

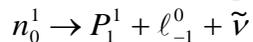
ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.

1. Радиоактивный распад. Виды радиоактивного распада.
2. α -распад. Характеристика α -излучения и взаимодействие α -излучения с веществом. Характеристика γ -излучения.
3. β -распад. Характеристика β -излучения и взаимодействие β -излучения с веществом.
4. Закон радиоактивного распада. Активность, единицы активности.
5. Биофизика действия ионизирующего излучения на биологические объекты.
6. Радионуклиды и их применение в медицине.

I. Радиоактивный распад. Виды радиоактивного распада

Радиоактивность- свойство ядер определённых элементов самопроизвольно превращаться в ядра других элементов с испусканием особого рода излучения, называемого радиоактивным излучением.

Ядра всех атомов построены из протонов и нейтронов. Далеко не всякая совокупность нуклонов образует устойчивую систему. В природе не существует стабильных ядер, состоящих только из протонов или из одних нейтронов. Системы, состоящие только из протонов неустойчивы за счет действия сил кулоновского отталкивания между протонами. Причина нестабильности систем из одних нейтронов заключается в нестабильности свободного нейтрона.



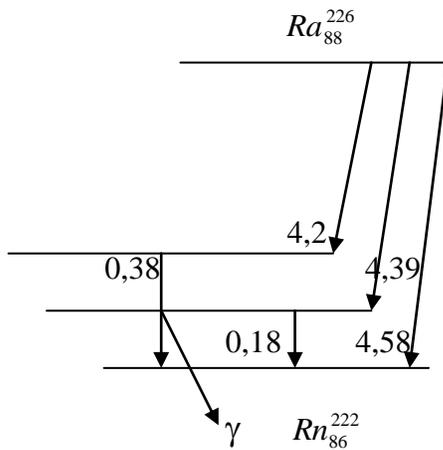
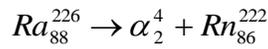
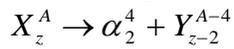
Распад нейтрона есть проявление фундаментального свойства нуклонов- способность к взаимным превращениям. Смешанные системы из протонов и нейтронов могут быть стабильными. Среди лёгких ядер устойчивыми являются ядра с примерно равным количеством P_1^1 и n_0^1 в ядре. По мере увеличения атомного номера число нейтронов в стабильных ядрах начинает всё более превышать число протонов. Тяжёлые ядра с одинаковым числом протонов и нейтронов неустойчивы по той причине, что с увеличением массового числа растут линейные размеры ядра, а с ростом линейных размеров ядра короткодействующие ядерные силы убывают быстрее кулоновских. Неустойчивость ядер может проявляться в форме динамической нестабильности, приводящей к самопроизвольному распаду ядра. Существуют следующие виды радиоактивного распада:

1. α -распад
2. β_{-1}^0 -распад
3. β_{+1}^0 -распад
4. Электронный захват.

II. α -распад. Характеристика α -излучения и взаимодействие α -излучения с веществом. Характеристика γ -излучения.

α -распадом называется самопроизвольное превращение ядра одного элемента в ядро другого с массовым числом меньшим на 4 единицы и с зарядом меньшим на 2 единицы. α -частицы получаются при α -распаде. α -распад наблюдается только у тяжёлых ядер с порядковым номером $z > 82$. Существует около 200 α - активных ядер.

Схема . α -распада:



Энергия . α -частиц лежит в интервале (4-9) МэВ.

Спектр . α -излучения линейчатый. В результате распада образуется 3 группы . α -частиц с одинаковой энергией: $E_1=4,58$ МэВ, $E_2=4,39$ МэВ, $E_3=4,20$ МэВ.

В результате α -распада при переходе образовавшегося ядра из возбуждённого состояние в невозбуждённое избыток энергии выделяется в виде электромагнитного излучения γ - квантов.

Механизм α -распада:



Полученная α -частица удерживается внутри ядра ядерными силами и через $t=10^{-21}$ с снова распадается на нуклоны.

При некоторых условиях α_2^4 -частицы могут преодолеть потенциальный барьер образуемый ядерными силами и оторваться от ядра. Этот эффект имеет квантомеханическую природу и называется туннельным эффектом. Вероятность этого эффекта тем больше, чем выше энергия частицы.

Взаимодействие α - излучения с веществом.

