

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ас. Угляр Тетяна Юріївна

- Парацельс в 1567 описал заболевание шахтеров («Шнеебергская легочная болезнь»), которое позже было идентифицировано как рак легких, связанное с воздействием ионизирующего излучения радиоактивного газа радона и короткоживущих продуктов его распада, которые накапливаются в воздухе плохо вентилируемых шахт. В 1895 году помощник Рентгена В. Груббе получил радиационный ожог рук при работе с рентгеновскими лучами, а французский ученый А. Беккерель, открывший радиоактивность, получил сильный ожог кожи от излучения радия. В 1907 было уже 7 случаев смерти от ионизирующей радиации.
- Датой рождения радиационной генетики принято считать 1927 год, когда появилась публикация работы Германа Меллера, в которой показано, что рентгеновские лучи вызывают повышенную частоту появления мутантных потомков у дрозофил, родителей которых подвергали облучению. В 1945 впервые применено ядерное оружие: при бомбардировке Хиросимы и Нагасаки погибло 200 тыс. человек. Массовый характер и особенности нового вида поражений человека обусловили необходимость изучения эффектов общего облучения в смертельных дозах и патологических процессов, возникающих в результате воздействия радиации. Авария на Чернобыльской АЭС показала, что и в мирных условиях возможные радиационные инциденты с тяжелыми последствиями: более двухсот человек, заболели острой лучевой болезнью, из которых тридцать семь погибли. Недостаточно разработанными оказались вопросы совместного длительного воздействия внешнего и внутреннего облучения в малых дозах, комбинированного действия малых доз излучения и вредных токсикантов, сочетание с влиянием психологического стресса и др. Открытой оказалась проблема применения средств, способных снизить эффекты длительного воздействия радиации в малых дозах.

- Знание закономерностей биологического действия ионизирующих излучений необходимо для обоснования медицинских мероприятий при радиационных поражениях и для регламентирования радиационных воздействий на человека, оказавшегося в сфере влияния излучений при работе с их источниками, в неблагоприятной экологической обстановке и т.п.

Природа ионизирующих излучений обуславливает множественность и разнообразие как самих первичных повреждений, так и их проявлений на различных уровнях организации живого. Значимость этих повреждений и проявлений неодинакова.

- Чувствительность различных биологических материалов к действию ионизирующего излучения существенно различна.

Радиочувствительность и радиорезистентность - понятия, характеризующие степень чувствительности клеток и тканей к воздействию ионизирующих излучений. Чем больше возникает изменений в ткани под воздействием радиации, тем ткань более радиочувствительна и, наоборот, способность организмов или отдельных тканей не давать патологических изменений при воздействии ионизирующих излучений характеризует степень их радиорезистентности, т.е. устойчивости к радиации.

- в онкологии под радиочувствительностью (радиорезистентностью), понимают скорость и степень реакции опухоли в ходе лечения.

Радиокурабельность отражает степень реализации предположения об уничтожении опухоли, с учетом ограничений, таких как устойчивость нормальной ткани.

Эти два свойства не обязательно коррелируют: опухоль может быть высоко чувствительным, но радиоинкурабельной (лейкемия и миелома) или радиорезистентной и радиокурабельной (плоскоклеточные ороговевающие карциномы головы, шеи и шейки матки). Почечноклеточная карциномы и злокачественные меланомы является радиорезистентными и радиоинкурабельными. Примером опухоли, что одновременно проявляет свойства радиочувствительности и радиокурабельности, может служить лимфогранулематоз. Различные организмы, а также различные органы и ткани всех организмов также обладают различной радиочувствительностью. Наибольшую радиочувствительность у человека имеют половые клетки (сперматозоиды и яйцеклетки) и белые кровяные тельца (лейкоциты). Очень чувствительны к действию ионизирующей радиации костный мозг, селезенка и лимфатические узлы, то есть органы кроветворения. Очень чувствителен также эпителий ЖКТ. Изучение деятельности физиологических систем, в частности, нервной, показало высокую чувствительность центральной нервной системы к действию даже малых доз радиации на организм.

Костная и мышечная ткани являются наименее чувствительными к действию ионизирующей радиации, то есть они наиболее радиорезистентны.?? Клеточная радиочувствительность - интегральная характеристика клетки, определяющий вероятность ее гибели после радиационного воздействия.

