или молекулы).

Поток рентгеновского излучения ослабляется в веществе по закону:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\mu x},$$

где  $\mu$  — линейный коэффициент ослабления, который существенно зависит от плотности вещества. Он равен сумме трех слагаемых, соответствующих когерентному рассеянию  $\mu_1$ , некогерентному  $\mu_2$  и фотоэффекту  $\mu_3$ :  $\mu = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3$ .

Рентгеновское излучение при падении на тело незначительно отражается от его поверхности, а в основном проходит вглубь, при этом частично поглощается и рассеивается, частично проходит насквозь. Пользуются массовым коэффициентом ослабления, который не зависит от плотности вещества  $\rho$ :  $\mu_m = \mu / \rho$ .

Массовый коэффициент ослабления зависит от энергии фотона и от атомного номера вещества-поглотителя:

$$\mu_m = k\lambda^3 Z^3.$$

Массовые коэффициенты ослабления кости и мягкой ткани (воды) отличаются:

$$\mu_{м\text{ кости}} / \mu_{м\text{ воды}} = 68.$$

Если на пути рентгеновских лучей поместить неоднородное тело и за ним поставить флуоресцирующий экран, то это тело, поглощая или ослабляя излучение, образует на экране тень. По характеру этой тени можно судить о форме, плотности, структуре, а во многих случаях и о природе тел. То есть существенное различие поглощения рентгеновского излучения разными тканями позволяет в теневой проекции видеть изображение внутренних органов.

Если исследуемый орган и окружающие ткани одинаково ослабляют рентгеновское излучение, то применяют рентгеноконтрастные вещества (содержащие элементы с большим  $Z$ ). Так, например, наполнив желудок и кишечник кашеобразной массой сульфата бария ( $BaSO_4$ ), можно видеть их теневое изображение (соотношение коэффициентов ослабления в этом случае равно 354). При исследовании сосудистого русла часто используют нетоксичные для организма соединения йода.

В медицине используется рентгеновское излучение с энергией фотонов от 60 до 100-120 кэВ — при диагностике и 150-200 кэВ — при терапии.

**Рентгенодиагностика** — распознавание заболеваний при помощи просвечивания тела рентгеновским излучением. Для рентгенодиагностики используется излучение, для которого первичные процессы взаимодействия с веществом обуславливаются в основном фотоэффектом.

Рентгенодиагностика:

### 1. Рентгеноскопия (просвечивание)

Рентгеновская трубка расположена позади пациента. Перед ним располагается флуоресцирующий экран. На экране наблюдается теневое изображение. В каждом отдельном случае подбирается соответствующая жесткость излучения, так чтобы оно проходило через мягкие ткани, но достаточно поглощалось плотными. В противном случае получается однородная тень. На экране сердце, ребра видны темными, легкие — светлыми.

### 2. Рентгенография (снимок)

Объект помещается на кассете, в которую вложена пленка со специальной фотоэмульсией. Рентгеновская трубка располагается над объектом. Получаемая рентгенограмма дает негативное изображение, то есть обратное по контрасту с картиной, наблюдаемой при просвечивании. В данном методе имеется возможность наблюдать детали, которые трудно рассмотреть при просвечивании.

Преимуществом этого метода является малое время облучения (меньшая доза), а недостатком — объект нельзя проследить в динамике.

### 3. Флюорография

При флюорографии на чувствительной малоформатной пленке фиксируется изображение с большого экрана. Снимки рассматриваются на специальном увеличителе.

Важной задачей рентгенодиагностики является получение изображений внутренних органов человека в различных сечениях. Эта задача решена с созданием **рентгеновской компьютерной томографии (КТ)**.

Расходящийся веерный пучок рентгеновских лучей, проходя через объект, попадает на линейку детекторов, число которых составляет от 300 до 700 и более (чем их больше, тем выше разрешающая способность метода). Система излучатель – детекторы вращаются вокруг объекта, создавая рентгеновские «электронные снимки» объекта под разными углами, через 1-2 градуса поворота. При исследовании система совершает обычно полный оборот и производит за это время 300-400 включений. Зарегистрированные линейкой детекторов многочисленные рентгеновские проекции органа в заданной плоскости поступают в компьютер, который обрабатывает их по специальной программе и вычисляет рентгеновскую плотность в каждой точке исследованного сечения, после чего выводит получившееся изображение в серой шкале на экран монитора.

Рентгеновская компьютерная томография позволяет получить послойное изображение органов и различать структуры, имеющие отличия лишь на 0,1% по показателю поглощения и не менее 2 мм по размерам деталей.

