

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 12.09.2025 09:48:45
Уникальный программный ключ:
04c19ed8bfb98f3b6cb77a486b9a8788b8322323

	МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
	Фонд оценочных средств по дисциплине «Общая радиобиология» по направлению подготовки 06.03.01 «Биология» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

**Фонд оценочных средств
для промежуточной аттестации
по дисциплине (модулю)**

Общая радиобиология

Направление подготовки (специальность)
06.03.01 Биология

Направленность (профиль)
Биология

Присваиваемая квалификация
Бакалавр

Форма обучения
очная

Год (ы) набора: 2025

Челябинск, 2025 г.

1. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Направление подготовки: **06.03.01 Биология**

Направленность (профили): Биология

Дисциплина: **Общая радиобиология**

Семестры изучения: 5

Форма промежуточной аттестации: зачет

2. ПЕРЕЧЕНЬ ФОРМИРУЕМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

2.1. Компетенции, закреплённые за дисциплиной

Изучение дисциплины «Общая радиобиология» направлено на формирование следующих компетенций:

Коды компетенции (по ФГОС)	Содержание компетенций согласно ФГОС	Коды и содержание индикаторов	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3	4
УК-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)	УК-4.2. Демонстрирует умение осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах, использовать методы и навыки делового общения.	Знать: Для достижения УК-4.2. знать: радиобиологические термины, классификацию ионизирующих излучений, историю становления и развития радиобиологии, радиобиологов. Уметь: Для достижения УК-4.2. уметь: анализировать материал в научной литературе радиобиологического профиля. Владеть: Для достижения УК-4.2. владеть: навыками поиска необходимой информации по радиобиологии в литературных источниках и сети интернет, создавать мультимедийные презентации.
ПК-1	Способен применять современные методы обработки, анализа и синтеза полевой, производственной и лабораторной биологической информации, правила составления научно-технических проектов и отчетов	ПК 1.2. Использует теоретические знания в лабораторной работе. ПК-1.4. Использует теоретические знания об основных биологических закономерностях.	Знать: Для достижения ПК-1.2. знать: физические характеристики ионизирующих излучений, реакции живых систем на облучение, основные правила и требования при работе с ионизирующим излучением в лаборатории. Для достижения ПК-1.4. знать: классификацию и физические характеристики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Общая радиобиология» по направлению подготовки 06.03.01 «Биология» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»			стр. 3
			<p>ионизирующих излучений, классификацию биологических эффектов при воздействии ионизирующих излучений.</p> <p>Уметь: Для достижения ПК-1.2. уметь: пользоваться инструкциями к лабораторным приборам, протоколами методик, анализировать и представлять результаты исследований.</p> <p>Владеть: Для достижения ПК-1.4. владеть: навыками критического анализа научных данных по радиобиологии в литературных источниках и сети интернет.</p>

3. СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1 Виды оценочных средств

№ п/п	Код компетенции/планируемые результаты обучения	Контролируемые темы/разделы	Наименование оценочного средства для текущего контроля	Наименование оценочного средства на промежуточной аттестации № задания
1	<p>УК-4</p> <p>Знать: Для достижения УК-4.2. знать: радиобиологические термины, классификацию ионизирующих излучений, историю становления и развития радиобиологии, радиобиологов.</p> <p>Уметь: Для достижения УК-4.2. уметь: анализировать материал в научной литературе радиобиологического профиля.</p> <p>Владеть: Для достижения УК-4.2. владеть: навыками поиска необходимой информации по радиобиологии в литературных источниках и</p>	<p>1. Введение в дисциплину.</p> <p>2. Физико-дозиметрические основы радиобиологии. Источники ионизирующих излучений.</p> <p>3. Проблема радиочувствительности в радиобиологии.</p> <p>4. Теоретические представления о механизме биологического действия ионизирующих излучений.</p> <p>5. Детерминистские и стохастические.</p>	Устный опрос, реферат	Вопросы к зачету № 1-29

	сети интернет, создавать мультимедийные презентации.	6. Защита от поражающего действия ионизирующей радиации.		
2	<p>ПК-1 Знать: Для достижения ПК-1.2. знать: физические характеристики ионизирующих излучений, реакции живых систем на облучение, основные правила и требования при работе с ионизирующим излучением в лаборатории. Для достижения ПК-1.4. знать: классификацию и физические характеристики ионизирующих излучений, классификацию биологических эффектов при воздействии ионизирующих излучений. Уметь: Для достижения ПК-1.2. уметь: пользоваться инструкциями к лабораторным приборам, протоколами методик, анализировать и представлять результаты исследований. Владеть: Для достижения ПК-1.4. владеть: навыками критического анализа научных данных по радиобиологии в литературных источниках и сети интернет.</p>	<p>1. Введение в дисциплину. 2. Физико-дозиметрические основы радиобиологии. Источники ионизирующих излучений. 3. Проблема радиочувствительности в радиобиологии. 4. Теоретические представления о механизме биологического действия ионизирующих излучений. 5. Детерминистские и стохастические. 6. Защита от поражающего действия ионизирующей радиации.</p>	Устный опрос, реферат	Вопросы к зачету № 1-29

Примечание: типовые задания, критерии и показатели оценивания в рамках текущего контроля представлены в рабочей программе дисциплины (модуля). Полные комплекты оценочных средств и контрольно-измерительных материалов хранятся на кафедре.

3.2 Содержание оценочных средств

Оценочные средства промежуточной аттестации» представлены перечнем вопросов для зачета.

3.2.1 Теоретические вопросы к зачету

1. Предмет и задачи радиобиологии. История развития основных радиобиологических представлений и открытий. Этапы становления радиобиологии. Связь с другими науками.

Ответ: Радиобиология — это самостоятельная комплексная, фундаментальная наука, состоящая из многих научных направлений, изучающая действие ионизирующих и неионизирующих излучений на биологические объекты. Задачи: вскрытие общих количественных закономерностей биологического ответа на воздействие ионизирующих излучений («доза-эффект»), изучение механизмов развития биологических эффектов, в том числе и объяснение радиобиологического парадокса, овладение искусством управления лучевыми реакциями организма (радиосенсибилизация, радиорезистентность). Официальной датой рождения радиобиологии может считаться 1895 г., когда В.К. Рентген обнаружил ионизирующее излучение, позднее названное его именем. В 1901 г. за свое открытие он получил первую в истории Нобелевскую премию по физике. С помощью рентгеновских лучей человек впервые смог увидеть скрытую от глаз структуру предметов и биологических объектов. Сразу же после этого в 1896 г. начались исследования возможности использования ионизирующего излучения в медицине с целью диагностики и лечения различных заболеваний. Изучая в 1896 г. один из рентгеновских снимков, А. Беккерель заинтересовался механизмом образования рентгеновских лучей и, в частности, их связью с флюоресценцией. Спустя два месяца он доказал, что похожие лучи испускает уран. Так было открыто явление естественной радиоактивности. Открытие естественной радиоактивности и рентгеновского излучения стимулировало дальнейшее развитие ядерной физики, радиохимии и радиобиологии. П. Кюри и М. Склодовской-Кюри в 1898 г. был открыт радий, а затем начались работы по изучению возможности его медицинского применения. В 1903 г. им обоим вместе с А. Беккерелем была присуждена Нобелевская премия в области физики за исследование радиоактивности.

Первый этап 1890 - 1922 гг. Описательный этап, связанный с накоплением данных и первыми попытками осмысления биологических реакций на облучение. Второй этап 1922—1945 гг. Становление фундаментальных принципов количественной радиобиологии, характеризующийся стремлением связи эффектов с величиной поглощенной дозы; открытие мутагенного действия ионизирующих излучений, развитие радиационной генетики. Третий этап с 1945 г. по настоящее время. Дальнейшее развитие радиобиологии на всех уровнях биологической организации.

2. Виды ионизирующего излучения. Корпускулярное и фотонное излучение. Непосредственно и косвенно ионизирующее излучение.

Ответ: Ионизирующие излучения (ИИ) — это потоки частиц и квантов электромагнитного излучения, прохождение которых через вещество приводит к ионизации и возбуждению его атомов или молекул. Ионизация и возбуждение являются основными процессами, на которые расходуется энергия ИИ любого вида при взаимодействии с веществом. Энергия ИИ выражается в электрон-вольтах (эВ). $1 \text{ эВ} = 1,6 \times 10^{-12} \text{ Эрг}$.

Ионизация - процесс образования ионов, посредством которого нейтральный атом или молекула получают электрический заряд. По физической природе ионизирующие излучения делятся на корпускулярные и электромагнитные.

Корпускулярные излучения имеют массу покоя; могут иметь отрицательный, положительный заряд или быть нейтральными. К корпускулярным излучениям относятся элек-

троны, позитроны, протоны, нейтроны и другие элементарные частицы, а также атомные ядра.