- Уже в период ранних радиобиологических наблюдений, имевших преимущественно описательный характер, стало очевидно, что вредное воздействие ионизирующих излучений на биообъекты носит дозозависимый характер.

Построение графиков типа «доза-эффект» позволило сравнивать радиочувствительность биообъектов, сопоставляя дозы излучения, вызывающие у них равные по величине эффекты, а также оценить способности некоторых веществ («радиомодификаторов») изменять радиочувствительность биологических объектов.

В качестве основного показателя радиомодификующей эффективности вещества используют отношение доз излучения, вызывающих один и тот же эффект в биообъектах в присутствии и в отсутствии радиомодификаторов. Такой показатель получил название фактора изменения дозы (сокращенно - ФВД).

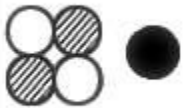
- Важными определяющими факторами острой или поздней реакции тканей являются кинетические характеристики дифференциации и пролиферации, некоторые ткани могут демонстрировать оба типа токсичности. Острая реакция развивается в ходе лечения или через несколько недель. К остро-реагирующих тканей относятся: кожа (десквамация), слизистая оболочка кишечника, тромбоциты и лейкоциты.

Развитие поздней реакции наблюдается в период от нескольких месяцев до года, такая реакция свойственна костям, костному и спинному мозгу, таким внутренним органам, как легкие, печень, почки, молочная железа и половые железы. В коже возникает фиброз.

- Для прогнозирования реакции опухоли на облучение разработаны специальные клиничко-лабораторные критерии. Например, клиничко-иммунологические критерии применяются для прогнозирования реакции опухоли на облучение у больных раком молочной железы.

- Радиация по самой своей природе вредна для жизни. Малые дозы облучения могут "запустить" не до конца еще изученную цепь эффектов, приводящих к раку или генетическим повреждениям.
При больших дозах радиация может разрушать клетки, повреждать ткани органов и явиться причиной скорой гибели организма. Повреждения, вызываемые большими дозами облучения, обыкновенно проявляются в течение нескольких часов или дней.
Раковые заболевания, однако, проявляются спустя много лет после облучения - как правило, не ранее чем через одно-два десятилетия.
Врожденные пороки развития и другие наследственные болезни, вызываемые повреждением генетического аппарата, по определению проявляются лишь в следующем или последующих поколениях: это дети, внуки и более отдаленные потомки индивидуума, подвергшегося облучению.

Действие ионизирующего излучения на ткани организма



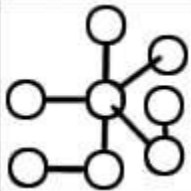
заряженные частицы



электрические взаимодействия



физико-химические взаимодействия



химические изменения



биологические эффекты

- В зависимости от вида излучений, дозы облучения и его условий возможны различные виды лучевого поражения. Это острая лучевая болезнь (ОЛБ) - от внешнего облучения, ОЛБ - от внутреннего облучения, хроническая лучевая болезнь, различные клинические формы с преимущественно локальным поражением отдельных органов, которые могут характеризоваться острым, подострым или хроническим течением; это отдаленные последствия, среди которых наиболее существенное - возникновения злокачественных опухолей; дегенеративные и дистрофические процессы (катаракта, стерильность, склеротические изменения). Сюда же относят генетические последствия, которые наблюдаются у потомков облученных родителей. Вызывают их развитие ионизирующие излучения, благодаря высокой проникающей способности влияют на ткани, клетки, внутриклеточные структуры, молекулы и атомы в любой точке организма.

- Живые существа на воздействие излучений реагируют по-разному, причем развитие лучевых реакций во многом зависит от дозы излучений.

Поэтому целесообразно различать: 1) влияние малых доз, примерно до 10 Рад, 2) влияние средних доз, обычно применяемых с терапевтическими целями, граничащие своим верхним пределом с воздействием высоких доз.

При воздействии излучения различают реакции, возникающие немедленно, ранние реакции, а также поздние (отдаленные) проявления. Конечный результат облучения часто во многом зависит от мощности дозы, различных условий облучения и особенно от природы излучений. Это относится также к области применения излучений в клинической практике с лечебными целями. Радиация по-разному действует на людей в зависимости от пола и возраста, состояния организма, его иммунной системы и т. п., но особенно сильно - на младенцев, детей и подростков.

