

Контрольная работа № 10

1. Формы острой лучевой болезни
2. Виды неравномерного облучения
3. Основная гипотеза возникновения разнообразных форм острых поражений при неравномерном облучении
4. Понятие критического органа
5. Понятие хронической лучевой болезни
6. Пороговая доза для развития ХЛБ
7. Своеобразие ХЛБ
8. Фазы течения ХЛБ
9. *Стадии* хронической лучевой болезни
10. В каком случае возникают местные лучевые реакции кожи?
11. Основные степени реакций кожи на облучение

ТЕМА: Биологическое действие инкорпорированных радионуклидов

План:

1. Пути поступления радионуклидов в организм
2. Распределение радионуклидов в организме
3. Оценка уровня облучения инкорпорированными радионуклидами
4. Практическое значение изучения инкорпорированных радионуклидов

Понятие инкорпорированных радионуклидов

- **Инкорпорированные радионуклиды** – радионуклиды, усвоенные организмом в результате обменных процессов.

Характеристика поодиноких радіонуклідів земного походження

Радіонуклід	Ізотопне збагачення, %	Період напів-розпаду, роки	Головні типи випромінювання/енергія, МеВ/вихід, %	Питома активність елемента, Бк/л
⁴⁰ K	0,012	$1,26 \cdot 10^9$	$\beta^-/1,33/89$ $\gamma (E3)^*/1,46/11$	31,6
⁵⁰ V	0,250	$6,0 \cdot 10^{15}$	$\gamma (\beta^-)/0,78 /30$ $\gamma (E3)/1,55/70$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
⁸⁷ Rb	27,000	$4,8 \cdot 10^{10}$	$\beta^-/0,28/100$	$8,9 \cdot 10^2$
¹¹⁵ In	95,800	$6,0 \cdot 10^{14}$	$\beta^-/0,48/100$	0,18
¹²³ Te	0,870	$1,2 \cdot 10^{13}$	E3/—/—	0,08
¹³⁸ La	0,089	$1,12 \cdot 10^{11}$	$\beta^-/0,21/80$ $\gamma (E3)/0,81; 1,43/70$	0,77
¹⁴² Ce	11,070	$> 5,0 \cdot 10^{16}$	$\alpha/—/—$	$0,9 \cdot 10^{-2}$
¹⁴⁴ Nd	23,900	$2,4 \cdot 10^{15}$	$\alpha/1,83/—$	$0,92 \cdot 10^{-2}$
¹⁴⁶ Sm	13,820	$> 1,0 \cdot 10^{15}$	—	129,5
¹⁴⁷ Sm	15,100	$1,05 \cdot 10^{11}$	$\alpha/2,23/—$	$5,07 \cdot 10^{-2}$
¹⁴⁸ Sm	11,270	$> 2,0 \cdot 10^{14}$	—	$1,22 \cdot 10^{-2}$
¹⁵² Gd	0,200	$1,1 \cdot 10^{14}$	$\alpha/2,1/—$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
¹⁵⁶ Dy	0,052	$> 1,0 \cdot 10^{18}$	—	$4,4 \cdot 10^{-8}$
¹⁷⁴ Hf	0,163	$2,0 \cdot 10^{15}$	$\alpha/2,5/—$	$6,2 \cdot 10^{-5}$
¹⁷⁶ Lu	2,600	$2,2 \cdot 10^{10}$	$\beta^-/0,43/—$	88,8
¹⁸⁰ Ta	0,012	$> 1,0 \cdot 10^{12}$	—	$0,9 \cdot 10^{-2}$
¹⁸⁷ Re	62,900	$4,3 \cdot 10^{10}$	$\beta^-/0,003/—$	1036
¹⁹⁰ Pt	0,013	$6,9 \cdot 10^{11}$	$\alpha/3,18/—$	$1,3 \cdot 10^{-2}$

Пути поступления радионуклидов в организм

```
graph TD; A[Пути поступления радионуклидов в организм] --> B[ИНГАЛЯЦИОННЫЙ]; A --> C[С ВОДОЙ И ПИЩЕЙ]; A --> D[ЧЕРЕЗ КОЖУ];
```

