**Радиобиология**

Жиганова Л.П.

Радиобиология – наука о действии всех видов ионизирующих излучений на живые организмы и их сообщества. Исследование биологического действия ионизирующих излучений началось почти тотчас за открытием этих излучений В.К. Рентгеном (1895), А.Беккерелем (1896) и радия М.Складовской-Кюри и П.Кюри (1898). Однако как самостоятельная наука радиобиология сформировалась в первой половине ХХ века благодаря быстрому развитию ядерной физики и техники.

Основные проблемы радиобиологии: исследование радиационного поражения организмов при их тотальном облучении, познание причин различной радиочувствительности организмов, изыскание различных средства защиты организмов от излучений и путей его пострадиационного восстановления от повреждений, прогнозирование опасности для человечества повышающегося уровня радиации окружающей среды, изыскание новых путей использования ионизирующих излучений в медицине, сельском хозяйстве, пищевой и микробиологической промышленности. Многогранность задач, стоящих перед современной радиобиологией, привела к развитию радиационной микробиологии, радиационной генетики, космической радиобиологии, радиоэкологии и других направлений. Многие открытия радиобиологии (например, изучение радиационного мутагенеза, а также ферментов, репарирующих радиационные повреждения ДНК) способствовали существенному развитию знаний об общих закономерностях жизни.

Биологическое действие излучений – постоянное воздействие на биосферу Земли электромагнитных и корпускулярных излучений внеземного и земного происхождения, приводящее к биохимическим, физиологическим, генетическим и другим изменениям, возникающим в живых клетках и организмах. Наиболее мощный источник излучений – Солнце. Энергия электромагнитного излучения Солнца видимой части спектра улавливается растениями, и в процессе фотосинтеза трансформируется в энергию химических связей органических веществ, за счёт которой существует и развивается жизнь на Земле. С действием света связаны информационные и регуляторные реакции организмов (зрение животных, фототаксис, фотопризм, фотопериодизм и др.). Поглощаясь в тканях окрашенными веществами – фотосенсибилизаторами, видимое излучение может быть опосредованно воздействовать на нуклеиновые кислоты и белки (фотодинамическое действие) Ультрафиолетовое излучение Солнца Частично проникает через атмосферу и в умеренных дозах оказывает благотворное воздействие на рост и развитие растений и животных (усиливает обмен веществ, вызывает образование витамина D, повышает сопротивляемость организма). В больших дозах коротковолновое УФ-излучение инактивирует нуклеиновые кислоты и белки, оказывает бактерицидное, эритемное, мутагенное и канцерогенное действие. Вспышки на Солнце, как и гораздо более мощные вспышки на других звёздах, являются источниками высокоэнергетических космических лучей, часть космических лучей отклоняется магнитным полем Земли, другая – поглощается верхними слоями атмосферы и только небольшое их количество достигает поверхности Земли, составляя около 30% естественного фона ионизирующих излучений. Остальные 70% обусловлены альфа-, бета- и гамма-излучениями радиоактивных элементов – тория, урана, радия и продуктов их распада (радон и др.), находящихся в рассеянном виде в земных породах, почве, атмосфере, воде. Определённый вклад в естественный фон вносят и таки радиоактивные изотопы, как К40, Н3, С14, входящие в состав живых клеток. Высокоэнергетические ионизирующие излучения глубоко проникают в организм, достигая наиболее радиочувствительных органов – кроветворных, генеративных и др. В основе биологического действия ионизирующих излучений лежат процессы ионизации и возбуждения молекул, радиационно-химические реакции, нарушающие или изменяющие функции биополимеров, главным образом нуклеиновых кислот и ферментов. Воздействуя на ДНК соматических и генеративных клеток, они способны вызвать мутации, злокачественное перерождение клетки. Поэтому ионизирующие излучения играют определённую роль в естественной изменчивости организмов, и вместе с тем повышают уровень спонтанно возникающих уродств, генетических заболеваний, канцерогенеза. В середине ХХ века были открыты способы расщепления атомных ядер, сопровождающиеся мощным ионизирующим излучением и образованием большого количества искусственных радиоактивных веществ. Технические средства использования ядерной энергии в военных и мирных целях ощутимо увеличивают количество источников ионизирующих излучений, а следовательно и вероятность возникновения различных нарушений у организмов. Большую опасность для человечества представляет использование ионизирующих излучений в военных целях. При тотальном гамма-нейтронном облучении животных и человека (сопровождающем взрывы атомных и ядерных бомб) в дозах 100 ГР и выше вследствие поражения ЦНС наступает коматозное состояние и смерть в первые 24-48 часов,при дозах 5-10 Гр возникает тяжёлая лучевая болезнь. При более низких дозах после острого периода наступает восстановление поражённых тканей и выздоровление. Однако в дальнейшем возрастает вероятность появления отдалённых последствий облучения (рак, лейкемия, катаракта, рождение генетически неполноценного потомства и т.п.) Вследствие развития техники всё более актуальной становится проблема биологического действия неионизирующих магнитных излучений с большими длинами волн, таких как УВЧ, миллиметровые,. сантиметровые и дециметровые радиоволны, воздействие которых связано с локальным, неравномерным нагревом ультраструктур тканей и зависит от мощности и модуляции облучения. Радиоизлучения метрового и большего диапазонов, по-видимому, биологическим действием не обладают. Регулируемое биологическое действие излучений широко используется в медицине (радиотерапия, рентгенодиагностика, фототерапия, лазеры и др.), микробиологической промышленности, сельском хозяйстве (радиационный мутагенез и др.)