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

соматические эффекты

лучевая болезнь

Локальные лучевые поражения

Лейкозы

Опухоли

генетические эффекты

генные мутации

хромосомные
абerrации

Биологические эффекты в живом организме условно можно подразделить на три уровня - молекулярный, клеточный и Организменный (системный).

можно представить схемой.

эффекты облучения

Соматически
детерминированные
(нестохастические)

Острая лучевая
болезнь

Хроническая
лучевая болезнь

Локальные лучевые
повреждения

Соматические
стохастические

Сокращение
продолжительност
и жизни

Лейкозы

Опухоли разной
локализации

Генетические

Доминантныен
мутации

Рецесивные
мутации

Хромосомные
абберации

Доза, Гр ---- Причина и результат воздействия

$(0.7 - 2) \cdot 10^{-3}$	- Доза от естественных источников в год
0.05	----- - Предельно допустимая доза профессионального облучения в год
0.1	----- Уровень удвоение вероятности генных мутаций
0.25	----- ---- Однократная доза оправданного риска в чрезвычайных обстоятельствах
1.0	----- Доза возникновения острой лучевой болезни
3 - 5	----- Без лечения 50% облученных умирает в течение 1-2 месяцев вследствие нарушения деятельности клеток костного мозга
10 - 50	----- - Смерть наступает через 1-2 недели вследствие поражения главным образом желудочно-кишечного тракта
100	----- ---- Смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы

Эти эффекты проявляются лишь при интенсивном однократном или многократном облучении, превышающей определенный порог.

При этом возникают незлокачественные локальные повреждения кожи - лучевой ожог (злоупотребление загаром так же приводит к ожогу кожи), катаракте глаз, повреждению половых клеток (кратковременная или постоянная стерилизации) и др. Время появления максимального эффекта так же зависит от дозы: после более высоких доз он наступает раньше.

Нестохастические эффекты проявляются только при высоком или аварийном облучении всего тела и отдельных органов, причем порог возникновения эффекта зависит и от того, какой орган подвергся облучению.

Реакция организма на интенсивное облучение приведена в Табл.5.

Значение дозы на органы и ткани, при которых возникают важные нестохастични эффекты?? Орган, ткань

Нестохастический эффект Доза, Зв

Все тело	Лучевая реакция	0,5
Все тело	Лучевая болезнь легкой степени	1,0-1,5
Все тело	Лучевая болезнь средней степени	2,0
Все тело	Лучевая болезнь тяжелой и крайне тяжелой формы	3,0-4,0
Все тело	50% летальность в течение 60 дней	4,0-5,0
Кожа	Переходная эритема, временная эпиляция	3,0
Легкие	Пневмония	5,0
Легкие	Смерть	10,0
Половые железы	Кратковременная стерилизация	0,2-1,0
Уровень естественного фона, Зв / год 0,0007-0,0045		
Предельная доза профессионального облучения в год (до 1996 г.) 0,05		
То же, после 1996 0,02		
Эти дозы и эффекты применяются только к среднему индивидууму в популяции здоровых людей, но никак не к конкретному человеку, реакция которого может отличаться от средней.		
Например, у 1% населения может оказаться очень высокая радиочувствительность вследствие врожденных генетических расстройств или других причин, ослабляющих иммунитет организма.		

Стохастические эффекты.

Стохастические (вероятностные) эффекты, такие как злокачественные новообразования, генетические нарушения, могут возникать при любых дозах облучения. С увеличением дозы повышается не тяжесть этих эффектов, а вероятность (риск) их появления. Для количественной оценки частоты возможных стохастических эффектов принята консервативная гипотеза о линейной пороговой зависимости вероятности отдаленных последствий от дозы облучения с коэффициентом риска около $7 \cdot 10^{-2} / \text{Зв}$.

Основными стохастическими эффектами являются канцерогенными и генетические. Поскольку эти эффекты имеют вероятностный характер и длительный латентный (скрытый) период, измеряемый годами и десятками лет после облучения, они трудно выявляются.

К канцерогенным эффектам относятся поражение крови, кроветворных органов, новообразования и опухоли.

Генетические эффекты - врожденные физические и психические увечья и ряд других тяжелых заболеваний - возникают в результате мутаций и других нарушений в половых клеточных структурах, ведающих наследственностью. Выход обоих эффектов мало зависит от мощности дозы, а определяется суммарной накопленной дозой, т.е. он будет выше даже в местностях с природным повышенным радиационным фоном. Выявление и тем более предсказания появления эффекта у отдельного человека практически непредсказуемо. Выход их определяется коллективной дозой, если она составляет не менее 1000 чел. Зв; при значении в первые единицы лиц. Зв эффект облучения (онкогенные и генетические заболевания) на фоне спонтанных или обусловленных общими токсическими факторами, выявить невозможно.

