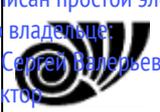


Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 17.09.2025 11:02:17
Уникальный программный ключ:
04c19ed8bfb98f3b6cb77a486b9a8788b8322523



МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)	Фонд оценочных средств по дисциплине «Радиационная иммунология» по направлению подготовки 06.03.01 «Биология» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»	стр. 1
---	--	--------

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

Радиационная иммунология

Направление подготовки (специальность)
06.03.01 Биология

Направленность (профиль)
Биофизика

Присваиваемая квалификация
Бакалавр

Форма обучения
очная

Год (ы) набора: 2023

Челябинск, 2025 г.

1. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Направление подготовки: **06.03.01 Биология**

Направленность (профили): Биофизика

Дисциплина: **Радиационная иммунология**

Семестры изучения: 6

Форма промежуточной аттестации: зачет

2. ПЕРЕЧЕНЬ ФОРМИРУЕМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

2.1. Компетенции, закреплённые за дисциплиной

Изучение дисциплины «**Радиационная иммунология**» 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-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1. Выполняет поиск информации, определяет критерии системного анализа поставленных задач.	Знать: Для достижения УК-1.1. знать: периодические издания (журналами, сборниками) по радиобиологии. Уметь: Для достижения УК-1.1. уметь: работать с информационно-коммуникационными программами в Интернете. Владеть: Для достижения УК-1.1. владеть: навыками поиска необходимой информации по радиобиологии в литературных источниках и сети интернет; навыками работы с компьютером и оргтехникой.
ПК-2	Способен применять знания по биофизике для решения задач медицинской, ветеринарной биофизики, радиобиологии и генетики	ПК-2.1. Применяет базовые представления о фундаментальных основах биофизики, современных математических методах моделирования биологических процессов.	Знать: Для достижения ПК-2.1. знать: основные реакции иммунной системы на радиационное воздействие, роль изменений иммунитета в развитии ранних и отдаленных последствий. Основные правила и требования к работе в радиобиологической лаборатории (включая вопросы техники безопасности). Основные методы дозиметрии ионизирующих излучений, закономерности радиобиологических эффектов

			<p>на разных уровнях организации биологических систем (от субклеточного до популяционного).</p> <p>Уметь: Для достижения ПК-2.1. уметь: выполнять экспериментальные исследования по оценке радиационного воздействия на иммунную систему. Пользоваться инструкциями к лабораторным приборам, протоколами методик. Применять базовые знания по общей радиобиологии и радиационной медицине на практике. Правильно интерпретировать результаты клеточно-молекулярных исследований состояния иммуногемопоза у облученных лиц.</p> <p>Владеть: Для достижения ПК-2.1. владеть: навыками выполнения научно-исследовательских работ в области радиационной иммунологии. Методами иммунологических исследований.</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-1</p> <p>Знать: Для достижения УК-1.1. знать: периодические издания (журналами, сборниками) по радиобиологии.</p> <p>Уметь: Для достижения УК-1.1.</p>	<p>1. Введение в дисциплину.</p> <p>2. Радиобиологические и физические основы радиационной иммунологии.</p> <p>3. Влияние ионизирующего излучения на</p>	Устный опрос, реферат	Вопросы к зачету № 1-22

	<p>уметь: работать с информационно-коммуникационными программами в Интернете.</p> <p>Владеть: Для достижения УК-1.1. владеть: навыками поиска необходимой информации по радиобиологии в литературных источниках и сети интернет; навыками работы с компьютером и оргтехникой.</p>	<p>состояние кроветворения, системы крови и лимфоидных органов.</p> <p>4. Влияние ионизирующей радиации на состояние основных звеньев иммунитета и на состояние иммуногемопоза.</p> <p>5. Роль радиационно-индуцированных изменений иммуногемопоза в развитии отдаленных последствий облучения.</p>		
2	<p>ПК-2</p> <p>Знать: Для достижения ПК-2.1. знать: основные реакции иммунной системы на радиационное воздействие, роль изменений иммунитета в развитии ранних и отдаленных последствий. Основные правила и требования к работе в радиобиологической лаборатории (включая вопросы техники безопасности). Основные методы дозиметрии ионизирующих излучений, закономерности радиобиологических эффектов на разных уровнях организации биологических систем (от субклеточного до популяционного).</p> <p>Уметь: Для достижения ПК-2.1. уметь: выполнять экспериментальные исследования по оценке радиационного воздействия на иммунную систему. Пользоваться инструкциями к лабораторным приборам, протоколами методик.</p>	<p>1. Введение в дисциплину.</p> <p>2. Радиобиологические и физические основы радиационной иммунологии.</p> <p>3. Влияние ионизирующего излучения на состояние кроветворения, системы крови и лимфоидных органов.</p> <p>4. Влияние ионизирующей радиации на состояние основных звеньев иммунитета и на состояние иммуногемопоза.</p> <p>5. Роль радиационно-индуцированных изменений иммуногемопоза в развитии отдаленных последствий облучения.</p>	Устный опрос, реферат	Вопросы к зачету № 1-22

<p>Применять базовые знания по общей радиобиологии и радиационной медицине на практике. Правильно интерпретировать результаты клеточно-молекулярных исследований состояния иммуногемопоза у облученных лиц.</p> <p>Владеть: Для достижения ПК-2.1. владеть: навыками выполнения научно-исследовательских работ в области радиационной иммунологии. Методами иммунологических исследований.</p>			
---	--	--	--

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. Радиационная иммунология. Определение и основные задачи.

