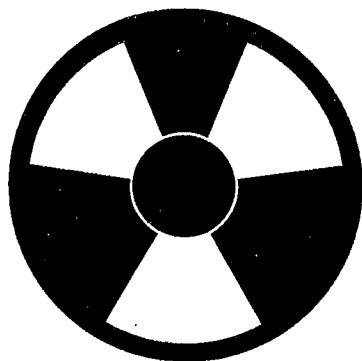


О.В. Поворова

ПРАКТИКУМ ПО РАДИОБИОЛОГИИ

для студентов специальности 1-310101 Биология
(научно-педагогическая деятельность)



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. А.А. КУЛЕШОВА»

О.В. Поворова

ПРАКТИКУМ ПО РАДИОБИОЛОГИИ

Для студентов специальности 1-310101 Биология
(научно-педагогическая деятельность)

Методические рекомендации



Могилев 2008

УДК (57+61):539.1.04(075.8)

ББК 28.071

П69

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
МГУ им. А.А. Кулешова*

Рецензент

директор Могилевского филиала

РНИУП «Института радиологии» канд. с.-х. наук

Т.П. Шатшеева

Поворова, О.В.

П69

Практикум по радиобиологии: метод. реком. / О.В. Поворова. – Могилев: УО “МГУ им. А.А. Кулешова”, 2008. – 60 с.

Практикум включает 9 практических работ, охватывая весь основной курс учебного материала по радиобиологии. Данное издание включает в себя изучение биологического действия ионизирующих излучений на организм человека, животных и растений на молекулярном, клеточном, тканном, органном, организменном уровнях; основных биохимических процессов; особенностей распространения, накопления в биосфере радиоактивных элементов.

Предлагаемое практическое руководство может быть полезно студентам биологических специальностей факультета естествознания, учителям биологии и экологии в подготовке к занятиям и олимпиадам.

УДК (57+61):539.1.04(075.8)

ББК 28.071

© Поворова О.В., 2008

© Оформление. УО «МГУ им. А.А. Кулешова», 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью курса радиобиологии является создание у студентов необходимого объема знаний для понимания основ радиобиологических явлений на разных уровнях организации живого после воздействия ионизирующих излучений различной природы и умения использовать знания в своей дальнейшей деятельности.

Практикум включает в себя изучение биологического действия ионизирующих излучений на организм человека, животных и растений на молекулярном, клеточном, тканном, органном, организменном уровнях; основных биохимических процессов; особенностей распространения, накопления в биосфере радиоактивных элементов.

Практические занятия являются одной из важнейших форм обучения студентов. На занятиях студенты уточняют, развивают, детализируют знания, полученные на лекциях и в результате изучения литературы, знакомятся с методами и средствами науки, формируют умения и навыки их практического применения, приводя разрозненные знания в определенную систему. Самостоятельная работа проводится под руководством преподавателя по конкретной теме практикума с целью развития навыков самостоятельного усвоения материала. В качестве контроля за эффективностью самостоятельной работы предусмотрено выполнение заданий (составление обобщающих таблиц, схем и т.д.), которые в конце занятия предоставляются преподавателю для зачета. Практикум из 9 практических работ оформляется каждым студентом в индивидуальных рабочих тетрадях и является допуском к зачету по данной дисциплине.

В методических указаниях к занятию указывается тема занятия, контрольные вопросы к теме занятия, практикум, который должен быть выполнен на занятии, тесты, ситуационные задачи. После фронтального опроса по контрольным вопросам практикума материал закрепляется устной работой всех студентов аудитории по тестовым заданиям и ситуационным задачам, подразумевая точность ответа и возможность обсуждения каждого задания. Решение ситуационных задач ставит перед собой цель расширения кругозора студентов в рамках дисциплины, констатации смысла и значимости применения теоретических знаний в практических исследованиях, навыки обсуждения результатов исследований. Предлагаемые методические указания должны облегчить самоподготовку студента к занятию во внеаудиторное время, помочь эффективно выполнить практическую работу.

Изучив курс радиобиологии, студенты должны сформировать знания и четкие представления:

- о физико-химическом состоянии радионуклидов и закономерностях перемещения радиоактивных веществ в биосфере;

- о факторах, определяющих степень биологического действия радиоактивных изотопов;
- о теориях механизмов биологического действия ионизирующих излучений;
- о биологическом действии ионизирующих излучений на организм человека, животных и растений на молекулярном, клеточном, тканевом, органном, организменном уровнях.

Практическая работа № 1

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В начале занятия Вам будет выдан номер варианта заданий для самостоятельной работы.

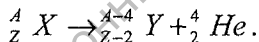
ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задача 1. В какое ядро превратится ядро (см. таблицу 3, колонку 1), испустив (см. колонку 2) частицу? Записать уравнение ядерной реакции.

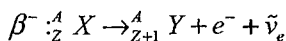
Теория. Атомные ядра (нуклиды) состоят из элементарных частиц двух видов – протонов и нейтронов. Эти частицы объединяются общим названием *нуклоны*. Число протонов в ядре называется атомным номером и обозначается буквой *Z*. Общее число нуклонов в ядре называется массовым числом и обозначается буквой *A*. Для характеристики данного нуклида используют символ его химического элемента *X* и указывают *A* и *Z*: A_ZX , (${}^{90}_{38}\text{Sr}$, ${}^{137}_{55}\text{Cs}$).

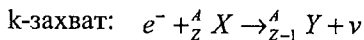
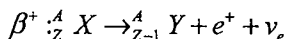
Радиоактивность – процесс самопроизвольного превращения одних атомных ядер в другие, сопровождающийся испусканием одной или нескольких частиц. Атомы, подверженные таким превращениям, называют радиоактивными, или радионуклидами. Основные виды радиоактивного распада – альфа (α), бета (β) и спонтанное деление ядер.

Альфа-распад заключается в самопроизвольном испускании ядром α -частицы (ядра гелия ${}^4_2\text{He}$). Схема α -распада:



Бета-распадом называется процесс самопроизвольного превращения радиоактивного ядра в изобарное с испусканием электрона или позитрона. Известны три вида бета-распада: электронный (β^- -распад), позитронный (β^+ -распад) и электронный захват (k-захват). Схемы β -распадов:

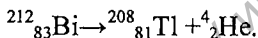




Здесь e^- , e^+ – символы электрона и позитрона, $\nu_e, \bar{\nu}_e$ – символы нейтрино и антинейтрино.

Пример решения задачи. В какое ядро превратится ядро ${}^{212}_{83}\text{Bi}$, испустив α -частицу? Записать уравнение ядерной реакции.

Решение. Обозначим неизвестное ядро символом ${}^A_Z X$. Так как при α -распаде атомный номер изменяется на -2 , а массовое число на -4 , то $Z=83-2=81$, $A=212-4=208$. Элемент с порядковым номером 81 в периодической системе – таллий. Следовательно, ядро ${}^{212}_{83}\text{Bi}$ превратится в ядро ${}^{208}_{81}\text{Tl}$. Уравнение реакции имеет вид:



Задача 2. За какое время распадется 70% начального количества радионуклида (см. колонку 1)? $T_{1/2}$ радионуклида принять равным (см. колонку 3).

Теория. Закон радиоактивного распада: $N = N_0 e^{-\lambda t}$, или $dN = -\lambda N dt$, где N_0 – число ядер в начальный момент времени ($t=0$), N – число ядер, оставшихся к моменту времени t , dN – число ядер, распавшихся за малый интервал времени dt , λ – постоянная радиоактивного распада (вероятность распада ядра в единицу времени).

Число ядер, распавшихся за время t . $\Delta N = N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$.

Связь между периодом полураспада $T_{1/2}$ и постоянной распада

$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0,693}{\lambda}$. Связь между постоянной распада и средним временем жизни ядра τ $\lambda = 1/\tau$.

Пример решения задачи. Какая доля начального количества атомов распадется за два года в радиоактивном изотопе ${}^{228}\text{Ra}$. Период полураспада ${}^{228}\text{Ra}$ принять равным 5 лет.

Решение. Доля распавшихся атомов – это отношение числа распавшихся атомов ΔN к начальному числу атомов N_0 . Согласно

закону радиоактивного распада $\Delta N = N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t})$, где λ – по-

стоянная распада. $\frac{\Delta N}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t}$. $\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 2,72$.

$$\Delta N / N_0 = 1 - 2,72^{-(0,693/5)^2} = 0,242.$$

Задача 3. Чугунная плита снизит интенсивность узкого пучка γ -квантов в 10 раз. Во сколько раз снизит интенсивность этого пучка свинцовая плита такой же толщины? Принять линейные коэффициенты ослабления, равные для чугуна (см. колонку 4) и для свинца (см. колонку 5).

Теория. Проходя через вещество, радиоактивные излучения взаимодействуют с атомами вещества. Механизм взаимодействия каждого вида ядерного излучения различен, но в конечном счете прохождение всех видов радиоактивных излучений через вещество приводит к ионизации атомов среды. В связи с этим радиоактивные излучения называют ионизирующими. Различают непосредственно ионизирующее и косвенно ионизирующее излучения. Непосредственно ионизирующее излучение – это излучение, состоящее из заряженных частиц, имеющих кинетическую энергию, достаточную для ионизации. То есть α - и β -излучения относятся к непосредственно ионизирующему излучению. Косвенно ионизирующее излучение – это излучение, состоящее из незаряженных частиц (γ -излучение), которые в результате взаимодействия с веществом могут создавать непосредственно ионизирующее излучение.

Наибольшей проникающей способностью обладает γ -излучение, наименьшей – α -излучение. В биологической ткани проникающая способность α -частиц с энергией 1 МэВ имеет порядок величины 10^{-5} м, β -частиц – 10^{-2} м, а γ -квантов – десятки метров.

Закон ослабления узкого моноэнергетического пучка γ -квантов при прохождении через вещество $n = n_0 e^{-\mu x}$, где n – поток γ -квантов в веществе на глубине x , n_0 – поток γ -квантов, падающих на вещество, μ – линейный коэффициент ослабления.

Слоем половинного ослабления называется слой вещества, толщина $X_{1/2}$ которого такая, что поток проходящих через него γ -квантов уменьшается в два раза. Связь между толщиной слоя

половинного ослабления и линейным коэффициентом ослабления

$$X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \approx \frac{0,693}{\mu}.$$

Пример решения задачи. Сколько слоев половинного ослабления требуется, чтобы уменьшить интенсивность узкого пучка γ -квантов в 10 раз?

Решение. Закон ослабления узкого пучка γ -квантов слоем вещества толщиной X $n = n_0 e^{-\mu x}$ (1), n – поток γ -квантов в веществе на глубине x , n_0 – поток γ -квантов, падающих на вещество, μ – линейный коэффициент ослабления.

Слой половинного ослабления – это слой вещества, толщина $X_{1/2}$ которого такая, что поток проходящих через него γ -квантов снижается в 2 раза. По условию $n_0/n = 10$. Связь между линейным коэффициентом ослабления и толщиной $X_{1/2}$ слоя половинного ослабления $x_{1/2} = \ln 2 / \mu = 0,693 / \mu$. (2). Величина $X/X_{1/2} = k$ – искомое число половинного ослабления.

Из уравнения (1) находим $X = \ln(n/n_0)/(-\mu)$. (3)

Из уравнений (2) и (3) находим $k = X/X_{1/2} = \ln 10 / 0,693 = 2,303 / 0,693 = 3,323$.

Задача 4. Определить массу радиоактивного препарата (колонка 1, с $T_{1/2}$ – 3 колонка) с начальной активностью, равной начальной активности радионуклида (колонка 6, с $T_{1/2}$ – 7 колонка) массой 2 мг.

Теория. Активность A радиоактивного источника – число радиоактивных распадов, происходящих в источнике за единицу времени. Если в источнике за время dt распадается dN атомов, то

$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N$, где λ – постоянная распада, N – число атомов радиоактивного изотопа, равное $N = mN_A / M$, где m – масса изотопа, M – его молярная масса, N_A – число Авогадро.

Единица активности в системе СИ – беккерель (Бк). Один беккерель равен одному распаду в секунду. Внесистемная единица активности – кюри (Ки). $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

Активность источника с течением времени уменьшается по закону $A = A_0 e^{-\lambda t}$, где A_0 – активность в начальный момент времени ($t=0$), A – активность в момент времени t .

Активность радиоактивного источника, приходящаяся на единицу его массы, называется удельной массовой активностью A_m . $A_m = \frac{A}{m}$, где m – масса источника.

Активность источника, приходящаяся на единицу объема, называется удельной объемной активностью A_v , $A_v = \frac{A}{V}$, где V – объем источника.

Активность источника, приходящаяся на единицу его поверхности, называется удельной поверхностной активностью A_s .

Удельная массовая активность в системе СИ измеряется в Бк/кг, A_v – в Бк/м³, A_s – в Бк/м². Наряду с этими единицами часто применяют внесистемные. Например, удельную поверхностную активность A_s измеряют в Ки/км². 1 Ки/км² = 3,7·10⁴ Бк/м² = 37кБк/м².

Пример решения задачи. Определить начальную активность A_0 радиоактивного препарата ^{204}Tl массой 0,2 кг, а также его активность A через 150 дней. Период полураспада ^{204}Tl принять равным 4 суткам.

Решение. Начальная активность $A_0 = \lambda N_0$ (4), где λ – постоянная распада. $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ (5).

N_0 – начальное число радиоактивных атомов. $N_0 = N_A \cdot (m/M)$ (6), где N_A – число Авогадро, M – молярная масса. Подставив в (4) (5) и (6), получим $A_0 = (m/M) \cdot (\ln 2 / T_{1/2}) \cdot N_A$. Активность спустя время t равна $A = A_0 e^{-\lambda t}$ (7). Учитывая, что $T_{1/2} = 4$ суток = 4 сут·24 ч·3600 с = 345600 = 3,5·10⁵ с; $m = 0,2$ кг = 0,2·10³ г; $\ln 2 = 0,693$; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹; $M = 204$ г·моль⁻¹, получаем $A_0 = (0,2 \cdot 10^3 / 204) \cdot (0,693 / 3,5 \cdot 10^5) \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,2 \cdot 10^{18}$ Бк.

Учитывая, что $e = 2,72$; $t = 150$ сут = 150 сут·24 ч·3600 с = 12960000 с.

$A = 1,2 \cdot 10^{18} \cdot 2,72^{-(0,693/345600) \cdot 12960000} = 6,1 \cdot 10^6$ Бк.

Задача 5. Оценить эквивалентную дозу, полученную за счет внешнего γ -облучения за год проживания на территории с уровнем поверхностной активности ^{137}Cs (колонка 8).

Теория. Для характеристики радиоактивных излучений и их воздействия на облучаемый объект вводят дозиметрические величины.