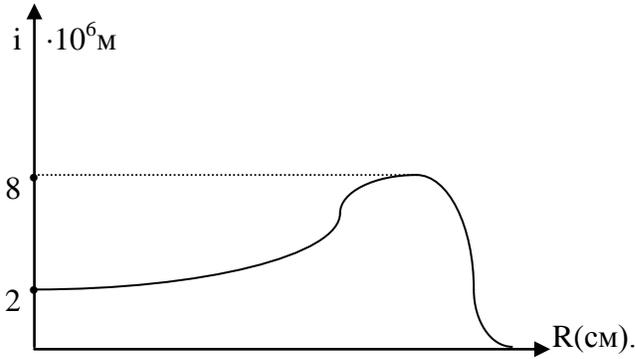
α_2^4 -частицы-вылетают из ядер радиоактивных элементов со скоростями от 14000 до 20000 км/с. Что соответствует кинетической энергии от 4 до 9 МэВ. Пролетая через вещество α_2^4 -частица ионизирует его атомы действуя на них своим электрическим полем.

Израсходовав энергию на ионизацию атомов α_2^4 -частица останавливается, при этом она захватывает два электрона и превращается в атом гелия.

Чем меньше скорость α_2^4 -частицы, тем больше вероятность её взаимодействия с атомами среды, больше потери энергии, меньше длина пробега.

1. **Линейная плотность ионизации**-количество ионов, образующихся на единице пути.

$$i \cdot (2-8) \cdot 10^6 \text{ пар ионов/м.} \quad i = \frac{dN}{dl}$$



На один акт ионизации тратится 35 эВ.

α - частицы обладают высокой ионизирующей способностью, но небольшой проникающей способностью.

2. Линейная **тормозная способность**- $S = \frac{dE}{dl}$ - это энергия, теряемая на единице пути.

$S = 70-270$ МэВ/м.

3. **Средний линейный пробег**- $R = 10-100$ мкм.

$R = 6$ см- в воздухе

$R = 0.12$ мм- в биологической ткани.

4. **Периоды полураспада α -** активных ядер варьируют в широких пределах от $1.4 \cdot 10^{17}$ лет свинца и до 10^{-6} с Rn_{86}^{226} .

Самым ярким и удивительным свойством α - излучения является очень сильная зависимость периода полураспада от энергии вылетающих частиц. Уменьшение энергии на 1% , может увеличить период полураспада в 10 раз.

Закон Гейгера-Неттола связывает период полураспада с энергией частиц:

$$\text{Log} T_{1/2} = C + \frac{D}{\sqrt{E}} \quad \text{где } C \text{ и } D - \text{const.}$$

5. **Гамма излучение**-сопровождает α -распад.

Спектр гамма излучения линейчатый с энергиями $E_1 = 0.38$ МэВ и $E_2 = 0.18$ МэВ.

III. β -распад. Характеристика β -излучения и взаимодействие β -излучения свеществом.

β -распадом называется самопроизвольное превращение ядра в другое ядро с тем же массовым числом A , но с зарядом, отличающимся от заряда исходного ядра на единицу

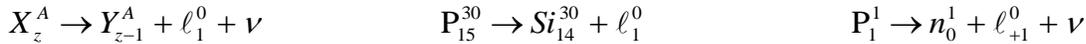
а) **Электронный β -распад.**



Электронный β -распад происходит в результате превращения одного из нейтронов ядра в протон, электрон и антинейтрино.

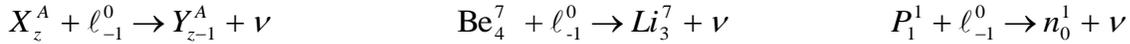
Электронов в ядре нет. Они рождаются при взаимных превращениях нейтронов и протонов.

б) **Позитронный β -распад.**



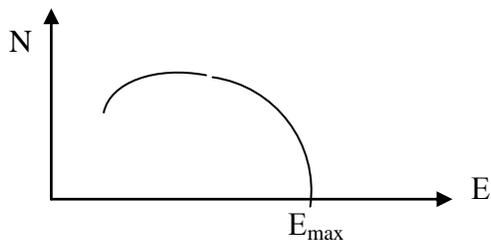
в) Электронный захват (к-захват).

Ядро поглощает один из электронов к-оболочки (реже из L или M оболочки). Заполнение свободного места в к-оболочке сопровождается испусканием характеристического рентгеновского излучения.