**Рентгенотерапия** — использование рентгеновского излучения для уничтожения злокачественных образований. Биологическое действие излучения заключается в нарушении жизнедеятельности особенно быстро размножающихся клеток.

### Радиоактивность

**Радиоактивность** — способность некоторых атомных ядер самопроизвольно (спонтанно) превращаться в другие ядра с испусканием частиц.

Существуют два вида радиоактивности:

1. естественная, которая встречается у природных неустойчивых ядер;
2. искусственная, которая встречается у радиоактивных ядер, образованных в результате различных ядерных реакций; источником искусственной радиоактивности могут являться и радиоактивные осадки.

При любых видах распада выполняются законы сохранения электрического заряда, массового числа, полной энергии и импульса.

### Основной закон радиоактивного распада

**Радиоактивный распад** — явление статистическое. Можно установить вероятность распада одного ядра за определенный промежуток времени. За равные промежутки времени распадаются одинаковые доли наличных (то есть еще не распавшихся к началу данного промежутка) ядер данного элемента.

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где  $N_0$  - исходное число радиоактивных ядер,  $N$  их число, оставшееся к моменту времени  $t$ ,  $\lambda$  — постоянная распада, обратная времени, в течение которого число радиоактивных ядер уменьшается в «е» раз (характеризует вероятность распада данного ядра).

На практике вместо постоянной распада  $\lambda$  часто используют другую величину, называемую периодом полураспада.

**Период полураспада (T)** — это время, в течение которого распадается половина радиоактивных ядер.

$$T = \ln 2 / \lambda.$$

При работе с радиоактивным источником важно знать общее число частиц, вылетающих из препарата за единицу времени. Эта величина зависит от того, сколько частиц (включая  $\gamma$  - фотоны) образуется при распаде одного ядра, и от числа распадов за  $t = 1$  с. Скорость радиоактивного распада называется активностью.

Активность — число ядер радиоактивного препарата, распадающихся за единицу времени:

$$A = \lambda N.$$

### Основные типы радиоактивного распада

В процессе изучения явления радиоактивности были обнаружены 3 вида лучей, испускаемых радиоактивными ядрами, которые получили названия  $\alpha$  -,  $\beta$  - и  $\gamma$  - лучей.

$\alpha$  - частицы — это ядра гелия,  $\beta$  - частицы — электроны (позитроны), а  $\gamma$  - частицы — кванты электромагнитного излучения. Альфа- и  $\gamma$  - частицы образуются при распаде, получившем название  $\alpha$  -распад, а  $\beta$  -частицы возникают при  $\beta$  -распаде.

**Альфа-распад** состоит в самопроизвольном превращении ядра с испусканием  $\alpha$  -частиц (ядра гелия). Альфа-распад сопровождается  $\gamma$  - излучением. Альфа-излучение отклоняется электрическим и магнитным полями, обладает высокой ионизирующей способностью и малой проникающей способностью.

**Бета-распад** состоит в самопроизвольном превращении ядра с испусканием электронов (или позитронов).

Это излучение отклоняется электрическим и магнитными полями; его ионизирующая способность значительно меньше, а проникающая способность гораздо больше, чем у  $\alpha$  -частиц; оно сильно рассеивается веществом.

Различают следующие виды  $\beta$ -распада:

1. Электронный. Электрон образуется вследствие внутриядерного превращения нейтрона в протон.

Один из наиболее известных бета-распадов происходит у встречающегося в природе изотопа углерода-14.

2. Позитронный. Позитрон образуется вследствие внутриядерного превращения протона в нейтрон.

Кроме процессов  $\beta$  - распада имеет место электронный захват. При захвате электрона в ядре протон превращается в нейтрон и испускается нейтрино.

Нейтрино и антинейтрино — электрически нейтральные частицы, слабо взаимодействующие с веществом. Их проникающая способность столь огромна, что пробег нейтрино с энергией 1 МэВ в свинце составляет  $10^{18}$  км.

**Гамма-излучение** имеет электромагнитную природу и представляет собой фотоны с длиной волны  $\lambda \leq 10^{-10}$  м.

Гамма-излучение не является самостоятельным видом радиоактивного распада. Излучение этого типа почти всегда сопровождает не только  $\alpha$  -распад и  $\beta$  -распад, но и более сложные ядерные реакции. Оно не отклоняется электрическим и магнитным полями. Оно обладает относительно слабой ионизирующей способностью и очень большой проникающей способностью. Для него характерна малая длина волны (1-10 нм).