Экспозиционная доза X – величина, численно равная отношению суммарного заряда dQ всех ионов одного знака, образовавшихся под

действием фотонного излучения в элементарном объеме сухого воздуха, к массе этого объема dm : $X = \frac{dQ}{dm}$. Единица экспозиционной дозы в СИ – кулон на килограмм (Кл/кг). Используемой до настоящего времени внесистемной единицей является рентген (Р). $1\text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг; $1\text{ Кл/кг} = 3876\text{ Р}$.

Поглощавшая доза D – энергия излучения, переданная единице массы вещества: $D = \frac{dE}{dm}$, где dE – энергия, переданная излучением веществу массой dm . Единица поглощенной дозы в СИ – грей (Гр). Один грей – это такая доза, при которой в веществе массой 1 кг поглощается энергия радиоактивных излучений 1 Дж: $1\text{ Гр} = 1\text{ Дж/кг}$. Внесистемной единицей поглощенной дозы является рад: $1\text{ рад} = 10^{-2}\text{ Гр}$, $1\text{ Гр} = 100\text{ рад}$.

Экспозиционной дозе в 1 Р соответствует поглощаемая биологическими объектами доза, приблизительно равная $0,01\text{ Гр} = 1\text{ рад}$.

Эквивалентная доза H – произведение поглощенной дозы на коэффициент качества излучения K : $H = K \cdot D$. При облучении смешанным излучением эквивалентная доза определяется как сумма произведений поглощенных доз D_i от отдельных видов излучений на соответствующие этим излучениям коэффициенты качества K_i : $H = \sum_i K_i \cdot D_i$. Значения коэффициентов качества излучений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты качества излучения КК

Вид излучения	КК
Рентгеновское и гамма-излучение	1
Бета-излучение	1
Альфа-излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Нейтроны с энергией меньше 20 КэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1 – 10 МэВ	10
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
Тяжелые ядра отдачи	20

Единица эквивалентной дозы в СИ – зиверт (Зв). Один зиверт – это такая эквивалентная доза, которая производит такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 Гр рентгеновского или гамма-излучения. Внесистемная единица эквивалентной дозы – биологический эквивалент рентгена – бэр. 1 Зв = 100 бэр.

Эффективная эквивалентная доза $H_{эфф}$ – сумма произведений эквивалентных доз H_i , полученных отдельными органами человека на соответствующие этим органам коэффициенты радиационного риска ω_i (взвешивающие коэффициенты): $H_{эфф} = \sum_i H_i \cdot \omega_i$. Значения коэффициентов радиационного риска ω_i приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты радиационного риска ω_i

Орган или ткань	ω_i
Яичники или семенники	0,25
Молочные железы	0,15
Красный костный мозг	0,12
Легкие	0,12
Щитовидная железа	0,03
Костная ткань	0,03
Остальные ткани	0,3
Организм в целом	1,0

Эффективная эквивалентная доза измеряется в тех же единицах, что и эквивалентная.

Мощность дозы излучения – отношение приращения дозы dD ионизирующего излучения к интервалу времени dt , за который это

увеличение произошло: $P = \frac{dD}{dt}$.

Мощность экспозиционной дозы: $P_{эксп.} = \frac{dX}{dt}$.

Мощность поглощенной дозы: $P_{погл.} = \frac{dD}{dt}$.

Единица измерения мощности экспозиционной дозы в СИ – ампер на килограмм (А/кг или Кл/(кг·с)). Широко употребляются внесистемные единицы мР/ч, мкР/ч.

Единица измерения мощности поглощенной дозы излучения – греи в секунду (Гр/с), единица измерения мощности эквивалентной дозы – зиверт в секунду (Зв/с).

С помощью приборов (дозиметров) можно измерить экспозиционную дозу, а также при определенных условиях – поглощенную дозу. Все остальные дозы приборами не измеряются, а могут быть только рассчитаны или оценены по известным радиометрическим величинам или экспозиционной дозе. Для этого необходимо знать переходные коэффициенты. Для внешнего гамма-облучения в условиях нашей республики это следующие коэффициенты: 1 Бк/м² приводит к эквивалентной дозе 0,022 мкЗв/год, 1 Ки/км² приводит к эквивалентной дозе 0,8 мЗв/год, 1 мкР/ч приводит к эквивалентной дозе 0,05 мЗв/год.

Пример решения задачи. Оценить эквивалентную дозу, получаемую за счет внешнего γ -облучения за месяц нахождения на территории с уровнем поверхностной активности ^{137}Cs 30 Ки/км².

Решение. Переходной коэффициент от уровня поверхностной активности к эквивалентной дозе за счет внешнего γ -облучения – 0,8 мЗв/год на 1 Ки/км². Следовательно, при уровне поверхностной активности 30 Ки/км² эквивалентная доза за год составит $0,8 \cdot 30 = 24$ мЗв. Доза за месяц будет в 12 раз меньше: $24/12 = 2$ мЗв.

Таблица 3 – Варианты заданий для самостоятельной работы

№ п/п	Радионуклид	Тип распада	$T_{1/2}$	Лин. коэф. ослабл., см ⁻¹		Радионуклид	$T_{1/2}$	Ур. пов. акт., Ки/км ²
				5	6			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Rb-79	β^+	23 мин	0,11	0,3	Pm-147	3 года	1,2
2.	Rb-84	β^-	33 сут	0,12	0,31	Eu-146	5 сут	1,4
3.	Cs-130	β^+	30 мин	0,13	0,32	Sm-153	47 ч	1,6
4.	Cs-132	β^-	7 сут	0,14	0,33	Eu-148	55 сут	1,8
5.	Cs-137	β^-	30 лет	0,15	0,34	Eu-152	13 лет	2
6.	Mn-52	β^+	6 сут	0,16	0,35	Eu-147	24 сут	2,2

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7.	Fr-223	β^-	22 мин	0,17	0,36	Gd-151	120 сут	2,4
8.	Cu-60	β^+	23 мин	0,18	0,37	Tb-160	72 сут	2,6
9.	Co-58	β^+	71 сут	0,19	0,38	Tm-171	2 года	2,8
10.	Ag-103	β^+	66 мин	0,2	0,39	Lu-174	3 года	3
11.	Co-56	β^+	79 сут	0,21	0,4	Th-228	2 года	3,2
12.	Au-194	β^+	40 ч	0,22	0,41	Th-234	24 сут	3,4
13.	Au-199	β^-	3 сут	0,23	0,42	Pa-230	17 сут	3,6
14.	Ag-111	β^-	8 сут	0,24	0,43	Pa-233	27 сут	3,8
15.	Mg-28	β^-	21 ч	0,25	0,44	U-230	21 сут	4
16.	Ca-45	β^-	163 сут	0,26	0,45	U-232	72 года	4,2
17.	Sr-89	β^-	51 сут	0,27	0,46	U-237	7 сут	4,4
18.	Sr-90	β^-	29 лет	0,28	0,47	Np-235	396 сут	4,6
19.	Ba-131	β^+	12 сут	0,29	0,48	Np-234	4 сут	4,8
20.	Ba-140	β^-	13 сут	0,3	0,49	Np-239	2 сут	5
21.	Ra-223	α	11 сут	0,31	0,5	Pu-236	3 года	5,2
22.	Ra-228	β^-	6 лет	0,32	0,51	Pu-241	14 лет	5,4
23.	Zn-65	β^+	244 сут	0,33	0,52	Am-240	51 ч	5,6
24.	Zn-72	β^-	47 ч	0,34	0,53	Cm-244	18 лет	5,8
25.	Cd-107	β^+	7ч	0,35	0,54	Cm-249	64 мин	6
26.	Cd-115	β^-	54 ч	0,36	0,55	Bk-245	5 сут	6,2
27.	Hg-193	β^+	4 ч	0,37	0,56	Cf-250	13 лет	6,4
28.	Hg-203	β^-	47 сут	0,38	0,57	Sn-125	10 сут	6,6
29.	Co-60	β^-	5 лет	0,39	0,58	Pb-210	22 года	6,8
30.	In-109	β^+	4 ч	0,4	0,59	Zr-95	64 сут	7
31.	Tl-202	β^+	12 сут	0,41	0,6	Hf-181	42 сут	7,2
32.	Tl-204	β^-	4 года	0,42	0,61	P-33	25 сут	7,4
33.	Sc-46	β^-	84 сут	0,43	0,62	As-74	18 сут	7,6
34.	Y-88	β^+	107 сут	0,44	0,63	Sb-125	60 сут	7,8
35.	Y-91	β^-	59 сут	0,45	0,64	Bi-205	15 сут	8
36.	Ac-225	α	10 сут	0,46	0,65	V-48	16 сут	8,2
37.	Ac-227	β^-	28 лет	0,47	0,66	Nb-95	35 сут	8,4

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
38.	Ce-141	β^-	325 сут	0,48	0,67	Ta-183	5 сут	8,6
39.	Nd-147	β^-	11 сут	0,49	0,68	Po-210	138 сут	8,8
40.	Pm-147	β^-	3 года	0,5	0,69	W-185	75 сут	9
41.	Eu-146	β^+	5 сут	0,51	0,7	I-126	13 сут	9,2
42.	Sm-153	β^-	47 ч	0,52	0,71	Rb-79	23 мин	9,4
43.	Eu-148	α	55 сут	0,53	0,72	Rb-84	33 сут	9,6
44.	Eu-152	β^-	13 лет	0,54	0,73	Cs-130	30 мин	9,8
45.	Eu-147	β^+	24 сут	0,55	0,74	Cs-132	7 сут	10
46.	Gd-151	α	120 сут	0,56	0,75	Cs-137	30 лет	10,2
47.	Tb-160	β^-	72 сут	0,57	0,76	Mn-52	6 сут	10,4
48.	Tm-171	β^-	2 года	0,58	0,77	Fr-223	22 мин	10,6
49.	Lu-174	β^+	3 года	0,59	0,78	Cu-60	23 мин	10,8
50.	Th-228	α	2 года	0,6	0,79	Co-58	71 сут	11
51.	Th-234	β^-	24 сут	0,61	0,8	Ag-103	66 мин	11,2
52.	Pa-230	α	17 сут	0,62	0,4	Co-56	79 сут	11,4
53.	Pa-233	β^-	27 сут	0,63	0,41	Au-194	40 ч	11,6
54.	U-230	α	21 сут	0,64	0,42	Au-199	3 сут	11,8
55.	U-232	α	72 года	0,65	0,43	Ag-111	8 сут	12
56.	U-237	β^-	7 сут	0,66	0,44	Mg-28	21 ч	12,2
57.	Np-235	α	396 сут	0,67	0,45	Ca-45	163 сут	12,4
58.	Np-234	β^+	4 сут	0,68	0,46	Sr-89	51 сут	12,6
59.	Np-239	β^-	2 сут	0,69	0,47	Sr-90	29 лет	12,8
60.	Pu-236	α	3 года	0,7	0,48	Ba-131	12 сут	13
61.	Pu-241	β^-	14 лет	0,1	0,49	Ba-140	13 сут	13,2
62.	Am-240	α	51 ч	0,12	0,5	Ra-223	11 сут	13,4
63.	Cm-244	α	18 лет	0,13	0,51	Ra-228	6 лет	13,6
64.	Cm-249	β^-	64 мин	0,14	0,52	Zn-65	244 сут	13,8
65.	Bk-245	α	5 сут	0,15	0,53	Zn-72	47 ч	14
66.	Cf-250	α	13 лет	0,16	0,54	Cd-107	7ч	14,2
67.	Sn-125	β^-	10 сут	0,17	0,55	Cd-115	54 ч	14,4
68.	Pb-210	β^-	22 года	0,18	0,56	Hg-193	4 ч	14,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
69.	Zr-95	β^-	64 сут	0,19	0,57	Hg-203	47 сут	14,8
70.	Hf-181	β^-	42 сут	0,2	0,58	Co-60	5 лет	15
71.	P-33	β^-	25 сут	0,22	0,59	In-109	4 ч	15,2
72.	As-74	β^+	18 сут	0,24	0,6	Tl-202	12 сут	15,4
73.	Sb125	β^-	60 сут	0,26	0,61	Tl-204	4 года	15,6
74.	Bi-205	β^+	15 сут	0,28	0,62	Sc-46	84 сут	15,8
75.	V-48	β^+	16 сут	0,3	0,63	Y-88	107 сут	16
76.	Nb-95	β^-	35 сут	0,32	0,64	Y-91	59 сут	16,2
77.	Ta-183	β^-	5 сут	0,34	0,65	Ac-225	10 сут	16,4
78.	Po-210	α	138 сут	0,36	0,66	Ac227	28 лет	16,6
79.	W-185	β^-	75 сут	0,38	0,67	Ce-141	325 сут	16,8
80.	I-126	β^+	13 сут	0,4	0,68	Nd-147	11 сут	17

Практическая работа № 2

ТЕОРИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Контрольные вопросы:

1. Свойства ионизирующего излучения (ИИ), определяющие особенности биологического действия радиации.
2. Теории прямого действия ИИ.
3. Теории непрямого (косвенного) действия ИИ. Эффект разведения. Кислородный эффект.
4. Радиоллиз воды.
5. Теория липидных радиотоксинов.
6. Структурно-метаболическая теория радиационного поражения.
7. Опосредованное действие ИИ.

Практикум

Задание 1. Теории прямого действия ИИ

Теория	Принцип	Преимущества	Недостатки
Теория мишени и попаданий			
Стохастическая теория			

Задание 2. Радиолиз воды

Фазы	Продукты фазы	Особенности продуктов фазы
Физическая фаза		
Фаза первичных физико-химических реакций		
Фаза химических реакций		
При наличии в среде растворенного кислорода		

Задание 3. Перекисное окисление липидов (ПОЛ)

1. Составьте схему из приведенных блоков:

Гидроксильный радикал ($\text{OH}\cdot$) – липиды клеточной мембраны – липидный радикал – прооксиданты – гидроперекись липидов.

Дополните схему условиями протекания реакций и последствиями ПОЛ.

2. Дайте определение прооксидантам. Что к ним относится?

Решите ситуационные задачи

1. Рассмотрите схему радиолиза воды (рис. 1). Охарактеризуйте особенности каждой фазы радиолиза воды и продукты.

2. В 70-е гг. прошлого столетия из абрикосовых семян был получен за рубежом препарат «Дейтрил», который якобы излечивает рак. Исследования, проведенные в США на 75 тыс. больных, не выявили высокой противораковой активности препарата, но и не исключили его из списка вспомогательных средств. Основным действующим началом этого препарата является гликозид амигдалин, содержащийся в ядрах, который повышает сопротивляемость организма лучевому поражению. Это объясняют тем, что в небольших дозах этот сильнодействующий яд вызывает не гибель, а лишь угнетение клеток, их кислородное голодание и в таком состоянии они более устойчивы к радиации [1, с. 76]. Объясните причину устойчивости клеток к радиационному воздействию.