Ответ: Радиационная иммунология — это наука о влиянии ионизирующих излучений на защитные свойства организма. Основные задачи: вскрытие количественных закономерностей изменений иммунитета в ответ на воздействие ионизирующих излучений («доза-эффект»); изучение механизмов изменений в иммунитете при радиационном воздействии; овладение искусством управления реакциями иммунитета на радиационное воздействие. Облучение организма приводит к изменениям во всех отделах иммунитета: неспецифическом, гуморальном, клеточном. Соответственно страдает противомикробная, противоопухолевая защита, нарушается трансплантационный иммунитет, наблюдаются аутоиммунные реакции и т.п. На реакции организма и иммунитета определяются биологическими факторами (вид, пол, возраст, гормональный уровень, состояние здоровья индивида, генетические особенности) и параметрами облучения, важнейшими из них являются вид излучения (альфа- бета- гамма- излучение, нейтронное), доза, мощность дозы, продолжительность облучения.

2. Три уровня радиационного воздействия: острое, пролонгированное, низкоинтенсивное (роль дозы и мощности дозы в развитии биологических эффектов).

Ответ: Изменение эффективности облучения в зависимости от мощности дозы изучали на различных животных. По биологической эффективности (как для выживаемости клеток и тканей, так и всего организма) выделены три диапазона мощности дозы

облучения:

- Диапазон острого облучения, когда время облучения значительно короче по сравнению с периодом репарации сублетальных повреждений, в этом случае снижение мощности дозы не приводит к снижению эффективности воздействия.
- Диапазон пролонгированного облучения, где радиационные эффекты снижаются с ускорением снижения мощности дозы, и снижение мощности влечет за собой закономерное увеличение эффективных доз.
- Диапазон низкоинтенсивного хронического облучения, при котором эффект мощности не выражен из-за возможности полной репарации радиационных повреждений.

На основании данных по культурам ткани и экспериментам на животных определены примерные границы этих диапазонов. В первом случае — это мощности свыше 130 сГр/мин., в последнем — ниже 0,1 сГр/сут.

Закономерности поражения будут определяться как радиочувствительностью тканей, органов и систем, так и величиной поглощенной дозы облучения, и ее распределением в пространстве и времени, то есть мощностью дозы.

3. Основные реакции клеток кроветворной системы на радиационное воздействие.

Ответ: Кроветворная система — система органов организма, отвечающих за постоянство состава крови. Поскольку в организме непрерывно разрушаются форменные элементы (эритроциты, лейкоциты, тромбоциты), основной функцией кроветворных органов является постоянное пополнение клеточных элементов крови.

Упрощенно систему клеточного самообновления можно представить в следующем виде. Основу структурно-функциональной организации системы кроветворения составляют популяции клеток, подразделяемые по уровню их пролиферативной активности и степени дифференцировки на различные классы (пулы): Пул родоначальных клеток — Пул делящихся созревающих клеток — Пул только созревающих клеток — Пул функционирующих клеток. Границы этих классов фиксируются весьма условно в соответствии с клеточной зрелостью по функциональным и морфологическим критериям. Процесс самообновления клеточных систем идет постоянно. Кинетика этого процесса естественно меняется при воздействии различных агентов. Цель самообновления — обеспечить потребность организма в функциональных клетках. Состояние устойчивого динамического равновесия любой клеточной популяции в живом организме, необходимое для нормальной жизнедеятельности. Костный мозг является крайне радиочувствительной системой. Поэтому при облучении всегда проявляются в той или иной степени поражения системы кроветворения. В результате гибели части стволовых клеток (СК) и задержки деления наблюдается опустошение пула СК. В то время как созревание клеток и выход их в функциональный пул происходит по-прежнему. Через сутки в связи с тем, что исход клеток из пролиферирующего пула в созревающий продолжается, а приток из популяции СК снижен, происходит опустошение пула делящихся клеток. Через 2 суток количество клеток в созревающем пуле ниже нормы, соответственно сокращается поступление клеток в пул созревающих. Происходит опустошение этого пула. Как следствие количество клеток в периферической крови падает на 5 сутки после облучения. Количественные характеристики указанных нарушений определяются цитокеническими параметрами системы обновления и условиями облучения. Схема дает лишь общие представления о цитокинетике изменений в кроветворной системе на основе принципиальных механизмов саморегуляции, типичных для систем клеточного самообновления. Но в гематопоезе выделится несколько направлений: миелопоэз, эритропоэз, мегакариопоэз, моноцитопоэз, лимфопоэз. Эта схема дает лишь общие представления о цитокинетике

изменений в кроветворной системе на основе принципиальных механизмов саморегуляции, типичных для систем клеточного самообновления. В гемопоэзе выделяется несколько направлений: миелопоэз, эритропоэз, мегакариопоэз, моноцитопоэз, лимфопоэз. В каждом из этих ростков изменения радиационно-индуцированные изменения будут иметь свои особенности. Т.к. в каждом из этих ростков свое время прохождения клетками перечисленных пулов и свое время жизни в организме. В каждом из этих ростков изменения радиационно-индуцированные изменения будут иметь свои особенности.

4. Состояние костномозгового кроветворения после острого однократного облучения.

Ответ: Вследствие высокой радиочувствительности кроветворных клеток и жизненной важности их для поддержания гомеостаза в организме, именно эта клеточная система при радиационном воздействии оказывается критической как в отношении отдаленных последствий (канцерогенных), так и в ранний период лучевого воздействия (острая и хроническая лучевая болезнь). Привести процесс событий в костном мозге после однократного острого облучения представлен на рисунке по В.Бонду. Опустошение костного мозга начинается сразу после облучения и достигает максимума на 5-7 сутки. Острое радиационное воздействие на человека в дозах от 1 до 4 Гр приводит к митотической задержке и репродуктивной гибели на всех уровнях иерархии делящихся клеток в костном мозге, включая компартмент стволовых клеток, в котором скорость пролиферации при нормальном состоянии организма относительно небольшая. При однократном общем облучении в дозе ЛД_{50/30} погибает 80-85% всех клеток костного мозга, а при дозе, вызывающей 10%-ю смертность у людей, погибает примерно 75% всех клеток костного мозга. При остром локальном облучении костного мозга такие изменения можно обнаружить уже в дозе 0,5 Гр. Основной причиной опустошения костного мозга является резкое торможение процессов клеточного деления при продолжающемся с неизменной скоростью поступлении зрелых клеток на периферию. Затем начинается период регенерации костного мозга.