Электромагнитные излучения представляют собой фотонное излучение. Фотоны не имеют массы покоя и заряда, это «порции» (кванты) энергии электромагнитного поля. К электромагнитным ионизирующим излучениям относятся рентгеновское и гамма-излучение, которые имеют ту же природу, что и радиоволны, видимый свет, инфракрасное и ультрафиолетовое излучения, но отличаются от них меньшей длиной волны (λ), более высокой частотой излучения (ν) и более высокой энергией.

По механизму взаимодействия с веществом ИИ делятся на прямо ионизирующие излучения и косвенно ионизирующие излучения.

Прямо (непосредственно) ионизирующее излучение - ИИ, состоящее из заряженных частиц, имеющих кинетическую энергию, достаточную для ионизации при столкновении с атомами и молекулами вещества (электроны, протоны, α - частицы и др.). Механизм передачи энергии у всех заряженных частиц одинаковый. Частица при прохождении через вещество теряет энергию на ионизацию и возбуждение атомов до тех пор, пока общий запас энергии не снизится до уровня, когда частица теряет утрачивает ионизирующую способность.

Косвенно ионизирующее излучение (нейтроны, фотоны) - ИИ, которые сами непосредственно не производят ионизацию, но в процессе взаимодействия со средой высвобождают заряженные частицы (вторичные электроны, протоны, ядра отдачи), способные ионизировать атомы и молекулы среды.

3. ЛПЭ, плотность ионизации, проникающая способность. Основные характеристики α - β - γ -излучения, рентгеновского и нейтронного излучения.

Ответ: Линейная передача энергии - энергия, теряемая ИИ на единицу пути в веществе. За единицу ЛПЭ принимают количество энергии (кэВ) излучения, расходуемое при своем прохождении 1 мкм в облучаемом материале. ЛПЭ связана, как с физической природой излучения, так и с энергией кванта или частицы. С ростом ЛПЭ повышается поражаемость клеток и снижается их способность к репарации. Это связано с тем, что разные ИИ создают разную плотность ионизации в веществе. Плотность ионизации (удельная ионизация) - число пар ионов, образованных на единицу пути (1 мкм). В зависимости от плотности ионизации ИИ делят на редкоионизирующие излучения - все виды электромагнитных излучений и бета-излучение (ЛПЭ < 10 кэВ/мкм) и плотноионизирующие - альфа-частицы, протоны, нейтроны, ядра атомов (ЛПЭ > 10 кэВ/мкм).

Альфа-излучение (α -частицы) - корпускулярное излучение. Естественное альфа-излучение как результат радиоактивного распада ядра, характерно для неустойчивых ядер тяжелых элементов, начиная с атомного номера более 83, т.е. для естественных радионуклидов рядов урана, и тория, а также, для полученных искусственным путем трансурановых элементов. Положительно заряженная частица, образованная двумя протонами и двумя нейтронами, и представляет собой ядро атома гелия. Они обладают зарядом +2, массой равной 4 а.е.м. Альфа-частицы относятся к плотноионизирующим излучениям, быстро теряющим свою энергию при взаимодействии с веществом. ЛПЭ высокая. Плотность ионизации высокая - на 1 мм пути образует 6 тысяч пар ионов. Бета-излучение (β - частицы). Корпускулярное излучение - это поток электронов (β^- - частицы) или позитронов (β^+ - частицы), испускаемых при радиоактивном бета-распаде ядер некоторых атомов. Электроны (заряд -1) или позитроны (заряд +1) образуются в ядре при превращении нейтрона в протон или протона в нейтрон соответственно. При

бета-распаде различные атомы данного радиоактивного элемента испускают бета-частицы различной энергии, меняющейся от нуля до некоторого максимального значения. Масса бета-частиц составляет $9,1 \times 10^{-31}$ кг ($5,49 \times 10^{-4}$ а.е.м.). Бета-частицы относятся к редкоионизирующим излучениям. Нейтронное излучение - корпускулярное излучение (масса 1 а.е.м.), не имеет заряда. Нейтронное излучение образуется при работе ускорителей элементарных частиц, в ядерных реакторах, промышленных и лабораторных установках, при ядерных взрывах, при делении тяжелых ядер (например, урана-235). Свойства нейтронного излучения и характер его взаимодействия с живой тканью определяются энергией нейтронов. В зависимости от энергии различают: тепловые нейтроны с энергией 0,2-0,5 эВ, промежуточные нейтроны с энергией 0,5 эВ до 500 кэВ, быстрые нейтроны с энергией более 500 кэВ, сверхбыстрые нейтроны с энергией 10-12 МэВ. Среди различных типов взаимодействия нейтронов с веществом наиболее характерны ионизация, упругое и неупругое рассеяние и ядерные реакции. При неупругих взаимодействиях возникает вторичное излучение, которое может состоять как из заряженных частиц, так и из гамма-квантов (косвенная ионизация). При упругих взаимодействиях возможна обычная ионизация вещества. Относятся к плотноионизирующим излучениям. Обладают высокой проникающей способностью.

Гамма-излучение (γ -излучение) - это коротковолновое электромагнитное излучение, распространяется прямолинейно со скоростью света, энергия γ -квантов превышает 0,01 МэВ. Длина волны гамма-излучения менее 2×10^{-10} м, частота более 3×10^{18} Гц. Гамма-кванты испускаются при альфа- и бета-распадах ядер природных и искусственных радионуклидов, лишены массы покоя, не имеют заряда, проникающая способность высокая. Относится к редкоионизирующим (ионизация: от 3 до 5 пар ионов на 1 см пробега), косвенноионизирующим излучениям.

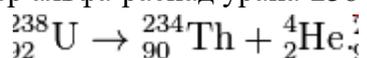
Рентгеновское излучение - электромагнитное излучение, занимающее спектральную область в пределах длин волн от $\sim 10^{-7}$ до $\sim 10^{-12}$ м. Энергетический диапазон - от 10 эВ до 250 кэВ. Возникает при торможении электронов в электрическом поле ядра атомов (тормозное рентгеновское излучение) или при перестройке электронных оболочек атомов при ионизации и возбуждении атомов и молекул (характеристическое рентгеновское излучение). Источники рентгеновских лучей – рентгеновская трубка, некоторые радионуклиды (например, бета-излучатели), ускорители и накопители электронов (синхротронное излучение). Относится к редкоионизирующим, косвенно ионизирующим излучениям. Проникающая способность высокая.

4. Радиоактивность. Виды радиоактивного распада и радиоактивные превращения при распаде. Период полураспада. Активность и единицы активности источников. Понятие о естественных радиоактивных рядах.

Ответ: Радиоактивность - самопроизвольные превращения атомных ядер, сопровождающиеся испусканием элементарных частиц или более лёгких ядер. Самопроизвольное (спонтанное) превращение неустойчивого изотопа химического элемента в другой изотоп (обычно - изотоп другого элемента). Радиоактивность, радиоактивный распад - явление спонтанного превращения атомного ядра в другое ядро или ядра. Радиоактивный распад сопровождается испусканием одной или нескольких частиц (например, электронов, нейтрино, альфа-частиц, фотонов). Радиоактивностью называют также свойство вещества, содержащего радиоактивные ядра. Естественная радиоактивность - самопроизвольный распад ядер элементов, встречающихся в природе. Искусственная радиоактивность - самопроизвольный распад ядер элементов, полученных искусственным путем через соответствующие ядерные реакции.

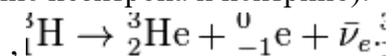
Основными видами радиоактивного распада являются:

1) Альфа-распад (испускание ядрами альфа-частиц), Альфа-распадом называют самопроизвольный распад атомного ядра на дочернее ядро и α -частицу (ядро атома ${}^4\text{He}$). Пример альфа-распад урана-238 в торий-234:



В результате α -распада атом смещается на 2 клетки к началу таблицы Менделеева (то есть заряд ядра Z уменьшается на 2), массовое число дочернего ядра уменьшается на 4.

2) Бета-распад (испускание (или поглощение) электрона, а также антинейтрино, или испускание позитрона и нейтрино):



(испускание гамма-квантов). После β -распада элемент смещается на 1 клетку к концу таблицы Менделеева (заряд ядра увеличивается на единицу), тогда как массовое число ядра при этом не меняется.

3) Спонтанное деление (распад ядра на два осколка сравнимой массы).

Три основных радиоактивных ряда, наблюдающихся в природе, обычно называются рядом тория, рядом радия и рядом актиния. Радиоактивные ряды, радиоактивные семейства, группы генетически связанных радиоактивных изотопов, в которых каждый последующий изотоп возникает в результате α - или β -распада предыдущего. Каждый Р. р. имеет родоначальника - изотоп с наибольшим периодом полураспада $T_{1/2}$. Завершают Р. р. стабильные изотопы свинца.

5. Прохождение γ -излучения через вещество. Процессы взаимодействия γ -лучей с веществом: фотоэлектрическое поглощение, комптоновское рассеяние, образование парэлектрон-позитрон.