- Лучевая болезнь
- Лучевая болезнь возникает при воздействии на организм ионизирующих излучений в дозах, превышающих предельно допустимые. У человека возможны молниеносная, острая, подострая и хроническая. Лучевая болезнь проявляется поражением органов кроветворения, нервной системы, желудочно-кишечного тракта и др.
- Лучевую болезнь можно разделить на острую и хроническую. Острая лучевая болезнь. Тяжесть течения острой лучевой болезни зависит от дозы облучения. Наиболее важным следствием летального повреждения клеток при облучении в больших дозах является развитие острой лучевой болезни, ОЛБ. В зависимости от дозы облучения в качестве критических выступают различные системы, и определяет, какая клиническая форма ОЛБ разовьется после облучения в том или ином диапазоне доз. Какая именно система оказывается в конкретных условиях критической, зависит как от уровня их радиочувствительности, так и от скорости развития смертельных случаев при несовместимом с жизнью повреждении данной системы.
- хроническая лучевая болезнь. Это общее заболевание организма, развивающееся в результате длительного воздействия ионизирующего излучения в относительно малых, но превышающих допустимые уровни дозах. Характерно поражение различных органов и систем.

Онкология

Рак - наиболее серьезное из всех последствий облучения человека при малых дозах.

Обширные обследования, охватившие 100000 человек, переживших атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, показали, что пока рак является единственной причиной повышенной смертности в этой группе населения. Замечания.

Многолетние наблюдения за пострадавшими в Хиросиме и Нагасаки не выявили злокачественных новообразований при дозах ниже 20 Гр .

Несмотря на многочисленные исследования, оценка вероятности заболевания людей раком в результате облучения не надежна. Имеется масса полезных сведений, полученных в экспериментах на животных, однако, несмотря на их очевидную пользу, они не могут заменить сведения о действии радиации на человека. Для того чтобы оценка риска заболевания раком для человека была достаточно надежна, полученные в результате обследования людей сведения должны удовлетворять целый ряд условий. Должна быть известна величина поглощенной дозы. Излучение должно равномерно попадать на все тело или на ту его часть, которая изучается в данный момент.

Облученное население должно проходить обследования регулярно в течение десятилетий, чтобы успели проявиться все виды раковых заболеваний. Диагностика должна быть достаточно качественной, позволяющей выявить все случаи раковых заболеваний. Важно иметь хорошую «контрольную» группу людей, сопоставимую во всех отношениях (кроме самого факта облучения) с группой лиц, за которой ведется наблюдение, чтобы выяснить частоту заболевания раком в отсутствие облучения. И обе эти популяции должны быть достаточно многочисленны, чтобы полученные данные были статистически достоверны. Ни один из имеющихся материалов не удовлетворяет полностью всем этим требованиям.

Неопределенность состоит в том, что почти все данные о частоте заболевания раком в результате облучения получены при обследовании людей, получивших относительно большие дозы облучения -1 Гр и более. Есть очень немного сведений о последствиях облучения при дозах, связанных с некоторыми профессиями, и совсем отсутствуют прямые данные о действии доз облучения, получаемых населением Земли в повседневной жизни.

Поэтому нет никакой альтернативы такому способу оценки риска населения при малых дозах облучения, как экстраполяция оценок риска при больших дозах (не вполне надежных) в область малых доз облучения.