Поскольку абрикос богат калием, объясните, почему рекомендуют к употреблению в пищу его плоды как эффективное радиозащитное средство?

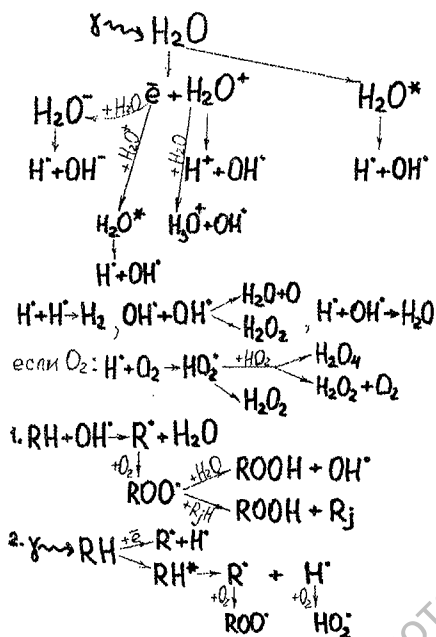


Рисунок 1 – Общая схема радиолитиза воды

объясняются преобладанием при малых дозах последствий воздействия радиации на клеточные мембраны над повреждениями генома. Рассмотрите рис. 2 ступенчатости дозовой зависимости выхода цитогенетических повреждений в области малых доз, которая обусловлена пороговостью в индукции репарации повреждений ДНК. Согласно механизму этой индукции, радиация даже в малых дозах, нарушив проницаемость мембран, увеличивает внутриклеточный pH, что вызывает конформационные сдвиги в хроматине и изменяет в нем укладку ДНК. Это приводит к транскрипции различных ранее «молчащих» генов, в том числе генов ферментов репарации ДНК.

3. Эффекты малых доз (ЭМД) – изменения свойств мембран, активация метаболических процессов, стимуляция пролиферации клеток, адаптивный ответ и др. – обладают схожими свойствами, что свидетельствует о едином механизме их инициации. К этим общим свойствам относятся малость дозы, вызывающей ЭМД в различных клетках; колоколообразная форма дозовой зависимости ЭМД, заключенной в узком интервале от долей до десятков сГр; обратная зависимость эффектов от мощности дозы в этом диапазоне и др. Все эти свойства

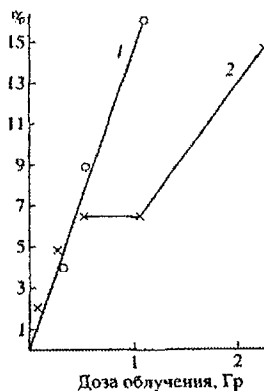


Рисунок 2 – Зависимость % фибробластов китайского хомячка с микроядрами (в %) от дозы γ -облучения в присутствии (1) и в отсутствие (2) кофеина [2]

Благотворное действие радиации в области малых доз (горемизис), обусловленное индукцией репарации, зависит от мощности дозы, т.к. все ЭМД возникают в узком диапазоне мощностей (0,1–0,3 Гр/мин). Что можно сказать, согласно данному графику, о повреждениях вне указанного интервала мощностей?

Выберите правильный ответ

1. Радиолиз воды – это: а) радиационный распад химических веществ; б) радиационный распад воды; в) радиационный распад клетки.
2. Гидроксильные радикалы: а) сильные восстановители; б) сильные окислители; в) пероксиды.
3. При лучевой болезни в организме образуются: а) токсические вещества и гормоны; б) ферменты и продукты обмена; в) а + б.
4. Наиболее радиочувствительным компонентом клетки является: а) цитоплазма; б) митохондрии и комплекс Гольджи; в) ядро.
5. Наиболее чувствительна клетка к ионизирующему излучению на стадии: а) метафазы; б) профазы; в) анафазы.
6. К продуктам ПОЛ относятся: а) эпоксиды и гидроперекиси; б) липидные радикалы и эпоксиды; в) прооксиданты и гидроперекиси.
7. Высокой чувствительностью к ионизирующему излучению обладает: а) нервная система; б) мышечная система; в) половая система.
8. С повышением концентрации кислорода в окружающей среде: а) ослабляется эффект лучевого поражения; б) усиливается эффект лучевого поражения; в) сила лучевого поражения не изменяется.
9. Правило Бергонье и Трибондо гласит: а) чувствительность клетки к облучению прямо пропорциональна интенсивности клеточного деления и обратно пропорциональна степени их дифференцировки; б) чувствительность клетки к облучению прямо пропорциональна интенсивности клеточного деления и степени их дифференцировки; в) чувствительность клетки к облучению обратно пропорциональна интенсивности клеточного деления и прямо пропорциональна степени их дифференцировки.
10. Липидные радиотоксины вызывают: а) гемолиз; б) радиолиз воды; в) образование свободных радикалов.
11. Процесс радиолиза воды состоит из фаз: а) физической, химической, биологической; б) физической, химической, физико-химической; в) физической, химической, аналитической.
12. На химической стадии радиолиза воды происходит: а) образование радикалов; б) взаимодействие свободных радикалов между собой

и с другими веществами; в) взаимодействие ионизирующего излучения с молекулой воды.

13. Кто из ученых разработал теорию мишени и попаданий: а) Трибондо и Бергонье; б) Шварц; в) Тимофеев-Рисовский.

14. Кто из ученых сформулировал правило чувствительности клеток к облучению: а) Тимофеев-Рисовский; б) Складовская-Кюри; в) Трибондо и Бергонье.

15. Прооксиданты образуются при взаимодействии: а) свободных радикалов различных веществ с кислородом; б) свободных радикалов с липидными радикалами; в) липидных радикалов с кислородом.

16. Продуктами физической фазы радиолиза воды являются: а) OH^- ; $\text{OH}^\cdot$; H_2O^* ; H_2O^+ ; б) H_2O^+ ; $\text{H}_2\text{O}^\cdot$; H_2O^* ; $\bar{e}$; в) $\text{H}_2\text{O}^\cdot$; H_2O^* ; $\bar{e}$; H_2O_2 .

17. Липидные радиотоксины представляют собой комплекс продуктов окисления: а) альдегидов, эпоксидов, кетонов, гидропероксидов, ненасыщенных кислот; б) альдегидов, эпоксидов, кетонов, гидропероксидов, фосфолипидов; в) альдегидов, кетонов, гидропероксидов, ненасыщенных кислот, эфиров.

18. Прооксиданты – это: а) свободные радикалы липидов; б) свободные радикалы $\text{OH}^\cdot$ и $\text{H}^\cdot$; в) продукты радиолиза воды.

19. К теории прямого действия НЕ относится: а) стохастическая теория; б) теория мишеней и попаданий; в) лецитиновая теория.

20. О различии прямого и косвенного действия радиации на биообъекты и о величине их влияния на развитие лучевого поражения судят по: а) эффекту разведения; кислородному эффекту; б) кислородному эффекту; в) а + б.

21. Липидные радиотоксины вызывают: а) мутации, повреждение хромосомного аппарата, ионизацию; б) гемолиз, нарушение кровотока, торможение клеточного деления; в) а + б.

22. Особенностью биологического действия радиации является: а) наличие у животных специальных анализаторов для восприятия излучения; б) отсутствие у животных специальных анализаторов для восприятия излучения; в) особая форма передачи энергии клеткам.

23. При косвенном действии ИИ наиболее выражен процесс: а) радиолиза нуклеиновых кислот; б) радиолиза воды; в) радиолиза фосфолипидов.

24. В присутствии кислорода при радиолизе воды может происходить: а) усиление прямого действия ИИ; б) усиление косвенного действия ИИ; в) ослабление прямого и косвенного действия ИИ.

25. Биологическая эффективность каждого вида ионизирующего излучения находится в зависимости от: а) удельной ионизации; б) индивидуальных особенностей организма; в) наружного облучения.
26. В основе теории мишени и попаданий лежат положения: а) принцип непрямого действия; б) принцип попадания; в) принцип мишени.
27. Чем сопровождается действие ИИ на любой организм: а) образованием ионов и протонов;
б) образованием ионов и возбужденных атомов; в) образованием протонов и нейтронов.
28. Доказал, что липидные радиотоксины вызывают цитогенетический эффект, повреждают микроструктуру нуклеиновых кислот и биомембран: а) Лучник; б) Тарусов; в) Шварц.
29. Автором структурно-метаболической теории радиационного повреждения является: а) Кузин; б) Тарусов; в) Лондон.
30. Состояние, при котором абсолютное число поврежденных молекул веществ в слабом растворе не зависит от его концентрации и остается для данной экспозиционной дозы постоянным, называется: а) опосредованным эффектом облучения; б) непосредственным эффектом облучения; в) эффектом разведения.

Практическая работа № 3

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИИ НА МОЛЕКУЛЯРНОМ УРОВНЕ

Контрольные вопросы:

1. Радиационное повреждение нуклеиновых кислот. Репарация радиационных повреждений ДНК.
2. Реакция фосфолипидов, углеводов, белков на облучение

Практикум

Задание 1. Реакции молекул на облучение

Химическое соединение	Повреждающий эффект
Фосфолипиды	
Углеводы	
Нуклеиновые кислоты	
Белок	

Задание 2. Радиационное повреждение ДНК

Нарисуйте фрагмент молекулы ДНК, отметьте на схеме следующие основные типы повреждений, индуцированные ИИ:

- изменения в азотистых основаниях;
- разрыв гликозидной связи углерод – основание;
- разрыв фосфозфирной связи углерод – фосфат;
- разрывы водородных связей между комплиментарными основаниями в двойной спирали;
- одиночные и двойные разрывы цепей ДНК;
- ковалентные сшивки.

Задание 3. Репарация радиационных повреждений ДНК (характеристика, какими путями осуществляется, с помощью каких ферментов).

Решите ситуационные задачи

1. В экспериментах с частичной лучевой инактивацией ферментивно-активных белков с разной структурой (пепсина – с глобулярной молекулой, миозина – с фибриллярной) было показано, что часть сохранивших активность молекул содержит скрытые повреждения, которые приводят к их инаktivации при пострadiационном воздействии на облученные растворы тепла в произвольное время. Максимальная дополнительная инаktivация увеличивается с дозой облучения и характеризуется меньшей энергией активации, чем термоинаktivация нативного белка. Рассмотрите рис. 3, б. Зависит ли дополнительная инаktivация при нагреве от его температуры? Как называются эти скрытые повреждения?

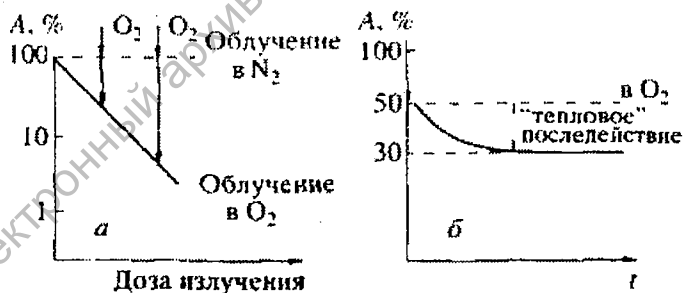


Рисунок 3 – «Кислородное» (а) и «тепловое» (б) последствие при лучевой инаktivации ферментов [2]

В присутствии примесей обратимо ослабляется или предотвращается не только дополнительная лучевая инаktivация и термоактивация

облученных, но и интактных белков – миозина и пепсина. Активность сохранялась при дозах, на порядок превышающих инактивирующую дозу. Этот эффект объясняется адсорбцией молекул примеси на молекулах ферментов, что скрепляет их структуру и обратимо препятствует конформационным изменениям, необходимым для осуществления ферментативных актов. Как называется этот механизм защиты?

2. Проводилось исследование экспрессии антигенов II класса локуса DR (DR1, DR2, DR5, DR7) системы гистосовместимости человека (HLA) на нативных и УФ-модифицированных (интегральный поток УФ-света 240–390 нм в дозах 151–1359 Дж/м²) мембранах В-лимфоцитов крови человека для того, чтобы показать высокую чувствительность иммунной системы к действию экзогенных и эндогенных факторов. Даже малые дозы излучений (видимый поляризованный свет, лазер, УФ-излучение) могут выступать триггером каскадных реакций, которые приводят к значительному биологическому ответу. Рассмотрите таблицу 1, где представлена частота встречаемости данных антигенов в русской популяции, а также связь этих макромолекул с предрасположенностью человека к определенным заболеваниям.

Таблица 1 – Распределение некоторых HLA-DR антигенов в русской популяции и их ассоциация с заболеваниями [3]

HLA-антиген	Частота антигена, %	Частота гена	Заболевание	Относительный риск, %
DR1	18,0	0,0945		—
DR2	24,7	0,01322	синдром Гудпасчера	13,1
			туберкулоидная лепра	8,1
			рассеянный склероз	4,8
DR5	22,0	0,1168	аутоиммунный тиреоидит (болезнь Хасимото)	3,2
DR7	24,7	0,1322	—	—

Рассмотрите рис. 4, на котором отображено изменение экспрессии антигенов HLA-DR под действием УФ-излучения. Сделайте вывод о влиянии УФ-излучения на экспрессию антигенов (увеличивается или уменьшается?). Обратите внимание на уровень доз и определите, какие дозы облучения оказались наиболее эффективными на максимальный рост регистрируемого показателя.

Рост экспрессии HLA II класса при воздействии УФ-света будет:

- обеспечивать расширение контактов между аутологичными клетками и уменьшать рестрикцию иммунного ответа по белкам гистосовместимости, тем самым облегчая презентацию чужеродного антигена Т-хелперам;
- корректировать процессы селекции дифференцирующихся лимфоцитов, приводя к увеличению разнообразия их клонов.

В результате будет наблюдаться рост иммунологической толерантности организма к аутоантигенам с сохранением способности отвечать иммунной реакцией на антигены чужеродного происхождения.

Подумайте:

- о практическом применении результатов данных исследований (так, например, применяют в терапевтической практике метод аутотрансфузии УФ-облученной крови при патологических состоя-

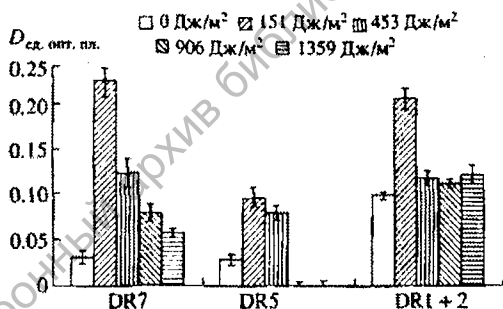


Рисунок 4 – Влияние УФ-излучения на экспрессию некоторых антигенов HLA-DR [3]

ниях);

- о проблеме, связанной с влиянием на здоровье человека избыточного ультрафиолетового излучения. Так, усредненная годовая доза биологических эффектов эритемы, рака кожи и катаракты (по Минской области) составляет

примерно 400 кДж/м², 800 кДж/м² и 1500 кДж/м² соответственно [4]. УФ-излучение с учетом биовоздействия делят на три спектральных диапазона: УФ-С (с длиной волны излучения 100-280 нм); УФ-В (280-315 нм) и УФ-А (315-400 нм). Вспомните, в каком диапазоне УФ-И мы загораем на открытом солнечном пространстве и в солярии. Сделайте

вывод о целесообразности посещения солярия без медицинского назначения и о мерах защиты людей, находящихся на открытом воздухе.