Ответ: Гамма-излучение — это коротковолновое электромагнитное излучение, возникающее в результате разрядки состояний ядер, возбуждающихся при радиоактивном распаде ядер и в ядерных реакциях. Гамма-излучение возникает также в процессах распада элементарных частиц, в результате аннигиляции пар частица - античастица, при прохождении заряженных частиц через вещество и в ряде других процессов. По своим свойствам гамма-лучи являются сильно проникающим излучением, часто имеющим ещё более короткую длину волны, чем рентгеновские лучи. Гаммалучи имеют весьма различные энергии - от десятков электронвольт и выше. При радиоактивном распаде и в ядерных реакциях энергия гамма-лучей, как правило, составляет 10 кэВ-10 МэВ.

К основным видам взаимодействия γ -лучей с веществом относятся фотоэффект, эффект Комптона и образование электронно-позитронных пар.

Фотоэффект - явление, связанное с освобождением электронов твёрдого тела (или жидкости) под действием электромагнитного излучения. Из атома вырывается электрон. Эффект Комптона можно рассматривать как упругое столкновение двух частиц: фотона и электрона, при котором фотон передает электрону часть своей энергии (и импульса). Оже-эффект - эффект автоионизации атома, протекающий в два этапа: 1) образование вакансии (удаление электрона) в одной из внутренних оболочек атома при его облучении (например, быстрыми электронами); 2) заполнение этой вакансии электроном одной из вышележащих оболочек этого же атома и одновременный вылет другого электрона (оже-электрона) с этой или с ещё более высоко лежащей оболочки.

Гамма-квант в поле ядра может образовать пару частиц: электрон и позитрон. Вся энергия γ -кванта преобразуется в энергию покоя электрона и позитрона и их кинетические энергии.

Рождение пар - обратный аннигиляции процесс, в котором возникают пары частица-анти-

частица.

Аннигиляция - реакция превращения частицы и античастицы при их столкновении в какие-либо иные частицы, отличные от исходных. Типичной является аннигиляция электрон-позитронной пары.

6. Прохождение нейтронов через вещество. Виды взаимодействия нейтронов. Классификация нейтронов по энергии. Наведенная активность, применение искусственно-радиоактивных изотопов в биологии и медицине.

Ответ: Нейтрон - тяжелая элементарная частица, не имеющая электрического заряда. Нейтроны и протоны являются двумя главными компонентами атомных ядер; общее название для протонов и нейтронов - нуклоны. Нейтронное излучение - поток электрически нейтральных частиц (нейтронов), которые возникают в некоторых ядерных реакциях при взаимодействии высокоэнергетических элементарных частиц с веществом, а также при делении тяжелых ядер. Свойства нейтронного излучения и характер его взаимодействия с живой тканью определяются энергией нейтронов. Нейтронное излучение взаимодействует только с атомными ядрами среды.

Различают:

- Тепловые нейтроны - энергия 0,2-0,5 эВ.
- Промежуточные нейтроны - 0,5 эВ до 500 кэВ.
- Быстрые нейтроны - более 500 кэВ.
- Сверхбыстрые нейтроны - 10-12 МэВ.

Наведенная радиоактивность - это радиоактивность веществ, возникающая под действием облучения их ионизирующим излучением, особенно нейтронами.

Радиоактивные изотопы нашли широкое применение в научных исследованиях, в промышленности, сельском хозяйстве, медицине (диагностика и лечение), биологии и химии. В настоящее время радиоактивные изотопы производят в больших количествах.

7. Относительная биологическая эффективность (ОБЭ) разных видов излучений. Значения коэффициентов ОБЭ (КОБЭ), оцениваемые по различным критериям.

Ответ: Относительная биологическая эффективность - характеристика, принятая для сопоставления биологического действия разных видов ионизирующих излучений - отношение дозы эталонного облучения с низкой линейной передачей энергии к дозе рассматриваемого облучения, которая вызывает аналогичный биологический эффект.

Поглощенная доза умноженная на коэффициент качества – эквивалентная доза – доза вызывающая равные биологические эффекты при воздействии различных видов ионизирующих излучений (измеряется в Зивертах (Зв)).

Коэффициент ОБЭ (коэффициент качества - КК) рассматриваемого излучения равняется отношению поглощенной дозы стандартного гамма-облучения (D_c) к поглощенной дозе рассматриваемого излучения (D_x), при условии, что оба вида излучения вызывают одинаковый радиобиологический эффект: $ОБЭ_x = D_c/D_x$, где D_c и D_x – дозы стандартного гамма- и рассматриваемого излучений соответственно.

Средние значения КК для различных видов излучений приведены в таблице:

Вид излучения	Коэффициент качества
фотоны любых энергий	1
электроны и мюоны любых энергий	1
протоны с энергией более 2 МэВ	1

альфа-частицы, осколки деления,тяжелые ядра	20
нейтроны с энергией:	
менее 10 кэВ	5
от 10 до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 МэВ до 20 МэВ	20
более 20 МэВ	5

Экспозиционная доза - величина, показывающая, какой заряд создаёт фотонное (гамма- или рентгеновское) излучение в единице объёма воздуха.

Поглощенная доза — энергия ионизирующего излучения, поглощенная облучаемым телом (тканями организма), в пересчете на единицу массы.

Эквивалентная доза — поглощенная доза, умноженная на коэффициент, отражающий способность данного вида излучения повреждать ткани организма.

Эффективная эквивалентная доза — эквивалентная доза, умноженная на коэффициент, учитывающий разную чувствительность различных тканей к облучению.

Коллективная эффективная эквивалентная доза — эффективная эквивалентная доза, полученная группой людей от какого-либо источника радиации.

Полная коллективная эффективная эквивалентная доза — коллективная эффективная эквивалентная доза, которую получают поколения людей от какого-либо источника за все время его дальнейшего существования.

8. Основные величины в дозиметрии ионизирующего излучения и единицы их измерений. Экспозиционная доза. Поглощенная доза.

Ответ: Дозиметрия - раздел прикладной ядерной физики, в котором рассматриваются свойства ионизирующих излучений, физические величины, характеризующие поле излучения и взаимодействие излучения с веществом (дозиметрические величины). В более узком смысле слова Д. и. и. - совокупность методов измерения этих величин. Важнейший признак дозиметрических величин - их связь с радиационно-индуцированными эффектами, возникающими при облучении объектов живой и неживой природы. Под радиационно-индуцированными эффектами в общем смысле понимают любые изменения в облучаемом объекте, вызванные воздействием ионизирующих излучений.

Основной дозиметрической величиной является доза ионизирующего излучения. В начале 20 в. основными источниками излучения были радий и рентгеновские аппараты, и Д. и. и. сводилась фактически к дозиметрии фотонного ионизирующего излучения (рентгеновского и гамма-излучения). Новым толчком к расширению сферы прикладного использования этого раздела ядерной физики стал запуск первого ядерного реактора в 1942 году. Дозиметрия ионизирующих излучений пополняется новыми дозиметрическими величинами, методами исследования нейтронов, потоков заряженных частиц и т.д.

Экспозиционная доза — это величина, равная отношению суммарного заряда ионов одного знака, образовавшихся под действием излучения в сухом атмосферном воздухе, к массе ионизированного воздуха. В СИ единицей экспозиционной дозы является кулон на

килограмм (Кл\кг). Внесистемная единица — рентген (Р). 1 Р — экспозиционная доза излучения, при которой в 1 см³ сухого воздуха при нормальном атмосферном давлении образуется около $2 \cdot 10^9$ пар ионов: $1 \text{ Р} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл\кг}$.

Поглощенная доза - называют величину, равную отношению энергии ионизирующего излучения W , поглощенной облучаемым веществом, к массе m этого вещества. В СИ единицей поглощенной дозы излучения является грэй (Гр). 1 Гр равен поглощенной дозе излучения, при которой облучаемому веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж: $\text{Гр} = \text{Дж} \setminus \text{кг}$. Внесистемная единица поглощенной дозы излучения D — 1 Гр = 100 рад

9. Источники ионизирующих излучений. Использование ионизирующих излучений в деятельности человека.

Ответ: Ионизирующее излучение – это поток элементарных частиц или квантов электромагнитного излучения, который создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе, и прохождении которого через вещество приводит к ионизации и возбуждению атомов или молекул среды.

Источниками ИИ делятся на естественные (космические и наземные) и искусственные в зависимости от того, существуют распадающиеся ядра в природе или получены посредством искусственных ядерных реакций. Человек использует ИИ в разных отраслях деятельности. Военные направления использования ИИ: испытания ядерного оружия; предприятия по созданию ядерного оружия, предприятия, перерабатывающие ЯТ. Мирные направления ИИ: реакторы, АЭС, КА; морские суда; медицинское процедуры; научные учреждения. Имеют случаи аварий (локальное, глобальное). ИИ могут содержаться в окружающей среде, биологических объектах, в теле человека.

