

# Гигиена ионизирующих излучений

или

Введение в радиационную гигиену



# Ионизирующее излучение

- излучение,  
взаимодействие которого с веществом  
приводит к образованию  
в этом веществе  
ионов разного знака.

# Классификация ионизирующих излучений

## Корпускулярные:

- ядра гелия ( $\alpha$ -лучи)
- электроны ( $\beta$ -лучи)
- позитроны ( $\beta$ -лучи)
- нейтроны
- протоны

- и др.

## Электромагнитные:

- $\gamma$ -лучи
- рентгеновские лучи

# Основные свойства ионизирующих излучений

- ПЛОТНОСТЬ ИОНИЗАЦИИ



длина пробега в воздухе и  
биологических тканях

- ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВЕЩЕСТВОМ

# Удельная плотность ионизации


это число пар ионов,  
образованных  
частицей или квантом излучения,  
на единицу длины пути  
в данном веществе.

# Удельная плотность ионизации

Излучения	Удельная плотность ионизации
$\alpha$ -лучи	Десятки тысяч пар ионов
$\beta$ -лучи	Десятки пар ионов
Нейтроны	От нескольких единиц до десятков пар ионов
$\gamma$ - и рентгеновские лучи	Несколько пар ионов

**Дозы  
ионизирующего  
излучения**

# Экспозиционная доза

 это доза излучения, определяемая по степени ионизации воздуха в условиях электронного равновесия.

## Единицы измерения:

1. Кулон на килограмм (кулон/кг).
2. Внесистемная единица – рентген (Р).

(В нормах радиационной безопасности 1999 года экспозиционная доза не упоминается, но в специальной литературе этот термин встречается часто, поэтому его необходимо знать).



# Поглощённая доза

- величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу.

## Единицы измерения:

1. Дж/кг, эта единица имеет специальное название - грей (Гр);
2. Внесистемная единица – рад (равна 0,01 Гр).

# Эквивалентная доза

это поглощённая доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент данного вида излучения.

## Единицы измерения:

1. Зиверт (Зв);
2. Внесистемная единица – бэр (это аббревиатура: биологический эквивалент рада).

Взвешивающими коэффициентами для отдельных видов излучения при расчёте эквивалентной дозы называются

используемые в радиационной защите множители поглощённой дозы, учитывающие относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов.

# Эффективная доза

- это величина, используемая как мера риска возникновения отдалённых последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учётом их радиочувствительности.

## Единицы измерения:

1. Зиверт (Зв);
2. Внесистемная единица – бэр (это аббревиатура: биологический эквивалент рада).

# Расчёт эффективной дозы

Эффективная доза представляет собой сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты

Взвешивающими коэффициентами для тканей и органов при расчёте эффективной дозы называются

множители эквивалентной дозы  
в органах и тканях,  
используемые в радиационной защите  
для учёта различной чувствительности  
разных органов и тканей  
в возникновении  
стохастических эффектов радиации.

# Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов

Органы и ткани	Взвешивающие коэффициенты
Гонады	0,20
Костный мозг (красный)	0,12
Толстый кишечник	0,12
Лёгкие	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Клетки костных поверхностей	0,01
Остальное	0,05

# Биологическое действие ионизирующих излучений

## Первым этапом

развития лучевого поражения  
являются процессы взаимодействия  
ионизирующих излучений  
с веществом клетки,  
в результате чего образуются  
ионизированные и возбуждённые  
атомы и молекулы.



Ионизированные и возбуждённые  
атомы и молекулы  
взаимодействуют между собой  
и с различными молекулярными  
системами,  
создавая химически активные центры:  
свободные радикалы, ионы,  
ион радикалы и др.  
Кроме того,  
возможен разрыв связей в молекулах.

# Схема процесса ионизации молекул воды:



# Биологическое действие ионизирующих излучений

Образовавшиеся ионы молекул воды начинают реагировать с различными биологическими структурами.

При этом отмечается как деструкция, так и образование новых, не свойственных для облучаемого организма соединений.

Это приводит к нарушению обмена веществ

в биологических системах

с изменением соответствующих функций.

Радиационные поражения  
молекулярных структур  
и наиболее радиочувствительных  
надмолекулярных образований  
проявляются затем  
в изменениях  
белков, липидов и углеводов.

