

## ЛЕКЦИЯ 1

### БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

#### 1. Введение.

#### 2. Относительная биологическая эффективность ионизирующих излучений и линейная передача энергии. Методы оценки относительной биологической эффективности излучений

#### 1. Введение

Зарождение и развитие жизни на Земле происходило и происходит в радиоактивной среде. Все биологические объекты постоянно подвергаются облучению за счет излучений естественных радионуклидов Земли и космического излучения, которые формируют естественный радиационный фон. Появление искусственных радионуклидов в окружающей среде после аварии на Чернобыльской АЭС способствовало расширению контактов всех биологических объектов с ионизирующей радиацией. На территории радиоактивного загрязнения объекты постоянно подвергаются дополнительному внешнему и внутреннему облучению за счет искусственных радионуклидов, находящихся в окружающей среде, а также внутреннему облучению за счет инкорпорированных радионуклидов, т.е. радионуклидов, находящихся в органах и тканях самих объектов. Облучение ионизирующим излучением формирует различные радиобиологические эффекты у растений, животных и человека через ряд последовательных этапов.

**Радиобиология** – это наука, изучающая действие ионизирующих излучений на живые организмы и их сообщества. Объектами радиобиологии являются молекулы, макромолекулы, разные структуры клеток, клетки, популяции клеток, культура тканей, микроорганизмы, растения, млекопитающие и человек. Главная задача радиобиологии – выявление и изучение общих закономерностей радиобиологических реакций живых организмов на действие ионизирующих излучений. Решение задачи позволит управлять ответными реакциями организма на облучение и защищать организм от радиационного воздействия. Наличие фундаментальной задачи определяет радиобиологию как самостоятельную науку, которая тесно связана с такими науками, как биология, генетика, биофизика, цитология, биохимия, физиология и медицина. Радиобиология имеет свои особенности: является экспериментальной дисциплиной, исследования проводятся на всех уровнях биологической организации и результаты имеют практическую значимость.

Как наука радиобиология сформировалась в 1895 году. Возникновение радиобиологии связано с тремя открытиями в физике:

- 1) открытие ионизирующих излучений В.К. Рентгеном (1895);

- 2) открытие явления радиоактивности А. Беккерелем (1896);
- 3) открытие радия и плутония П. Кюри и М. Склодовской-Кюри (1898).

Изучение действия радиации на биологические объекты началось с открытия рентгеновских излучений.

**В развитии радиобиологии выделяют три этапа.**

**Первый этап – 1895 – 1921 гг.** В этот период исследования и их результаты носили качественный характер. Были установлены разная радиочувствительность клеток (И. Бергонье и Л. Трибондо, 1906), замедление деления клеток при облучении (К. Корнике, 1905), разные аномалии в развитии эмбрионов.

**Второй этап – 1922 – 1945 гг.** Исследования носили количественный характер, объяснялись закономерности при проявлении различных радиобиологических эффектов. Была установлена связь радиобиологического эффекта с дозой облучения, появилась первая теория о механизме действия ионизирующих излучений, было открыто мутагенное действие ионизирующих излучений. В 40–50-х годах возникли научно-исследовательские центры в России и Белоруссии.

**Третий этап – с 1945 г. и до наших дней.** Продолжается изучение действия радиации на разных уровнях, т.е. на молекулярном, клеточном, тканевом, органном, организменном и популяционном. Новым направлением в радиобиологии является изучение действия инкорпорированных радионуклидов на организм, дополняется и совершенствуется теория, объясняющая механизм действия ионизирующих излучений, и решаются другие проблемы радиобиологии.

**Главной проблемой радиобиологии** является проблема радиочувствительности. До настоящего времени не решен вопрос – почему отдельные виды и клетки имеют разную радиочувствительность. В то же время установлено, что радиочувствительность различных клеток и организмов может различаться в десятки и сотни раз. В природе нет других повреждающих источников, которые вызывают широкую изменчивость реакций у облучаемых объектов при действии на них ионизирующих излучений.

**Второй проблемой** в радиобиологии считается проблема механизма действия ионизирующих излучений на биологические объекты. Механизм действия излучений полностью не раскрыт, поэтому нет единой теории, объясняющей механизм действия ионизирующих излучений.