Таблица - Антропогенные источники.

Атомная промышленность	Предприятия производят топливо для использования в ядерной энергетике или со здания ядерных боеголовок.
Ядерные взрывы	В результате взрывов и испытаний ядерного оружия в окружающую среду попадают радиоактивные изотопы.
Ядерная энергетика	Производство электроэнергии на атомных электростанциях практикуется во многих странах мира. В результате преобразования ядерной энергии образуются тепловая и электрическая энергия.
Медицина и наука	Применение веществ в научных исследованиях и медицинской практике приводит к тому, что в окружающую среду поступает излучение. Изотопы применяются в медицинских целях при обследовании пациентов и лечении заболеваний. Существуют научные центры, изучающие ядерные реакторы. Это действующие факторы радиационной активности, представляющие опасность для всех живых существ.

Существуют меры по охране окружающей среды, биоты и наследия. Радиационная безопасность населения - состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения (Федеральный закон " О радиационной безопасности населения").

10. Механизмы биологического действия ионизирующих излучений. «Прямое» действие ионизирующих излучений. «Косвенное» действие ионизирующих

излучений. Радиоллиз воды.

Ответ: Различают два механизма действия радиации на биомолекулы.

Прямое действие радиации - повреждение биомолекул, которое возникает в результате поглощения энергии ионизирующего излучения самими молекулами-мишенями.

Непрямое (косвенное) действие радиации - повреждение биомолекул продуктами радиоллиза воды, перекисного окисления липидов и другими активными молекулами (в т.ч. свободными радикалами), образовавшимися в биосубстрате на физико-химической и химической стадиях действия радиации.

Радиоллиз - разложение химических соединений под действием ионизирующих излучений. При радиоллизе могут образовываться как свободные радикалы, так и отдельные нейтральные молекулы. Так как живая материя на 70-90% состоит из воды, то большая часть энергии ионизирующего излучения первично поглощается именно молекулами воды. Воздействие продуктов радиоллиза воды на биомолекулы лежит в основе косвенного действия ионизирующего излучения.

В развитии биологических эффектов можно выделить 4 стадии. - физическую, физико-химическую, химическую и биологическую. Физическая, физико-химическая и химическая стадии протекают в течение чрезвычайно короткого промежутка времени (в пределах 1 миллисекунды) и являются общими для действия излучений как на живую, так и на неживую материю. Последующая биологическая стадия - радиобиологические эффекты на всех уровнях организации живого, занимает значительно большее время, продолжается иногда в течение всей жизни, или даже нескольких поколений.

Повреждение биомолекул. При воздействии ионизирующих излучений на клетку повреждению могут подвергаться все биомолекулы, однако наиболее значимыми являются повреждения ядерной ДНК.

Действие ионизирующих излучений на белки: разрыв водородных, гидрофобных, дисульфидных связей; модификация аминокислот в цепи; образование сшивок и агрегатов; нарушение вторичной и третичной структуры белка. Такие нарушения в структуре белка приводят к нарушению его функций (ферментативной, гормональной, рецепторной и др.).

Действие ионизирующего излучения на углеводы. Углеводы в целом достаточно устойчивы к действию ионизирующего излучения: окислительный распад, укорочение цепи и отщепление альдегидов от простых сахаров наблюдаются при высоких дозах порядка 1000 Гр.

Действие ионизирующих излучений на липиды. Под влиянием облучения происходит перекисное окисление липидов - образование свободных радикалов ненасыщенных жирных кислот, которые при взаимодействии с кислородом образуют перекисные радикалы, а они, в свою очередь, реагируют с нативными жирными кислотами. Так как липиды являются структурной основой биомембран, то перекисное окисление повлечет за собой изменение их свойств. Клетка - система взаимосвязанных мембран и многие процессы клеточного метаболизма проходят именно на мембранах, поэтому при повреждении мембран в клетке нарушаются биохимические процессы и энергетический обмен (из-за повреждения митохондрий), происходит сдвиг ионного баланса клетки (выравнивание концентраций натрия и калия вследствие сдвига ионного баланса клетки). Эти изменения могут быть летальными для клетки.

Повреждения структуры ДНК – повреждения оснований, разрушение, фосфоэфирных связей, распад дезоксирибозы, разрушение водородных связей, сшивки ДНК-ДНК, ДНК-белок и др. Наиболее значимыми повреждениями молекул ДНК являются двунитевые разрывы цепи ДНК. В клетках существуют механизмы восстановления повреждений ДНК (репарация). В результате облучения, повреждающего абсолютно все

внутриклеточные структуры, в клетке можно зарегистрировать множество самых разнообразных реакций - задержку деления, угнетение синтеза ДНК, повреждение мембран и др. Степень выраженности этих реакций зависит от того, на какой стадии жизненного цикла клетки произведено облучение.

11. Интерфазная гибель клеток, ее критерии, временные и дозовые характеристики.

Апоптоз. Некроз.

Ответ: Возможны три типа реакций клеток на облучение:

- 1) радиационный блок митозов;
- 2) митотическая (репродуктивная) гибель клетки;
- 3) интерфазная гибель клетки.

Радиационный блок митозов (временная задержка деления) — наиболее универсальная реакция клетки на воздействие ионизирующих излучений. Длительность его зависит от дозы: на каждый Грей поглощенной дозы клетка отвечает задержкой митоза в 1 час. С увеличением дозы облучения увеличивается не число реагирующих клеток, а именно время задержки деления каждой облученной клетки. Эта реакция имеет огромное приспособительное значение: увеличивается длительность интерфазы, оттягивается вступление клетки в митоз, создаются благоприятные условия для нормальной работы системы репарации ДНК.

Для интерфазной гибели известны два вида:

- 1) Некроз – или омертвление - это патологический процесс, выражающийся в местной гибели ткани в живом организме в результате какого-либо экзо- или эндогенного ее повреждения. Некроз проявляется в набухании, денатурации и коагуляции цитоплазматических белков, разрушении клеточных органелл и, наконец, всей клетки. Это гибель клеток, при которой в результате разрыва клеточной мембраны цитоплазма выходит во внеклеточное пространство, где формируется воспалительная реакция ткани. Гибель клеток в процессе некроза происходит в результате массивного поражения клеточных структур при больших дозах облучения.
- 2) Апоптоз - программируемая клеточная смерть, регулируемый процесс самоликвидации на клеточном уровне. Сначала клетки распадаются на апоптотические тельца, включающие фрагменты ДНК и клеточные органеллы, затем апоптотические тельца распадаются *in vitro* и утилизируются макрофагами и окружающими клетками *in vivo*. При воздействии ИИ гибель клеток за счет апоптоза может быть вызван самыми малыми дозами облучения.

12. Репродуктивная гибель. Дозовая кривая выживаемости клеток и ее параметры.

Ответ: Возможны три типа реакций клеток на облучение:

- 1) радиационный блок митозов;
- 2) митотическая (репродуктивная) гибель клетки;
- 3) интерфазная гибель клетки.

Репродуктивная это полная потеря клеткой способности к размножению. Это не относится к клеткам, не делящимся или делящимся редко.

Варианты митотической гибели:

- 1) клетка гибнет в процессе одного из первых четырех пострадиационных митозов (показателем выживаемости клетки является ее способность проходить 5 и более делений);
- 2) облученные клетки после первого пострадиационного митоза формируют так

называемые —гигантские| клетки (чаще в результате слияния —дочерних| клеток). Зависимость между дозой радиации и степенью выраженности радиобиологического эффекта графически характеризуют построением кривой дозовой зависимости. Обычно по оси абсцисс откладывают значения доз, а по оси ординат – меру радиобиологического эффекта: выживаемость клеток (организмов), выход хромосомных aberrаций и др. Если кривая доза-эффект описана каким-либо аналитическим выражением, то его используют в качестве эмпирической модели радиобиологического эффекта.

13. Радиочувствительность клеток. Радиочувствительность тканей.

Ответ: Количественным показателем реакции биологического объекта на воздействие радиации является радиочувствительность. Мерой измерения радиочувствительности клеток является D_0 - доза, при которой доля живых клеток уменьшается в сравнении с исходной в e (основание натурального логарифма) раз:

$$N/N_0 = e^{-1} = 1/2,71 = 0,367$$

Таким образом, при дозе облучения, равной D_0 , выживает ~ 37 %, а погибает ~ 63 % клеток от исходного количества.

Выраженность реакции клеток различных тканей на действие ИИ неодинакова: радиочувствительность клетки прямо пропорциональна пролиферативной активности и обратно пропорциональна степени ее дифференцированности (Правило Бергонье - Трибандо). Радиочувствительность клетки зависит так же от стадии клеточного цикла, на которую пришлось облучение: радиочувствительность клетки снижается в ряду митоз – интерфаза – стадия покоя.