5. Особенности реакции костномозгового кроветворения при хроническом облучении.

Ответ: Фракционирование острого лучевого воздействия (разделение одной дозы интервалом времени на две и более) приводит к значительному снижению эффективности последнего, что проявляется в выраженном повышении выживаемости клеток. Выживаемость КОЕс после фракционирования увеличивается в 1,5-2,8 раза. Например, облучение в дозе 10 Гр однократно может вызвать гибель почти 100% популяции клеток костного мозга, в то время как две дозы по 5 Гр с интервалом в 24 часа вызывают гибель только 40%. Это означает, что при этом типе воздействия имеется возможность репарации радиационных повреждений, вызванных первой дозой.

Хроническое облучение можно рассматривать как частный случай фракционированного. Общие закономерности лучевого поражения, несомненно, являются сходными как при остром, так и при хроническом воздействии, а различия на органном уровне могут определяться совмещением процессов клеточной гибели, восстановления пострадиационных повреждений и возможностью развития компенсаторных реакций при хроническом радиационном воздействии. Схема дает лишь общие представления о цитокинетике изменений в кроветворной системе на основе принципиальных механизмов саморегуляции, типичных для систем клеточного самообновления. Но в гемопоэзе выделяются несколько направлений: миелопоэз, эритропоэз, мегакариопоэз, моноцитопоэз, лимфопоэз. В каждом из этих ростков изменения радиационно-индуцированные изменения будут иметь свои особенности. Т.к. в каждом

из этих ростков свое время прохождения клетками перечисленных пулов и свое время жизни в организме. В основе феномена ослабления или видоизменения эффектов облучения в зависимости от мощности воздействия лежит изменение соотношения между скоростью репарации в клетке в единицу времени и повреждающим действием радиации.

6. Радиационно-индуцированные изменения общего количества лейкоцитов, лимфоцитов, нейтрофилов и тромбоцитов в периферической крови.

Ответ: При облучении соответственно изменению в костном мозге наблюдаются и изменения в периферической крови. Характер изменения морфологического состава крови, прежде всего, зависит от времени жизни зрелых клеток или скорости их выбывания. На рисунках (приводятся в учебной литературе и в лекции), характеризующих убывание зрелых клеток в периферической крови по дням после облучения представляют кривые: Кривая 1 характеризует наличие всех лейкоцитов в указанные сутки после воздействия. Кривая 2 отражает короткую продолжительность жизни нейтрофилов. Кривая 3 представляет лимфоциты – отсутствует порог, что связано с высокой радиочувствительностью этих клеток (гибель в ККМ, л/у, периф. крови). Кривая 4 — медленное снижение эритроцитов, т.к. длительность жизни около 100 суток. Кривая, представляющая тромбоциты – промежуточное положение. Восстановление численности клеток различных типов в периферической крови будет иметь свою скорость. В восстановлении клеток периферической крови принято выделять три периода в кроветворении: 1) фаза дегенерации, характеризующаяся в случае с гранулоцитами небольшим порогом и быстрым спадом. Протяженность плеча кривой определяется временем от последнего деления в пуле делящихся клеток до выхода зрелых элементов в п.к. на 2-3 сут. 2) Фаза abortивного подъема с последующим еще большим снижением численности клеток. Вероятно, подъем связан с размножением в разной степени поврежденных клеток пролиферирующего пула. После гибели этих клеток идет снижение числа клеток периферической крови. На 7-8 сут. 3) Фаза восстановления. Обеспечивается лишь небольшим количеством стволовых клеток, сохранившихся после начального глубокого опустошения. Восстановление популяции и численности последующих пулов в костном мозге идет медленно в зависимости от дозы облучения, поэтому восстановление периферической крови также идет медленнее в зависимости от дозы облучения.

7. Состояние лимфоидной популяции в периферической крови при радиационном воздействии.

Ответ: Зрелые лимфоциты сохраняют способность делиться. Более того, чтобы выполнить свои специфические функции, они чаще всего должны совершить несколько делений и пройти окончательную дифференцировку. Лимфоциты относятся к наиболее радиочувствительным клеткам организма. D_0 лимфоцитов равняется примерно 1 Гр. В то время как зрелые нейтрофилы могут переносить облучение в дозе 50 Гр, при этом сохраняя свои функции.

Клеточный иммунитет обеспечивают иммунокомпетентные Т-лимфоциты, которые образуются из стволовых клеток, мигрирующих из красного костного мозга в тимус, затем в периферическую кровь. Т-клетки гетерогенны: Т-хелперы (усиливают иммунный ответ) - Т-суперссоры (угнетают иммунный ответ) осуществляют контроль интенсивности развития специфической реакции иммунной системы на чужеродное. Т-система играет ведущую роль в формировании противоопухолевого иммунитета, осуществлении аутоиммунных процессов и в противоинойфекционной защите организма. По радиочувствительности эти клетки неоднородны. Более того, субпопуляция Т-хелперов также гетерогенна по составу и радиочувствительности. Показано, что Т-

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

хелперы классов Th-1 и Th-2 отличаются по радиочувствительности.

Влияние ИИ на образование антител изучается достаточно давно. Процесс антителогенеза сложен (можно выделить следующие этапы – взаимодействие антигена с макрофагами, распознавание представленного макрофагом антигена Т-лимфоцитом, запуск Т-хелпером процесса пролиферации определенного клона В-клеток, синтез В-клетками антител, ингибирование антителогенеза Т-супрессорами) и зависит не только от состояния антителообразующих клеток. Очень важным звеном являются межклеточные взаимодействия. Радиационное угнетение антителогенеза в большей мере обусловлено непосредственным поражением клеток-предшественников, с блокированием в облученном организме размножения клеток и накопления клеток-продуцентов антител, чем повреждениями механизма синтеза антител. В-лимфоциты должны осуществить серию делений и окончательную дифференцировку, поэтому, как и другие, активно пролиферирующие клетки, они отличаются высокой радиочувствительностью. Однако численность В-клеток восстанавливается быстрее, чем численность Т-клеток, поэтому в отдаленные периоды облучения больше выражен дефицит Т-лимфоцитов.