Выберите правильный ответ

1. Фосфолипиды повреждаются при действии ионизирующего излучения, т.к.: а) содержат остатки многоатомных спиртов; б) входят в состав биомембран; в) содержат насыщенные жирные кислоты.
2. Радиоллиз фосфолипидов характеризуется: а) отщеплением молекул воды; б) отщеплением неорганического фосфата; в) отщеплением молекулы водорода.
3. В процессе действия радиации на фосфолипиды образуются: а) перекиси; б) гидроперекиси; в) оксиды.
4. На первом этапе радиоллиза углеводов происходит: а) отщепление молекулы воды; б) отщепление гидроксильной группы; в) отщепление водорода.
5. В процессе радиоллиза углеводов отщепляется молекула воды, которая затем: а) распадается на свободные радикалы водорода и гидроксила; б) присоединяется к радикалу водорода или гидроксила; в) взаимодействует с положительной молекулой воды.
6. Продуктами радиационного повреждения углеводов являются: а) гидроперекиси; б) карбонильные соединения; в) альдегидные соединения.
7. К наиболее радиочувствительным аминокислотам относятся: а) циклические; б) азотсодержащие; в) серосодержащие.
8. Степень повреждения белка при действии ионизирующего излучения зависит от: а) размера белковой молекулы; б) структуры белковой молекулы; в) расположения остатков аминокислот.
9. При радиационном повреждении белка, нарушаются связи между: а) $\text{H} - \text{H}$; б) $\text{H} - \text{Cl}$; в) $\text{H} - \text{N}$.
10. Образующиеся в результате действия ионизирующего излучения на белки свободные радикалы могут: а) инициировать процессы гибели клетки; б) инициировать процессы полимеризации в разных участках белковой молекулы; в) образовывать амиды; г) образовывать карбонильные соединения.
11. Нарушение водородных связей белка, при воздействии радиации, может привести к: а) полимеризации; б) денатурации; в) изомеризации.
12. Наиболее вероятной мишенью в клетке при действии ионизирующего излучения является: а) РНК; б) ДНК; в) углеводы и белки.

13. Радиационные повреждения РНК не являются ответственными за лучевое повреждение клетки, т.к.: а) РНК не обладает такой ценностью как ДНК; б) РНК содержится в больших количествах; в) РНК менее чувствительна к радиации.

14. ДНК относится к главным мишеням клетки, т.к. она: а) самая большая и незначимая; б) самая большая и наиболее значимая; в) самая маленькая и незначимая.

15. К радиационным повреждениям нуклеиновых кислот относятся: а) разрыв фосфоэфирных связей; б) распад азотистых оснований с образованием новых соединений; в) изменения в азотистых основаниях.

16. При воздействии ионизирующего излучения на молекулу РНК происходят: а) разрывы водородных связей между комплиментарными основаниями; б) изменения в азотистых основаниях; в) образование дочерней молекулы РНК.

17. В процессе прямой ионизации молекулы ДНК происходит: а) разрыв только водородных связей; б) разрыв гликозидных связей; в) разрыв химических связей между атомами.

18. В результате атаки ДНК радикалом $\text{OH}\cdot$ происходит: а) денатурация ДНК; б) разрыв химических связей между атомами; в) мутация и гибель клетки; г) все вышеперечисленное.

19. В результате действия ИИ на ДНК образуются: а) только одностранные разрывы; б) комплексные разрывы; в) одиночные и двойные разрывы.

20. Одиночные разрывы ДНК возникают: а) при действии высоких температур; б) при действии только радиации; в) в результате некоторых окислительных процессов.

21. Двойные разрывы ДНК репарируются: а) лучше одиночных разрывов; б) хуже одиночных разрывов; в) так же, как и одиночные.

22. При действии редкоионизирующих излучений энергия: а) выделяется по объему клетки равномерно; б) поглощается клеткой; в) выделяется по объему клетки порциями.

23. При действии плотной ионизирующей радиации общее число разорванных межатомных связей: а) увеличивается; б) уменьшается; в) не изменяется.

24. Тяжесть поражения клетки с увеличением доли двойных разрывов в молекуле ДНК: а) уменьшается; б) возрастает; в) не изменяется.

25. Разрыв межатомных связей в сахарофосфатном скелете ведет к: а) формированию фрагментов ДНК; б) формированию дочерних молекул ДНК; в) полимеризации ДНК.

26. Некомплементарные основания в молекуле ДНК образуются: а) только в результате облучения; б) только спонтанно; в) как спонтанно, так и в результате облучения.
27. При эксцизионной репарации поврежденных или измененных оснований первым шагом является их удаление: а) ДНК-лигазами; б) ДНК-гликозилазами; в) ДНК-полимеразами.
28. Центрифугирование в нейтральной сахарозе выявляет: а) только одиночные разрывы ДНК; б) только двойные разрывы ДНК; в) одиночные и двойные разрывы ДНК.
29. Простые одиночные разрывы ДНК элиминируются: а) нуклеазами; б) рестриктазами; в) лигазами.
30. Репарация одиночных разрывов ДНК является: а) более сложной для клетки, чем двойных разрывов; б) эффективным и быстро протекающим признаком; в) неэффективным и медленно протекающим признаком.
31. Неверная репарация оснований приводит к: а) появлению нового белка; б) появлению неспаренных оснований; в) к изменению генетического кода; г) все вышеуказанное.
32. Репарация не всегда заканчивается восстановлением исходной молекулы, т.к.: а) могут возникнуть связи между свободными концами двух противоположных нитей молекулы ДНК; б) может возникнуть связь между свободными концами двух различных молекул ДНК; в) может возникнуть связь между свободными концами в местах разных разрывов одной и той же нити ДНК; г) все вышеперечисленное.
33. Репарация осуществляется: а) за счет гомологичного воссоединения концов; б) за счет негомологичного воссоединения концов; в) за счет гомологичной рекомбинации.
34. Репарация путем гомологичной рекомбинации при облучении клетки происходит: а) в начале S-периода; б) в конце S-периода; в) в G2-периоде.

Практическая работа № 4

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИИ НА КЛЕТОЧНОМ УРОВНЕ

Контрольные вопросы:

1. Радиационная задержка клеточного деления. Возникновение хроматидных и хромосомных aberrаций и микроядер.
2. Клоногенный потенциал клетки и кривые выживаемости. Построение кривых доза-эффект по экспериментальным точкам с использованием моделей лучевого поражения. Особенности кри-

- вых доза-эффект для некоторых радиорезистентных клеток в области малых доз излучения. Динамика клеточной гибели.
3. Апоптоз и некроз. «Коммунальный» эффект. Повышенная гибель потомков облученной клетки и генетическая нестабильность.
 4. Вариабельность радиочувствительности по фазам клеточного цикла.
 5. Восстановление клеток, выявляемое изменением условий постлучевого культивирования. Восстановление клеток при переходе от однократного к фракционированному облучению.
 6. Реакции компонентов клетки на облучение.

Практикум

Задание 1. Задержка клеточного деления

Факторы, влияющие на задержку клеточного деления	Возможные причины задержки деления клеток	Примеры

Задание 2. Апоптоз

Стадии апоптоза	1. 2. 3.
Иницирующие факторы	

Задание 3. Повреждения хромосомного и хроматидного аппарата

	Виды	Причины возникновения	Примеры
хромосомные aberrации			
хроматидные aberrации			

Задание 4. Реакции компонентов клетки на облучение

Компоненты клеток	Реакции на облучение
цитоплазма	
митохондрии	
лизосомы	
комплекс Гольджи	
ЭПС	
ядро	
ядерная мембрана	
ядрышко	
рибосомы	

Задание 5. Радиочувствительность клеток. Составьте схему.

Задание 6. Гибель клеток как следствие облучения

	Клеточная гибель	Апоптоз	Некроз
типы			
причины			
признаки			

Задание 7. Восстановление клеток после облучения

Факторы, влияющие на восстановление	Репарация	
	потенциально летальных поражений	сублетальных поражений

Решите ситуационные задачи

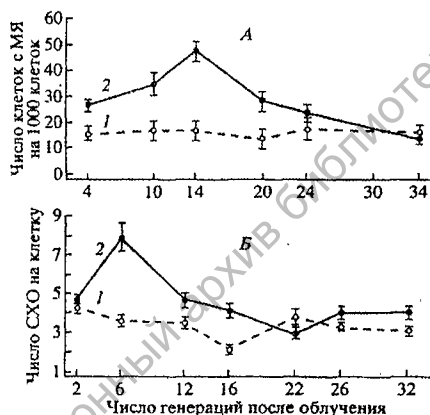


Рисунок 5 – Частота клеток (А) с микроядрами (МЯ) и с сестринскими (Б) хроматидными обменами (СХО), у потомков клеток китайского хомячка, облученного в дозе 0,5 Гр (1 – контроль, 2 – потомки облученных клеток) [5]

1. По данным Генеральной Ассамблеи ООН, малыми дозами можно считать дозы до 20 сГр (200 мЗв), хотя в принципе при дозе 0,1 сГр можно ожидать прохождения одного трека через ядро диаметром 8 мкм, возникновения повреждения и соответствующих клеточных эффектов. При облучении клеток китайского хомячка в дозе 0,5 Гр в течение приблизительно 20 поколений отмечается повышенная частота клеток с МЯ, причем пик их появления, т.е. возникновение повреждений de novo, отмечается к 14-й генерации после воздействия (рис. 5 А). В потомках облученных клеток той же линии наблюдается возрастание частоты сестринских хроматидных обменов (СХО), предшествующее по вре-

мени увеличению числа клеток с МЯ (рис. 5 Б), что может свидетельствовать об интенсификации обменных процессов после облучения в достаточно малых дозах, приводящих к летальным событиям – появлению МЯ. Нестабильность генома – это изменения у выживших потомков облученных клеток, которые могут проявляться как отсроченная гибель клеток, дестабилизация хромосом, соматические мутации, амплификация генов, изменение радиочувствительности и др. У потомков облученных клеток обнаружена нестабильность генома, проявления которой регистрируются в виде отдаленной гибели клеток, увеличения частоты клеток с микроядрами (МЯ), снижения пролиферативной активности, потери способности к адаптивному ответу (АО), повышения чувствительности к дополнительному облучению, повышения частоты сестринских хроматидных

обменов. Обнаружено, что во всех изученных популяциях встречаются индивидуумы, у которых АО не регистрируется, и индивидуумы с повышенной радиочувствительностью после адаптирующего облучения (0,05 Гр).

На основании приведенных данных и данных литературы обсудите возможные механизмы реализации эффектов ионизирующей радиации в малых дозах. Сделайте заключение последствий облучения в малых дозах: может ли образоваться популяция с новыми свойствами; эффекты и механизмы их реализации могут ли отличаться от таковых при облучении в высоких дозах.

2. Рассмотрите схему (рис. 6) участия тканевых антигенов (АГ), противотканевых антител (АТ) и комплемента в патогенезе первичной реакции организма на острое облучение. Результатом воздействия ИИ среди других повреждений кроветворной ткани может быть интерфазная гибель лимфоидной клетки в результате апоптоза или

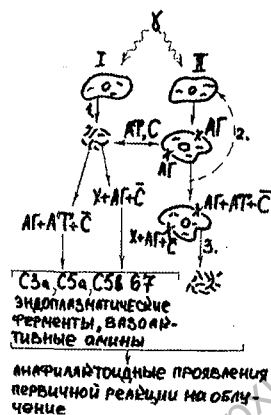


Рисунок 6 – Участие тканевых (АГ), противотканевых (АТ), комплемента (С) и факторов альтернативного пути активации комплемента (X) в патогенезе первичной реакции на облучение и пострадиационной гибели клеток: I – прямое действие ИИ; II – усиление интерфазной гибели с участием иммунных механизмов (1. Пострадиационный аутолиз клетки. 2. Внутриклеточные репарационные процессы. 3. Аутоиммунный лизис клетки) [6]

некроза (рис. 6 I), когда происходит выброс в кровоток продуктов распада, связывание их противотканевыми АТ, активация комплексом ауто-АГ-аутоАТ комплемента (С) с образованием компонентов системы комплемента (С3а, С5а), обладающих анафилатоксическими свойствами. Наводнение организма продуктами тканевой деструкции и тканевых АГ снижает содержание циркулирующих противотканевых АТ в связи с образованием комплексов АГ-АТ, которые фиксируют на себе комплемент, уровень последнего через 1,5–2 ч после воздействия ИИ на организм снижается и коррелирует с дозой.

Второй механизм участия комплемента в гибели клетки реализуется путем фиксации его на клеточной мембране (рис. 6 II), поврежденной ИИ и фиксировавшей на себе противотканевое АТ. Активация системы комплемента на клеточной оболочке приводит к лизису клетки и выбросу в кровоток вазоактивных аминов и продуктов тканевой деструкции.

Таким образом, в механизме формирования периферического компонента первичной реакции пусковая роль принадлежит тканевым АГ, которые вместе с присоединившимися к ним антителами активируют комплемент и обуславливают сосудистые и диспептические реакции на облучение.

Какие методы профилактики и лечения первичной реакции организма на облучение можно предложить, исходя из предположения участия иммунных механизмов в реакции? То есть необходимо связать тканевые АГ противотканевыми АТ и тем самым ослабить токсичность и иммуногенность первых, ослабив их патогенетическое значение в развитии последующего лучевого поражения. Предложите варианты искусственного повышения уровня противотканевых АТ с целью увеличения растворимости и снижения токсичности иммунного комплекса аутоАГ-аутоАТ.

Выберите правильный ответ

1. Какие клетки являются более чувствительными к излучению:
а) лейкоциты; б) эритроциты; в) лимфоциты.
2. Радиорезистентность клеток сначала возрастает, а потом снижается в:
а) G1-периоде; б) S-периоде; в) G2-периоде.
3. Аберрации изучают в клетках, находящихся на стадии:
а) профазы; б) метафазы; в) телофазы.
4. Итогом образования хромосомных аберраций являются:
а) дицентрики; б) ацентрические фрагменты; в) кольцевые хромосомы.