**ИНГАЛЯЦИОН
НЫЙ**

**С ВОДОЙ И
ПИЩЕЙ**

ЧЕРЕЗ КОЖУ

Ингаляционное поступление радионуклидов в организм

- Доля радионуклида, задержанная в дыхательной системе, зависит:
 1. от размера частиц;
 2. минутного объема;
 3. частоты дыхания.
- Дальнейшая судьба отложившихся в дыхательных путях радионуклидов также связана с размерами радиоактивных частиц, их физико-химическими свойствами и транспортабельностью в организме.

Поступление радионуклидов с пищей и водой

- После поступления в организм судьба радиоактивных веществ зависит от их растворимости в жидкой среде желудочно-кишечного тракта, характеризующейся в различных его участках разными показателями pH.
- В организм поступает лишь некоторая часть попавших в кишечник радионуклидов, большая часть их проходит «транзитом» и удаляется из кишечника.
- Во время нахождения радиоактивных веществ в пищеварительном тракте происходит облучение кишечника, причем короткопробежные α - или β -частицы облучают только его стенку, а γ -кванты достигают и других внутренних органов, расположенных в брюшной полости и грудной клетке, т.е. желудочно-кишечный тракт становится критическим органом .

Понятие критического органа в условиях внутреннего облучения

Орган тела человека является **критическим**, если он:

- а) получает наибольшую дозу или усваивает наибольшее количество радионуклидов;
- б) играет наиболее важную роль (или необходим) для нормального функционирования всего организма;
- в) обладает наибольшей радиочувствительностью, т. е. повреждается самой низкой дозой облучения по сравнению с другими органами.

С учетом различий в радиочувствительности, наблюдающихся в пределах одного органа, а также неоднородности распределения доз в его отдельных участках, особенно сказывающемся на действии инкорпорированных радионуклидов, критическими могут оказаться отдельные участки органа или его клеточные популяции, например базальный слой эпидермиса в коже, эпителий крипт кишечника, бронхиальный эпителий и активные остеобласты скелета.

Поступление радиоактивных веществ через кожу

- Радионуклиды, как и другие вещества, в составе жидких и газообразных соединений проникают через кожу животных и человека достаточно быстро в измеримых, а иногда и в значительных количествах.
- Проницаемость кожи резко увеличивается при воздействии многих химически активных веществ (например, обезжиривающих растворителей), при повреждении рогового слоя эпидермиса, играющего главную роль в барьерной функции кожи.
- Значительное влияние на интенсивность подкожного поглощения радионуклидов оказывают температура и влажность окружающей среды.
- Радионуклиды, проникающие через кожные покровы, создают опасность облучения самой кожи и тех внутренних органов, куда они доставляются кровотоком.
- Радиационные повреждения внутренних органов радионуклидами, проникшими через кожу, не отличаются по характеру от наблюдаемых при поступлении радиоактивных веществ через желудочно-кишечный тракт и через легкие и связаны, прежде всего, с дозой облучения и ее пространственным распределением.

Типы распределения радионуклидов в организме

- ❑ **Скелетный** (остеотропный) характерен для нуклидов щелочноземельной группы элементов (Ca, Sr, Ba, Ra), накапливающихся в минеральной части скелета, а также некоторых соединений плутония и тория, задерживающихся в костной ткани.
- ❑ **Ретикулоэндотелиальное распределение** присуще нуклидам редкоземельных элементов (Ce, Pr, Pm), а также Zn, Th, Am и трансурановым элементам.
- ❑ **Диффузный** (равномерное распределение в организме) характерен для щелочных элементов (K, Na, Cs, Rb), а также нуклидов H, N, C, Po и некоторых других элементов.
- ❑ **Органотропный** (избирательно накапливающиеся в различных органах и тканях радионуклиды). Так, изотопы I накапливаются исключительно в щитовидной железе.