Свойства β -излучения.

1. β -распад сопровождается гамма излучением. Причина его возникновения та же, что и в случае альфа-распада. Дочернее ядро возникает не только в нормальном, но и в возбужденных состояниях. Переходя в состояние с меньшей энергией, ядро высвечивает γ -фотоны.
2. Вместе с частицами нейтрино (1956г) и антинейтрино уносится энергия, равная разности между энергией атома и бета-частицей.
3. Спектр β -излучения сплошной. Энергия β -излучения лежит в пределах от сотых долей МэВ до нескольких МэВ.



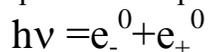
Площадь, охватываемая кривой дает общее число электронов, испускаемых в единицу времени.

4. Скорость β -излучения равна 200-270 тыс км/с, т. е. близка скорости света.
5. Ионизирующая способность $i=4600$ пар ионов/м. Ионизирующая способность в 100 раз меньше, чем у альфа-излучения.
6. Длина пробега в воздухе-40м, в алюминии-2см, в биологической ткани-6см.

Характеристика γ -излучения.

Гамма- излучение- это электромагнитное излучение, имеющее скорость равную скорости света в вакууме $v=3000000$ км/с.

В результате взаимодействия гамма –фотона с веществом, γ - фотон исчезает и образуется пара-электрон и позитрон.



Эта реакция должна подчиняться уравнению Эйнштейна: $E=mc^2$, т. е. этот процесс возможен, если $E_\gamma > 1,02$ МэВ. Гамма излучение ионизации не производит, но передает свою энергию электронам и позитронам, которые производят ионизацию.

Закон радиоактивного распада. Активность, единицы активности.

Радиоактивный распад нестабильных ядер является процессом статистическим. Каждое радиоактивное ядро распадается независимо от остальных ядер. Вероятность распада

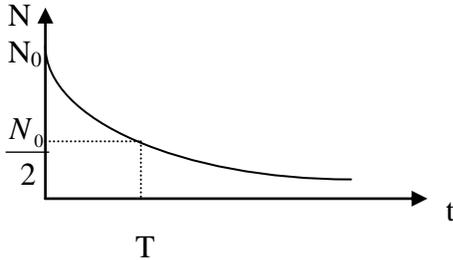
одного ядра за 1 сек называется постоянной распада- λ . Для любого ядра данного изотопа постоянная распада одинакова.

Все виды распада подчиняются одному закону.

$$dN = -\lambda N dt \quad \frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \quad \text{Ln} \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

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

N_0 - начальное количество атомов,
 N - оставшееся количество атомов,
 λ - постоянная распада, характеризующая вероятность распада,
 e - основание натурального логарифма.



Найдём соотношение между постоянной распада и периодом полураспада.

T-период полураспада- время в течение которого распадается половина наличных ядер.

$$\text{Тогда} \quad \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T} \quad \frac{1}{2} = \frac{1}{e^{\lambda T}} \quad e^{\lambda T} = 2 \quad \text{Ln} 2 = \lambda T$$

$$\lambda = \frac{\text{Ln} 2}{T} \quad N = N_0 e^{-\text{Ln} 2 \cdot \frac{t}{T}}$$

$$N = N_0 e^{-\text{Ln} 2 \cdot \frac{t}{T}}$$

Активность- число распадов в единицу времени.

$$A = \frac{dN}{dt} \quad A = -N_0 \lambda e^{-\lambda t} \quad A = A_0 e^{-\lambda t} \quad A = A_0 e^{-\text{Ln} 2 \cdot \frac{t}{T}}$$

Единицы активности:

[A]=Бк (Беккерель)- в системе СИ.

[A]=Ки (Кюри)- внесистемная единица.

[A]=Рз (Резерфорд)- внесистемная единица.

1Бк=1расп/с

1Ки=3,7·10¹⁰Бк.

1Рз=10⁶Бк

Таблица периодов полураспада.

Элемент	T
I ¹³¹	8 дней
Na ²⁴	14,8 года
U ²³⁸	4,5·10 ⁹ лет
K ⁴⁰	1,25·10 ⁹ лет
Sr ⁹⁰	28 лет

IV. Биофизика действия ионизирующего излучения на биологические объекты.

Первичные эффекты.