5. Гибель клеток практически всегда происходит в: а) интерфазе; б) метафазе; в) анафазе.
6. Хромосомные aberrации возникают в клетке: а) перед репликацией ДНК; б) в момент репликации ДНК; в) после завершения репликации ДНК.
7. Воспалительным процессом сопровождается: а) некроз; б) апоптоз; в) радиоллиз.
8. Радиочувствительной мишенью клетки является: а) ядрышко; б) нуклеоплазма; в) хроматин.
9. Аберрации, возникающие в клетке, делят на: а) хромосомные и центромерные; б) хромосомные и хроматидные; в) хроматидные и центромерные.
10. Программируемая клеточная смерть – это: а) некроз; б) пикноз; в) апоптоз.
11. Повреждение лизосом клетки ИИ приводит к: а) изменению вязкости содержимого органеллы; б) снижению четкости контуров; в) точечным разрывам мембраны и гибели клетки.
12. Апоптоз включает в себя: а) 2 стадии; б) 3 стадии; в) 4 стадии.
13. Быстро возникающие и исчезающие выпячивания на клеточной мембране при апоптозе – это: а) бляхи; б) калсомеры; в) каспазы.
14. Общая длительность цикла культивируемых опухолевых клеток человека составляет: а) 48 ч; б) 24 ч; в) 12 ч.
15. Длительность задержки клеточного деления зависит от: а) стадии жизненного цикла, в котором произошло облучение; б) типа тканей и клеток; в) а + б.
16. Хроматидные aberrации возникают, когда облучение происходит: а) в синтетическом периоде; б) в постсинтетическом периоде; в) после завершения репликации.
17. Утрата клеткой способности к пролиферации называется: а) клеточная гибель; б) клеточная задержка; в) нет верного ответа.
18. На какой стадии апоптоза в работу запускаются каспазы: а) «исполнение приговора»; б) «принятие решений»; в) выявление нарушений.
19. В результате какого процесса мембраны образуют бляхи: а) деления; б) апоптоз; в) некроз.
20. Как называются точки в клеточном цикле, при прохождении которых ферментные системы проверяют ДНК на повреждение: а) сварочные; б) проверочные; в) сверочные.

21. Радиочувствительной мишенью клетки является: а) цитоплазма; б) ядрышко; в) хроматин.
22. Воспалительным процессом сопровождается: а) радиоллиз; б) апоптоз; в) некроз.
23. Какой Е-активатор принимает участие в продвижении клетки по клеточному циклу: а) циклинзависимая киназа; б) циклинзависимая липаза; в) циклинзависимая фосфодиэстераза.
24. «Коммунальный» эффект – это: а) эффект поражения клетки, на которую было наименьшее воздействие радиации; б) эффект поражения клетки, находящейся в центре зоны поражения; в) эффект поражения клетки, находящейся вне зоны воздействия радиации, но контактирующей с пораженными клетками.
25. Сигналом к апоптозу служит: а) повреждение ДНК; б) разрушение мембраны клетки; в) вакуолизация цитоплазмы.
26. Восстановление клетки после облучения наиболее вероятно, если: а) в клетке реплицируется ДНК; б) клетка находится вне цикла; в) в клетке достаточное количество питательных веществ.
27. Митотический цикл у грызунов составляет: а) 24 ч; б) 10 – 15 ч; в) 7–12 ч.
28. При апоптозе ДНК распадается на: а) два фрагмента; б) строго определенные фрагменты; в) участки различной длины.
29. К факторам, от которых зависит восстановление клетки после облучения, относится: а) температура; б) тип питательной среды; в) влажность.
30. Основным количественным критерием лучевого поражения клетки является утрата: а) колоногенной активности; б) восстановительной активности; в) радиочувствительной активности.

Практическая работа № 5

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИИ НА ОРГАНИЗМЕННОМ УРОВНЕ

Контрольные вопросы:

1. Воздействие ИИ на нервную систему и органы чувств.
2. Воздействие ИИ на кожу, соединительную ткань.
3. Воздействие ИИ на кости, хрящи, мышцы.
4. Воздействие ИИ на кровь и кроветворные органы.
5. Воздействие ИИ на сердечно-сосудистую систему.
6. Воздействие ИИ на органы дыхания, пищеварения, выделения.
7. Воздействие ИИ на эндокринную, иммунную системы.

Практикум

Задание 1. Воздействие ионизирующего излучения на организменном уровне

Органы, системы органов	Воздействие ИИ
Нервная система	
Органы чувств	
Кожа и соединительная ткань	
Иммунная система	
Кости, хрящи, мышцы	
Эндокринные железы	
Кровь и кроветворные органы	
Органы пищеварения	
Сердечно-сосудистая система	
Органы дыхания	
Органы выделения	

Решите ситуационные задачи

1. В населенном пункте Х (НПХ) отмечены высокие коэффициенты накопления в почве и растениях по изотопам плутония, по ^{241}Am – по накоплению в навозе, дождевых червях на сырой и сухой вес по сравнению с зонами отчуждения. На рис. 7 приведен анализ данных заболеваемости (впервые выявленных) жителей НПХ за период 1998–2006 гг. в зависимости от сформированной патологии за два временных периода 1998–2001 и 2002–2006 гг. (последний совпадает с периодом полураспада плутония и появлением радионуклидов ^{241}Am).

Биологическое действие ингаляции ТУЭ чернобыльского происхождения будет проявляться в повышении вероятности стохастических эффектов. Проанализируйте ситуацию и сделайте вывод о последствиях аварии на ЧАЭС для настоящих и будущих поколений Беларуси на многие тысячелетия, определив радиационный фон юго-восточной части республики и повышенные дозовые нагрузки на население из-за выброса ТУЭ. Если конечным звеном миграции ^{241}Am по пищевой цепи является человек, то что необходимо делать с целью дальнейшего выживания человечества?

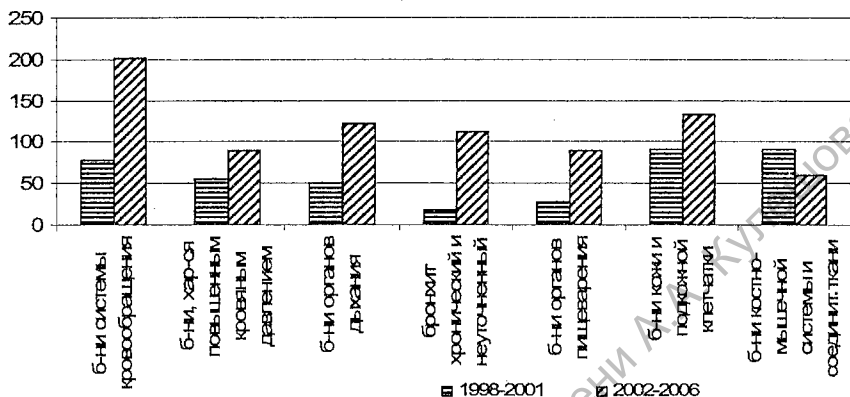


Рисунок 7 – Системные болезни населения НПК за период 1998–2006 гг. (на 10 тыс. населения) [7]

2. К настоящему времени накоплен большой объем информации о реакции различных видов лабораторных животных на лучевые воздействия в широком диапазоне доз. Выполнен ряд обобщений по зависимостям доза-эффект для разных видов животных. В качестве исходной модели пострadiационных изменений крови у собак взята аналогичная модель пострadiационных изменений концентрации нейтрофилов в крови человека, форма которой известна (рис. 8 Б).

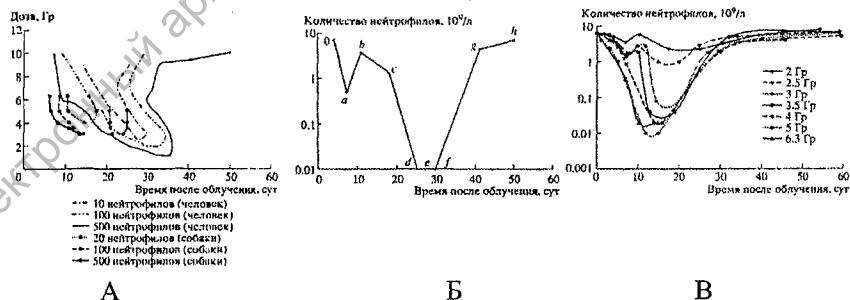


Рисунок 8 – Реакция кроветворной системы человека и собак на острое радиационное воздействие [8]

А – дозово-временные характеристики нейтропении при остром тотальном облучении человека и собак (отмечены границы 10, 20, 100 и 500 нейтрофилов в 1 мкл периферической крови); Б – схематическое представление пострадикационной динамики содержания нейтрофилов в периферической крови человека по методу А.Е. Баранова: 0 – начало фазы первого опустошения; *a* – минимум фазы первого опустошения; *b* – максимум фазы abortивного подъема; *c* – начало фазы второго опустошения; *d* – начало минимума второго опустошения; *e* – середина минимума второго опустошения (между фазами второго опустошения и восстановления); *f* – начало фазы восстановления (в случаях «полного» опустошения – последний день менее 10 нейтрофилов в 1 мкл крови); *g* – окончание «быстрой» фазы восстановления; *h* – окончание фазы восстановления; В – пострадикационная динамика содержания нейтрофилов в периферической крови собак.

Принимая профили реакции кроветворной системы у собак и человека подобными, можно ли констатировать, что максимальное опустошение нейтрофилов в периферической крови у собак (рис. 8 В) при одних и тех же уровнях радиационного воздействия наступает по времени так же, как у человека.

Если восстановление кроветворения у собак наступает по времени гораздо раньше, то и нейтропения сохраняется в течение меньшего количества дней и, соответственно, будет более раннее восстановление. Подтвердите или опровергните дозово-временные характеристики нейтропении, представленные на рис. 8 А. Дальнейший анализ собранных сведений о реакции собак на лучевое воздействие позволит выявить особенности лучевого поражения, связанные с неравномерностью распределения доз излучения в пространстве и времени при использовании разных видов излучения, для разработки на этой основе моделей и методов для надежной экстраполяции экспериментальных данных на человека. Последнее особенно важно для тех направлений радиобиологии человека, в которых получение подобной информации невозможно или крайне затруднено.

Выберите правильный ответ

1. Радиочувствительность организма зависит от: а) температуры окружающей среды; б) особенностей самого организма и дозы облучения; в) состояния иммунной системы.

2. Наиболее радиочувствительной системой организма является:
а) эндокринная; б) пищеварительная; в) нервная.
3. К наиболее радиочувствительным органам относятся: а) селезенка, сердце, кожа; б) лимфоузлы, половые железы, селезенка; в) печень, глаза, красный костный мозг.
4. Центральный нервно-системный синдром развивается при облучении: а) всего организма и области головы; б) всего организма и конечностей тела; в) всего организма и грудной клетки.
5. Впервые фазы парабриоза проследил: а) Соколовский; б) Макаров; в) Бергонье.
6. Усиление секреции надпочечниковых желез наблюдается при дозах: а) от 1 до 10 Гр; б) от 0,25 до 50 Гр; в) от 2 до 5 Гр.
7. Атрофия слюнных желез, гиперкератоз, лучевой фиброз развиваются при облучении: а) органов чувств; б) кожи; в) дыхательной системы.
8. Типичный кроветворный синдром характеризуется: а) панцитопенией; б) уменьшением количества тромбоцитов; в) увеличением количества тромбоцитов.
9. К наиболее радиочувствительным элементам крови относятся: а) нейтрофилы; б) тромбоциты; в) лимфоциты.
10. К наименее радиочувствительным элементам крови относятся: а) эритроциты; б) лейкоциты; в) тромбоциты.
11. Восстановление числа тромбоцитов наблюдается на: а) 20 – 30-й день; б) 10 – 15-й день; в) 35 – 45-й день.
12. При действии ИИ на сердечно-сосудистую систему наблюдается: а) геморрагии; б) некроз с выраженной воспалительной реакцией; в) понижение проницаемости сосудов.
13. Наиболее радиорезистентной тканью является: а) хрящевая ткань; б) костная ткань; в) мышечная ткань.
14. К ранним лучевым повреждениям кожи относится: а) лучевой фиброз; б) хронический дерматит; в) лучевые ожоги.
15. При воздействии радиации на соединительную ткань наблюдается: а) изменение клеточного состава; б) развитие опухолей; в) повышение количества коллагена.
16. По уменьшению радиочувствительности органы пищеварения распределяются следующим образом: а) тонкий кишечник – слюнные железы – печень; б) слюнные железы – печень – тонкий кишечник; в) печень – слюнные железы – тонкий кишечник.
17. К видам поражения стенок желудочно-кишечного тракта НЕ относятся: а) катаральные; б) свищи; в) апоптические.

18. Какие клетки зубной железы более радиочувствительны: а) макрофаги; б) тимоциты; в) эпителиальные.
19. Сколько фаз выявлено в функционировании гастринпродуцирующих клеток при лучевой болезни: а) 3; б) 4; в) 5.
20. Средние сроки наступления смерти при желудочно-кишечном синдроме: а) 7 – 10 дней; б) 3 – 5 дней; в) 15 – 20 дней.
21. Что наблюдается у плотоядных и всеядных животных через несколько часов после воздействия на организм ИИ: а) подташнивание, рвота; б) понос; в) головокружение.
22. Последствием лучевого поражения почек могут быть: а) морфологические нарушения мочевого пузыря; б) нефросклероз; в) функциональные нарушения мочевого пузыря.
23. Пороговая экспозиционная доза, при ионизирующем воздействии на почки: а) 20 – 25 Гр; б) 3 – 10 Гр; в) 30 – 50 Гр.
24. Одним из наиболее тяжелых поражений ИИ глаз является поражение: а) роговицы; б) хрусталика; в) сетчатки.
25. При облучении глаз в сетчатке происходит гибель: а) пигмента; б) колбочек; в) палочек.
26. Какая ткань стенки сердца наиболее радиочувствительна: а) перикард; б) миокард; в) эндокард.
27. Губительной дозой для человека является: а) 3 – 5 Гр; б) 7 Гр; в) более 10 Гр.
28. Укажите умеренно чувствительные органы к воздействию облучения: а) кожа, глаза; б) печень, легкие; в) почки.
29. Какая фаза свертывания крови мало изменяется при ОЛБ: а) I; б) II; в) III.
30. В легких наблюдаются патологические изменения: а) даже при малой дозе облучения; б) при воздействии высоких доз; в) при воздействии сублетальной дозы.

Практическая работа № 6
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ (ОБЭ). БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ
ИНКОРПОРИРОВАННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

Контрольные вопросы:

1. ОБЭ, характеристика, особенности.
2. Поступление радионуклидов в организм, перераспределение, выведение из организма.

3. Радиационная гигиена. Профилактика и лечение последствий радиационных поражений.