Соответственно радиочувствительность ткани определяется радиочувствительностью составляющих ее клеток. Наиболее радиочувствительные ткани в организме те, которые имеют резерв активно размножающихся малодифференцированных клеток (кровотворная и лимфоидная ткани, гонады, эпителий тонкого кишечника); к тканям со средней радиочувствительностью относятся кожные покровы, эндотелий сосудов, легкие, почки, печень, орган зрения; наименее радиочувствительные (наиболее радиорезистентные) ткани в организме - высокоспециализированные мало обновляющиеся (мышечная, костная, нервная ткани). Исключение из правила Бергонье-Трибандо составляют лимфоциты - высокоспециализированные клетки с высокой радиочувствительностью.

На клеточном уровне радиочувствительность зависит от ряда факторов:

- 1) величина и организация генома (в т.ч. кариопикнотический индекс);
- 2) состояние системы репарации ДНК;
- 3) содержание в клетке антиоксидантов;
- 4) активность ферментов, утилизирующих продукты радиолитиза воды (каталаза - разрушает перекись водорода, супероксиддисмутаза - инактивирует супероксидный радикал);
- 5) интенсивность окислительно-восстановительных процессов.

14. Радиочувствительность организма. Видовая и индивидуальная радиочувствительность.

Ответ: Для оценки радиочувствительности используют такие четко регистрируемые реакции, как выживаемость (или гибель) клеток либо организмов. Мерой радиочувствительности организмов служит доза излучения, вызывающая гибель 50% особей (LD_{50}). Живые организмы различных видов сильно различаются по радиочувствительности: LD_{50} для собак составляет 2,5 Гр, для человека – 3-4 Гр, для мышей - 6-7 Гр, для птиц и рыб - 8-20 Гр, для змей - 80-100 Гр, для насекомых - 10-100

Гр, для растений - 10-1500 Гр. Наиболее устойчивыми являются змеи, насекомые, растения и особенно бактерии.

Степень радиочувствительности сильно варьирует и в пределах одного вида — индивидуальная радиочувствительность, а для определенного индивидуума зависит также от возраста и пола.

На популяционном уровне радиочувствительность зависит от следующих факторов:

1) особенности генотипа (а значит и фенотипические особенности);

В человеческой популяции 10 - 12% людей отличаются повышенной радиочувствительностью. Связано это с наследственно сниженной способностью к ликвидации разрывов ДНК, а также со сниженной точностью процесса репарации. Повышенная радиочувствительность сопровождается такие наследственные заболевания, как атаксия-телеангиэктазия, пигментная ксеродерма.

2) физиологическое (напр., сон, бодрость, усталость, беременность) или патофизиологическое состояние организма;

3) пол (более чувствительны мужчины, у мужчин обмен интенсивнее);

4) возраст (наименее чувствительным является зрелый возраст); особо следует остановиться на особенностях радиочувствительности во внутриутробном периоде. Радиочувствительность плода тем выше, чем он моложе. В зависимости от времени закладки, формирования и дифференцировки органов и систем любая из них может оказаться крайне радиочувствительной независимо от радиочувствительности во взрослом состоянии.

15. Радиационные синдромы. Критические системы, значение их в развитии лучевого поражения и восстановления.

Ответ: Особенности поражения организма в целом определяются двумя факторами: 1) радиочувствительностью тканей, органов и систем, непосредственно подвергающихся облучению; 2) поглощенной дозой излучения и ее распределением во времени. При облучении страдают все органы и ткани, но ведущим для организма является поражение одного или нескольких критических органов. Критический орган — орган, ткань, часть тела или все тело, облучение которого в соответствующих условиях причиняет наибольший ущерб здоровью данного лица или его потомства.

В зависимости от критического органа выделяют три радиационных синдрома:

1. Костно-мозговой синдром развивается при облучении в диапазоне доз 1-10 Гр. Средняя продолжительность жизни при нем не более 40 суток, на первый план выступают нарушения кроветворения. В костном мозге находится два типа клеток: молодые делящиеся клетки и зрелые функциональные клетки периферической крови. В соответствии с правилом Бергонье-Трибондо, первые отличаются высокой радиочувствительностью, а зрелые клетки (за исключением лимфоцитов), несомненно, более радиорезистентны. Уменьшение численности клеток костного мозга начинается тотчас после облучения и постепенно достигает минимума. Основная причина катастрофического опустошения костного мозга на самых ранних стадиях облучения состоит в повреждении родоначальных клеточных элементов, главным образом стволовых клеток и массовой гибели делящихся клеток при продолжающемся поступлении зрелых элементов на периферию.

2. Желудочно-кишечный синдром развивается при облучении в диапазоне доз 10-80 Гр. Средняя продолжительность жизни составляет около 8 суток, ведущим является поражение тонкого кишечника. Синдром включает клеточное опустошение ворсинок и крипт кишечника, инфекционные процессы, поражение кровеносных сосудов,

нарушение баланса жидкости и электролитов, нарушение секреторной, моторной и барьерной функции кишечника.

3. Церебральный синдром развивается при облучении в дозах более 80-100 Гр. Продолжительность жизни составляет менее 2 суток, развиваются необратимые изменения в ЦНС, которая состоит из высококодифференцированных неделящихся клеток, отличающихся высокой радиорезистентностью, поэтому при облучении пораженных клеточных потерь не бывает. Гибель нервных клеток происходит при огромных дозах порядка сотен Гр. В летальном исходе важную роль играет поражение кровеносных сосудов с быстрым развитием отека мозга.

16. Острая лучевая болезнь. Классификация лучевой болезни по формам, степени тяжести и периодам течения.

Ответ: Выделяют острую и хроническую болезнь.

1. Острая лучевая болезнь (ОЛБ) - проявляется как при внешнем, так и при внутреннем облучении. В случае однократного равномерного внешнего фотонного облучения ОЛБ возникает при поглощенной дозе D более 1 Гр и подразделяется на четыре степени тяжести.

2. Хроническая лучевая болезнь формируется постепенно при длительном облучении дозами, значения которых ниже доз, вызывающих ОЛБ, но выше предельно-допустимых. Последствия - лейкоз, опухоли - через 10 – 25 лет возможен летальный исход.

Лучевая болезнь возникает в результате воздействия различных видов ИИ и характеризуется симптомокомплексом, зависящим от вида поражающего излучения, его дозы, локализации источника радиоактивных веществ, распределения дозы во времени и теле человека.

Выделяют 5 клинических форм ОЛБ в зависимости от дозы облучения:

1. Костномозговая (1-10 Гр).
2. Кишечная (10-20 Гр).
3. Токсемическая (сосудистая) (20-80 Гр).
4. Церебральная (80-120 Гр). По особенностям клинической картины обозначается как молниеносная или острейшая лучевая болезнь смерть под лучом (более 120 Гр).

Костномозговая форма ОЛБ (КМ ОЛБ) - единственная форма ОЛБ, которая имеет периоды и степени тяжести. Степени тяжести КМ ОЛБ (в зависимости от дозы облучения человека):

1. легкая (1-2 Гр),
2. среднетяжелая (2-4 Гр),
3. тяжелая (4-6 Гр),
4. крайне тяжелая (более 6 Гр).

Периоды КМ ОЛБ:

1. начальный (первичной реакции),
2. мнимого благополучия,
3. разгара,
4. восстановления (или летальность)

17. Соматические и наследственные эффекты облучения.

Ответ: соматический (от греч. *sōma* - тело) эффект – термин, обозначающий принадлежность к телу организма, используемый, например, для обозначения клеток организма, не имеющих отношения к передаче генетической информации последующим поколениям; биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением в

соматических (т.е. не половых) тканях облученного организма.

Соматические эффекты могут быть детерминированными и стохастическими.

Стохастические соматические эффекты – это возникновение злокачественных новообразований (опухолей) в различных органах и тканях облученного организма.

Наиболее часто встречаются злокачественные опухоли кожи, костей, молочной и щитовидной желез, яичников, легких, а также лейкозы. Они возникают через длительное время после облучения, т.е. являются отдаленными последствиями облучения.

Детерминированные эффекты всегда являются соматическими.

Генетические эффекты всегда являются стохастическими.

1) Соматические (телесные) – возникающие в организме человека, который подвергся облучению.

2) Генетические - связанные с повреждением генетического аппарата (половые клетки у женщин и мужчин) и проявляющиеся в следующем или последующих поколениях: это дети, внуки и более отдаленные потомки человека, подвергшегося облучению.

Генетические – наследственные болезни, обусловленные генными мутациями.

Стохастические эффекты оцениваются значениями эффективной (эквивалентной) дозы. Имеют длительный латентный (скрытый) период, измеряемый десятками лет после облучения, трудно обнаруживаемы.

Генетические – наследственные болезни, обусловленные генными мутациями.

Стохастические эффекты оцениваются значениями эффективной (эквивалентной) дозы.