## Последствия изменений белков, липидов и углеводов

1. Изменяется структура белков.
2. Образуются дисульфидные связи.
3. Снижается содержание свободных аминокислот в тканях.
4. Изменяется активность ферментных систем.
5. Нарушается окислительное фосфорилирование.
6. Разрушаются дезоксирибонуклеиновые комплексы.
7. Окисляются и распадаются простые сахара.
8. Образуются органические кислоты и формальдегид.
9. Облучение липидов ведёт к образованию перекисей.

# Биологическое действие ионизирующих излучений

Наиболее чувствительными к облучению являются ядра и митохондрии клеток.

При этом происходят количественные и качественные изменения ДНК и разобщается процесс синтеза ДНК – РНК – белок, в цитоплазму выбрасываются ионы натрия и калия, нарушается нормальная функция мембран, возможны разрывы хромосом, хромосомные аберрации, мутации.

Чем выше скорость протекающих в клетках обменных процессов, тем более клетки радиочувствительны.

# Проявления радиационного воздействия очень разнообразны:


Острая и хроническая лучевая болезнь,  
злокачественные новообразования,  
преждевременное старение и  
сокращение жизни,  
эмбриотропное действие,  
локальные поражения кожи,  
поражения хрусталика,  
кроветворного мозга,  
щитовидной железы и др.

Биологические эффекты  
действия ионизирующей  
радиации на организм  
человека





# Эффекты излучения детерминированные

 клинически выявляемые  
вредные биологические эффекты,  
вызванные ионизирующим излучением,  
в отношении которых предполагается  
существование порога,  
ниже которого эффект отсутствует,  
а выше –  
тяжесть эффекта зависит от дозы.

# Эффекты излучения стохастические

- вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, не имеющие дозового порога возникновения, вероятность возникновения которых пропорциональна дозе и для которых тяжесть проявления не зависит от дозы.



# Виды радиобиологических повреждений у млекопитающих

Уровень биологической организации	Важнейшие радиационные эффекты
1. Молекулярный	Повреждение макромолекул – ферментов, РНК, ДНК и воздействие на обменные процессы.
2. Субклеточный	Повреждения клеточных мембран, ядер, хромосом, митохондрий и лизосом.
3. Клеточный	Подавление деления клеток, гибель клеток, злокачественная трансформация.
4. Ткани, органы	Нарушение таких систем, как ЦНС, костный мозг, желудочно-кишечный тракт, лучевые ожоги, катаракта хрусталика.
5. Весь организм	Замедление роста детей, слабоумие, радиационное сокращение жизни, смерть.
6. Популяция	Изменение генетических характеристик вследствие генных и хромосомных мутаций у индивидуумов.

# Облучение человека

## Облучение

- воздействие на людей ионизирующего излучения, которое может быть внешним воздействием от источников, находящихся вне тела человека, или внутренним воздействием от источников, попавших внутри его организма (НРБ, 1996).

Облучение  
– воздействие на человека ионизирующего излучения (НРБ, 1999).

# Виды облучения

Внешнее облучение –  
воздействие на людей  
ионизирующего  
излучения от  
источников,  
находящихся вне тела  
человека.

Внутренне облучение –  
воздействие на  
человека  
ионизирующего  
излучения от  
источников, попавших  
внутрь его организма.

# Гигиеническая регламентация ионизирующих излучений

осуществляется в соответствии с принципом приемлемого или допустимого риска.

Фактически в СССР была использована концепция «недопустимости реализации риска», то есть допускалось учащение стохастических заболеваний на популяционном уровне, но они не могли быть зарегистрированы у отдельного индивидуума.

# Приемлемый риск

есть не что иное, как своего рода  
компенсация  
потенциально возможного  
ущерба здоровью  
за те неоспоримые  
социальные выгоды и экономическую пользу  
для всего общества,  
которые обеспечиваются высокоэффективными,  
в данном случае атомными, технологиями (Л.А.Ильин и  
др., 1999).

При снижении  
риска потенциального облучения существует  
минимальный уровень риска, ниже которого  
он считается пренебрежимым,  
и дальнейшее его снижение нецелесообразно



# Основные принципы радиационной безопасности

1. Непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения (принцип нормирования).