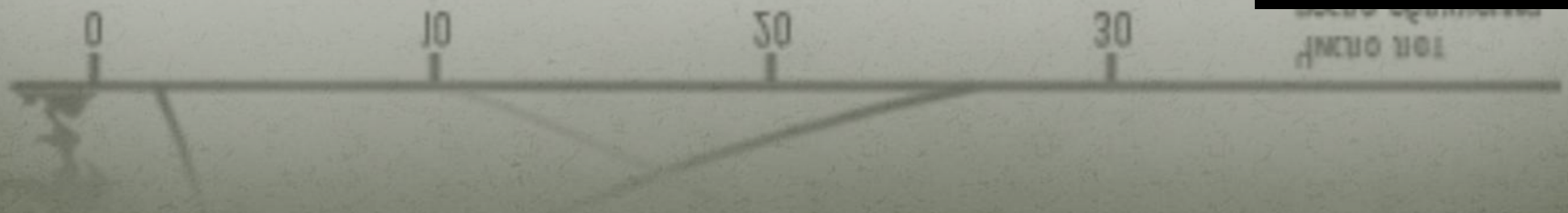
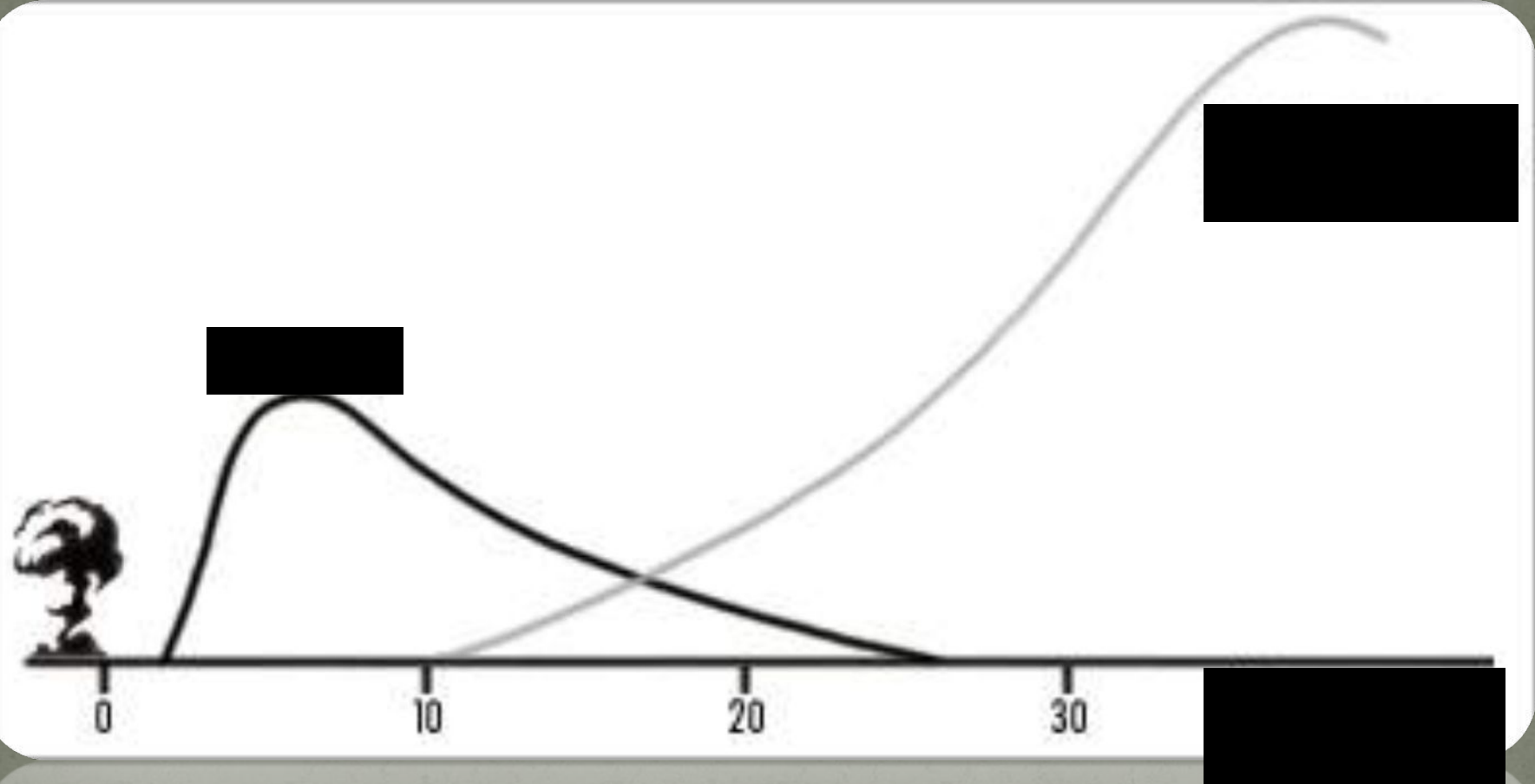
НКДАР ООН в своих оценках опирается на два основных предположения, которые пока что вполне согласуются со всеми имеющимися данными.