Имеют длительный латентный (скрытый) период, измеряемый десятками лет после облучения, трудно обнаруживаемы.

Стохастические соматические эффекты – это возникновение злокачественных новообразований (опухолей) в различных органах и тканях облученного организма. Наиболее часто встречаются злокачественные опухоли кожи, костей, молочной и щитовидной желез, яичников, легких, а также лейкозы. Они возникают через длительное время после облучения, т.е. являются отдаленными последствиями облучения.

Соматические эффекты могут быть детерминированными и стохастическими.

Детерминированные эффекты всегда являются соматическими.

Генетические эффекты всегда являются стохастическими.

18. Стохастические и детерминированные радиобиологические эффекты.

Ответ: Последствия облучения человека могут проявляться в двух вариантах – тканевые реакции (детерминированные эффекты) и стохастические эффекты.

Тканевые реакции (детерминированные эффекты) – это клинически значимые эффекты, которые проявляются в виде явной патологии, например, остро или хронического лучевого синдрома, лучевых ожогов (так называемые местные лучевые поражения), катаракты хрусталика глаз, клинически регистрируемых нарушений гемопоэза, временной или постоянной стерильности и др. Детерминированный – определенный, причинно обусловленные, вызванные ионизирующим излучением биологические эффекты, имеющие: 1) порог возникновения (0,5 - 1 Гр), т.е. пороговую дозу, ниже которой эти эффекты отсутствуют, 2) выше порога вероятность появления возрастает с увеличением дозы 3) степень тяжести таких эффектов напрямую зависит от поглощенной дозы облучения - чем больше доза, тем тяжелее поражения.

Тканевые реакции (детерминированные эффекты), как правило, возникают при значительных дозах облучения в основном за счет гибели большой доли клеток в поврежденных органах или тканях.

Стохастические (вероятностные) – вызванные ионизирующим излучением биологические эффекты, не имеющие дозового порога возникновения (т.е. реализация

стохастических эффектов в соответствии с линейной, беспороговой моделью доза-эффект теоретически возможна при сколь угодно «малой» дозе облучения), вероятность (риск) появления которых повышается с увеличением дозы, а тяжесть проявления не зависит от дозы. Возникают в результате мутагенного действия ионизирующего излучения, когда клетка под действием излучения не погибает, но в ней происходит повреждение генома. Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР) и Международный комитет по радиационной защите (МКРЗ) пришли к выводу, что доказано только два основных вида стохастических эффектов облучения. Первый возникает в соматических клетках и может быть причиной развития рака у облученного индивида. Второй вид, появляющийся в зародышевой ткани половых желез, может привести к наследуемым нарушениям у потомства облученных людей. Стохастические соматические эффекты оцениваются значениями эффективной (эквивалентной) дозы, имеют длительный латентный период (время между началом облучения и клиническими проявлениями лучевых эффектов), измеряемый десятками лет после облучения, трудно обнаруживаемы.

19. Теория попадания и мишени.

Ответ: Одно из теорий выражает стремление установить общие, в основном феноменологические, но обязательно количественные закономерности, характеризующие начальные звенья лучевого поражения клетки. Одна из первых теорий биологического действия ионизирующих излучений; сформулирована в 20-30-х гг. 20 в. Эта теория не является универсальной, она не объясняет всех биологических эффектов, возникающих под действием ионизирующих излучений. Наиболее ранние и известные представления, относящиеся к первому направлению, принято обозначать термином количественная радиобиология, хотя, конечно, в радиобиологии есть много и других количественных закономерностей. Камень преткновения на пути разгадки основного радиобиологического парадокса состоит в необходимости правильного истолкования несоответствия между ничтожным количеством поглощенной клеткой энергии излучения и вызываемым экстремальным биологическим эффектом. При объяснении этого парадокса в количественной радиобиологии были сформулированы два положения, лежащие в основе так называемой теории мишени.

В основе теории лежат два положения. Первое из них – принцип попадания – характеризует особенность действующего излучения. Эта особенность заключается в дискретности поглощения энергии излучения, т.е. поглощения порции энергии при случайном попадании в мишень.

Второе положение – принцип мишени – учитывает особенность облучаемого объекта (клетки), т. е. различие в ее ответе на одно и то же попадание. Принцип попаданий - характеризует особенности действующего агента - дискретность поглощения энергии. Принцип мишени - учитывает особенность облучаемого объекта — клетки — ее высокую гетерогенность в морфологическом и функциональном отношениях, а, следовательно, различие в ответе на одно и то же попадание

Главное достоинство теории —мишени| состоит в том, что она дала простое объяснение радиобиологического парадокса - экстремальный эффект, возникающий в клетке в результате поглощения ничтожной по величине энергии, происходит вследствие дискретного акта ее размена (попадания) в крошечном, но жизненно важном микрообъеме (мишени), например, в уникальной молекуле ДНК.

20. Стохастическая теория биологического действия ионизирующих излучений.

Ответ: Дальнейшим развитием теории прямого действия излучений явилась

стохастическая теория, которая, так же как и теория мишени, учитывает вероятностный характер попадания излучения в чувствительный объем клетки, но в отличие от нее она еще учитывает и состояние клетки как биологического объекта, лабильной динамической системы.

Предлагается следующая теория. Клетка как лабильная динамическая система постоянно находится в стадии перехода из одного состояния в другое путем клеточного деления - митоза. На каждой стадии деления существует вероятность повреждения ее вследствие различных факторов, в том числе и радиационного. Излучение влияет на все фазы и стадии клеточного цикла, однако, радиочувствительность клетки в различные стадии митоза неодинаковая. В зависимости от стадии деления излучение оказывает на клетку разное действие: наибольшую чувствительность к ионизирующему излучению имеет клетка в начале деления (стадия профазы) - облучение тормозит его завершение.

Облучение в период интерфазы (стадия жизненного цикла клетки между двумя последовательными митотическими делениями) приводит к потере способности приступить к новому делению. В этих случаях легко нарушается структура хроматинового вещества, в результате чего клетка может погибнуть.

Чувствительность клеток к облучению прямо пропорциональна интенсивности клеточного деления и обратно пропорциональна степени их дифференцировки (исключение составляют высокодифференцированные, но неделящиеся нервные клетки и лимфоциты крови) - правило Бергонье и Трибонда. Следовательно, наиболее повреждаемы клетки тех тканей, которые обладают высокой митотической активностью. К ним относятся клетки органов кроветворения (красный костный мозг, селезенка, лимфоузлы), половых желез, эпителия кишечника и желудка, а также клетки быстрорастущих опухолей. Главную ответственность за гибель клетки при облучении несет ядро.

21. Вероятностная модель радиационного поражения клетки.

Ответ: Согласно этой модели разные клетки, подвергнутые облучению в одной и той же дозе, поражаются в разной степени в соответствии с принципом попадания, но любые повреждения проявляются с вероятностью меньше единицы. Реализованные повреждения наследуются при делении клеток и с некоторой вероятностью, зависящей от числа этих повреждений, приводят к неосуществлению клеточного деления.

С позиций же вероятностной модели процесс радиационного поражения клетки можно формально разделить на три этапа.

Первый этап — осуществление событий попадания, в результате которых формируются первичные потенциальные повреждения.

Второй этап радиационного поражения — реализация потенциальных повреждений. Так как клетки способны восстанавливаться от лучевых повреждений, то реализованными оказываются не все возникшие потенциальные повреждения, а лишь часть их. Следовательно, радиочувствительность клетки определяется и вероятностью реализации потенциального повреждения

Третий этап радиационного поражения— различные вторичные нарушения нормального протекания внутриклеточных процессов, вызываемые реализацией повреждений. На этом этапе также возможно восстановление клеток от последствий реализованных повреждений или их компенсация.

22. Гипотеза липидных радиотоксинов и цепных реакций.

Ответ: Данная гипотеза представляет качественную концепцию - попытка указать конкретные биохимические процессы, определяющие биологическое действие радиации.

Радиобиологический парадокс несоответствия малых количеств поглощенной энергии с разительным биологическим эффектом с позиций качественных гипотез объясняется наличием различных биологических механизмов усиления первичных поражений. Гипотеза липидных радиотоксинов базируется на выдвинутой Б. Н. Тарусовым и Н. М. Эмануэлем концепции о решающей роли в начальных процессах лучевого поражения цепных окислительных реакций свободнорадикального типа, наиболее подходящим субстратом для которых являются липиды.

Под действием радиации происходит окисление липдов. Образуются липидные радиотоксины.

Липиды представляют собой структурные элементы клеточных мембран, их поражение приводит к нарушению регуляции химизма живой клетки вплоть до уровня, приводящего ее к гибели. Гипотезу липидных радиотоксинов и цепных реакций следует рассматривать лишь как попытку объяснить одно звено в сложном патогенетическом комплексе лучевых реакций, удельную роль которого в лучевой гибели клетки еще предстоит оценить.