Загрязнение биосферы, комплекс разнообразных воздействий человеческого общества на биосферу, приводящих к увеличению уровня содержания вредных веществ в биосфере, появлению новых химических соединений, частиц и чужеродных предметов, чрезмерному повышению температуры (тепловое загрязнение биосферы), шума (шумовое загрязнение биосферы), радиоактивности (радиоактивное загрязнение биосферы) и т. д. Загрязнение биосферы угрожает здоровью человека и состоянию окружающей среды, ограничивает возможности дальнейшего развития человеческого общества. Практически все стороны современной деятельности человека влекут те или иные формы загрязнения биосферы. Исходные причины загрязнения биосферы – стихийный рост промышленности. Энергетики, транспорта, широкая химизация с. х-ва и быта, быстрый рост народонаселения и урбанизация планеты. Ежегодно из недр Земли извлекается более 100 млрд. т. различных пород, сжигается около млрд. т. условного топлива, выбрасывается в атмосферу около 20 млрд. т. СО2, ок.300 млн. т. СО, 50 млн. т. NOx, 150 млн. т. SO2, 4—5 млн. т. H2S и др. вредных газов, более 400 млн. т. частиц золы, сажи, пыли; сбрасывается в гидросферу около 600 млрд. т. промышленных и бытовых стоков, около 10 млн. т. нефти и нефтепродуктов; на разбавление сточных вод расходуется 40% объёма мировых ресурсов устойчивого речного стока; вносится в почву около 100 млн. т. минеральных удобрений. В биосферу поступает около 50% извлечённых из недр металлов, 30% химического сырья, до 67% тепла, вырабатываемого теплоэлектростанциями. Ежегодно создаются сотни тыс. т. невстречавшихся ранее в биосфере химических соединений (ксенобиотиков и др.), многие из которых не поддаются биологическому и физическому разрушению. Масштабы загрязнения биосферы столь, велики, что естественные процесса метаболизма и разбавляющая способность атмосферы и гидросферы в ряде районов мира не в состоянии нейтрализовать вредное влияние хозяйственной деятельности человека. Накопление т. нефти персистентных (стойких) загрязняющих веществ, которые почти не разрушаются в природе (некоторые пестициды, полихлорбифенилы и др.), а также веществ, имеющих естественные механизмы разложения или усвоения (удобрения, тяжёлые металлы и др.), в количествах, превышающих способность биосферы к их переработке, нарушает сложившиеся в ходе длительной эволюции природные системы и связи в биосфере, подрывает способность природных комплексов к саморегуляции. Экологические нарушения проявляются в сокращении численности и видового разнообразия растений и животных, в снижении продуктивности лесов и сельскохозяйственных угодий, деградации экосистем. Введение в круговорот веществ биосферы миллионов тонн хлорорганических соединений, в том числе пестицидов, приводит к тому, что, с одной стороны, разрушаются сложившиеся в ходе эволюции трофические цепи, и следовательно, биоценозы, а с другой – происходит неконтролируемое размножение организмов, легко вырабатывающих устойчивые формы (некоторые насекомые, микроорганизмы). Загрязнение таких жизненно важных для человека природных ресурсов, как атмосферный воздух, пресная вода, плодородная почва, запасы которых на планете ограничены, приобретает глобальный характер. Использование древесины и ископаемого топлива (уголь, нефть) как источника энергии является основной причиной загрязнения атмосферы вредными газами и пылью. Глобальный характер загрязнения атмосферы находит выражение в её общей запылённости, в увеличении концентрации углекислого газа в воздухе и других загрязняющих веществ, что может привести к нарушению озонового экрана, изменению климата Земли. При сжигании топлива, в том числе бензина, в биогеохимические циклы включаются не только дополнительные массы окислов углерода, соединений серы, азота, но и большие количества таких загрязняющих биосферу элементов, как ртуть, свинец, мышьяк и др. Вовлечение в промышленное и сельскохозяйственное производство тяжёлых металлов значительно превосходит те количества, которые находились в биосферном круговороте за всю предшествующую историю человечества. Соединение окислов азота и серы с водой приводит к выпадению так называемых кислотных дождей, изменяющих рН среды и приводящих к гибели живых организмов.