Согласно первому предположение, не существует никакой пороговой дозы, за которой отсутствует риск заболевания раком. Любая сколь угодно малая доза увеличивает вероятность заболевания раком для человека, получившего эту дозу, и всякая дополнительная доза облучения еще более увеличивает эту вероятность.

Второе предположение состоит в том, что вероятность, или риск, заболевания возрастает прямо пропорционально дозе облучения: при удвоении дозы риск удваивается, при получении трехкратной дозы - утраивается и т.д.

На такой основе и строятся все приблизительные оценки риска заболевания различными видами рака при облучении.

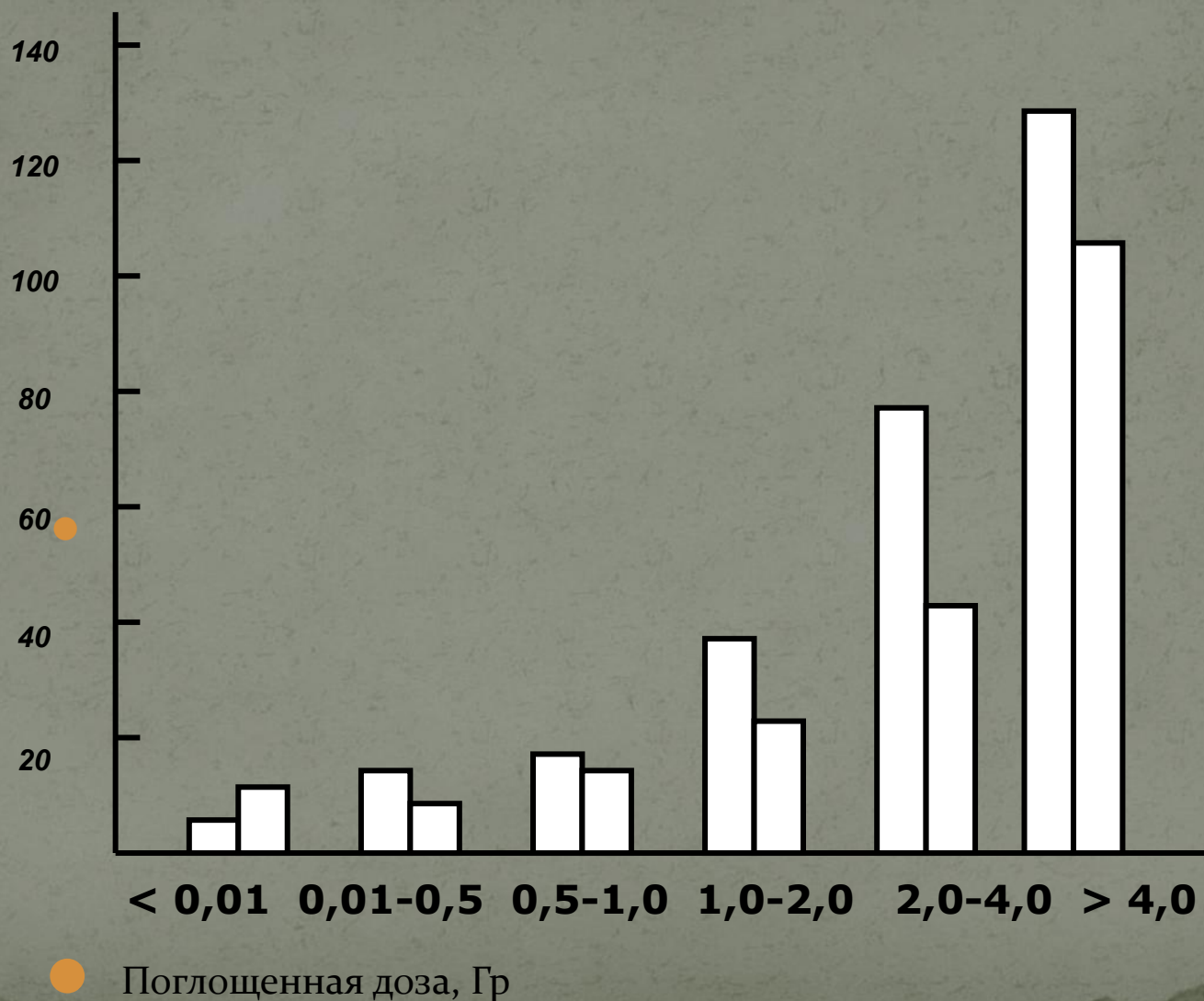
Вероятность заболеть на рак



Относительная среднестатистическая вероятность заболевания раком после получения однократной дозы в один рад ($= 0,01$ Гр) рассчитана для равномерного облучения всего тела. На графике, построенном на основании результатов обследования людей, переживших атомную бомбардировку, показано ориентировочное время появления злокачественных опухолей с момента облучения. Видно, что после двухлетнего скрытого периода развиваются лейкозы, достигая максимальной частоты через шесть-семь лет, затем частота плавно уменьшается и через 25 лет становится практически равной нулю.

Солидные (сплошные) опухоли начинают развиваться через 10 лет после облучения, но исследователи не располагают пока достаточно информации, что позволяет построить всю кривую.

- Зависимость возникновения лейкемии при лучевом поражении от дозы на 100 тыс. нас. в год в %



Радиационный гормезис

В течение нескольких десятилетий существуют два направления в радиобиологии, спор между которыми никак не закончится чьей победой. Причина - разные подходы к оценке воздействия на биоту малых доз радиации.

Первый подход постулирует, что проблемы малых доз не существует и все закономерности больших доз можно экстраполировать на малые.

Второй - малые дозы по эффекту принципиально отличаются от крупных, так методология их изучения должна отличаться от общепринятой в современной радиобиологии.?? Отсутствие мутаций можно ожидать только при полном отсутствии радиационного фона. Однако среднегодовая эффективная эквивалентная доза от естественных источников радиации составляет 2 миллизиверта, причем в разных районах земного шара эта величина варьирует от 0.3 мЗв в Европе и Японии до 250 мЗв в Бразилии, недалеко от