23. Структурно-метаболическая теория действия радиации на клетку.

Ответ: Структурно-метаболическая теория радиационного поражения А.М.Кузина. В этой теории ведущая роль в радиационном эффекте отводится нарушениям в клеточном ядре и биомембранах. Биомембраны играют исключительно важную роль в делении клетки. Экспериментально показано, что ДНК связана с биомембранами: начало расплетания спирали и синтез ДНК происходит в точках ее прикрепления к мембране. На поверхности биомембран имеются особые рецепторы, передающие сигналы гормонов через липиды мембран (обширная группа природных органических соединений, включающая жиры и жироподобные вещества). Липиды мембран, подвергаясь воздействию ионизирующей радиации, в присутствии кислорода образуют пероксиды и продукты их распада. Эти изменения приводят к нарушению проницаемости мембран и важных метаболических процессов: инактивации ферментов, гормонов, подавлению энергетических функций митохондрий и синтеза ДНК и РНК, расстройству управляющих систем и другим тяжелым последствиям.

Таким образом, в структурно-метаболической теории к радиационному поражению ядерных макромолекул (фактор прямого действия в теории «мишени») добавляются нарушения цитоплазматических структур и изменение их нормального функционирования. Эти изменения приводят к нарушению проницаемости мембран и важных метаболических процессов: инактивация ферментов, гормонов, подавление энергетических функций митохондрий и синтеза ДНК и РНК, расстройство управляющих систем и другим тяжелым последствиям.

Таким образом, в структурно-метаболической теории к радиационному поражению ядерных макромолекул (фактор прямого действия в теории «мишени») добавляются нарушения цитоплазматических структур и изменение их нормального функционирования.

24. Отдаленные последствия действия ионизирующих излучений: канцерогенные и дегенеративные (катаракта, пневмосклероз, нефросклероз и др.).

Ответ: По срокам появления радиобиологических эффектов подразделяют на ближайшие и отдаленные. Ближайшие проявляются до нескольких месяцев после облучения (ОЛБ, ХЛБ, дерматит, алопеция и др.). Отдаленные возникают спустя годы после облучения, на фоне регрессии клинических проявлений острого поражения. Примерами являются злокачественные и дегенеративные процессы.

Канцероген - факторы окружающей среды, воздействие которых на организм человека или животного повышает вероятность возникновения злокачественных опухолей. Радиационный канцерогенез относится к числу стохастических эффектов. Основной причиной злокачественной трансформации облученной клетки являются нелетальные повреждения генетического материала. Наиболее распространена гипотеза, в соответствии с которой под влиянием облучения повышается нестабильность ядерной ДНК. В процессе репарации ее нелетальных повреждений возникают условия, способствующие включению онковируса в геном соматической клетки, или активация онковируса уже находившегося в репрессированном состоянии в составе генома с последующей раковой трансформацией.

Дегенеративным заболеванием, это такие, при которых происходит постоянная деградация тканей или органов. Это может приводить к сокращению продолжительности жизни. Основной причиной сокращения СПЖ после облучения в сублетальных дозах в настоящее время называют повреждение капилляров и мелких артериол, нарушения микроциркуляции, приводящие к гипоксии и гибели паренхиматозных клеток, преимущественно, в органах иммунитета и железах внутренней секреции. Отчасти сокращение СПЖ может быть связано с более частым развитием у облученных злокачественных новообразований.

При облучении организмов в различные сроки и с различными дозами могут формироваться опосредованные и отдаленные эффекты облучения:

- 1) Воздействие на наследственность;
- 2) Возникновение лейкозов и злокачественных опухолей;
- 3) Появление рака в более молодом возрасте;
- 4) Иммунодепрессия, иммунодефицит;
- 5) Повышение чувствительности организма к возбудителям инфекционных заболеваний;
- 6) Нарушение обмена веществ и эндокринного равновесия;
- 7) Возникновение катаракты;
- 8) Временная или постоянная стерильность;
- 9) Сокращение средней ожидаемой продолжительности жизни;
- 10) Задержка психического развития;
- 11) Физиологические расстройства (нарушение работы щитовидной железы).

25. Значение мощности дозы и фракционирования дозы в развитии радиобиологических эффектов.

Ответ: На выраженность биологических реакций оказывает влияние доза, мощность дозы, вид ионизирующего излучения.

По виду частиц, входящих в состав ионизирующих излучений, различают альфа-излучение, бета-излучение, гамма-излучение, рентгеновское излучение, нейтронное излучение, протонное излучение и др.

Мощность дозы – величина, используемая для оценки степени воздействия ионизирующего излучения на любые вещества с учетом интенсивности воздействия ионизирующего излучения. Доза регистрируется с учетом единицы времени (секунду, минуту, сутки, год).

Острое облучение - однократное кратковременное или многократное за небольшой промежуток времени облучение биологического объекта, сопровождающееся получением им дозы излучения, вызывающей неблагоприятные изменения его состояния.

Пролонгированное облучение – длительное облучение, продолжающееся в течение

многих дней, месяцев и лет.

Фракционированное облучение – многократное облучение могут осуществляться несколькими фракциями с различными промежутками времени (фракционированное, или дробное, облучение).

Хроническое облучение – длительное облучение с низкой мощностью дозы, которое продолжается в течение нескольких месяцев или лет.

Большинство тканей демонстрирует снижение биологического эффекта при облучении с фракционированной дозой, а также при пролонгированном и хроническом облучении. Основными двумя факторами, способствующими изменению этого биологического эффекта, являются уровень соответствующей репарация сублетальных повреждений и замены клеток с летальными повреждениями путем репопуляции.

26. Характеристика путей поступления радионуклидов в организм.

Ответ: Радиоактивные вещества могут попадать в организм человека разными путями. Их существует три: через органы дыхания (при вдыхании загрязненного радиоактивными аэрозолями воздуха), через желудочно-кишечный тракт (с продуктами питания и водой), через кожу (резорбция через кожу).

Наиболее важным и потенциально опасным является ингаляционное поступление радионуклидов. Этому содействует большая дыхательная поверхность альвеол, площадь которой достигает 100 м^2 и более (более чем в 50 раз превышает площадь кожи). Кроме того, этот путь опасен и из-за более высокого коэффициента захвата и усвоения изотопов из воздуха. Путь поступления возможен в основном при наличии открытых участков кожи (значительная часть РН оказывается на одежде), особенно при ее повреждении, и характерен для периода выпадения радиоактивных осадков. Радиоактивные вещества всасываются практически на всем протяжении желудочно-кишечного тракта (максимальное количество - в тонком кишечнике, минимальное — в желудке, двенадцатиперстной и слепой кишке). Интенсивность всасывания зависит от особенностей продукта питания, степени его загрязнения РН, химических характеристик последних (растворимость, необходимость организму), физиологического состояния самого организма и некоторых других показателей.

27. Распределение радионуклидов и выведение из организма. Закономерности обмена. Значение физических свойств и форм химического соединения на распределение и выведение радионуклидов.

Ответ: Радиоактивные вещества при попадании в организм с током крови разносятся по всему органам. Дальнейшая судьба вовлеченных в обмен веществ радионуклидов в основном зависит от их химических свойств. Для некоторых радиоактивных веществ путь ведения существенно влияет на характер всасывания, распределение, выведение и биологическое действие. Как правило, РН накапливаются в тех органах и тканях, в составе которых имеются стабильные элементы с аналогичными свойствами. По тропности к определенным органам и тканям радионуклиды распределяются на следующие группы:

- равномерный (^{137}Cs , ^{14}C , ^3H , ^{106}Ru);
- скелетный (^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{144}Ce , ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{226}Ra , ^{210}Pb);
- щитовидный (^{131}I);
- ретикуло-эндотелиальный (^{239}Pu , ^{241}Am , ^{65}Zn , ^{55}Fe).

Попав в организм, радионуклиды продолжают действовать до момента полного распада или выведения. Радиоактивные вещества выделяются из организма различными путями: через желудочно-кишечный тракт, через почки, а газообразные вещества —

преимущественно через органы дыхания. Ряд радиоактивных веществ может выделяться слизистой рта, кожей, а также с потом и молоком. Наибольшее количество радиоактивных веществ выделяется в первые дни после поступления в организм. Многие элементы, например торий, радий, стронций и др., надолго задерживаются в организме и в последующее время очень медленно выделяются, а иногда и совсем не выделяются из организма. Применяют выражение «период полувыведения из организма радиоактивных веществ». Под этим понимают время, в течение которого организм освобождается от половины количества, находящегося в нем радиоактивного веществ за счет выведения из организма и за счет распада РН.

28. Природный радиационный фон – космическое излучение; наземные источники. Внешнее и внутреннее облучение. Биологическое значение естественного фона.

Ответ: Естественный радиационный фон является основным компонентом радиационного фона и представляет собой ионизирующее излучение, действующее на живые организмы на поверхности Земли от природных источников космического и земного происхождения.