Что же происходит при попадании ионизирующего излучения на биологический объект?

Существуют две теории, объясняющие механизм воздействия ионизирующего излучения на биологический объект.

1. Теория прямого действия- теория «мишени».
2. Теория косвенного действия ионизирующего излучения.

1. Теория «мишени»-(1924г Кроутер) .

Согласно этой теории инактивация облучаемого объекта или его гибель проявляются лишь тогда, когда удар приходится по мишени, по чувствительному объёму в клетке. Если ионизирующая частица пересечёт этот объём и возбудит в нём ионизацию, то это обязательно поведёт к биологическому эффекту. Чем меньше доза, вызывающая биологический эффект, тем больше «чувствительный объём»-«мишень».

Объём мишени находится по формуле:

$$V = \frac{0.7}{\rho D_{63}}, \quad \rho - \text{плотность,}$$

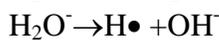
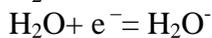
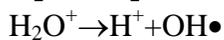
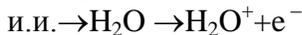
D_{63} -доза, вызывающая 63% инактивации.

Представления теории «мишени» можно только использовать в сравнительно ограниченной области для определения приблизительных размеров и молекулярного веса некоторых простых биологических систем (вирусов, бактериальные споры). Теория «мишени» бессильна объяснить действие облучения на сложные биологические объекты. По расчётам, в таких образованиях, как митохондрии 45% поглощённой энергии вызывает ионизацию непосредственно, а 55% энергии затрачивается на расщепление свободных молекул воды, включённой в митохондрии (косвенное действие).

2. Теория косвенного действия ионизирующего излучения.

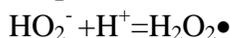
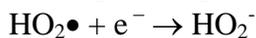
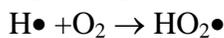
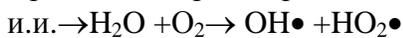
Человеческий организм содержит 65% воды, некоторые органы до 80%. Следовательно решающее значение имеет косвенное воздействие через ионизацию молекул воды и химизм последующих реакций со свободными радикалами.

Рассмотрим, что теоретически может произойти при облучении чистой воды. Допустим, что молекула воды ионизируется заряженной частицей, в результате чего она теряет электрон:



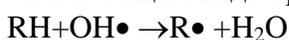
$\text{H}\bullet$ - атомарный водород, время жизни которого $t = (10^{-5} - 10^{-6})\text{с}$.

При наличии растворённого кислорода идёт реакция:

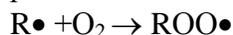


$\text{H}\bullet$, $\text{OH}\bullet$, $\text{H}_2\text{O}_2\bullet$ - являются свободными радикалами, ведут к разрушению клеток живой ткани.

Образованием свободных радикалов завершается физико-химическая стадия действия ионизирующего излучения на поглощающую среду. В следующей стадии- химической свободные радикалы реагируют с растворёнными в воде веществами. В воде, в которой растворены органические вещества, реакцию их со свободными радикалами можно в самом общем виде представить следующим образом:



В этой реакции от органического вещества отнимается водород. Символ $R\bullet$ обозначает образующийся при этом свободный радикал органического вещества. В присутствии O_2 реакция пойдёт в общем виде так:



Как и водные радикалы, органический радикал также обладает неспаренным электроном, а следовательно, крайне реакционноспособен. Располагая большим количеством энергии, он легко может привести к разрыву химических связей.

Вторичные эффекты действия ионизирующего излучения.

1. атомный-физическое действие;
2. молекулярный-химическое;
3. клетка-биологическое;
4. органы и системы-биофизическое, физиологическое;
5. организм в целом
6. популяционный.

1. На атомном уровне происходит ионизация и возбуждение молекул.

Если молекула невозбуждена- то такое состояние синглетное- все электроны спарены ($\sum spin=0$). Если молекула поглощает квант энергии света, то становится возбуждённой. Затем она:

1. либо возвращается на основной уровень за время порядка 10^{-8} с
2. либо переходит на подуровень с изменением $spin$ на противоположный.

В результате чего два электрона становятся не спаренными-это бирадикал- химически активное вещество. Продолжительность жизни в таком состоянии от 10^{-3} с до нескольких секунд. Эта молекула может вступать в химическое взаимодействие.

