

**ФГБОУ ВО «КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра нормальной физиологии

**Учебно-методическое пособие для студентов
к практическим занятиям**

по теме:

ЭЛЕМЕНТЫ ДОЗИМЕТРИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Элементы дозиметрии ионизирующего излучения

Необходимость количественной оценки действия ионизирующего излучения на различные вещества живой и неживой природы привела к появлению дозиметрии.

Дозиметрией называют раздел ядерной физики и измерительной техники, в котором изучают величины, характеризующие действие ионизирующего излучения на вещества, а также методы и приборы для их измерения. Первоначально развитие дозиметрии было обусловлено необходимостью учета действия рентгеновского излучения на человека.

Ионизирующее излучение только тогда оказывает действие на вещество, когда это излучение взаимодействует с частицами, входящими в состав вещества.

Под воздействием ионизирующего излучения в тканях организма возникают следующие процессы:

1. при воздействии излучения на молекулы воды, содержащейся в тканях, происходят различные реакции, названные радиолизом воды;

2. воздействие излучения на молекулы органических соединений приводит к образованию возбужденных молекул, ионов, радикалов, перекисей. Эти высокоактивные в химическом отношении соединения будут взаимодействовать с остальными молекулами биологической системы, что, в свою очередь, приведет к нарушениям мембран, клеток, а, следовательно, и функций всего организма.

Отметим общие закономерности биологического действия ионизирующего излучения:

1. большие нарушения при малой поглощенной энергии;

2. действие на последующие поколения через наследственный аппарат клетки;

3. характерен скрытый, латентный период;

4. разные части клеток обладают различной чувствительностью к излучению;

5. прежде всего, поражаются делящиеся клетки, что особенно опасно для детского организма;

6. губительное действие на ткани взрослого организма, в которых есть деление.

Радиочувствительность клеток в ткани тем выше, чем больше их пролиферативная (увеличение числа клеток (или только геномов) путем митоза) активность и меньше степень дифференциации. Поэтому в организме человека в первую очередь поражаются стволовые клетки красного костного мозга и эпителия кишечника.

Повреждения клетки неодинаковы в различные фазы ее клеточного цикла. Радиобиологические эффекты могут проявляться как непосредственно после облучения, так и через некоторый промежуток времени: месяцы, годы и даже поколения. Например, у человека с отдаленными последствиями облучения могут выступать процессы образования злокачественных опухолей, ослабление иммунитета, сокращение продолжительности жизни, рождение детей с патологиями.

Независимо от природы ионизирующего излучения его взаимодействие количественно может быть оценено отношением энергии, переданной элементу облученного вещества, к массе этого элемента. Эту характеристику называют **дозой излучения (поглощенной дозой излучения) D**.

Различные эффекты ионизирующего излучения, прежде всего, определяются **поглощенной дозой**. Она сложным образом зависит от вида ионизирующего излучения, энергии его частиц, состава облучаемого вещества и пропорциональна времени облучения. Дозу, отнесенную ко времени, называют **мощностью дозы**. Единицей поглощенной дозы излучения является **Грей (Гр)**, который соответствует дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж; мощность дозы излучения выражается в **Греях в секунду (Гр/с)**. Внесистемная единица дозы излучения – **рад (1 рад = 10⁻² Гр = 100 эрг/г)**, ее мощности – **рад в секунду (рад/с)**.

Экспозиционная доза (X) характеризует ионизирующее действие рентгеновского и γ -излучения в воздухе, окружающем облучаемое тело. Единицей экспозиционной дозы является кулон на килограмм. **1 Кл/кг** соответствует экспозиционной дозе фотонного излучения, при которой в результате ионизации в 1 кг сухого воздуха (при нормальных условиях) образуются ионы, несущие заряд, равный 1 Кл каждого знака. На практике пользуются единицей, которая называется рентген [Р].

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг.}$$

Связь между поглощенной и экспозиционной дозами: $D = f \cdot X$,

где f — некоторый коэффициент, зависящий от облучаемого вещества и энергии фотонов. Для костной ткани $f = 1-4,5$, для воды и мягких тканей $f = 1$. Поэтому для воды и мягких тканей поглощенная доза излучения в радах численно равна соответствующей экспозиционной дозе в рентгенах (1 рад = 1 Р). Это обуславливает удобство использования внесистемных единиц рад и Р.

Для ионизирующего вида излучения биологическое действие обычно тем больше, чем больше доза излучения. Однако различные излучения даже при одной и той же поглощенной дозе оказывают

разные воздействия. В дозиметрии принято сравнивать биологические эффекты различных излучений с соответствующими эффектами, вызванными рентгеновским и γ -излучениями. Коэффициент K , показывающий, во сколько раз эффективность биологического действия данного вида излучения больше, чем рентгеновского или γ -излучения, при одинаковой дозе излучения в тканях, называется коэффициентом качества. В радиобиологии его называют также **относительной биологической эффективностью (ОБЭ)**. Относительная биологическая эффективность определяется соотношением:

ОБЭ=(Поглощенная доза рентгеновского излучения (180-200 кэВ), вызывающая биологический эффект)/(Поглощенная доза ионизирующего излучения другого вида, вызывающая тот же биологический эффект)

Коэффициент качества устанавливают на основе опытных данных. Он зависит не только от вида частицы, но и от ее энергии.

