

# Дозиметрия ионизирующих излучений

Влияние радиации на организм  
человека

## Развитие биологического действия радиации по А.М. Кузину развивается в три стадии:

1. Первая стадия – физическая. На этой стадии происходит ионизация и возбуждение как низкомолекулярных, так и высокомолекулярных соединений субстрата клетки. Установлено, что при полученной дозе 10 Гр в клетке образуется порядка  $10^6$ - $10^7$  ионизированных и возбуждаемых молекул. Примерно 30 % этих актов ионизации и возбуждения приходится на органические вещества клетки. На эти процессы расходуется около 80 % полученной энергии излучения. При ионизации и возбуждении образуются ионы свободные радикалы в результате диссоциации молекул воды, неорганических и органических соединений.

Предполагается, что полученная при возбуждении энергия может мигрировать по макромолекулам и локально реализовываться в наиболее «уязвимых» местах. Такими локальными местами в макромолекулах могут быть SH-группы, в ДНК-хромофорные группы тимина, в липидах - ненасыщенные связи.

Итак, физическая стадия – это прямые акты воздействия ионизирующих излучений на молекулы, ведущие к образованию ионов и возбужденных молекул, а также продуктов их деструкции, в частности, приводящие к образованию свободных неорганических и органических радикалов.

2. Вторая стадия – химическая. На этой стадии происходят реакции взаимодействия первичных продуктов радиолиза с не разрушенными молекулами, включая макромолекулы различных биоструктур.

Образуются, в частности, органические перекиси и протекают реакции окисления, приводящие к появлению множества новых химических соединений, в том числе токсичного действия – радиотоксины

3. Третья стадия – биологическая. На этой стадии радиационно-химические превращения в биосубстрате клетки ведут к нарушениям в биологической организации клетки, в частности белковые молекулы могут «сливаться», что приводит к нарушению структур биологических мембран.

Нарушения в биоструктурах приводят к высвобождению из связанного состояния некоторых ферментов. Выход ферментов из митохондриальных структур приводят к нарушению процессов окислительного фосфорилирования, что угнетает синтез аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), что влияет на синтез белков.

## Действие радиации на клетки организма

В результате прямого и косвенного действия ионизирующих излучений возникают изменения в структуре ядер клеток: в хромосомном аппарате, в ДНК и ДНП. Могут быть нарушения в процессе синтеза ДНК-РНК-белок. В результате как прямого, так и косвенного действия ионизирующих излучений происходит разрыв хромосом, появляются я хромосомные aberrации перестройка в ДНК.

Следствием этих процессов может быть нарушение процесса клеточного деления, возникновение таких изменений в хромосомном аппарате, которые передаются по наследству – возникают мутации.

Таким образом, действие радиации на клетки приводит к нарушениям не только метаболизма и физиологических функций живого организма, но и к генетическим последствиям.

При больших, так называемых летальных дозах ионизирующих излучений нарушения в метаболизме, биоструктуре клетки могут быть настолько значительными, что клетка погибает. Это описаны действия ионизирующего излучения на клетки живого организма.

## Действие радиации на целостный организм

Еще более сложный характер имеет биологическое действие ионизирующих излучений на целостный многоклеточный живой организм, у которого имеются различные органы со специализированными тканями и функциями.

В результате межклеточного обмена, регулярных механизмов радиационные повреждения в одних клетках или органах могут индуцировать повреждения в других клетках или органах.

Вследствие этого может произойти общее расстройство функциональной, физиологической деятельности всего организма.

Изменение в генеративных, половых органах могут вызвать мутации, появление наследственных изменений в последующих поколениях.

Любые изменения в нормальной жизнедеятельности живого организма, возникающие под действием радиации, называются **радиобиологическими эффектами.**

К радиобиологическим эффектам относятся возникающие под действием радиации изменения в нормальном ходе процессов обмена веществ, функциональные физиологические изменения, наблюдаемые морфологические изменения в клетках, тканях и органах, появление мутантных форм живых организмов, патологические изменения, гибель живого организма и т.д.

За счет биологического действия радиации можно выбрать новый признак, интересующий экспериментатора-радиобиолога.

Каждый биологический признак имеет свою количественную характеристику.

Мерой или величиной радиобиологического эффекта является отклонение от нормы (контроля) количественной характеристики выбранного биологического признака.

Основная количественная характеристика радиобиологического эффекта – **фазная кривая** – зависимость радиобиологического эффекта от фазы излучения при прочих постоянных условиях облучения живого организма. Для более полного исследования радиобиологического действия радиации необходимо получить фазные кривые при вариациях всех других факторов, влияющих на радиобиологический эффект.

Величина фазы, при которой радиобиологический эффект начинает проявляться или имеет заданную величину, называется радио устойчивостью или радио чувствительностью живого организма по отношению к действию радиации на данный биологический признак.



С точки зрения биологических исследований условно различают два типа биологического действия радиации: физиологическое и генетическое.