8. Состояние лимфоидных органов (тимуса, селезенки, лимфоузлов) при остром ихроническом облучении.

Ответ: Лимфоидная ткань является функционирующей паренхимой лимфоидных органов - костного мозга, вилочковой железы, селезенки, лимфатических узлов, лимфоидной ткани кишечника и соединительной ткани. Лимфоидные органы относятся или к первичным, или ко вторичным органам. Первичные лимфоидные органы - это красный костный мозг и тимус. Первичные лимфоидные органы служат основным местом развития лимфоцитов. К вторичным лимфоидным органам относятся лимфатические узлы, селезенка и скопления диффузной лимфоидной ткани в слизистых оболочках дыхательных, пищеварительных и мочеполовых путей. Вторичные лимфоидные ткани заселены клетками ретикулярного происхождения, а также макрофагами и лимфоцитами, предшественниками которых служат стволовые клетки костного мозга. Лимфоидная ткань принимает самое активное участие во всех без исключения защитных реакциях организма. Лимфатическая ткань исключительно высокорadiочувствительна. Массовая гибель лимфоцитов составляет основу иммунодефицитов, развивающихся при ряде радиационных воздействий. Облучение приводит к раннему разрушению лимфобластов и лимфоцитов в лимфотической ткани и в периферической крови. Клетки селезенки очень быстро во времени реагируют на лучевое воздействие. В результате разрушения клеточных элементов орган уменьшается в размере и массе. При облучении сразу же прекращается митоз клеток и наступает гибель части лимфоцитов (основное содержание в селезенке В-лимфоциты). В тимусе в большей степени содержатся тимоциты (размножение и дифференцировка). Тимоциты весьма радиочувствительны. При воздействии среднелетальных доз уже в течении первых суток облучения отмечается выраженное клеточное опустошение, погибает большая часть лимфоцитов. Более радиоустойчивы другие виды клеток в тимусе – соединительнотканые, эпителиальные, макрофаги.

9. Радиочувствительность отдельных стадий антителогенеза (межклеточные взаимодействия, пролиферация АОК, синтез антител). Влияние облучения на антителогенез в зависимости от срока иммунизации организма (до или после облучения).

Ответ: Гуморальный иммунитет – это одна из составляющих сложной иммунной системы человека, призванной оберегать организм от развития тех или иных заболеваний. Важную роль в функционировании гуморального иммунитета играют клетки В-лимфоциты - антитела, представляющие собой белковые соединения, работа которых заключается в препятствии размножения патогенов и нейтрализации выделяемых ими токсинов в кровяном и лимфатическом потоках.

Процесс антителогенеза сложен (можно выделить следующие этапы – взаимодействие антигена с макрофагами, распознавание представленного макрофагом антигена Т-лимфоцитом, запуск Т-хелпером процесса пролиферации определенного клона В-клеток, синтез В-клетками антител, ингибирование антителогенеза Т-супрессорами) и зависит не только от состояния антителообразующих клеток. Очень важным звеном являются межклеточные взаимодействия. Взаимодействие антигена с макрофагами, распознавание представленного макрофагом антигена Т-лимфоцитом, запуск Т-хелпером процесса пролиферации определенного клона В-клеток, Синтез В-клетками антител, ингибирование антителогенеза Т-супрессорами) и зависит не только от состояния антителообразующих клеток. Очень важным звеном являются межклеточные взаимодействия. Для реализации В-клеток способности продуцировать антитела, В-лимфоциты должны осуществить серию делений и окончательную дифференцировку, поэтому, как и другие, активно пролиферирующие клетки, они отличаются высокой радиочувствительностью. Однако численность В-клеток восстанавливается быстрее, чем численность Т-клеток, поэтому в отдаленные периоды облучения больше выражен дефицит Т-лимфоцитов. Каждый из этих этапов по-разному реагирует на облучение. Влияние ионизирующей радиации на гуморальный иммунитет. Исследования влияния облучения на процесс выработки В-клеток значительно определяется сроком воздействия на организм. Облучение организма до запуска антительной реакции в стадию значительно снижает выработку нужных В-клеток, если это воздействие приходится на процессы межклеточного взаимодействия, дифференцировки и деления клеток – более радиочувствительны - деятельность гуморального иммунитета значительно снижена. Если в организме уже запущен процесс синтеза и выполнения функций В-клетками, то отмечается более низкое снижение гуморального иммунитета

10. Влияние дозиметрических параметров облучения (дозы, мощности дозы, длительности) на антителогенез при остром и хроническом воздействии.

Ответ: Реакция организма на облучение в значительной степени зависит от уровня облучения. Поражающее действие ионизирующего излучения возрастает с увеличением дозы и несколько уменьшается, если облучение проводится многократными долями суммарной дозы. На выраженность биологических реакций может оказывать влияние величина дозы и распределение дозы во времени (мощность дозы и фракционирование). Характеризуя действие ионизирующего облучения на антителогенез, необходимо отметить, что для реализации своей способности продуцировать антитела, В-лимфоциты должны осуществить серию делений и окончательную дифференцировку, поэтому, как и другие, активно пролиферирующие клетки, они отличаются высокой радиочувствительностью. Угнетение антителогенеза при остром облучении имеет дозозависимый характер. В опытах В. Н. Манько и Р. В. Петрова (г) облучение мышей линии С57ВL в дозе 2,00 Гр угнетает выработку антител на 69 %, в дозе 4,00 Гр - на 98,5%, а в дозе 8,00 Гр – на 99,8%. Дозы 6,00-7,00 Гр при остром облучении животных инактивируют 99% клеток, способных реагировать на антиген. Однако численность В-клеток восстанавливается быстрее, чем численность Т-клеток, поэтому в отдаленные периоды облучения боль-

ше выражен дефицит Т-лимфоцитов.