Таким образом основным процессом, объясняющим биологическое действие излучения является растрата поглощенной энергии на разрыв химических связей с образованием свободных радикалов.

У человека 75% массы составляет вода, следовательно решающее значение имеет косвенное воздействие через ионизацию молекул воды.

В общем случае при действии ионизирующего излучения на биологические объекты можно выделить четыре периода:

1. Поглощение энергии радиоактивного излучения- возбуждение, ионизация атомов среды.
2. Латентный период- образование свободных радикалов.
3. Появление новых химических соединений, нарушение биохимических реакций, предусмотренных организмом.
4. Нарушение функций организма, ведущее к возникновению лучевой болезни.

ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ ЧЕЛОВЕКА.

Под лучевой болезнью человека понимают самые разнообразные проявления поражающего действия ионизирующих излучений на организм. Многообразие этих проявлений зависит прежде всего от следующих факторов:

- Вид облучения-общее или местное, внешнее или инкорпированных радиоактивных веществ;
- Временной фактор- однократное, повторное, пролонгированное, хроническое облучение;
- Пространственный фактор- равномерное или неравномерное облучение;
- Облучаемый объём и локализация облучённого участка.

Рассмотрим течение острой лучевой болезни при относительно равномерном облучении. Характерная черта острой лучевой болезни –волнообразность клинического течения, в чём можно усмотреть своеобразную ступенчатость проявления поражения отдельных систем организма.

В течении острой лучевой болезни различают три периода:

1. Период формирования,
2. Период восстановления,
3. Период исходов и последствий.

Рассмотрим период формирования, который можно разделить на четыре фазы:

1. Фаза первичной острой реакции,
2. Фаза кажущегося клинического благополучия (скрытая или латентная фаза),
3. Фаза выраженных клинических проявлений (фазы разгара болезни),
4. Фаза раннего восстановления.

Кроме того, острую лучевую болезнь различают и по степени тяжести поражения, определяемой поглощённой дозой излучения.

Лучевая болезнь человека возникает при облучении в дозах 1-10 Гр и более. При меньших дозах отмечают реакции со стороны отдельных систем различной степени выраженности.

В диапазоне доз 1-10 Гр различают три степени тяжести острой лучевой болезни:

- Острая лучевая болезнь 1-ой (лёгкой) степени (1-2 Гр)
- Острая лучевая болезнь 2-ой (средней) степени (2-4 Гр)
- Острая лучевая болезнь 3-ей (тяжёлой) степени (4-6 Гр).

При дозах выше 6 Гр возникает острая лучевая болезнь 4-ой (крайне тяжёлой) степени.

Вероятность развития острой лучевой болезни той или иной степени тяжести при данной дозе определяется индивидуальной радиочувствительностью организма.

При дозах 6-10 Гр развивается переходная форма болезни, протекающая как третья степень, но с поражением кишечника: специальное лечение может обеспечить выживание.

При дозах 10-20 Гр возникает типичная форма кишечного поражения, заканчивающаяся смертельным исходом через 8-16 суток.

При дозах 20-80 Гр развивается токсическое поражение (сосудистая форма поражения). Смерть наступает на 4-7 сутки при мозговой и менингеальной симптоматике.

Наконец при дозах выше 80 Гр возникает церебральная форма поражения с коллапсом и судорогами, завершающимися смертью на 1-3 сутки.

Критической системой, степень поражения которой определяет тяжесть и исход лучевой болезни при дозах 1-10 Гр, является система кроветворения и в первую очередь костный мозг. Развивается типичная форма острой лучевой болезни, при которой наиболее чётко проявляются основные патогенетические закономерности клинического формирования её отдельных фаз и периодов. Рассмотрим фазы острой лучевой болезни.

1. Фаза первичной общей реакции.

Первичная реакция организма человека возникает довольно скоро (минуты-часы) и проявляется во всех случаях облучения при дозах, превышающих 2 Гр. Появляются

тошнота, рвота, исчезает аппетит. Иногда ощущается сухость и горечь во рту. Пострадавшие испытывают чувство тяжести в голове, головную боль, общую слабость, сонливость. Продолжительность фазы 1-3 дня.

В периферической крови в первые сутки после облучения наблюдается нейтрофильный лейкоцитоз со сдвигом влево, а также абсолютная и относительная лимфопения.