Естественный радиационный фон - доза излучения, создаваемая космическим излучением и излучением природных радионуклидов, естественно распределенных в земле, воде, атмосферном воздухе, других элементах биосферы, пищевых продуктах и организме человека.

Космическое излучение.

Галактическое космическое излучение является наиболее высокоэнергетической составляющей корпускулярного потока в межпланетном пространстве и представляет собой ядра химических элементов (преимущественно водорода и гелия), ускоренных до высоких энергий; по своей проникающей способности этот вид космического излучения превосходит все виды И. И., кроме нейтринов. Для полного поглощения галактического космического излучения потребовался бы свинцовый экран толщиной около 15 м.

Солнечное космическое излучение представляет собой высокоэнергетическую часть корпускулярного излучения Солнца и возникает при хромосферных вспышках днем. В период интенсивных солнечных вспышек плотность потока солнечного космического излучения может в тысячи раз превысить обычный уровень плотности потока галактического космического излучения. Солнечное космическое излучение состоит из протонов, ядер гелия и более тяжелых ядер. Солнечные протоны высоких энергий представляют наибольшую опасность для человека в условиях космического полета.

Радиационные пояса Земли сформировались в околоземном пространстве за счет первичного космического излучения и частичного захвата его заряженной компоненты магнитным полем Земли.

Наземные источники.

Серьезную роль В ЕРФ играют излучения радиоактивных элементов, повсюду залегающих в поверхностном слое земной коры. За последние десятилетия в разных странах проделали тысячи измерений природного радиоактивного фона. Стало ясно, что доза облучения человека зависит от местности, в которой он живет.

Природные, или естественные, РН имеют различное происхождение; часть из них принадлежит к радиоактивным семействам, родоначальники которых (уран, торий) входят в состав пород, слагающих нашу планету; наиболее распространенными являются ^{40}K и ^{87}Rb ; некоторая часть естественных радионуклидов является продуктом активации стабильных изотопов космическим излучением ^{14}C , ^3H , ^7Be .

Серьезную роль В ЕРФ играют излучения радиоактивных элементов, повсюду

залегающих в поверхностном слое земной коры. Доза облучения человека зависит от местности, в которой он живет, от воды, которую он пьет, от материала, из которых построены объекты.

Ионизирующее излучение от источников естественного облучения подразделяется на внешнее и внутреннее по отношению к человеку. При внешнем облучении радиоактивные вещества могут находиться вне организма и облучать его снаружи, а при внутреннем - попадают в организм с воздухом, водой, пищей.

Естественный радиационный фон принято измерять полученной годовой дозой в миллизивертах (мЗв). По оценкам ООН, средние годовые дозы, получаемые людьми во всем мире от естественного фонового излучения, составляют 2,4 мЗв/год, а типичный диапазон этих доз – 1-10 мЗв/г. Таким образом, накопленные дозы от естественного излучения, в течение жизни, могут составить около 100-700 мЗв (на разных континентах и в различных регионах планеты - свои значения). Дозы облучения человека могут считаться низкими, если они сравнимы с уровнями естественного фонового излучения, составляющими, обычно - несколько мЗв в год.

29. Источники радиоактивного загрязнения внешней среды.

Ответ: Радиоактивное загрязнение – это загрязнение внешней среды, при котором человек и другие живые организмы испытывают на себе воздействие радиоактивного излучения. Степень земной радиации может быть различной, например повышенный уровень радиации может быть обусловлен содержанием радиоактивных элементов в горных породах (уран, радий, радон и др.) Другими причинами радиоактивного загрязнения могут быть: ядерные взрывы, при которых опасные радиоизотопные компоненты попадают в воду, почву, воздух; утечка сырья из реакторов или радиоактивных источников; добыча, переработка, перевоз РН; производство и исполнение РН в атомной энергетике, науке, медицине.

Меры по охране окружающей среды от радиации в Российской Федерации приняты на государственном уровне. Законодательно утверждены следующие положения: Применение современных технологий в промышленном производстве. Сокращается количество радиоактивных отходов, сводится к минимуму их утечка и заражение окружающей среды.

Способы экологически безопасного обращения с радиационными элементами.

Соблюдение санитарных нормативов.

Организация плановых мероприятий и санитарно-защитных зон.

Использование веществ с радиацией представляет смертельную угрозу для человечества и живых существ. С ростом промышленного производства, с расширением сферы применения ядерной энергетики эта проблема рассматривается на уровне правительства во всех странах мира. Приняты законодательные акты. Только от разумного отношения человека зависит безопасность окружающей среды.

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

4.1. Порядок проведения промежуточной аттестации

В рамках **текущего контроля** в течение семестра для оценки знаний, умений, навыков, получаемых в ходе изучения дисциплины, учитываются ответы на устные вопросы, подготовленные рефераты.

Критерием успешности освоения учебного материала **по окончании учебного семестра** (промежуточная аттестация) является экспертная оценка преподавателя, учитывающая: текущую успеваемость в течение семестра (устный опрос, реферат). Кроме того, экспертная оценка преподавателя может основываться на регулярности посещения обязательных учебных занятий, успешности выполнения установленных на данный семестр объемов рабочей программы.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса.

4.2. Критерии оценивания промежуточной аттестации по видам оценочных средств

4.2.1. Требования к ответу на теоретический вопрос зачета

Неудовлетворительно:

Полнота ответа – Студент не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, отсутствуют межпредметные связи.

Структурированность – Нет.

Логика изложения – Отсутствует логика в изложении материала.

Ответы на дополнительные вопросы – Нет.

Удовлетворительно:

Полнота ответа – Студент усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, не достаточно правильные формулировки, ответ отличается низким уровнем самостоятельности.

Структурированность – Не всегда прослеживается четкость и структурированность.

Логика изложения – Не всегда прослеживается логика изложения материала.

Ответы на дополнительные вопросы – Затрудняется с ответами, ответ отличается низкой самостоятельностью.

Хорошо:

Полнота ответа – Студент твердо знает учебно-программный материал, грамотно и по существу излагает его; ответ отличается меньшей обстоятельностью.

Структурированность – Ответ структурирован, грамотен, обстоятелен.

Логика изложения – Корректно и логически стройно его излагает ответ.

Ответы на дополнительные вопросы – Не затрудняется с ответом при видоизменении задания, не всегда ответы на дополнительные вопросы отличаются полнотой, структурированностью.

Отлично:

Полнота ответа – Студент полно излагает учебный материал на основе лекций и дополнительной литературы, осуществляет межпредметные связи; владеет понятийным аппаратом и уяснил взаимосвязь основных понятий дисциплины и их значение для приобретения профессии.

Структурированность – Ответ структурирован, грамотен, обстоятелен.

Логика изложения – Корректно и логически стройно его излагает ответ.

Ответы на дополнительные вопросы – Не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с поставленными задачами, ответы на дополнительные вопросы характеризуются полнотой, структурированностью.

4.3. Результаты промежуточной аттестации и уровни сформированности компетенций

При подведении итогов учитываются результаты текущей аттестации.

Особенности проведения процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья обозначены в рабочей программе дисциплины (модуля).

«1 уровень» - ознакомление (иметь общее представление, узнавать);

«2 уровень» - понимание учебного материала, излагаемого в учебнике, методической разработке или преподавателем;

«3 уровень» - умение логично, последовательно, достаточно полно и точно излагать изученный материал;

«4 уровень» - творчески использовать полученные знания.

Для удовлетворительной (положительной) оценки знаний требуется минимум 3-й уровень усвоения учебного материала.

Требования (критериальные показатели) к уровню освоения дисциплины

Результат зачета	Требования к знаниям
Зачтено	Содержание материала раскрыто, требуются лишь незначительные уточнения и дополнения, которые студент может сделать самостоятельно после наводящих вопросов преподавателя. Допускаются такие незначительные недочеты в ответе студента как отсутствие самостоятельного вывода, нарушение последовательности в изложении, речевые ошибки и др
Не зачтено	Студент не может изложить содержание материала, не знает основных понятий дисциплины, не отвечает на дополнительные и наводящие вопросы преподавателя.

06.03.01 Биология, ОПОП Биология, ФОС РПД Общая радиобиология, год набора 2025, форма обучения очная

Проректор по учебной работе утверждено 24.02.2025 А.А. Саламатов

Ученым советом биологического факультета

Протокол заседания № 6 от 21.02.2025

Председатель Ученого совета

биологического факультета согласовано Д.С. Сташкевич

Заседанием кафедры радиационной биологии

Протокол заседания № 7 от 21.02.2025

Заведующий кафедрой согласовано А.В. Аклеев

Автор (составитель) Е.В. Стяжкина

Структура рабочей программы соответствует приказу ректора ФГБОУ ВО «ЧелГУ» от «13» апреля 2021 г. № 247-1