Радиационное угнетение антителогенеза в большей мере обусловлено непосредственным поражением клеток-предшественников, с блокированием в облученном организме размножения клеток и накопления клеток-продуцентов антител, чем повреждениями механизма синтеза антител. При малых дозах радиации (менее 1 Гр) нередко наблюдается стимуляция выработки антител, в том числе и аутоантител, что приводит к развитию аутоиммунных и аллергически заболеваний. Существенный вклад в подавление гуморального иммунного ответа в течение длительного времени после облучения вносит ослабление эффективности кооперативных взаимодействий Т- и В-лимфоцитов.

11. Состояние Т-клеточного иммунитета при остром и хроническом облучении.

Ответ: Т-лимфоциты образуются из стволовых клеток, мигрирующих из красного костного мозга в тимус. Первая группа дочерних клеток способна при встрече с «чужим» белком-антигеном (возбудителем болезни, или собственным мутантом) вступать с ним в реакцию и уничтожать его. Такие лимфоциты называются Т-киллеры («убийцы»). Регуляторная система Т-хелперы (усиливают иммунный ответ) - Т-супрессоры (угнетают иммунный ответ) осуществляют контроль интенсивности развития специфической реакции иммунной системы на чужеродное. Т-система играет ведущую роль в формировании противоопухолевого иммунитета, осуществлении аутоиммунных процессов и в противоинфекционной защите организма. В норме цитотоксических клеток и антител должно вырабатываться столько, сколько их необходимо для выведения того или иного антигена. Острое высокое облучение изменяет содержание Т-киллеров, Т-супрессоров, Т-хелперов. Это приводит к изменению выполнений защитных реакций иммунной системы. Избыточная активность супрессорных Т-клеток ведет к быстрому подавлению и abortивному течению иммунного ответа и даже может привести к развитию иммунологической толерантности (иммунный ответ на антиген не развивается). При сильном иммунном ответе возможно развитие аутоиммунных, аллергических процессов. По радиочувствительности эти клетки неоднородны. Более того, субпопуляция Т-хелперов также гетерогенна по составу и радиочувствительности. Показано, что под влиянием облучения нарушается баланс Т-хелперов классов Th-1 и Th-2, который определяет соотношение клеточно-опосредованной и гуморальной составляющей иммунного ответа, а также ряда проявлений иммунопатологии. Причем в отдаленные сроки сильнее проявляется дефицит Th-1, поскольку их развитие больше зависит от микроокружения тимуса, страдающего в поздние сроки после облучения. Радиация сдвигает баланс Th1/Th2 сначала в сторону Th1, а затем в сторону Th2, следствием чего, очевидно, является наблюдаемое в ранние сроки после облучения преимущественное подавление антибактериальной защиты и других форм гуморального иммунитета, а в поздние сроки - ослабление противоопухолевой и противовирусной резистентности. Выраженные изменения клеточного звена иммунитета, обуславливающие развитие иммунной недостаточности в организме человека, определяются при хроническом облучении. Например, среди поздних изменений в иммунной системе у жертв Чернобыльской аварии постоянно определяется триада признаков: нарушение функций Т-клеток, снижение гормонов тимуса и накопление в сыворотке крови аутоантител, реагирующих с эпителием тимуса. У лиц, получивших высокие дозы радиации (больше 4 Гр), к этим проявлениям присоединяется снижение содержания CD4⁺-лимфоцитов в периферической крови. Об этом же свидетельствуют и исследования состояния иммунитета у людей, проживающих в прибрежных селах реки Течи.

12. Реакция гиперчувствительности замедленного типа при радиационном

воздействии.

Ответ: Гиперчувствительность замедленного типа (ГЗТ) – одна из форм патологии клеточного иммунитета, осуществляемого иммунокомпетентными Т-лимфоцитами против антигенов клеточных мембран. ГЗТ развивается у животных и людей через 6 – 72 ч после проникновения в ткани разрешающей (повторной) дозы антигена-аллергена: инфекционная аллергия; контактный дерматит; отторжение трансплантата; аутоиммунные заболевания. Основными участниками реакций ГЗТ являются Т-лимфоциты (CD3). Т-лимфоциты образуются из недифференцированных стволовых клеток костного мозга, которые пролиферируют и дифференцируются в тимусе, приобретая свойства антиген-реактивных тимусзависимых лимфоцитов (Т-лимфоцитов). Эти клетки расселяются в тимусзависимые зоны лимфатических узлов, селезенки, а также присутствуют в крови, обеспечивая реакции клеточного иммунитета. Согласно литературным данным механизмы реакции ГЗТ достаточно радиоустойчивы. Рентгеновское облучение животных в дозах 1-4 Гр до введения антигена оказывает несущественный эффект либо не влияет на ряд реакций ГЗТ. Торможение этой реакции возникает лишь после дозы 8 Гр. Эксперименты показали, что замедленная гиперчувствительность может быть передана сенсibilизированными клетками, облученными *in vitro* в дозах до 10 Гр. При больших дозах это свойство лимфоцитов снижается, а при дозе 30 Гр исчезает.

13. Состояние фагоцитарного звена при радиационном воздействии. Количественные и функциональные показатели.