Одна из крупных проблем загрязнения биосферы – радиоактивное загрязнение окружающей среды в результате ядерных испытаний, накопления радиоактивных отходов, а также при авариях на атомных предприятиях. Глобальное радиоактивное загрязнение составляло к середине 70-х годов более 5,5\*10-19 Бк в результате ядерных взрывов и более 1,7\*1017 Бк вследствие поступления в Мировой океан радиоактивных отходов. Наиболее загрязнены районы умеренных широт, особенно в Северном полушарии.

В связи с этим перед радиобиологией возникают новые проблемы: всестороннее исследование радиационного поражения радиационного поражения многоклеточных организмов при их тотальном облучении, познание причин различной радиочувствительности организмов, роли радиации в возникновении вредных мутаций, изучение закономерностей и причин возникновения отдалённых последствий облучения (сокращение продолжительности жизни, возникновение опухолей, снижение иммунитета). Актуальными для радиобиологии становятся такие практические задачи, как изыскание различных средств защиты организма от излучений и путей его пострадиационного восстановления от повреждений, прогнозирование опасности для человечества повышающегося уровня радиации окружающей среды, изыскание новых путей использования ионизирующих излучений в медицине, сельском хозяйстве, пищевой и микробиологической промышленности.

Для биологического действия ионизирующих излучений характерен ряд общих закономерностей. Во-первых, глубокие нарушения жизнедеятельности вызываются ничтожно малыми количествами поглощаемой энергии. Так, энергия, поглощённая телом млекопитающего или человека при облучении смертельной дозой, при превращении в тепловую привела бы к нагреву тела всего на тысячную долю градуса. Во-вторых, биологическое действие ионизирующих излучений не ограничивается подвергнутым облучению организмом, но может распространяться на последующие поколения, что объясняется действием на наследственный аппарат организма. В-третьих, для биологического действия ионизирующих излучений характерно наличие латентного периода, т.е. развитие лучевого поражения наблюдается не сразу. Продолжительность латентного периода может варьировать от нескольких минут до десятков лет в зависимости от дозы облучения, радиочувствительности организма и наблюдаемой функции. Так, при облучении в очень больших дозах можно вызвать "смерть под лучом", длительное же облучение в малых дозах ведёт к изменению состояния нервной и др. систем, к возникновению опухолей спустя годы после облучения.

Радиочувствительность разных видов организмов различна. Смерть половины облучённых животных (при общем облучении) в течение 30 суток после облучения вызывается следующими дозами рентгеновского излучения: морские свинки 250 р, собаки 335 р, обезьяны 600р, мыши 550-650 р, караси 1800 р, змеи 8000 - 20000 р. Более устойчивы одноклеточные организмы: дрожжи погибают при дозе 30000 р, амёбы – 100000 р, а инфузории выдерживают облучение в дозе 300000 р. Радиочувствительность высших растений тоже различна: семена лилии полностью теряют всхожесть при дозе облучения 2000 р, на семена капусты не влияет доза в 64000 р.

Первичное действие радиации любого вида на любой биологический объект начинается с поглощения энергии излучения, что сопровождается возбуждением молекул и их ионизацией. При ионизации молекул воды (косвенное действие излучения) в присутствии кислорода возникают активные радикалы, гидратированные электроны, а также молекулы перекиси водорода, включающиеся затем в цепь химических реакций в клетке. При ионизации органических молекул (прямое действие излучения) возникают свободные радикалы, которые, включаясь в протекающие в организме химические реакции, нарушают течение обмена веществ и, вызывая появление несвойственных организму соединений, нарушают процессы жизнедеятельности. При облучении в дозе 1000 р в клетке средней величины возникает около 1 млн. таких радикалов, каждый из которых в присутствии кислорода воздуха может дать начало цепным реакциям окисления, во много раз увеличивающим количество изменённых молекул в клетке и вызывающим дальнейшее изменение субмикроскопических структур. Выяснение большой роли свободного кислорода в цепных реакциях, ведущих к лучевому поражению, т.н. кислородного эффекта, способствовало разработке ряда эффективных радиозащитных веществ, вызывающих искусственную гипоксию в тканях организма. Большое значение имеет и миграция энергии по молекулам биополимеров, в результате которой поглощение энергии, происшедшее в любом месте макромолекулы, приводит к поражению её активного центра. Поглощение энергии и ионизация молекул занимают доли секунды.