В костном мозге уменьшение общего числа миелокариоцитов, снижение митотического индекса и исчезновение молодых форм клеток. Наблюдается повышение в крови уровня сахара и билирубина.

2. Фаза кажущегося клинического благополучия.

Через 2-4 дня симптомы первичной реакции исчезают и самочувствие больных улучшается или даже нормализуется. Болезнь вступает во вторую фазу, называемую скрытой или латентной стадией лучевого поражения из-за отсутствия клинически видимых признаков болезни.

Продолжительность латентной фазы зависит от тяжести поражения и колеблется от 14 до 18 дней.

Во время этой фазы отмечаются выпадение волос и неврологическая симптоматика. При исследовании крови легко обнаруживается выраженная лимфопения, снижение числа нейтрофилов, а позднее- тромбоцитов и ретикулоцитов.

3. Фаза выраженных клинических проявлений.

К концу латентного периода самочувствие больных вновь резко ухудшается, нарастает слабость, повышается температура, увеличивается скорость оседания эритроцитов.

Развивается тяжёлая картина заболевания, в связи с чем эту фазу часто называют разгаром болезни. Возникает так называемый гемморагический синдром- кровоизлияния в кожу, слизистые оболочки, желудочно-кишечный тракт, мозг, сердце и лёгкие. Опасность кровоизлияния в жизненно важных органах составляет основную угрозу для жизни больных в этот период. К концу фазы выявляется и начинает прогрессировать анемия.

Отражением нарушения обмена веществ и диспепсических расстройств является резкое снижение массы тела. Эта фаза продолжается от 1 до 3-х недель.

4. Фаза восстановления.

Продолжительность этой фазы 2-2,5 месяца. Нормализуется температура, появляется аппетит, восстанавливается сон. Прекращается кровоточивость, быстро нарастает масса.

Происходит восстановление показателей крови. Нормализация морфологического состава крови является отражением бурных регенераторных процессов в системе кроветворения. К концу 3-его месяца самочувствие становится вполне удовлетворительным.

5. Радионуклиды и их применение в медицине.

Биофизические основы лучевой терапии: дистанционная, контактная.

Ионизирующее излучение применяется для лечения доброкачественных и злокачественных опухолей, а также некоторых неопухолевых заболеваний-хронических острых воспалительных процессов.

В клинической практике используется несколько десятков различных методик лучевой лечения, которые могут быть объединены в зависимости от типа и качества используемого для лечения ионизирующего излучения в следующие пять основных групп:

1. рентгенотерапия
2. бетта-терапия
3. гамма-терапия
4. лучевая терапия тормозным излучением высокой энергии
5. лучевая терапия электронами высокой энергии.

В практике лучевой терапии используется также другое разделение, которое основано на взаиморасположении источника излучения относительно опухоли и поверхности тела. Согласно такой классификации все методики лучевой терапии можно объединить в три основные группы: дистанционные, аппликационные и внутритканевые.

1. **Дистанционной лучевой терапией называется методика лечения, в процессе которой источник излучения находится на расстоянии от нескольких см. до 1м от поверхности тела человека.**

Дистанционные методики лучевой терапии различают по двум основным признакам-виду излучения и расстоянию между источником излучения и поверхностью тела. В зависимости от этого выделяют:

1. близкофокусную (низковольтную) рентгенотерапию
2. длиннофокусную (глубокую) рентгенотерапию
3. дистанционную гамма-терапию
4. лучевую терапию излучением высокой энергии.

Дистанционная лучевая терапия применяется в виде длительных курсов лечения продолжительностью от 3-4 до 6-8 недель. Ежедневно лечение больных производится обычно в течение нескольких минут.

Аппликационные методики объединяют процедуры лучевого лечения, в процессе которых источник излучения непосредственно помещается на поверхности тела больного или внутри полостного органа без механического повреждения целостности тканей.

Различают два вида аппликационной лучевой терапии: поверхностную аппликационную, когда источник помещают на кожу в области патологического очага, и внутривполостную, когда источник помещают внутри полости, например в полость матки, мочевого пузыря ит. П.

Контактное облучение целесообразно при небольших опухолях кожи, полости рта, носа, пищевода, шейки матки и мочевого пузыря, т. е.

В качестве источников излучения в аппликационной лучевой терапии используют главным образом радиоактивный кобальт (Co^{60}) в виде разнообразных неталлических изделий и радиоактивный фосфор (P^{35}), реже стронций (Sr^{90}).