Ответ: Защита организма от чужеродных агентов осуществляется всеми звеньями иммунитета. Важная роль принадлежит и неспецифическим формам иммунитета. К неспецифическим факторам защиты принято относит:

1. Непроницаемость покровов
2. Бактерицидные субстанции тканей
3. Интерферон и лимфокины
4. Гидролитические ферменты
5. Лизоцим
6. Пропердин
7. Фагоцитоз
8. Комплимент

Существует общее мнение о снижении фагоцитарной активности лейкоцитов после облучения. Угнетение фагоцитоза обусловлено функциональными нарушениями самих фагоцитов – угнетением переваривающей способности и подвижности клеток, что наряду с уменьшением количества фагоцитирующих клеток в крови ведет к резкому снижению противоинфекционного иммунитета. Известно, что процесс фагоцитоза состоит из нескольких стадий: миграция фагоцитов, адгезия, захват чужеродной частицы и образование лизосомы, разрушение и переваривание фагоцитированного объекта. Эти стадии различаются по радиочувствительности. Больше страдают миграционные и переваривающая способности, что может приводить к снижению противоинфекционного действия нейтрофилов. При облучении уменьшение поступления зрелых нейтрофилов из костного мозга в периферическую кровь также приводит к снижению фагоцитоза.

14. Состояние неспецифических форм иммунитета при радиационном воздействии (комплимент, лизоцим, пропердин, бактерицидность кожи, крови).

Ответ: Защита организма от чужеродных агентов осуществляется всеми звеньями иммунитета. Важная роль принадлежит и неспецифическим формам иммунитета. К неспецифическим факторам защиты принято относит:

1. Непроницаемость покровов

2. Бактерицидные субстанции тканей
3. Интерферон и лимфокины
4. Гидролитические ферменты
5. Лизоцим
6. Пропердин
7. Фагоцитоз
8. Комплимент

Отмечается снижение барьерных антимикробных функций кожи, барьерной функции тканей организма, снижение содержания лизоцима в слюне, понижение фагоцитарной активности нейтрофилов крови у людей, среднего содержания комплимента в крови. К нарушениям под действием облучения следует отнести явление снижения бактерицидности кожи. Количественные и качественные изменения состава микрофлоры кожи, слизистой рта, кишечника наблюдались у людей после облучения с терапевтической целью и у экспериментальных животных. Следует сказать, что количество комплимента, пропердина, лизоцима, гидролитических ферментов, а также их функциональные свойства снижаются при достаточно высоких дозах, т.е. эти факторы естественной защиты являются достаточно радиоустойчивыми. Количественные и качественные изменения состава микрофлоры кожи, слизистой рта, кишечника наблюдались у людей после облучения с терапевтической целью и у экспериментальных животных. Следует сказать, что количество комплимента, пропердина, лизоцима, гидролитических ферментов, а также их функциональные свойства снижаются при достаточно высоких дозах, т.е. эти факторы естественной защиты являются достаточно радиоустойчивыми.

15. Отдаленные последствия облучения. Эпидемиологические и экспериментальные данные.

Ответ: Эпидемиология – это изучение распространенности и детерминант состояний или событий, связанных со здоровьем, в специально определенных популяциях для управления и контроля за проблемами здоровья. Изучение включает обследование, наблюдение, тестирование гипотез, аналитические исследования и эксперименты. Сейчас под эпидемиологическими методами понимают методы изучения закономерностей распространения заболеваний среди населения, основанные на использовании статистических показателей. Классификация эпидемиологических исследований проводится по различным критериям. Эксперимент — это метод научного познания, при помощи которого исследуются явления реально-предметной действительности в определенных (заданных), воспроизводимых условиях путем их контролируемого изменения.

В результате результатов, полученных при исследовании последствий лучевого облучения получено значительное количество данных об отдаленных радиационных эффектах у людей и животных. Ионизирующее облучение наряду с тем, что оно является сильным мутагеном, еще и создает понижение иммунитета. В настоящее время установлено, что злокачественные новообразования и лейкозы имеют ассоциативные связи с носителями определенных HLA-антигенов. Представляется возможным предположить, что существуют зависимости между продолжительностью жизни и частотой новообразований, и количественными и функциональными показателями гемопоэза и иммунитета. Среди всех радиационно-индуцированных новообразований наиболее высокий риск, как при остром, так и при хроническом радиационном воздействии, был определен для опухолей кроветворной ткани. Большое количество данных получено о развитии в отдаленные сроки злокачественных и

доброкачественных заболеваний. Данные примеры широко приведены в литературе об эпидемиологических исследованиях людей и экспериментальных исследованиях на животных.

16. Радиационно-индуцированные изменения межклеточных взаимодействий в иммунном ответе. Примеры.

Ответ: Сохранение индивидуальной жизнеспособности и поддержание постоянства внутренней среды организма обеспечиваются не только иммунной системой, но многими физиологическими системами организма, одной из сторон многообразной деятельности которых является элиминация факторов, нарушающих генетический гомеостаз. В литературе имеются данные, указывающие на связь нарушений взаимосвязей между параметрами иммунитета (иммунологический дисбаланс) и развитием определенной патологии, в том числе и онкологической. Например, имеются определенные доказательства наличия физиологического дисбаланса между гуморальным и клеточным типами иммунного ответа при иммуносуперессии во время развития лимфомы у человека и мыши. Особое значение при этом имеют межсистемные функциональные связи, взаимозависимость и взаимодействие морфофункциональных структур, реализуемые на клеточном, тканевом органном, системном и организменном уровнях. Для того чтобы проследить, как меняются взаимосвязи в системе иммуногемопоза, необходимо проводить исследования иммунного статуса в динамике, т.е. иммунологический мониторинг. При облучении наблюдается разрушение устойчивых связей и возникновение новых, отражающих силу связей, и смену их знаков (отрицательных на положительные и наоборот). Часть вновь возникающих связей отражает включение компенсаторных механизмов, которые позволяют поддерживать интегральный показатель функционирования иммуногемопоза на уровне контроля. Увеличение зависимостей показателей в системе иммуногемопоза приводит к большей жесткости системы, она становится менее лабильной. Вследствие невозможности компенсировать возникающие повреждения в системе, она переходит на качественно новый уровень ее организации. Жесткость системы позволяет ей выполнять наиболее приоритетные ее функции. Однако при этом в неприоритетных отмечаются четко выявленные количественные и качественные дефекты. Такая ситуация не позволяет быстро и в необходимом количестве обеспечивать потребности организма в функциональных клетках, в результате чего снижаются возможности адаптации организма к заболеваниям.