Поглощенная доза соответствует энергии ионизирующего излучения, которая поглощена единицей массы вещества за время облучения: $D_n = E/m$, где D_n – поглощенная доза, E – энергия, поглощенная телом, m – масса тела. **Эквивалентная доза** учитывает эффективность соответствующего вида излучения: $D_{эkv} = D_n \cdot ОБЭ$, где ОБЭ – коэффициент биологической активности или коэффициент качества: рентгеновское, гамма- и бета- излучения ОБЭ=1; тепловые нейтроны (до 0,02 МэВ) ОБЭ=3; нейтроны (0,5 МэВ) ОБЭ=7, протоны (5 МэВ) ОБЭ=10, альфа-излучение ОБЭ=20.

Так как K (ОБЭ) – безразмерный коэффициент, то эквивалентная доза излучения имеет ту же размерность, что и поглощенная доза излучения, но называется зивертом (Зв). Внесистемная единица эквивалентной дозы – бэр, 1 бэр = 10^{-2} Зв. Эквивалентная доза в бэрах равна дозе излучения в радах, умноженной на коэффициент качества.

Биологическое действие излучения с различной эквивалентной дозой показано в таблице:

Эквивалентная доза, бэр	Биологический эффект
0–0,1	Угнетение жизнедеятельности (замедленное деление, ухудшение развития)
0,1–0,2	Оптimum жизнедеятельности
0,2–5	Стимуляция жизнедеятельности (стимулирование и развитие, повышение сопротивления неблагоприятным условиям среды)
5–10	Регистрация мутаций
10–25	Для взрослого человека видимых нарушений нет, для эмбриона могут быть поражения мозга
25–50	Временная мужская стерилизация. Возможны изменения в крови
50–100	Обязательно есть изменения в крови, нарушение иммунитета
100–200	Иммунодефицитное состояние
200–400	Потеря трудоспособности, инвалидизация
400–500	Тяжелое поражение костного мозга, 50 % смертность
600–1000	Тяжелое поражение слизистой кишок, 100 % смертность 3–12 дн.
1000–10 000	Коматозное состояние, смерть через 1–2 часа
$H > 10\ 000$	Смерть под лучом

Нормы радиационной безопасности определяется предельно допустимой эквивалентной дозой за год (ПДД): *ПДД для взрослого населения* — 0,5 бэр/год = 5 мЗв/год; *ПДД для детей, беременных женщин* — 0,17 бэр/год = 1,7 мЗв/год; *ПДД для профессионалов* — 5,0 бэр/год = 50 мЗв/год.

Предельно допустимые мощности экспозиционной дозы:

норма — 0,02 мР/ч = 20 мкР/ч; **профессиональная норма** — 0,57 мР/ч = 570 мкР/ч.

Летальные дозы (ЛД) для облучения всего организма:

ЛД50 - 400 Р; ЛД90 - 800 Р, где цифры 50, 90 означают 50%, 90% летальных исходов.

Формы лучевой болезни представлены в таблице:

Поглощенная доза при однократном облучении	Патологический процесс
1–4 Гр	Развитие иммунодефицита, опухоль кожи, уменьшение количества клеток в тимусе
4–6 Гр	ЛД50, костномозговая форма
6–10 Гр	Кишечная форма (менее 2 недель)
10-100 Гр	ЛД90, церебральная форма (несколько часов)

Естественный (природный) радиационный фон создается естественными радиоактивными источниками: космические лучи (0,25 мЗв/год); радиоактивность недр (0,52 мЗв/год); радиоактивность пищи (0,2 мЗв/год). Это соответствует общей мощности (1-2) мЗв/год, или (10-20) мкР/ч. Мощность эквивалентной дозы, соответствующая нормальному радиационному фону, равна 1,25 мЗв/год (125 мбэр/год). Предельно допустимый фон составляет 5 мЗв/год. На земном шаре есть места, где нормальный фон равен 13 мЗв/год.

Практические задания

В m грамм ткани поглощается N частиц или квантов соответствующего ионизирующего излучения с энергией одной частицы E . Найдите поглощенную и эквивалентную дозы для своего варианта.

Вариант	Масса m (г)	Число частиц N	Энергия частицы E (МэВ)	Вид излучения
1	10	10^9	5	α
2	50	10^8	0,25	β
3	70	10^{10}	0,1	γ
4	30	10^8	0,015	Нейтроны
5	100	10^9	0,05	Нейтроны
6	500	10^6	5,5	Протоны
7	200	10^{10}	0,005	R
8	50	10^9	0,25	α
9	100	10^8	0,4	Нейтроны
10	300	10^7	6,0	Протоны