Аппликационная лучевая терапия выполняется в течение 5-10 дней, причём ежедневно лечение проводится в течение нескольких часов или по суткам.

Внутриканевой лучевой терапией называется методика облучения, при которой источник излучения находится непосредственно в опухоли или в тканях организма больного в течение всего процесса лечения.

Внутриканевые методики лучевого лечения в зависимости от агрегатного состояния источника, типа излучения и способа введения в опухоль или ткань разделяются на следующие три группы:

1. внутриканевая гамма-терапия- введение в ткани радиоактивных металлических изделий (Co^{60} , Au^{198})
2. внутриканевая бетта-терапия-введение в ткани или в лимфатические сосуды радиоактивных коллоидов золота, посеребрённого золота или иттия
3. селективная лучевая терапия-самостоятельное избирательное поглощение тканями радиоактивных препаратов, введённых в организм перорально или внутривенно.

Внутриканевая лучевая терапия выполняется однократно в виде одной процедуры

Использование радионуклидов в медицине

Радионуклидами называют радиоактивные изотопы химических элементов с малым периодом полураспада. В природе такие изотопы отсутствуют, поэтому их получают искусственно. В современной медицине радионуклиды широко используются в диагностических и терапевтических целях.

Диагностическое применение основано на избирательном накоплении некоторых химических элементов отдельными органами. Йод, например, концентрируется в щитовидной железе, а кальций — в костях.

Введение в организм радиоизотопов этих элементов позволяет обнаруживать области их концентрации по радиоактивному излучению и получать, таким образом, важную диагностическую информацию. Такой метод диагностики называется методом меченых атомов.

Терапевтическое использование радионуклидов основано на разрушающем действии ионизирующего излучения на клетки опухолей.

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

Альфа-терапия — лечебное воздействие α -частиц. Эти частицы обладают значительной линейной плотностью ионизации и поглощаются даже небольшим слоем воздуха. Поэтому терапевтическое применение альфа-лучей возможно при непосредственном контакте с поверхностью органа или при введении внутрь (с помощью иглы). Для поверхностного воздействия применяется радоновая терапия (^{222}Rn): воздействие на кожу (ванны), органы пищеварения (питье), органы дыхания (ингаляции).

В некоторых случаях лечебное применение α -частиц связано с использованием потока нейтронов. При этом методе в ткань (опухоль) предварительно вводят элементы, ядра которых под действием нейтронов испускают α -частицы. После этого больной орган облучают потоком нейтронов. Таким образом, α -частицы образуются непосредственно внутри органа, на который они должны оказать разрушительное действие.

В таблице указаны характеристики некоторых радионуклидов, используемых в медицине.

Таблица. Характеристика изотопов.

<i>Изотоп</i>	Период (Т)	Вид излучения	Механизм действия
Йод <i>¹³¹I</i>	8,1 дня	β-излучение γ-излучение	Участвует в обменных процессах в организме, в том числе в щитовидной железе
Йод <i>¹²⁵I</i>	60 дней	Рентгеновское излучение	Для метки гормонов, определяемых в сыворотке крови больного <i>in vitro</i>
Йод <i>¹³²I</i>	2,26 часа	β-излучение γ-излучение	Короткий период полураспада уменьшает радиационную нагрузку на щитовидную железу примерно в 200 раз по сравнению с ¹³¹ I, что позволяет применять его у детей
Технеций <i>⁹⁹Tc</i>	6 часов	γ-излучение	Используются стандартные наборы реагентов, связывающиеся с этим изотопом и поставляющие его в определенный орган (печень, желчный пузырь, кишечник, легкие)
Фосфор <i>³²P</i>	14,3 дня	β-излучение	Используется для диагностики злокачественных новообразований глаз, слизистых оболочек, молочной железы, головного мозга.

Ускорители заряженных частиц

и их использование в медицине

Ускоритель — установка, в которой под действием электрических и магнитных полей получают направленные пучки заряженных частиц с высокой энергией (от сотен кэВ до сотен ГэВ).

Ускорители создают *узкие* пучки частиц с заданной энергией и малым поперечным сечением. Это позволяет оказывать *направленное* воздействие на облучаемые объекты.