17. Внутри и межсистемные связи в кроветворной и иммунной системах при различных режимах облучения.

Ответ: Сохранение индивидуальной жизнеспособности и поддержание постоянства внутренней среды организма обеспечиваются не только иммунной системой, но многими физиологическими системами организма, одной из сторон многообразной деятельности которых является элиминация факторов, нарушающих генетический гомеостаз. Особое значение при этом имеют межсистемные функциональные связи, взаимозависимость и взаимодействие морфо-функциональных структур, реализуемые на клеточном, тканевом органном, системном и организменном уровнях. Иммунный гомеостаз организма, предназначенный для сохранения антигенного постоянства его тканей, направлен на поддержание баланса между параметрами иммунной системы и отражает взаимосвязи клеточных, гуморальных компонентов системы и фагоцитарного звена при регулировании различных функций, как в нормальных физиологических условиях, так и при различной степени нагрузок. В литературе имеются данные, указывающие на

связь нарушений взаимосвязей между параметрами иммунитета (иммунологический дисбаланс) и развитием определенной патологии, в том числе и онкологической. При облучении наблюдается разрушение устойчивых связей и возникновение новых, отражающих силу связей, и смену их знаков (отрицательных на положительные и наоборот). Часть вновь возникающих связей отражает включение компенсаторных механизмов, которые позволяют поддерживать интегральный показатель функционирования иммуногемопоза на уровне контроля. Увеличение зависимостей показателей в системе иммуногемопоза приводит к большей жесткости системы, она становится менее лабильной. Вследствие невозможности компенсировать возникающие повреждения в системе, она переходит на качественно новый уровень ее организации. Жесткость системы позволяет ей выполнять наиболее приоритетные ее функции. При этом в неприоритетных отмечаются четко выявленные количественные и качественные дефекты. Такая ситуация не позволяет быстро и в необходимом количестве обеспечивать потребности организма в функциональных клетках, а также исключить возможности изменения продолжительности жизни и частоту новообразования у них.

18. Компенсаторно-восстановительные процессы в иммунопоэзе при различных режимах облучения.

Ответ: Компенсация – комплексная реакция организма, возникающая в ответ на повреждающее действие факторов окружающей среды и направленная на возмещение дефекта органа или ткани (или на поддержание гомеостаза).

Адаптацию следует рассматривать, как истинное приспособление организма к данному воздействию, которое происходит без обратимых нарушений соответствующей биологической системы и без последующего превышения пределов гомеостатических механизмов ее функционирования.

Компенсация – это более сложно организованная адаптация, в связи с чем, обладающая и меньшим резервом прочности. Адаптация человека к экстремальным условиям указывается на развитие адаптационных реакций в организме на всех его уровнях при воздействии ионизирующих излучений. Радиочувствительность зависит от следующих факторов:

- 1) Особенности генотипа. В Человеческой популяции 10-12 % людей отличаются повышенной радиочувствительностью. Связано это с наследственно сниженной способностью к ликвидации разрывов ДНК, а также снижением процессов репарации.
- 2) Физиологическое или патофизиологическое состояние организма.
- 3) Пол (более чувствительны мужчины).
- 4) Возраст (наименее чувствительные взрослые). Радиочувствительность тем выше, чем организм моложе.

Восстановление организма после острого лучевого поражения в первом приближении можно свести к пролиферации клеток, сохранивших жизнеспособность, благодаря чему восполняется убыль популяции клеток критических органов и систем, а, следовательно, восстанавливается их функциональная полноценность. Источником пострадиационного восстановления критических тканей и органов могут быть не только неповрежденные клетки, но и клетки, поврежденные обратимо и восстановившие жизнеспособность, точнее, способность к неограниченному размножению. В любой облученной клеточной популяции следует различать два типа пострадиационного восстановления: репарацию на клеточном уровне. Процессы восстановления в организме животного и человека после облучения протекают с различной скоростью: наивысшей в активно пролиферирующих

тканях и минимальной в тканях с низким уровнем пролиферации.

19. Роль радиационно-индуцированных функциональных изменений в иммунной системе в развитии отдаленных последствий облучения. Иммунодефицит. Гиперреакция. Аутоиммунные реакции.

Ионизирующие излучения существенным образом влияют на иммунную систему, вызывая широкий спектр ее реакций – от изменения регуляции иммунного ответа до гибели иммунокомпетентных клеток.

Иммунодефицитные состояния или иммунодефицит – группа различных патологических состояний, характеризующиеся нарушением работы иммунитета человека, на фоне чего инфекционные и воспалительные процессы повторяются намного чаще, протекают тяжело, а продолжаются они дольше, чем обычно. На фоне иммунодефицита у людей любой возрастной группы формируются тяжёлые заболевания, трудно поддающиеся лечению. Из-за протекания данного процесса могут формироваться раковые новообразования, несущие угрозу для жизни. Радиационный иммунодефицит развивается сразу после облучения организма.

Иммунная гиперчувствительность — это патологическое состояние, характеризующееся повышенной реактивностью иммунной системы к антигенам. Реакции гиперчувствительности лежат в основе развития аллергии, аутоиммунных расстройств. После облучения в ранних пострадиационных периодах повышается вероятность развития аутоиммунных реакций, которые нарастают с увеличением доз отдаленные сроки после облучения. Аутоиммунные реакции могут проявляться и в поздние сроки после облучения и при действии малых доз облучения.