**Физиологическое действие радиации** – такое биологическое действие, при котором наблюдаются изменения в обмене веществ, в физиологических функциях живого организма, но эти изменения не передаются по наследству, т.е. они не затрагивают генетический (наследственный) аппарат живого организма. Физиологические действия радиации называют иногда – соматическим.

**Генетическое действие радиации** – такое действие, которое приводит к изменениям в генетическом аппарате живого организма, в результате эти изменения передаются по наследству – появляются формы организмов с новыми признаками.

У растений и животных нет каких-либо органов, которые были бы избирательно чувствительны к радиации. Хотя и могут быть местные, локальные радиационные нарушения тех или иных тканей или органов многоклеточного организма, однако организм реагирует на любое действие ионизирующих излучений как единое целое.

Наиболее легко учитываемым показателем радиоустойчивости растений и животных является смерть организма. Поэтому обычно радиоустойчивость организма характеризуется величиной фазы излучения, при которой происходит его гибель - это есть **летальная доза (ЛД)**.

Часто радио чувствительность организмов оценивают посредством дозы, при которой **наступает смерть 50 % взятых на испытание особей** в течение 30 дней наблюдения – это так называемая доза .

Возможны и другие оценки радио устойчивости организмов.

Существенное значение на радио чувствительность организмов имеет возраст организма и его пол. Однако наблюдения показывают, что несмотря на то, что на радио чувствительность организма влияет его физиологическое состояние, радио чувствительность для данного пола и данного вида организмов может различаться весьма значительно – в пределах целого порядка.

**Общая тенденция, касающаяся зависимости радиочувствительности от степени организации организмов: чем выше степень биологической организации живых организмов, тем меньше их радиочувствительность.**

Крайними членами биологической систематизации являются микроорганизмы и человек. Некоторые виды микроорганизмов способны выдержать облучения в дозах  $10^4$ - $10^5$  Гр, иногда как для человека в 3-4 Гр является летальной.

Действие радиации подчиняется обще физиологической закономерности, характеризующей зависимость физиологического эффекта от дозы: **малые дозы стимулируют физиологические функции живого организма, а большие - угнетают их из дальнейших ценных химических реакций, должно уменьшить биологическое действие радиации.**

Эффект радиационной стимуляции используют в практике сельского хозяйства для повышения урожайности (метод предпосевного облучения семян). Облучение семян ряда культур в относительно небольших дозах 5-10 Гр. ускоряет созревание последних, увеличивает массу сельскохозяйственного продукта.

Живой организм может возвращаться в нормальное состояние через прохождение одной фазы возбуждения и одной фазы торможения (две фазы) или через прохождение нескольких фаз возбуждения и торможения (многофазный процесс восстановления) также пострадиационные явления наблюдаются только при облучении в относительно небольших дозах, при которых возможны эффекты пострадиационного восстановления нормального функционирования организма.

Однако существует также **критические дозы**, которые организм не может пересилить – наступает кожное расстройство его функциональной деятельности, развивается так называемая **лучевая болезнь**.

В отличие от радиоингибирования, радиостимуляция не всегда воспроизводимый физиологический эффект. Возможно, радиостимуляционные эффекты столь незначительны, что практически не наблюдаются.

Кроме того организм подвержен действию других внешних факторов, «затемняющих» действие ионизирующих излучений.

# Радиочувствительность некоторых организмов

Класс	Представитель	Радиобиологический показатель	Доза, Гр
Одноклеточные организмы			
Щитомидеты	E. coli	ЛД50 ЛД50	56 1500
Простейшие	Амёба	ЛД50	1000
Многоклеточные организмы			
Ракообразные	Дафния	ЛД100	65
Моллюски	Radix japonica	ЛД	80
			50
	mo we	ЛД	20
			50
Рыба	Карась	ЛД	30

Земноводные	Лягушка	ЛД	30	7
			50	
	Тритон	ЛД	30	30
			50	
Пресмыкающиеся	Черепаша	ЛД	30	15
			50	
Птицы	Куры	ЛД	30	6-8
			50	
Млекопитающие	Кролик	ЛД	30	8
			50	
	Мышь	ЛД	30	5,5
			50	
	Обезьяна	ЛД	30	5,5
			50	
	Морская свинка	ЛД	30	3-3,5
			50	
	Собака	ЛД	30	3,25-4,0
			50	
	Человек	ЛД	30	3-4
			50	

При рассмотрении Физиологического действия радиации различают два случая облучения:

- 1)Общее (тотальное) облучение живого организма
- 2)местное (локальное) облучение отдельных его органов и тканей.

Исследование локальных облучений различных органов растений и животных показало что органы и ткани обладают различной радиочувствительностью.

Ряд морфологической радиоустойчивости различных органов млекопитающих.

Нервная ткань > хрящевая и костная ткань > мышечная ткань > соединительная ткань > щитовидная железа > пищеварительная железа > лёгкие > кожа > слизистая оболочка > половые железы > лимфатическая ткань, костный мозг.

Зависимость радиоустойчивости от возраста обычно связывают с активностью тканей и способностью их к пострадиационному восстановлению.