# Основные принципы радиационной безопасности

2. Запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превысит риск возможного вреда, причинённого дополнительным облучением (принцип обоснования).

# Основные принципы радиационной безопасности


## 3. Поддержание

на возможно низком и достижимом уровне индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения (принцип оптимизации).

# Классы нормативов и категории населения

Классы нормативов	Категории населения		
	Персонал		Население
	Группа А	Группа Б	
Основные дозовые пределы	Предел дозы	Предел дозы	Предел дозы
Допустимые уровни	ПГП, ДОО, МЗУА, минимально значимая активность в помещении или на рабочем месте (МЗА) и др.	ПГП, ДОО, МЗУА, минимально значимая активность в помещении или на рабочем месте (МЗА) и др.	
Контрольные уровни			

# Предел дозы

 величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы. Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне.

# Допустимые уровни

## Допустимые уровни

– это производные нормативы от пределов дозы:

- предельно допустимое годовое поступление (ПГП),
- среднегодовая объёмная активность во вдыхаемом воздухе (ДОВА),
- среднегодовые допустимые плотности потока моноэнергических  $\beta$ -частиц и фотонов,
- допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи, спецодежды и средств индивидуальной защиты,
- минимально значимая удельная активность (МЗУА),
- минимально значимая активность в помещении или на рабочем месте (МЗА).

# Контрольные уровни

## Уровень контрольный

– значение контролируемой величины дозы, мощности дозы, радиоактивного загрязнения и т.д., устанавливаемое для оперативного радиационного контроля, с целью закрепления достигнутого уровня радиационной безопасности, обеспечения дальнейшего снижения облучения персонала и населения, радиоактивного загрязнения окружающей среды (НРБ, 1999).

# Источники ионизирующих излучений

Источником ионизирующих излучений  
называется  
радиоактивное вещество или устройство,  
испускающее  
или способное испускать  
ионизирующее излучение  
(НРБ, 1999).



# Источник радионуклидный закрытый



источник излучения,  
устройство которого  
исключает поступление  
содержащихся в нём радионуклидов  
в окружающую среду  
в условиях применения и износа,  
на которые он рассчитан.

# Источник радионуклидный открытый



источник излучения,  
при использовании которого  
возможно поступление  
содержащихся в нём радионуклидов  
в окружающую среду.

# Устройство (источник), генерирующее ионизирующее излучение



это электрофизическое устройство  
(рентгеновский аппарат, ускоритель,  
генератор и т.д.),  
в котором ионизирующее излучение  
возникает за счёт изменения  
скорости заряженных частиц,  
их аннигиляции  
или ядерных реакций.

# Единицы измерения радиоактивности

## Активность

– мера радиоактивности  
какого-либо количества радионуклида,  
находящегося в данном энергетическом  
состоянии в данный момент времени.

## Единицы активности:

- беккерель (Бк) – равен одному превращению (распаду) атома в секунду;
- кюри (Ки) =  $3,7 \times 10^{10}$  Бк;
- миллиграмм-эквивалент радия.

# Миллиграмм-эквивалент радия

- АКТИВНОСТЬ  
такого источника,  
 $\gamma$ -излучение которого создаёт  
на расстоянии 1 см такую же  
МОЩНОСТЬ ДОЗЫ,  
что и 1 мг равновесного радия,  
заключённый в платиновый фильтр  
толщиной 0,5 мм (то есть 8,4 Р/час).

# Принципы защиты при работе с закрытыми источниками ионизирующих излучений

- Защита активностью.
- Защита расстоянием.
  - Защита временем.
  - Защита экранами.

# Принципы защиты при работе с открытыми источниками ионизирующих излучений

1. Защита активностью, временем, расстоянием и экранами.
2. Все меры, направленные на предотвращение попадания радионуклидов в окружающую среду, а поэтому и в организм человека: работа в вытяжных шкафах, боксах, вентиляция, халаты, бахилы, шапочки, перчатки, изолирующие пневмокостюмы, специальные требования к полам, стенам, потолкам, батареям центрального отопления, мебели (они не должны адсорбировать радионуклиды) и др.

К О Н Е Ц  
лекции