Практикум

Задание 1. Характеристика ОБЭ, особенности

Задание 2. Пути поступления радионуклидов в организм

Задание 3. Накопление и перераспределение радионуклидов в организме

Задание 4. Выведение радионуклидов из организма

Задание 5. Профилактика и лечение поражений радионуклидами

Решите ситуационные задачи

1. Поступившие в организм радиоактивные изотопы йода активно включаются в метаболизм тиреоидных гормонов и длительное время воздействуют на окружающую ткань, прежде всего на ткань ЩЖ, вызывая ее повреждение с последующим изменением функции [9]. При использовании высоких активностей изотопа йода-131 (4 мкКи/г) происходит распад ткани ЩЖ с заменой тироцитов соединительно-тканевыми элементами. При этом повреждаются и паращитовидные железы, получающие около 50% поглещенной дозы ЩЖ. К чему приводит сопровождающийся распад ткани?

Комбинированное действие изотопов йода и внешнего облучения приводит к увеличению частоты развития опухолей и продолжительности жизни млекопитающих. Рассмотрите диаграмму и прокомментируйте сложившуюся ситуацию.

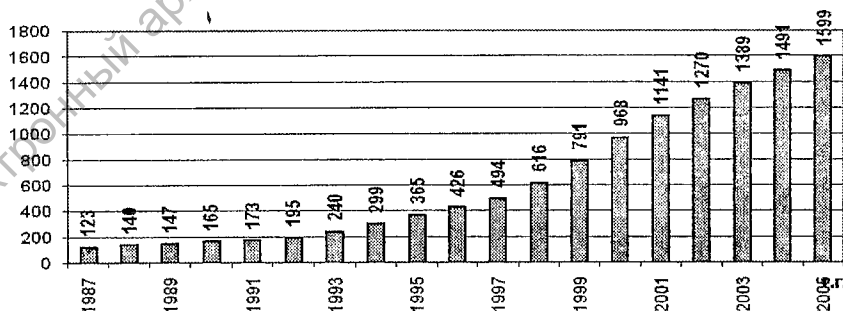


Рисунок 9 – Количество больных раком щитовидной железы, состоящих на учете в онкологическом диспансере

2. У разных линий крыс и разной гистологической структуре опухолей молочной железы (ОМЖ) значительно отличаются кривые зависимости доза-эффект [10, с.292–293]. Так, для индукции карцином МЖ у крыс Wag/Rij при рентгеновском и нейтронном облучении (0,5 МэВ) линейная зависимость доза-эффект характерна при ОБЭ = 10. При облучении крыс Спрейг-Дулли рентгеновским излучением (0,28; 0,56; 0,85 Гр; энергия 250 кВ) и нейтронами (0,001; 0,004; 0,016; 0,064 Гр; энергия 4,3 кэВ) обнаружено более раннее возникновение ОМЖ. Зависимость доза-эффект характеризуется линейной кривой. ОБЭ изменялась согласно квадратному корню из дозы нейтронов и при максимальных излученных дозах превышала величину 10, а при более низких дозах ОБЭ приближалась к 100. У самок крыс АСИ с низкой спонтанной частотой возникновения ОМЖ частоту спонтанных и индуцированных облучением аденокарцином увеличивает диэтилстильбэстрол (ДЭС). Даже при минимальной дозе облучения нейтронами (0,01 Гр) у крыс, получавших ДЭС, обнаружено значительное избыточное превышение кумулятивной частоты опухолей. При облучении рентгеновским излучением достоверное увеличение частоты опухолей – только при дозе 0,17 Гр. После нейтронного облучения (0,01 – 0,36 Гр) для аденокарцином зависимость доза-эффект была близка к линейной (что это значит?), а для фиброаденом имела направленную книзу вогнутость. ОБЭ нейтронов для суммы опухолей в данном диапазоне доз снижалась с дозой, но мало отличалась от средней величины, равной 10. У крыс, подвергшихся действию ДЭС, ОБЭ изменялась в обратной зависимости от квадратного корня из дозы и приближалась к величине 100 в районе минимальных доз. В описанном случае синергизма распределите функции инициатора и промотора между нейтронным облучением и ДЭС.

3. Рассмотрите рис. 10, на котором представлена модель химического поведения Рн в пищевых цепях.

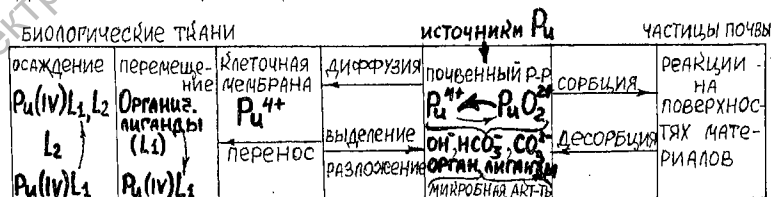


Рисунок 10 – Модель химического поведения Рн в пищевых цепочках [11, с. 94]

Независимо от своей первоначальной формы при попадании в почву, донные отложения и воду плутоний превращается преимущественно в Pu (IV), который практически нерастворим и связан с твердой фазой почвы и донных отложений. Pu (IV) также может существовать в виде растворимых форм за счет комплексообразования с неорганическими и органическими лигандами. Комплексы Pu (IV) на поверхности клеток сильно диссоциируют, обуславливая ионный перенос Pu через клеточные мембраны. Подвижность Pu в биологических тканях возрастает. Наличие в чернобыльском выбросе значительного количества Pu-241 приводит к образованию в настоящее время альфа-излучающего Am-241, который вследствие своей более высокой подвижности представляет еще большую радиологическую опасность, чем Pu. Из-за постоянного образования Am-241 ареал загрязнения поверхностного слоя почвы альфа-излучающими ТУЭ будет постоянно расширяться причем техногенно измененный радиоактивный фон территории будет сохраняться в течение миллионов лет, т.к. при альфа-распаде Am-241 образуется Np-237 с периодом полураспада $2,1 \times 10^6$ лет.

Охарактеризуйте причины и пути поступления, накопления и перераспределения ТУЭ в биосфере и в организме человека.

Расчетные уровни доз внутреннего облучения организма от поступления ТУЭ меньше тех уровней, которые могут вызвать острые нестохастические изменения в организме, поэтому биологическое действие ингалированных ТУЭ чернобыльского происхождения будет проявляться в повышении вероятности стохастических эффектов. Вредному фактору будут подвергаться люди, которые не обладают возможностью контролировать такое облучение. В связи с этим обсудите, следует ли придавать большее значение вреду, наносимому ТУЭ здоровью людей, и предложите тактику поведения как на личном, так и социальном уровне.

Выберите правильный ответ

1. Наука, изучающая пути поступления радионуклидов в организм, распределение и включение в молекулярные структуры тканей, накопление и выведение из организма: а) радиоэкология; б) экология; в) токсикология.
2. Токсичность радионуклидов не зависит от: а) вида и энергии излучения; б) периода полураспада; в) температуры, влажности, давления.

3. Найдите неверное утверждение: а) ОБЭ зависит от ЛПЭ; б) с ростом ЛПЭ уменьшается поражаемость клеток; в) с ростом ЛПЭ увеличивается ОБЭ,
4. Какого пути распределения радионуклидов не существует: а) сердечного; б) скелетного; в) печеночного.
5. Радиоактивные вещества могут поступать в ЖКТ: а) с пищей; б) с водой; в) через легкие.
6. Какой путь не характерен для поступления радионуклидов в организм: а) через ЖКТ; б) через половую систему; в) через дыхательную систему.
7. Характер распределения радионуклидов в организме не зависит от: а) продолжительности облучения; б) клинических свойств элемента; в) формы вводимого соединения.
8. Орган, в котором происходит избирательная концентрация радионуклида, вследствие чего этот орган подвергается наибольшему облучению и повреждению, называется: а) критическим; б) максимальным; в) накопительным.
9. Поступление радионуклидов через кожу по-другому называется: а) ингаляционно; б) транскупанно; в) трансмиссивно.
10. Всасывание радионуклидов бывает: а) диффузное; б) активное; в) пассивное.
11. Наиболее важное место активного всасывания: а) ЖКТ; б) кожа; в) сердце.
12. Для оценки скорости накопления радионуклидов используют понятие: а) кратность накопления; б) ОБЭ; в) ЛПЭ.
13. Найдите неверное утверждение: а) чем больше масса животных, тем медленнее всасываются радионуклиды; б) чем больше радионуклидов поступает, тем меньшее их количество всасывается; в) наиболее интенсивное всасывание осуществляется в желудке.
14. Неравномерность распределения радионуклидов происходит: а) в органах воспаления; б) у беременных самок; в) а+б.
15. Кратность накопления радионуклидов определяется по формуле: а) $F = Cm / g$; б) $F = Cm \cdot g$; в) $F = Cg / m$.
16. По мере насыщения тканей радионуклидами их накопление: а) ускоряется; б) замедляется; в) останавливается.
17. Какой орган является критическим для йода: а) половая железа; б) щитовидная железа; в) печень.
18. Выделение радионуклидов не происходит через: а) ЖКТ; б) легкие и кожу; в) половую систему.

19. Время, в течение которого исходное количество радионуклида уменьшается вдвое, называется: а) эффективным периодом полураспада; б) эффективным периодом выведения; в) эффективным периодом высвобождения.
20. Скорость выведения радионуклидов из организма зависит от: а) вида организма; б) возраста организма; в) состояния организма.
21. Основной фактор, определяющий пути выведения радионуклидов из организма: а) физико-химические свойства радионуклида; б) скорость обмена веществ; в) тропность радионуклидов к тканям и органам.
22. К наиболее опасным радионуклидам с высокой кратностью накопления относятся: а) изотопы цезия; б) изотопы рубидия; в) изотопы йода.
23. С возрастом организма кратность накопления радионуклидов: а) увеличивается; б) уменьшается; в) не изменяется.
24. С ростом ЛПЭ ОБЭ: а) уменьшается; б) увеличивается; в) не изменяется.
25. К элементам тиреотропного типа распределения относятся: а) висмут, сурьма, уран, селен; б) кальций, стронций, барий, радий; в) йод, астат, бром.
26. Выберите один из типов, который не относится к типам распределения радионуклидов: а) скелетный; б) осмотический; в) диффузный.
27. К какому типу распределения радионуклидов относится распределение лития, натрия, калия: а) равномерному; б) скелетному; в) печеночно-му.
28. Из какого органа радионуклиды выводятся в первую очередь: а) из скелета; б) из щитовидной железы; в) из почек.
29. К какому типу распределения радионуклидов относится распределение кальция, бария, рубидия, фтора: а) скелетному; б) тиреотропному; в) почечному.
30. При длительном поступлении радионуклидов в организм скорость их накопления: а) не изменяется; б) сначала медленная, а затем увеличивается; в) сначала интенсивная, а затем замедляется.

Практическая работа № 7

ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ

Контрольные вопросы:

1. Лучевая болезнь. ОЛБ, ХЛБ. Клинические закономерности ЛБ.
2. Кроветворная форма ОЛБ.

3. Кишечная форма ОЛБ.
4. Кожная форма ОЛБ, другие формы.
5. Комбинированные и сочетанные радиационные поражения.
6. Процессы восстановления в облученном организме.

Практикум

Задание 1. ОЛБ

Графически отобразите реакцию организма в формировании типичной ОЛБ в зависимости от фаз. На оси абсцисс отложите фазы ОЛБ; на оси ординат – реакцию организма, приняв середину длины оси абсцисс за нормальное состояние организма. Под осью абсцисс дайте краткую характеристику фазам ОЛБ (I – фаза первичной общей реакции, II – видимого клинического благополучия, III – выраженных клинических явлений, IV – непосредственного восстановления).

Задание 2. Клинические признаки ОЛБ

Синдром	Развитие	Проявление
Желудочно-кишечный		
Церебральный		
Геморрагический		

Задание 3. Замещение изменений в организме (замещение костного мозга, периферической крови). Сделайте обобщенную схему.

Задание 4. ХЛБ

	Характеристика ХЛБ
Особенности	
Степени тяжести	
Отдаленные последствия	

Решите ситуационные задачи

1. Облучение 6 Гр, кроветворная форма ОЛБ, гибель через месяц после облучения. Объясните непосредственную причину гибели. Охарактеризуйте изменение картины крови. Какие клетки периферической крови играют наибольшее значение в изменении состава крови и обуславливают гибель организма?

2. На 5-е сутки после облучения появились признаки, подобные холере (вздутие кишечника, длительный понос, обезвоживание организма), задержка пищи в желудке. На 4-е сутки после появления признаков диареи наступила смерть. Что является непосредственной причиной гибели организма?

3. При кожной форме ОЛБ, как и при кишечной форме, утрата кожей барьерной функции является причиной гибели организма. При поражении кожи жидкая фракция кожи уходит, но не из организма. Какие нарушения являются причинами гибели организма?

4. Развитие инфекционного процесса является типичным клиническим проявлением постлучевого иммунодефицита. В условиях повреждения всех противомикробных защитных механизмов облученный организм становится совершенно беззащитным перед микробами, обитающими у него в кишечнике, на коже, в носоглотке и других местах. Нормальные представители этих областей тела — кишечные палочки, протей, стафилококки, стрептококки, энтерококки, сарцины, дрожжи, грибы — могут становиться возбудителями инфекционного процесса в облученном организме. Вопрос об источниках эндогенной инфекции разрешен при помощи идентификации микробов, выведенных из крови и органов облученного организма. Во всех случаях оказалось, что это нормальные обитатели кишечника, кожи, дыхательных путей. У больных, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, было отмечено снижение нормальных антител через 4 – 5 недель после облучения, пропорциональное тяжести лучевого заболевания (рис. 11).

Разгар острой лучевой болезни сопровождался второй волной циркуляции С-реактивного белка в крови, что свидетельствовало о выраженности тканевой деструкции в это время или о развитии инфекционного процесса. По сравнению с первой волной во время первичной реакции на облучение вторая волна более длительна во времени. Она продолжалась в течение 2 или 3 недель. Высокий уровень и длительность циркуляции С-реактивного белка в этот период оказались неблагоприятным прогностическим признаком. Охарактеризуйте возможность развития инфекционного процесса как проявление постлучевого иммунодефицита в зависимости от степени тяжести лучевой болезни и времени после облучения.