**Третья проблема** – это профилактика и терапия острых лучевых поражений. Прошло более 50 лет со дня открытия радиозащитных средств (радиопротекторов), но не найдено ни одного протектора, который бы уменьшил поражающий эффект в два раза. Лечение острых лучевых поражений невозможно.

**Четвертая проблема** – сенсibilизация клеток и тканей. Сенсibilизаторы – это вещества, усиливающие радиационное поражение клеток и тканей. Сенсibilизация применяется при лучевой терапии

злокачественных опухолей, поэтому значительно повышается эффективность радиационно-биологических технологий лечения.

**Пятая проблема** – специфика действия на организм малых доз излучений. Долгое время оставался нерешенным вопрос о существовании порога значения дозы (или безвредной дозы) для организма. Сейчас доказано, что любая малая доза может вызвать радиобиологический эффект. Действием малых доз ионизирующих излучений на организм считается облучение организма ионизирующим излучением от инкорпорированных радионуклидов, которые попадают в организм в основном с продуктами питания.

**Шестая проблема** – особенности действия на организм малых доз хронического облучения от инкорпорированных радионуклидов, которые накапливаются в различных органах организма и вызывают облучение клеток тканей и органов.

**Седьмая проблема** – радиационное нарушение иммунитета. В настоящее время установлено, что это одно из тяжелых последствий острого и хронического облучения организма.

**Восьмая проблема** – отдаленные последствия облучения (лейкозы, катаракты, злокачественные новообразования, сокращение продолжительности жизни, генетические эффекты), причины их возникновения и особенности проявления.

Проблемы радиобиологии по-прежнему актуальны. В настоящее время они носят особо острый характер, потому что с их решением связана защита организма не только от острого, но и от хронического облучения.

## **2. Относительная биологическая эффективность ионизирующих излучений и линейная передача энергии. Методы оценки относительной биологической эффективности излучений**

Ионизирующие (или ядерные) излучения возникают при распаде ядер радиоактивных элементов. Они невидимы и обнаруживаются по различным явлениям, происходящим при их действии на вещество. Опасность для биологических объектов связана с особенностями, которые присущи только ядерным излучениям. Они обладают высокой энергией, превышающей внутримолекулярную и межмолекулярную энергию связей атомов и молекул, проникают внутрь облучаемого объекта и передают ему свою энергию, вызывая при этом ионизацию и возбуждение атомов и молекул, разрывают химические связи в молекулах, т.е. вызывают радиолиз молекул. При облучении и после облучения формируются различные повреждения, которые проявляются на разных уровнях – от атомного и молекулярного до организменного. Ионизирующие излучения оказывают мутагенное действие на геном, геномном, клеточном и организменном уровнях, блокируют митоз, вызывают репродуктивную и интерфазную гибель клеток, а также канцерогенез или раковые опухоли тканей.

Токсичность радионуклидов в организме определяется следующими их особенностями: вид излучения и величина энергии, период полураспада, форма поступления в организм, тип распределения по тканям и органам, скорость выведения из организма. К ионизирующим излучениям относятся рентгеновские лучи, гамма-лучи, бета-частицы, альфа-частицы, протоны, нейтроны. Качество излучения характеризуют такие физические показатели, как энергия, масса и заряд, удельная ионизация. По значению величин этих показателей ядерные излучения существенно отличаются друг от друга. Энергия излучения имеет прямую связь с поражающим действием, т.е. чем она больше, тем сильнее радиобиологический или поражающий эффект.