20. Прогностическая значимость иммунологических показателей при оценке отдаленных последствий облучения.

Ответ: Достаточно долгое время иммунный статус организма исследовался, и результаты оценивались по отдельным показателям и при использовании различных методик для их определения. Но иммунный гомеостаз организма, предназначенный для сохранения антигенного постоянства его тканей, направлен на поддержание баланса между параметрами иммунной системы и отражает взаимосвязи клеточных, гуморальных компонентов системы и фагоцитарного звена при регулировании различных функций, как в нормальных физиологических условиях, так и при различной степени нагрузок. При сохранении системы иммунологического надзора организм способен элиминировать большое число клеток, несущих черты иммунологической чужеродности. Известно, что кроветворная и иммунная системы играют ведущую роль, как в поддержании генетического гомеостаза организма, так и при формировании ранних и отдаленных последствий радиационного воздействия.

Важным феноменом при всех формах радиационного воздействия является сокращение продолжительности жизни (ПЖ) облученных особей, а также опухолевые эффекты, но, несмотря на значительное число работ в этой области, данный вопрос до настоящего времени далек от окончательной ясности. Сокращение продолжительности жизни – универсальный эффект облучения, характерный для всех видов животных, но наиболее подробно он изучен на мышах и крысах. Радиационное сокращение продолжительности жизни – очень сложный биологический процесс, точная природа которого далека от понимания. Литературные сведения по этому вопросу носят противоречивый характер. Ряд авторов рассматривают радиационное сокращение жизни как результат неспецифического повреждения всех тканей организма, приводящего к

преждевременному старению. При высоких дозах облучения, которые определенно лежат в летальном диапазоне, начинает проявляться неспецифический компонент сокращения продолжительности жизни вследствие клеточных повреждений кровеносных сосудов и других тканей. В литературе имеются данные, указывающие на связь нарушений взаимосвязей между параметрами иммунитета (иммунологический дисбаланс) и развитием определенной патологии, в том числе и онкологической. Радиационные нарушения кроветворения и иммунитета увеличивают риск развития раковых заболеваний.

21. Значение иммунологического мониторинга при формировании групп повышенного онкологического риска среди облученного населения.

Ответ: Следует проводить наблюдение за состоянием здоровья и иммунитета у лиц, подвергшихся облучению. В соответствии с этими результатами должны проводиться соответствующие мероприятия по предотвращению развития патологии. Можно выделить варианты адаптации:

1. отклонения в иммунограмме отсутствуют – клинических проявлений нет (благоприятный вариант).
2. Установлены отклонения в иммунограмме – клинических проявлений нет. Дисфункция иммунной системы является результатом недостаточности адаптивных механизмов, в крайнем случае их срывом.
3. Установлены отклонения в иммунограмме – есть клинические проявления.

Соответственно лица распределяются на три группы:

Лица первой группы – дальнейшее наблюдение, иммунопрофилактика.

Лица второй группы и третьей могут быть отнесены к группе риска по развитию отдаленных последствий. К ним применяются методы лечения, либо иммунокоррекции, либо иммунотерапии в зависимости от выявленных нарушений. Цель – возврат иммунной системы к норме. Предотвращение развития раковых заболеваний.

22. Реакция трансплантат против хозяина при радиационном воздействии.

Ответ: Влияние облучения на реакции гиперчувствительности замедленного типа (ГЗТ) при радиационном воздействии характеризуются несколькими феноменами, связанными с реактивацией сенсibilизированных Т-лимфоцитов. Клеточный иммунитет ответственен за отторжение аллогенных трансплантатов. Трансплантация - в медицине пересадка какого-либо органа или ткани, например, почки, сердца, печени, лёгкого, костного мозга, стволовых гемопоэтических клеток, волос. Организм, от которого берут органы или ткани для пересадки, называют донором. Известно, что облучение ингибирует иммунологические процессы, вызывающие отторжение гомотрансплантатов. Реакция «трансплантат против хозяина» (РТПХ) представляет собой осложнение, развивающееся после трансплантации стволовых клеток или костного мозга в результате того, что пересаженный материал начинает атаковать организм реципиента.

Тотальное облучение тела (ТОТ) перед пересадкой костного мозга служит полностью уничтожить или значительно подавить активность иммунокомпетентных клеток организма реципиента, чтобы уменьшить вероятность реакции отторжения РТПХ. Дозы ионизирующего излучения, обычно используемые при подготовке (кондиционировании) реципиента к процедуре пересадки костного мозга или гемопоэтических стволовых клеток, варьируют от 10 Грей до более чем 12 Грей. Такая практика основана на том, что ещё в ранних исследованиях по пересадке костного мозга

было показано, что фракционирование дозы ТОТ уменьшает острую и хроническую токсичность ТОТ для пациента, позволяет дать несколько большую дозу ТОТ, и приводит к лучшим клиническим исходам процедуры трансплантации. Пример: Облучение кроликов в дозах 2,50-3,00 Гр, а мышей и крыс в дозах 4,00-5,00 Гр, произведенное за 1-7 суток до трансплантации кожи, увеличивает в 2 раза время, в течение которого в норме происходит отторжение трансплантированной ткани. Если трансплантация произведена более, чем за 48 часов до облучения, то оно либо не оказывает влияния на приживаемость трансплантата, либо эффект незначителен.

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, учитывается наличие конспектов лекций, устные опросы и защита реферативных сообщений.

Критерием успешности освоения учебного материала **по окончании учебного семестра** (промежуточная аттестация) является экспертная оценка преподавателя, учитывающая: текущую успеваемость в течение семестра (устный опрос, реферат) и ответы на вопросы зачета. Кроме того, экспертная оценка преподавателя может основываться на регулярности посещения обязательных учебных занятий,

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. Критерии оценивания теоретического вопроса

«**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.

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, направленность Биофизика, ФОС РПД
Радиационная иммунология, 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) Г.А. Тряпицына

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