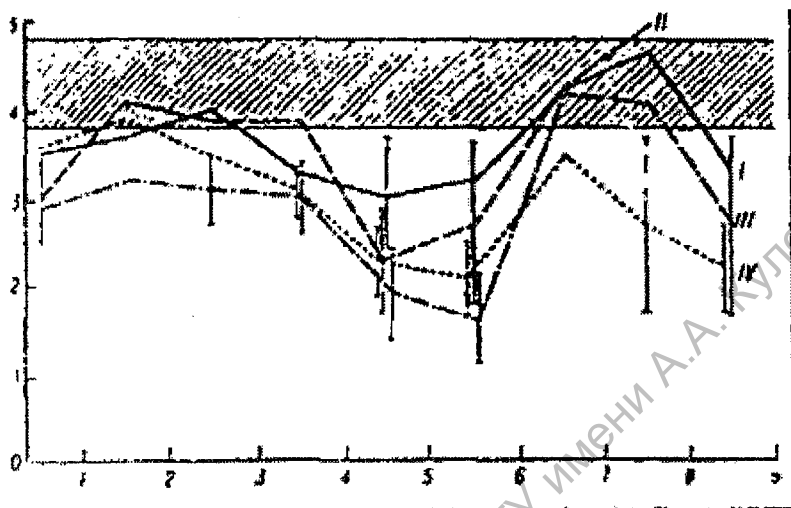


Рисунок 11 – Динамика уровня нормальных антител к эритроцитам барана у больных острой лучевой болезнью I–IV степени тяжести. По оси абсцисс – время после облучения, недели; по оси ординат – $\log$ титра антител. Параллельные двойные линии – доверительный интервал группы сравнения [6].

Выберите правильный ответ

1. Комплекс проявлений поражающего действия ионизирующих излучений на организм называется: а) хроническая лучевая болезнь (ХЛБ); б) лучевая болезнь (ЛБ); в) острая лучевая болезнь (ОЛБ).
2. По степени тяжести ОЛБ делят на: а) I и II степени; б) I, II, III степени; в) I, II, III степени и крайне тяжелая степень.
3. ОЛБ II (средней) степени развивается при воздействии ИИ в дозе: а) 2 – 4 Гр; б) 1 – 2 Гр; в) 2 – 3 Гр.
4. ОЛБ III (тяжелой) степени развивается при воздействии ИИ в дозе: а) 4 – 6 Гр; б) 2 – 4; в) 1 – 2.
5. Какая из фаз ОБЛ – первая: а) кажущегося благополучия; б) общей первичной реакции; в) раннего восстановления.
6. Какой фактор не влияет на многообразие проявления ЛБ: а) временной фактор; б) локализация облученного участка; в) пространственный фактор.

7. Продолжительность фазы первичной реакции: а) 1 – 3 недели; б) 1 – 3 месяца; в) 1 – 3 дня.
8. Фаза ОЛБ, в которой отсутствуют клинически видимые признаки болезни – а) фаза видимого клинического благополучия; б) фаза восстановления; в) фаза разгара болезни.
9. Типичная картина ОЛБ развивается при действии ионизирующего излучения в дозе: а) после 10 Гр; б) до 10 Гр; в) до 13 Гр.
10. Фаза, характеризующаяся нервно-гуморальными и диспептическими нарушениями, нарушениями в крови: а) фаза восстановления; б) фаза первичной общей реакции; в) фаза выраженных клинических признаков.
11. Если доза облучения основной массы тканей тела равна 5 – 6 Гр, то это приведет к : а) ослаблению организма; б) летальному исходу; в) поражению внутренних органов.
12. Развернутый симптомокомплекс ОЛБ человека возникает при облучении в дозах: а) меньше 1 Гр; б) 1 Гр; в) больше 1 Гр.
13. Лучевая болезнь бывает: а) острая, хроническая; б) быстропротекающая, хроническая; в) острая.
14. Какая степень тяжести возникает при облучении больше 6 Гр: а) тяжелая; б) крайне тяжелая; в) средняя.
15. В фазе кажущегося благополучия состояние больного: а) не изменяется; б) ухудшается; в) на время улучшается.
16. Какие признаки состояния больного характерны для фазы выраженных клинических проявлений: а) увеличение СОЭ; б) в крови преобладают лимфоциты; в) а + б.
17. Местные лучевые поражения вызываются действием: а) β -частиц; б) α -частиц; в) γ -частиц.
18. Выделяют два крайних случая неравномерного облучения: а) местное и общее; б) внешнее и внутреннее; в) а + б.
19. В какой дозе острое облучение приводит к костно-мозговому синдрому: а) до 10 Гр; б) свыше 10 Гр; в) свыше 50 Гр.
20. Неравномерность облучения определяется: а) дозой облучения; б) радиационной ситуацией; в) облучаемым объемом.
21. Хроническая лучевая болезнь – это: а) форма лучевого поражения, которая развивается в результате продолжительного облучения в дозах, превышающих ПДН; б) форма лучевого поражения, которая развивается в результате продолжительного облучения в дозах, не превышающих ПДН; в) форма лучевого поражения, которая развивается

в результате продолжительного облучения в течение некоторого времени в дозе 0,8 Гр.

22. Количество степеней тяжести ХЛБ: а) 2; б) 3; в) 4.

23. Срок развития и проявления ХЛБ составляет: а) от нескольких недель до нескольких месяцев; б) от нескольких месяцев до 1 – 3 лет; в) от нескольких дней до нескольких недель.

24. Лучевая форма поражения завершается смертью в первые часы при облучении в: а) 80 Гр; б) 100 Гр; в) 10 Гр.

25. В развитии геморрагического синдрома ведущая роль принадлежит: а) тромбоцитопении; б) лейкопении; в) эритропении.

26. Терапия ОЛБ: а) заместительная; б) функциональная; в) а + б.

27. К мероприятиям функциональной терапии ОЛБ относят: а) препараты ДНК; б) антибиотики; в) а + б.

Практическая работа № 8

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИИ НА ПОЛОВУЮ СИСТЕМУ И ЭМБРИОГЕНЕЗ. ОПОСРЕДОВАННЫЕ И ОТДАЛЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ ОБЛУЧЕНИЯ

Контрольные вопросы:

1. Воздействие ИИ на женскую и мужскую половые системы.
2. Воздействие ИИ на эмбрион, плод, новорожденного.
3. Опосредованные эффекты облучения кровеносной системы.
4. Опосредованные эффекты облучения иммунной системы.
5. Опосредованные эффекты облучения эндокринной системы.
6. Отдаленные соматические эффекты.
7. Отдаленные генетические эффекты.

Практикум

Задание 1. Воздействие ИИ на половую систему и эмбриогенез

Системы организма	Воздействие ИИ
Мужская половая система	
Женская половая система	
Эмбрион	
Плод	
Новорожденный	

Задание 2. Опосредованные эффекты облучения

Заполните таблицу

Системы организма	Воздействие ИИ
Кровеносная система	
Иммунная система	
Эндокринная система	
Обмен веществ	

Задание 3. Отдаленные последствия облучения: генетические, соматические. Составьте схему.

Решите ситуационные задачи

1. Снижение относительной массы семенников и придатков крыс, хронически облученных в период раннего онтогенеза, выявляется начиная с малых доз облучения (1 Гр) и приводит к выраженной атрофии исследуемых органов при дозах 2–6 Гр [12]. Характерно также длительное восстановление относительной массы органов после хронического лучевого воздействия, которое не завершается в течение 3 месяцев при дозе 4 Гр и выше. Изменение изучаемого показателя дополнительных органов репродуктивной системы крыс (семенные пузырьки, предстательная железа) по сравнению с семенниками при действии хронического облучения менее выражены. Свидетельствует ли это о большей устойчивости к действию радиации? Уменьшение выработки секрета отражается на массе органов, в первую очередь семенных пузырьков. Охарактеризуйте эффективность действия низкоинтенсивного длительного облучения в функционировании репродуктивной системы крыс-самцов.

2. Рассмотрите диаграмму рис. 12. Прокомментируйте содержание типов и субизотипов иммуноглобулинов в зависимости от количества перенесенных простуд в год. Как вы считаете, вирусное воспаление у ЧДБ детей характеризуется достаточным и эффективным синтезом антител для нейтрализации вирусов?

Как видно из рисунка, антитела, относящиеся к изотипам IgA и IgM, нарастают по мере увеличения эпизодов ОРВИ. Нам представляется, что причину этого следует искать в постоянной смене возбудителей ОРВИ. Это – антитела к прошлым вирусам и их антигенам, поэтому защитного характера они не имеют, но постоянная смена синтеза держит систему

иммунитета в состоянии перенапряжения. Возможно, именно на фоне сочетанного низкого уровня sIgA, повышенного, но неэффективного IgM и IgA формируются условия для гиперпродукции IgE.

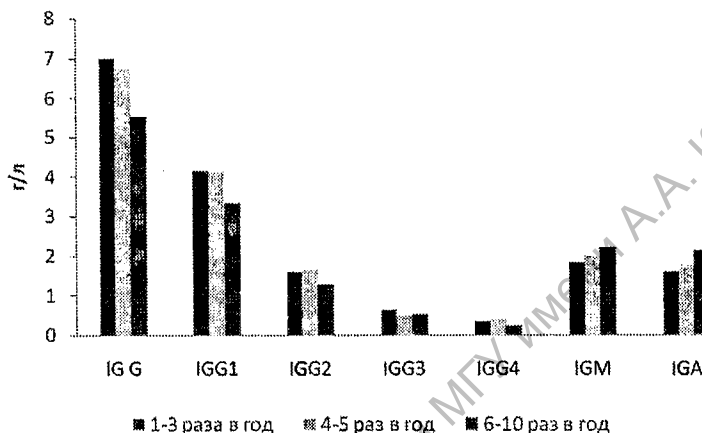


Рисунок 12 – Характеристика иммунопоказателей детей Климовичского района Могилевской области в зависимости от частоты ОРВИ [13]

3. Инфекционные осложнения у больных ОЛБ проявлялись ангинами, колитами, абсцессами, сепсисом. В качестве осложнения зафиксирован оро-фарингеальный синдром с присоединением герпетической инфекции. Количественные и качественные изменения микрофлоры тела, характерные для вторичного иммунодефицита, отмечали у всех больных, пострадавших в результате Чернобыльской аварии, но скорость нарастания микробной обсемененности, темп этого процесса и его длительность зависели от тяжести лучевой болезни. Резистентность формировалась не только к антибиотикам, применявшимся для лечения больных, например, к гентамицину, но и к другим антибиотическим препаратам. Рассмотрите рис. 13, отражающий распространение антибиотикоустойчивых штаммов микробов в условиях массивной антибиотикотерапии у всех больных, и отметьте степень выраженности процесса в зависимости от тяжести болезни.

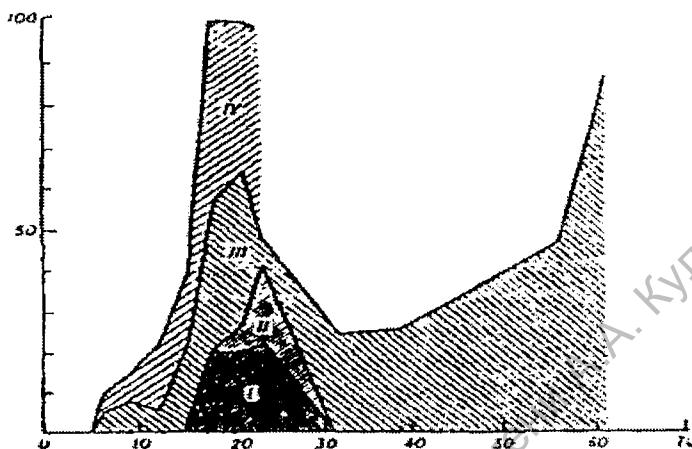


Рисунок 13 – Содержание гентамицинрезистентных форм микробов на коже больных острой лучевой болезнью I–IV степени тяжести. По оси абсцисс — время после облучения, сут; по оси ординат — доля гентамицинрезистентных форм микробов, % [6]

Выберите правильный ответ

1. При действии радиации на половые железы: а) больше страдает генеративная функция; б) больше страдает гормональная деятельность; в) подвержены воздействию одинаково.
2. При тяжелой форме ОЛБ в первую очередь поражаются: а) спермиогонии; б) сперматоциты I и II порядка; в) спермиды и зрелые спермии.
3. Степень послелучевых изменений в половых железах НЕ зависит от: а) дозы; б) характера облучения; в) от того, мужская или женская железа.
4. Наиболее радиочувствительными тканевыми элементами женских половых желез является: а) зрелые фолликулы; б) строма; в) желтое пятно.
5. Облучение малыми дозами III семенников приводит к: а) функциональным изменениям; б) структурным изменениям; в) не вызывает изменений.
6. При дозах 5 Гр и более размер семенников: а) увеличивается; б) уменьшается; в) не изменяется.
7. Гибель сперматогенного эпителия происходит при дозах: а) 3 Гр; б) 4 Гр; в) 5 Гр.
8. Наиболее радиочувствительны: а) ооциты I порядка; б) ооциты II порядка; в) зрелые яйцеклетки.

9. Наименее чувствительны: а) строма и покровы эпителия яичника; б) зрелые яйцеклетки; в) ооциты I порядка.
10. Начиная от зародыша и заканчивая половозрелым состоянием радиочувствительность организма и его органов: а) постепенно понижается; б) постепенно повышается; в) не изменяется.
11. У самок радиочувствительность повышается: а) в лактационный период; б) к старости; в) при беременности.
12. У выживших после облучения самок с течением времени наблюдается: а) улучшение гормональной функции; б) развитие опухолей яичников; в) разрастание соединительнотканых элементов.
13. Наиболее радиочувствительным периодом является период: а) от 8 до 15 недель после зачатия; б) от 6 до 10 недель после зачатия; в) от 8 до 25 недель после зачатия.
14. Гибель зародышей в первый период беременности может достигать: а) 50%; б) 80%; в) 30%.
15. У выживших эмбрионов после действия ИИ наблюдается: а) замедление роста; б) нарушение развития органов; в) увеличение материнской и детской плаценты.
16. Внутриутробное развитие животных включает в себя: а) 4 периода; б) 2 периода; в) 3 периода.
17. Одна из главных причин гибели плода и новорожденных после облучения: а) ослабление иммунитета; б) нарушение кроветворения; в) недоразвитие нервной системы.
18. На беременность и развитие зародыша влияют: а) изотопы радия; б) изотопы йода; в) изотопы стронция.
19. Пороки развития и уродства, возникающие вследствие облучения, объединяются термином: а) наследственный эффект; б) тератогенные эффекты; в) стохастический эффект.
20. По сравнению с зародышевым периодом в плодный период радиочувствительность: а) ниже; б) выше; в) одинаковая.
21. Следствия мутаций в единичных генах одной или двух аутосом или половых хромосом приводят к нарушениям, которые называют: а) генные; б) генетические; в) аутосомные.
22. Нарушения, которые проявляются в виде изменения числа хромосом и их структуры, называют: а) мультифакторные; б) хромосомные; в) хроматидные.
23. При хромосомных мутациях наблюдаются: а) изменения числа хромосом; б) изменения структуры хромосом; в) а + б.