Степень биологического действия разных видов излучений зависит от их **линейной передачи энергии (ЛПЭ)**, т.е. от количества энергии, переданного веществу на 1 мкм пробега излучения в веществе. От величины ЛПЭ зависит удельная ионизация. У тяжелых частиц (альфа-частицы и протоны) плотность ионизации очень высокая, у легких – низкая. Например, в мышечной ткани среднее число ионизаций на пути в 1 мкм для альфа-частиц составляет 4500 кэВ/мкм, а для бета-частиц – 8 кэВ/мкм при средней ЛПЭ альфа-частиц, равной 143,0 кэВ/мкм, и бета-частиц – 0,23 кэВ/мкм. Таким образом, чем выше ионизационная способность и короче пробег частицы, тем больше у нее ЛПЭ и тем сильнее радиобиологический эффект. Облучение биологических объектов разными видами излучения в равных дозах вызывает различные по величине и значению эффекты. Как правило, излучения с высокой ЛПЭ обладают большим поражающим действием. Для сравнения биологического действия разных видов ионизирующих излучений введено понятие **относительная биологическая эффективность (ОБЭ)**. Для количественной оценки ОБЭ излучения используют ее коэффициент, который определяется как отношение доз стандартного и исследуемого видов ионизирующего излучения, необходимых для получения одинакового биологического эффекта. Коэффициент ОБЭ определяется по формуле

$$K_{обэ} = (DR_0)_{эф} / (DX)_{эф},$$

где  $(DR_0)_{эф}$  – доза стандартного излучения (гамма-излучение  $^{60}\text{Co}$  или  $^{137}\text{Cs}$  с энергией излучения 180–250 кэВ);

$(DX)_{эф}$  – доза изучаемого излучения;

эф – сравниваемый радиационный эффект.

Относительная биологическая эффективность для любого вида излучений – величина непостоянная, которая зависит от величины линейной передачи энергии и радиочувствительности облучаемого объекта, а также от приведенных ниже факторов:

1. Величина и мощность дозы (с увеличением дозы ОБЭ увеличивается до определенного предела).

2. Режим фракционирования или дробления дозы на фракции (при фракционированном облучении ОБЭ возрастает по мере увеличения числа фракций). При дроблении дозы на фракции каждый раз в промежутке времени между фракциями клетки успевают частично восстановить

повреждения и способность к делению, а затем вновь подвергаются последовательному облучению, усиливающему повреждения, поэтому увеличивается количество погибших клеток. Суммарная доза облучения, вызывающая гибель клеток при фракционировании дозы, всегда меньше, чем доза однократного облучения, вызывающая такой же процент гибели клеток. Более точную оценку ОБЭ и ее зависимость от ЛПЭ получают при облучении изолированных клеток или других мелких объектов, в которых энергия распределяется почти равномерно.

3. До- и пострадиационные условия (т.е. температурный режим, наличие или отсутствие кислорода и условия питания). Максимальная ОБЭ наблюдается при оптимальной температуре и оптимальных условиях питания, потому что при оптимальных показателях происходит активное деление клеток. ОБЭ плотно-ионизирующих излучений повышается при дефиците кислорода.

Более точную оценку ОБЭ и ее зависимость от ЛПЭ получают при облучении изолированных клеток или других мелких объектов, в которых энергия излучения распределяется почти равномерно. В тканях доза распределяется неравномерно, поэтому ОБЭ практически нельзя оценить.

Биологическую значимость радионуклидов характеризует период полураспада радионуклида, т.е. время, в течение которого распадается половина ядер, а также наличие изотопных и неизотопных стабильных аналогов и способность включаться в процессы обмена веществ в организме. Наибольшую опасность для организмов представляют радионуклиды с периодом полураспада от нескольких дней до нескольких десятков лет, потому что радионуклиды с периодом полураспада в несколько секунд и минут распадаются, не достигнув тканей организма, а радионуклиды с периодом полураспада в десятки тысяч лет и более в естественных условиях не оказывают вредных воздействий на организм. Из искусственных радионуклидов, являющихся продуктами деления урана, в облучении человека, животных и растений значительную роль играют йод-131, цезий-137, стронций-90, которые включаются в миграционные процессы биосферы, попадают в организмы, накапливаются в определенных органах и тканях и вызывают их облучение. Следует отметить, что цезий является химическим аналогом калия, а стронций – аналогом кальция, что обуславливает их высокую подвижность и включение в процессы обмена веществ в организмах, где они формируют дополнительные дозы внутреннего облучения, что приводит к развитию различных специфических заболеваний внутренних органов, кроветворной, иммунной, эндокринной и воспроизводительной систем.