Последующие биохимические процессы лучевого повреждения развиваются медленнее. Образовавшиеся активные радикалы нарушают нормальные ферментативные процессы в клетке, что ведёт к уменьшению количества макроэргических соединений. Особенно чувствителен к облучению синтез ДНК в интенсивно делящихся клетках,т.о. в результате цепных реакций возникающих при поглощении энергии излучения.

Воздействие ионизирующего излучения вызывает повреждение клеток. Наиболее важно нарушение клеточного деления – митоза. При облучении в сравнительно малых дозах наблюдается временная остановка митоза. Большие дозы могут вызывать полное прекращение деления или гибель клеток. Нарушение нормального хода митоза сопровождается хромосомными перестройками, возникновением мутаций, ведущих к сдвигу в генетическом аппарате клетки, а следовательно, к изменению наследственных свойств развивающихся из них организмов. При облучении в больших дозах происходит набухание и пикноз ядра, затем структура ядра исчезает. В цитоплазме при облучении в дозах 10000 – 20000 р наблюдается изменение вязкости, набухание цитоплазматических структур, образование вакуолей, повышение проницаемости. Всё это резко нарушает жизнедеятельность клетки.

Возникающие в облучаемых клетках изменения ведут к нарушениям в тканях, органах и жизнедеятельности всего организма. Особенно выражена реакция тканей, в которых отдельные клетки живут сравнительно недолго. Это слизистая оболочка желудка и кишечника, которая после облучения воспаляется, покрывается язвами, что ведёт к нарушению пищеварения и всасывания, а затем к истощению организма его продуктами распада клеток (токсемия) и проникновению бактерий, живущих в кишечнике, в кровь (бактериемия). Сильно повреждается кроветворная система, что ведёт к резкому уменьшению числа лейкоцитов в периферической крови и к снижению её защитных свойств. Одновременно падает и выработка антител, что ещё больше ослабляет защитные силы организма. Уменьшается и количество эритроцитов, с чем связано нарушение дыхательной функции крови. Нарушается образование половых клеток, может возникать даже полное бесплодие. Первой реагирует на радиационное воздействие нервная система. Имеют также место нарушения работы желёз внутренней секреции.

Одним из вариантов защиты биологических объектов от ионизирующих излучений является применение радиопротекторов. Если их ввести в организм после облучения, никакого эффекта наблюдаться не будет, поэтому их имеет смысл вводить только до или после облучения. К эффективным радиопротекторам относятся вещества, содержащие сульфгидрильные группы (-SH), например, цистеин, а также меркаптоамины, индолилалкиламины. Радиопротекторы оказывают действие, понижая внутриклеточное или внутритканевое напряжение кислорода или увеличивая содержание эндогенных тиолов, что сопровождается уменьшением окислительно-восстановительного потенциала. Величину действия радиопротекторов выражают в виде фактора уменьшения дозы ФУД (по новой классификации – ФИД), равного отношению доз излучений, вызывающих одинаковый эффект в присутствии радиопротекторов и в их отсутствии. ФУД при облучении в условиях гипоксии значительно меньше, чем при облучении в присутствии кислорода, а при действии излучений с высокой линейной потерей энергии (альфа-частицы, нейтроны) меньше, чем при действии излучений с низкой ЛПЭ (рентгеновские и гамма-лучи). Защитное действие радиопротекторов видоспецифично. Некоторые радиопротекторы могут защищать микроорганизмы и клетки в культуре и не защищать млекопитающих. Однако следует помнить, что положительный эффект радиопротекторов достигается только в том случае, если они были введены до облучения. При их введении после кривая действия радиопротекторов изменяться не будет, коэффициент ФУД останется равным 1, т.к. дозы, вызывающие одинаковый эффект в присутствии радиопротекторов и в их отсутствии, станут равными.

**Список литературы**

1. Кудряшов Ю.Б., Беренфельд Б.С. Радиационная биофизика, М.,1979

2. Биологический Энциклопедический Словарь, М., 1989

3. Большая Советская Энциклопедия, М., 1970

4. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных, М.,1988

5. Первичные процессы лучевого поражения. Сб. ст. М., 1957

6. Корогодин В.И. Проблемы пострадиационного восстановления. М.,1966