24. К соматическим отдаленным последствиям облучения относят:
а) катаракты; б) злокачественные новообразования; в) увеличение продолжительности жизни.
25. К генетическим отдаленным последствиям облучения относят:
а) генные мутации; б) катаракты; в) хромосомные нарушения.
26. Понятие радиотоксины впервые предложил: а) Д. Браун; б) П. Горизонтов; в) Р. Моун.

Практическая работа № 9 РАДИОБИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Контрольные вопросы:

1. Лучевые реакции растений
2. Составляющие радиационного синдрома у растений
3. Пострадиационное восстановление растений

Практикум

Задание 1. Лучевые реакции растений

Уровень организации	Радиобиологический эффект
Молекулярный	
Клеточный	
Организменный	

Задание 2. Радиоустойчивость генеративных органов растений

	Факторы, определяющие радиоустойчивость	Радиобиологический эффект
Семена		
Пыльца растений		

Задание 3. Реакция на облучение групп организмов

	Преимущества как объекта исследований	Радиобиологический эффект
Водоросли		
Мохообразные		
Споровые (плауны, хвощи, папоротники)		
Голосеменные		
Вегетирующие цветковые растения		

Задание 4. Радиационный синдром растений

	Составляющие радиационного синдрома	Реакция на облучение	
		острое	хроническое
Корень			
Стебель			
Листья			
Почки			
Семена			

Задание 5. Пострадиационное восстановление растений

Уровень организации	Пострадиационное восстановление
Клеточный	
Тканевой	

Решите ситуационные задачи

1. В начале XX в. В.И. Вернадский провел серию исследований по изучению способности растений накапливать радиоактивные элементы. Им было доказано, что в растительных тканях содержание радионуклидов гораздо выше, чем в окружающей среде. При изучении содержания радия, открытого незадолго до этого, было установлено, что его концентрация в ряске Петергофских прудов выше, чем в воде, в десятки, а в Киевских водоемах – в сотни раз. За несколько десятилетий был накоплен большой объем данных о способности растений накапливать радионуклиды, но результаты исследований имели только научный интерес. С чем связано изменение отношения к растениям? В чем практическое их значение для сохранения человечества?

2. Пектиновые вещества растений образуют нерастворимые комплексы со многими металлами (стронцием, кальцием, свинцом и т.д.), которые практически не всасываются и выводятся из организма. Поэтому они применяются в качестве эффективных радиозащитных средств при попадании радионуклидов в ЖКТ. В каких растениях, произрастающих в Беларуси, накапливается пектиновых веществ в значительных количествах?

3. Для того чтобы получить достоверные результаты по накоплению и переходу по цепям питания любого химического соединения, были подобраны равнозначные экосистемы по экологическим составляющим. Производился анализ растительного покрова и почв в районе

полигона зоны первоочередного отселения в населенном пункте №1 (48 Ки/км²), далее именуемый НП1; в радиоактивно загрязненном (также зона отчуждения) с проживающим населением – населенный пункт №2 (НП2), без техногенной нагрузки – населенный пункт №3 (НП3). Для оценки количественных показателей перехода радионуклидов в различные кларки экосистем были рассчитаны коэффициенты накопления из почвы (Таблица 2).

Проанализируйте уровень Кн ТУЭ, обратите внимание на уровень процентов.

Какой НП по удельной активности ²⁴¹Am оказался более загрязненным?

Период полураспада ²⁴¹Pu составляет 14,4 года, по истечении которого в экосистемах начал появляться ²⁴¹Am. 50% плутония выпало в зоне отселения ЧАЭС, а остальной рассеялся на большие расстояния. Зная географические координаты НПЗ (53°17' с.ш., 32°10' в.д.), можно говорить о чернобыльском происхождении ²⁴¹Am, занесенным с мелкими топливными частицами. Охарактеризуйте ситуацию необходимости сохранения зон отчуждения в связи с появлением дочерних продуктов распада плутония, т.е. деление административных районов на зоны сразу после аварии на ЧАЭС велось в основном по радионуклидам цезия, стронция, плутония.

Таблица 2 – Коэффициент накопления (Кн) ТУЭ различными кларками экосистемы из почвы (Кн = удельная активность объекта/удельная активность почвы) [7]

	Am-241			Pu-238			Pu-239, 240		
	НП2	НП3	НП1	НП2	НП3	НП1	НП2	НП3	НП1
почва/навоз	0,75	0,79	0,61	0,76	0,96	0,76	0,71	0,76	0,7
почва/черви на сырой вес	0,51	1,392	0,58	0,49	1,48	0,66	0,63	1,32	0,75
почва/мох		3	3,6		3,2	3,24		3,4	3,38
почва/черви на сухой вес		0,124	0,36		0,15	0,62		0,16	0,67

Выберите правильный ответ

1. В каких дозах при облучении семян наблюдается торможение ростовых процессов, которое может быть преходящим, а может захватывать весь вегетационный период: а) 50 Гр и более; б) до 10 Гр; в) 20 – 30 Гр.
2. К числу факторов, определяющих радиоустойчивость семян, относятся следующие: а) возраст семян, наличие кислорода;

б) биохимический состав семян, размеры семян; в) температура, недоразвитость зародыша семян.

3. С увеличением возраста семян чувствительность к действию радиации: а) уменьшается; б) возрастает; в) не изменяется.

4. Семена, содержащие повышенное количество масел, обладают радиоустойчивостью: а) более низкой; б) более высокой; в) радиоустойчивость не зависит от количества масел.

5. Радиочувствительность семян с потерей влаги: а) не изменяется; б) уменьшается; в) возрастает.

6. Для того чтобы облучением вызвать остановку движения колонии пандорины (*Pandorina* sp.) и индуцировать цитоллиз материнской колонии, требуется доза рентгеновских лучей: а) 30000 Р; б) 300000 Р; в) 3000 Р.

7. Радиоустойчивость каких клеток меньше: а) меристемных; б) дифференцированных; в) одинаковая.

8. При сильном повреждении меристем зародыша семени появляются нацело лишенные образовательных тканей проростки, получившие название: а) γ -проростков; б) β -проростков; в) α -проростков.

9. Морфологические аномалии обнаружены: а) только у высших растений; б) только у низших растений; в) у высших и у низших растений.

10. Опухоли растений, возникающие под влиянием радиации, относят к: а) гипер ауксиновым, обусловленным избыточностью индолилуксусной кислоты в тканях растения; б) генетическим, происхождение которых вызвано индуцированными дефектами контроля нормального формообразования; в) а + б.

11. Растение, выросшее из облученного семени, или побег, развившийся из облученной почки, состоит из генетически разных тканей, и называется: а) димера; б) химера; в) «облученное» растение.

12. При облучении растений высокими дозами, превышающими тот уровень облучения, при котором могут происходить регенерационные процессы, растения продолжают проявлять жизнеспособность, реализуя ее в метаболических процессах и многих физиологических функциях. Такое явление названо: а) метаболической выживаемостью; б) физиологической выживаемостью; в) генетической выживаемостью.

13. Радиостимуляция – это: а) ослабление ростовой функции растения при малых дозах облучения; б) усиление ростовой функции растения при высоких дозах облучения; в) усиление ростовой функции растения при малых дозах облучения.

14. Эффект радиостимуляции у растений сопровождается изменением: а) фотосинтеза; б) транспорта ассимилятов, накопления в клетках многих веществ; в) а + б.

15. К ферментам, отчетливо реагирующим на облучение, относится: а) оксигеназа; б) липоксигеназа; в) нет правильного ответа.

16. После облучения у растения могут наблюдаться следующие эффекты: а) интерфазная гибель, пролиферативная гибель; б) трансформация, восстановление после облучения; в) а + б.

17. При утрате способности части клеток к делению, их пролиферативной гибели возможно следующее поведение ткани: а) гибель части клеток; б) полное восстановление; в) полное прекращение делений.

18. Если число поврежденных клеток не слишком велико и пространственные ограничения не препятствуют делению клеток, в клеточной популяции может восполниться ущерб, нанесенный облучением, за счет ускорения темпов деления и присоединения к группе делящихся дополнительных клеток, которые в норме не делятся. Такой процесс называется: а) репопуляционное восстановление; б) популяционное восстановление; в) нет правильного ответа.

19. Наименьшая радиостойчивость характерна для клеток, находящихся: а) в конце G_1 , начале S -фазы митотического цикла; б) в конце G_1 , начале S -фазы мейоза; в) в профазе митотического цикла.

20. Наиболее радиочувствительны: а) меристемы спящих почек; б) активно пролиферирующие меристемы; в) а + б.

21. Основными условиями, благоприятствующими пострадиационному восстановлению путем репопуляции либо регенерации, являются: а) гетерогенность клеточной популяции меристемы в отношении по-клеточной радиостойчивости, наличие покоящихся клеток в апексах; б) гомогенность клеточной популяции меристемы в отношении по-клеточной радиостойчивости, наличие покоящихся клеток в апексах; в) наличие радиостойчивых, находящихся в состоянии покоя почек, способных к пролиферации при снятии апикального доминирования.

22. Радиобиологические эксперименты проводят на: а) семенах, пыльце, культуре изолированных тканей; б) только на вегетирующих растениях; в) а + б.

23. Наиболее радиочувствительными формами растений являются: а) древесные формы растений; б) травянистые формы растений; в) кустарниковые формы растений.

24. Радиочувствительность семян выше, если объем хромосом:
а) меньше; б) крупнее; в) радиочувствительность семян не зависит от объема хромосом.

25. Семена, облучаемые в атмосфере кислорода, повреждаются:
а) слабее; б) сильнее; в) наличие кислорода не влияет на повреждение семян.

Список литературы

1. Кевра, М.К. Растения против радиации / М.К. Кевра. – Мн.: Вышэйшая школа, 1993. – 350 с.
2. Эйдус, Л.Х. Лаборатория теоретических основ восстановления и защиты от излучений / Л.Х. Эйдус // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – т. 43. – № 1. – С.97–105.
3. Артюхов, В.Г. Влияние ультрафиолетового излучения на структурно-функциональное состояние Т- и В-лимфоцитов крови человека / В.Г. Артюхов, О.В. Путинцева, Е.В. Дмитриев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – т. 43. – № 1. – С. 82–86.
4. Безопасное использование ультрафиолетового излучения: памятка для специалиста-эколога / сост. Нац. науч.-исслед. центром мониторинга озоносферы БГУ и ГУ «Респ. науч.-практ. Центр гигиены». – Мн., 2007. – 15 с.
5. Пелевина, И.И. Реакция популяции клеток на облучение в малых дозах / И.И. Пелевина, А.В. Алешенко, М.М. Антошина, В.Я. Готлиб и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – т. 43. – № 2. – С. 161–166.
6. Иванов, А.А. Роль системы иммунитета в радиационном поражении организма. Развитие гипотезы / А.А. Иванов, В.Н. Мальцев, А.М. Уланова, Г.А. Шальнова // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2001. – т. 46. – № 3. – с.64–77.
7. Содержание ^{241}Am в абиотических и биотических средах районов с разной экологической нагрузкой [Текст]: Отчет о НИР (заключ.) / Учреждение образования «МГУ им. А.А. Кулешова»; рук. темы О.В. Поворова; исполн.: В.П. Кудряшов, Н.В. Малашенко. – Могилев, 2007. – 53 с. – Библиогр.: С.49–50. – № ГР 20071307.
8. Даренская, Н.Г. Реакция кроветворной системы собак на острое радиационное воздействие (по материалам базы данных ГНЦ – Институт биофизики МЗ РФ) / Н.Г. Даренская, Т.А. Насонова, А.О. Короткевич, В.Ю. Соловьев и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – т. 43. – № 4. – С. 396–399.
9. Конопля, Е.Ф. Радиация и Чернобыль. Щитовидная и паращитовидные железы. Кальций-фосфорный обмен / Е.Ф. Конопля, И.М. Багель. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2005. – 245 с.
10. Москалев, Ю.И. Отдаленные последствия ионизирующих излучений / Ю.И. Москалев. – Мн.: Медицина, 1991. – 266 с.
11. Конопля, Е.Ф. Радиация и Чернобыль: Трансурановые элементы на территории Беларусь / Е.Ф. Конопля, В.П. Кудряшов, В.П. Миронов. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2007. – 128 с.
12. Верещако, Г.Г. Влияние длительного низкоинтенсивного облучения на массу органов репродуктивной системы крыс-самцов / Г.Г. Верещако,

А.М. Ходосовская, Е.Ф. Конопля // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – т. 43. – № 1. – С. 71–74.

13. Поворова, О.В. Функциональная характеристика иммунной системы при иммунозависимых воспалительных заболеваниях детей Климовичского района Могилевской области / О.В. Поворова, Л.Г. Борткевич, Т.А. Сапунова, В.В. Блинов // Веснік МДУ імя А.А.Кулешова. – 2006. – № 1 (23). – С. 178–183.

СОДЕРЖАНИЕ

Практическая работа № 1. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	5
Практическая работа № 2. ТЕОРИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	15
Практическая работа № 3. ВОЗДЕЙСТВИЕ ИИ НА МОЛЕКУЛЯРНОМ УРОВНЕ	20
Практическая работа № 4. ВОЗДЕЙСТВИЕ ИИ НА КЛЕТОЧНОМ УРОВНЕ.....	26
Практическая работа № 5. ВОЗДЕЙСТВИЕ ИИ НА ОРГАНИЗМЕННОМ УРОВНЕ	32
Практическая работа № 6. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ (ОБЭ). БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИНКОРПОРИРОВАННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ	37
Практическая работа № 7. ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ	42
Практическая работа № 8. ВОЗДЕЙСТВИЕ ИИ НА ПОЛОВУЮ СИСТЕМУ И ЭМБРИОГЕНЕЗ. ОПОСРЕДОВАННЫЕ И ОТДАЛЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ ОБЛУЧЕНИЯ.....	47
Практическая работа № 9. РАДИОБИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ	52
Список литературы	58

Учебное издание

Поворова Оксана Викторовна

ПРАКТИКУМ ПО РАДИОБИОЛОГИИ

Для студентов специальности 1-310101
Биология (научно-педагогическая деятельность)

Методические рекомендации



Технический редактор *А.Н. Гладун*
Компьютерная верстка *В.Э. Ковалевский*
Корректор *Г.В. Тетерукова*

Подписано в печать **7.08.08.** Формат 60x84/16
Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 3,5.
Уч.-изд л. 3,3. Тираж **80** экз. Заказ № **346.**

Учреждение образования "Могилевский государственный университет
им. А.А. Кулешова", 212022, Могилев, Космонавтов, 1.
ЛИ № 02330/278 от 30.04.04.

Отпечатано на ризографе отдела оперативной полиграфии
МГУ им. А.А. Кулешова, 212022, Могилев, Космонавтов, 1.