Сан-Паулу. Для сравнения дозы радиации излучаемой источниками, которые используются в медицине, составляют основную часть излучений техногенных источников радиации около 0.4 мЗв в год. Так что, по определению, полностью освободиться от естественной радиации, а, следовательно, и избавиться полностью от мутационного процесса, как об этом мечтают экстремисты радиологии, никогда не удастся.

Понятие «радиационный гормезис» был введен в биологию в 80 - годы и, как в гомеопатии, принято, что если большие дозы радиации оказывают неблагоприятные эффекты на живые организмы - подавляют деление клеток, рост и развитие, то малые дозы стимулируют практически все физиологические процессы.

конкретные величины малых доз зависят от видовой характеристики, для млекопитающих они лежат в диапазоне до 0.5 Гр. Эксперименты свидетельствуют о том, что под воздействием малых доз ионизирующих излучений естественная продолжительность жизни животных увеличивается на 10-12% по сравнению с адекватным контролем. Сторонники идеи радиационного гормезиса не без оснований считают, что атомная радиация является естественным, постоянно действующим на организм фактором, без которого нормальное существование невозможно. как невозможно жизнь без гравитации, магнитного поля или кислорода.

Не всегда последствия воздействия ионизирующих излучений неблагоприятны для организма.

Естественный радиационный фон - не только один из важнейших факторов эволюции живого на Земле, но и необходимое условие существования биологических объектов. Есть физиологический уровень воздействия излучений, благоприятный для жизнедеятельности. Если культуру парамеций изолировать от радиационных воздействий в свинцовом контейнере, в ней резко замедляется процесс деления клеток. После помещения в контейнер с культурой радиоактивного источника, воспроизводящий фоновый уровень радиации, митотическую активность нормализуется. Существование такого парадоксального явления как радиационный гормезис подтверждено в разных лабораториях и на различных объектах. Гамма облучение в малых дозах стимулирует прорастание семян, вызывает увеличение вегетативной массы растений. Малые дозы активируют иммунную систему у разных видов животных и ключевые мембранно-связанные ферменты, в частности аденилатциклазу, активируют репарационные системы и повышают устойчивость клеток и организма к следующим более высоким дозам облучения.