Молодые организмы более радиочувствительны вследствие скорости деления клеток. Высокая радиочувствительность старых органов связана с ухудшением пострадиационных восстановительных свойств старых клеток, старых тканей и органов.



Действие ионизирующих излучений на многоклеточные организмы, подобное действию излучения на отдельные клетки зависит от вида излучения, его физических характеристик, от внешних условий облучения (температуры, содержание кислорода, питания и т.п.)

При одной и той же дозе биологическое действие  $\gamma$ -излучения и  $\alpha$ -излучения разное. Поражающее действие  $\alpha$ -излучения сильнее чем  $\gamma$ -излучения.

Понижение температуры ведёт к уменьшению радиобиологического эффекта.

Присутствие кислорода усиливает действие ионизирующих излучений.

Улучшение питания организма повышает радиоустойчивость организма.

Существенное значение имеет распределение фазы облучения во времени. Одну и ту же дозу можно дать организму или за короткое время большая мощность дозы излучения, «ударное» облучение («лучевой-удар»), или распределить её на длительный период – малая мощность дозы излучения (хроническое облучение).

Исследования показали, что чем больше задана доза и растянута во времени (непрерывно или дробно), тем больше вероятность восстановления нарушений в организме и тем меньше поражающее действие излучения.

## ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ЛЮДЕЙ.

Когда мутация возникает в клетке, то она распространяется на все клетки нового организма, которые образовались путем деления.

Помимо генетических эффектов, которые могут сказываться на последующих поколениях (врожденные уродства), наблюдаются и так называемые соматические (телесные) эффекты, которые опасны не только для самого данного организма (соматическая мутация), но и его потомства.

Соматическая мутация распространяется только на определенный круг клеток, образовавшихся путем обычного деления из первичной клетки, претерпевшей мутацию.

Соматические повреждения организма ионизирующим излучением является результатом воздействия излучения на большой комплекс - коллективы клеток, образующих определенные ткани или органы.

Радиация тормозит или даже полностью останавливает процесс деления клеток, в котором собственно и проявляется их жизнь, а достаточно сильное излучение в конце концов убивает клетки. Разрушительное действие излучения особенно заметно проявляется в молодых тканях. Это обстоятельство используется, в частности, для защиты организма от злокачественных (например, раковых опухолей) новообразований, которые разрушаются под воздействием ионизирующих излучений значительно быстрее доброкачественных клеток.

К соматическим эффектам относят локальное повреждение кожи (лучевой ожог), катаракту глаз (потемнение хрусталика), повреждение половых органов (кратковременная или постоянная стерилизация) и др.

В отличие от соматических, генетические эффекты действия радиации обнаружить трудно, так как они действуют на малое число клеток и имеют длительный скрытый период, измеряемый десятками лет после облучения.

Такая опасность существует даже при очень слабом облучении, которое хотя и не разрушает клетки, но способно вызвать мутации хромосом и изменить наследственные свойства. Большинство подобных мутаций проявляется только в том случае, когда зародыш получает от обоих родителей хромосомы, поврежденные одинаковым образом.

Результаты мутаций, в том числе и смертность от наследственных эффектов - так называемая генетическая смерть, наблюдались задолго до того, как люди начали строить ядерные реакторы и применять ядерное оружие.

Мутации могут быть вызваны космическими лучами, а также естественным радиационным фоном Земли, на долю которого по оценкам специалистов приходится 1% мутаций человека.

Установлено, что не существует минимального уровня радиации, ниже которого мутации не происходит. Общее количество мутации, вызванных ионизирующим излучением пропорционально численности населения и средней дозе облучения. Проявление генетических эффектов мало зависит от мощности дозы, а определяется суммарной накопленной дозой независимо от того, получена она за 1 сутки или 50 лет.

Полагают, что генетические эффекты не имеют дозового порога. Генетические эффекты определяются только коллективной дозой человеко-заверты ( $\text{чел} \cdot \text{Зв}$ ), а выявление эффекта у отдельного индивидуума практически не предсказуемо.

В отличие от генетически эффектов, которые вызываются малыми дозами радиации, соматические эффекты всегда начинаются с определенной пороговой дозы: при меньших дозах повреждения организма не происходит. Другое отличие соматических повреждений от генетических заключается в том, что организм способен со временем преодолевать последствия облучения, тогда как клеточные повреждения необратимы.

Полагают, что **генетические эффекты не имеют дозового порога**. Генетические эффекты определяются только коллективной дозой человеко-заверты ( $\text{чел} \cdot \text{Зв}$ ), а выявление эффекта у отдельного индивидуума практически не предсказуемо.

В отличие от генетически эффектов, которые вызываются малыми дозами радиации, **соматические эффекты всегда начинаются с определенной пороговой дозы**: при меньших дозах повреждения организма не происходит.

Другое отличие **соматических повреждений от генетических** заключается в том, что организм способен со временем преодолеть последствия облучения, тогда как клеточные повреждения необратимы.