Использование ускорителей в медицине

Ускорители электронов и протонов применяются в медицине для лучевой терапии и диагностики. При этом используются как сами ускоренные частицы, так и сопутствующее рентгеновское излучение.

Тормозное рентгеновское излучение получают, направляя пучок частиц на специальную мишень, которая и является источником рентгеновских лучей. От рентгеновской трубки это излучение отличается значительно большей энергией квантов.

Синхронное рентгеновское излучение возникает в процессе ускорения электронов на кольцевых ускорителях — синхротронах. Такое излучение обладает высокой степенью направленности.

Прямое действие быстрых частиц связано с их высокой проникающей способностью. Такие частицы проходят поверхностные ткани, не вызывая серьезных повреждений, и оказывают ионизирующее действие в конце своего пути. Подбором соответствующей энергии частиц можно добиться разрушения опухолей на заданной глубине.

Области применения ускорителей в медицине показаны в таблице.

Таблица. Применение ускорителей в терапии и диагностике.

ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ	1.	Использование тормозного рентгеновского излучения для подавления опухолей. Энергия электронов, достигаемая на ускорителях, во много раз превосходит энергию, получаемую с помощью рентгеновских трубок. При их торможении возникает очень жесткое рентгеновское излучение с энергией квантов большей, чем энергия γ -квантов радиоактивного кобальта. Для лучевой терапии применяется и синхронное излучение.
	2.	Для подавления глубоких опухолей используется прямое действие быстрых протонов. Протоны — тяжелые частицы и, проходя через ткани, практически не испытывают рассеяния. Лечение проводится в несколько сеансов с изменением направления луча.
ДИАГНОСТИКА	1.	Получение сведений о средней плотности вещества посредством сравнения потока частиц до и после прохождения ткани, так как пробег тяжелых частиц зависит от плотности вещества (метод — ионная медицинская радиография). Преимущества перед рентгенографией в том, что этот метод позволяет лучше различать структуру мягких тканей.
	2.	Спектр синхронного излучения можно подобрать таким образом, что будет иметь место его преимущественное поглощение некоторыми элементами. Например, йодом, который может иметь повышенную концентрацию в опухолях. Отсюда вытекает возможность ранней диагностики злокачественных образований.

Биофизические основы действия ионизирующего излучения

Как уже отмечалось выше, воздействие радиоактивного излучения на биологические системы связано с ионизацией молекул. Процесс взаимодействия излучения с клетками можно разделить на три последовательных этапа (стадии).

1. Физическая стадия состоит в передаче энергии излучения молекулам биологической системы, в результате чего происходит их ионизация и возбуждение. Длительность этой стадии 10^{-16} - 10^{-13} с.

2.Физико-химическая стадия состоит из различного рода реакций, приводящих к перераспределению избыточной энергии возбужденных молекул и ионов. В результате появляются высокоактивные продукты: радикал и новые ионы с широким спектром химических свойств. Длительность этой стадии 10^{-13} - 10^{-10} с.

3.Химическая стадия — это взаимодействие радикалов и ионов между собой и с окружающими молекулами. На этой стадии формируются структурные повреждения различного типа, приводящие к изменению биологических свойств: нарушаются структура и функции мембран; возникают поражения в ДНК и РНК. Длительность химической стадии 10^{-6} - 10^{-3} с.

4.Биологическая стадия. На этой стадии повреждения молекул и субклеточных структур приводят к разнообразным функциональным нарушениям, к преждевременной гибели клетки в результате действия механизмов апоптоза или вследствие некроза. Повреждения, полученные на биологической стадии, могут передаваться по наследству. Продолжительность биологической стадии от нескольких минут до десятков лет.

Отметим следующие закономерности биологической стадии:

- Большие нарушения при малой поглощенной энергии (смертельная для человека доза облучения вызывает нагрев тела всего на $0,001^{\circ}\text{C}$);
- Действие на последующие поколения через наследственный аппарат клетки;
- Характерен скрытый, латентный период;
- Разные части клеток обладают различной чувствительностью к излучению;
- Прежде всего поражаются делящиеся клетки, что особенно опасно для детского организма;
- Губительное действие на ткани взрослого организма, в которых есть деление;
- Сходство лучевых изменений с процессами патологии раннего старения.

Литература:

1. Г.А.Зубовский «Учебное пособие по медицинской радиологии».
2. А.Н.Ремизов «Медицинская и биологическая физика».