Эти свойства малых доз излучения проявились и у человека при применении радоновых ванн или при приеме внутрь радоновой воды, когда отмечалась активация иммунных механизмов, и возникало общестимулирующее действие на организм, улучшение различных видов обмена, снижение артериального давления и другие положительные эффекты. Важным проявлением радиационного гормезиса является феномен так называемого адаптивного ответа, заключается в повышении устойчивости различных биологических объектов к воздействию поражающих доз радиации в случае предварительного облучения в малой (около 1 сГр) дозе. Этот эффект проявляется при облучении клеток по выходу хромосомных aberrаций, по выходу мутаций, при облучении животных по критериям, характеризующим поражение критических систем, по выживанию животных и т.д. Стимулирующие эффекты малых доз облучения используются в хозяйственной деятельности. Это облучение куриных яиц в периоде инкубации, что приводит к повышению вылупляемости цыплят, ускорению полового созревания кур, повышению их яйценоскости, а также предпосевной облучения семян, что повышает их всхожесть и урожайность и др. Эффекты, связанные с проявлением стимулирующего действия малых доз облучения, получили наименование радиационного гормезиса.

Управление радиобиологическими эффектами. Существуют факторы, способные изменять (ослаблять или усиливать) радиочувствительность клеток, тканей и организма в целом. Они называются радиомодификаторами. Радиомодификация - искусственное ослабление или усиление реакций биологических объектов на действие ионизирующих излучений; способ управления радиочувствительностью за счет изменения условий, в которых происходит облучение того или иного организма. Радиобиологическим эффектом можно управлять двумя способами: введением в организм чуждых ему веществ (например, радиопротекторов) и направленным стимулированием защитных функций организма (введение веществ, свойственных данному организму, гипоксия и др. радиозащитные средства - средства защиты от поражающего действия ионизирующего излучения. Они могут быть химическими, биологическими или физическими.

Радиопротекторы.

В настоящее время не известны вещества, способные полностью защитить человека от действия излучения, но есть те, которые частично защищают организм от излучения. К ним относятся, например, азид и цианид натрия, вещества содержащие сульфогидридные группы и т.д. Они входят в состав радиопротекторов..

Радиопротекторы - вещества, введение которых перед облучением в среду с биологическими объектами или в организм животных и человека снижает поражающее действие ионизирующего излучения. Радиопротекторы частично предотвращают возникновение химически активных радикалов, которые образуются под действием излучения.

Механизмы действия радиопротекторов разные. Одни из них вступают в химическую реакцию с попадающими в организм радиоактивными изотопами и нейтрализуют их, образуя нейтральные вещества, легко выводятся из организма. Другие имеют отличные механизмы.

Одни радиопротекторы действуют в течение короткого промежутка времени, время действия других более длительный. Существует несколько разновидностей радиопротекторов: таблетки, порошки и растворы.

- Радиопротекторы - достаточно вредные для организма вещества, поэтому им ищут замену, в частности, замены на вещества, свойственные организму или на пищевые добавки.?? Некоторые пищевые вещества обладают профилактическими радиозащитным действием или способностью связывать и выводить из организма радионуклиды. К ним относятся полисахариды (пектин, декстрин, липополисахариды, находящиеся в листьях винограда и чая), фенильного и Фитин соединения, галлат, серотанин, этиловый спирт, некоторые жирные кислоты, микроэлементы, витамины, ферменты, гормоны. Радиоустойчивость организмов повышают некоторые антибиотики (биомицин, стрептоцин), наркотики (нембутал, барбамил). К очень важным радиозащитным соединений относятся «витамины противодействия». В первую очередь это относится к витаминам группы В и С. Хотя по мнению специалистов одна аскорбиновая кислота не имеет защитное действие, но она усиливает действие витаминов В и Р. Излучение разрушает кровь, снижают количество эритроцитов и активность лейкоцитов, а витамины В₁, В₃, В₆, В₁₂ улучшают регенерацию кроветворения, ускорение восстановления эритроцитов и лейкоцитов. Если излучение снижает свертываемость крови, то витамины Р и К₁ нормализуют протромбиновый индекс, способствует восстановлению веса биотин (витамин Н).

Таким образом, все виды ионизирующих излучений могут вызвать неблагоприятные химические и биологические реакции организма. Доза поглощенного облучения напрямую зависит от типа, его энергии и времени воздействия, пути облучения и химических свойств радионуклидов.

Возникновения у человека различных проявлений лучевых поражений не строго коррелирует с поглощенной дозой величиной, а зависит от большого набора факторов, в том числе и от состояния организма.

При существующих мерах радиационной безопасности риск появления стохастических эффектов ничтожен и выявления их на фоне спонтанной заболеваемости нереально.

Для отдельного человека предвидеть последствия облучения невозможно.

Спасибо за
внимание!