### Радионуклиды

При введении в организм многие элементы избирательно концентрируются в определенных органах или участках ткани. Йод, например, концентрируется в щитовидной железе, а кальций — в костях. Применение радиоизотопов этих элементов позволяет обнаруживать их по радиоактивному излучению и получать таким образом важную диагностическую информацию.

С другой стороны, накопление радиоактивного элемента в некоторых тканях позволяет осуществлять их избирательное облучение. Это обуславливает 2 главных направления использования радионуклидов (радиоактивных атомов) в медицине: диагностическое и терапевтическое.

**Радиодиагностика** — метод меченых атомов. Для осуществления радиодиагностики в организм вводят радионуклиды и определяют:

1. их расположение;
2. скорость их накопления;
3. активность в органах и тканях.

Радиофармпрепараты (РФП) широко применяются в реабилитационной медицине. При выборе используемого радиоактивного нуклида руководствуются следующими критериями.

1. Оптимальным нуклидом для РФП является тот, который позволяет получить максимум диагностической информации при минимальной радиационной нагрузке на больного. Выбирается такой РФП, который быстро вводится в исследуемый орган и быстро выводится из организма.

2. РФП должен обладать коротким периодом полураспада.

3. Нуклид должен быть источником гамма-излучения, которое удобно для наружной регистрации.

4. Пригодность РФП определяется биологической характеристикой отражения функций организма или отдельного органа (например, избирательное поглощение изотопа йода  $^{131}\text{I}$  щитовидной железой).

5. РФП, вводимые внутрь организма, не должны содержать токсических примесей или радиоактивных веществ, которые в результате распада образуют долгоживущие дочерние нуклиды.

В настоящее время используется огромное количество изотопов для различных областей медицины. Характеристики некоторых часто используемых изотопов приведены в таблице.

Изотоп	Период полураспада ( $T$ )	Вид излучения	Механизм действия
Йод $^{131}\text{I}$	8,1 дня	$\beta$ -излучение $\gamma$ -излучение	Участвует в обменных процессах в организме, в т.ч. в щитовидной железе
Йод $^{125}\text{I}$	60 дней	$\gamma$ -излучение	Для метки гормонов, определяемых в сыворотке крови больного <i>in vitro</i>
Йод $^{132}\text{I}$	2,3 часа	$\gamma$ -излучение	Короткий период полураспада и отсутствие $\beta$ -излучения уменьшает радиационную нагрузку на щитовидную железу примерно в 200 раз по сравнению с $^{131}\text{I}$ , что позволяет применять его у детей
Технеций $^{99}\text{Tc}$	6 часов	$\gamma$ -излучение	Используются стандартные наборы реагентов, связывающиеся с этим изотопом и поставляющие его в определенный орган (печень, желчный пузырь, кишечник)
Фосфор $^{32}\text{P}$	14,2 дня	$\beta$ -излучение	Используется для диагностики злокачественных новообразований глаз, кожи слизистых оболочек, молочной железы, головного мозга.

### Терапевтическое воздействие.

Использование радионуклидов в терапевтических целях основано на разрушающем действии ионизирующего излучения на клетки опухолей.

1. **Гамма-терапия** — использование  $\gamma$  - излучения высокой энергии (источник  $^{60}\text{Co}$ ) для разрушения глубоко расположенных опухолей. Чтобы поверхностно расположенные ткани и органы не подвергались губительному действию, воздействие ионизирующего излучения осуществляется в разные сеансы по разным направлениям.

2. **Альфа-терапия** — лечебное использование  $\alpha$  - частиц. Эти частицы обладают значительной линейной плотностью ионизации, поэтому поглощаются даже небольшим слоем воздуха. Использование альфа-частиц возможно при контакте с организмом или при введении внутрь (с помощью иглы). Применяется радоновая терапия с использованием  $^{222}\text{Rn}$ : воздействие на кожу (ванны), органы пищеварения (питье), органы дыхания (ингаляции).

В некоторых случаях лечебное применение  $\alpha$  - частиц связано с использованием потока нейтронов. При этом методе в ткань (опухоль) предварительно вводят элементы, ядра которых под действием нейтронов вступают в ядерную реакцию с образованием  $\alpha$  - частиц. Облучая после этого больной орган потоком нейтронов, вызывают ядерную реакцию и, следовательно, образование  $\alpha$  - частиц. Таким способом  $\alpha$  - частицы образуются прямо внутри органа, на который они должны оказать разрушительное воздействие. Радиоактивный препарат можно ввести в больной орган на острие иглы.