- ❑ В процессе транспорта радионуклиды задерживаются в тех тканях, в составе которых имеются стабильные элементы, аналогичные им по химическим свойствам (изотопы йода накапливаются исключительно в щитовидной железе, стронция и кальция – в костях скелета).
- ❑ В процессе обмена веществ в организме человека радионуклиды замещают атомы стабильных элементов в различных структурах клеток, биологически активных соединениях, что приводит к высоким локальным дозам.

Органы максимального накопления радионуклидов

Элемент		Наиболее чувствительный орган или ткань	Масса ткани или органа, кг	Доля полной дозы *
Водород	H	Все тело	70	1
Углерод	C	Все тело	70	1
Натрий	Na	Все тело	70	1
Калий	K	Мышечная ткань	30	0.92
Стронций	Sr	Кость	7	0.7
Йод	I	Щитовидная железа	0.2	0.2
Цезий	Cs	Мышечная ткань	30	0.45
Барий	Ba	Кость	7	0.96
Радий	Ra	Кость	7	0.99
Торий	Th	Кость	7	0.82
Уран	U	Почки	0.3	0.065
Плутоний	Pu	Кость	7	0.75

*Относящаяся к данному органу доля полной дозы, полученной всем телом человека.

Характеристика поведения некоторых радиоактивных изотопов в организме

	Радиоактивный изотоп	Период полураспада (Т) в днях	Эффективный период полувыведения (Т _{эфф}) в днях	Сумма ΣЕ·(ОКЭ)·N			
				критический орган		для желудочно-кишечного тракта	Σ для легких
				название	Σ		
1	H-3	$4,6 \cdot 10^3$	19	Весь организм	0,006	0,006	0,006
6	C-14	$2,09 \cdot 10^6$	35	То же	0,053	0,053	0,053
11	Na-24	0,62	0,60	» »	2,7	1,05	2,7
15	P-32	14,3	14	Кости	0,68	0,68	0,68
16	S-35	87,1	18	Кожа	0,055	0,55	0,55
17	Cl-36	$1,6 \cdot 10^8$	19	Весь организм	0,26	0,26	0,26
19	K-42	0,52	0,51	Мышцы	1,6	1,4	1,6
20	Ca-45	152	151	Кости	0,43	0,085	0,085
26	Fe-59	46,3	27	Кровь	0,54	0,28	0,81
27	Co-60	$1,9 \cdot 10^3$	0,4	Печень	0,72	0,43	1,5
33	As-76	1,12	1,09	Почки	1,1	1,1	1,3
38	Sr-90+U-90	$9,1 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$	Кости	5,1	0,36	0,96
53	I-131	8	7,5	Щитовидная железа	0,22	0,24	0,43
55	Cs-137+Ba-137	$1,2 \cdot 10^4$	17	Мышцы	0,57	0,27	0,57
79	Au-198	2,69	2,6	Печень	0,43	0,38	0,57
				Почки	0,40		
88	Ra-226+55 % дочерние продукты	$5,9 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^4$	Кости	162	80	
94	Pu-239 (растворимый)	$8,8 \cdot 10^6$	$4,3 \cdot 10^4$	»	267	53	54
94	Pu-239 (нерастворимый)	$8,8 \cdot 10^6$	360	Легкие	54	53	54

Наиболее интенсивно облучаемые органы

- Наиболее интенсивно облучаются органы, через которые поступили радионуклиды в организм (органы дыхания и пищеварения), а также щитовидная железа и печень. Дозы, поглощенные в них, на 1-3 порядка выше, чем в других органах и тканях. По способности концентрировать всосавшиеся продукты деления основные органы можно расположить в следующий ряд:

Щитовидная железа>печень>мышцы

- В щитовидной железе накапливается до 30% всосавшихся продуктов деления, преимущественно радиоизотопов йода.
- По концентрации радионуклидов на втором месте после щитовидной железы находится печень. Доза облучения, полученная этим органом, преимущественно обусловлена радионуклидами Mo, ^{132}Te (теллур), ^{132}I , ^{131}I и др.

Эффективный период полувыведения

$$T_{\text{эфф.}} = \frac{T_{\text{физ.}} \times T_{\text{биол.}}}{T_{\text{физ.}} + T_{\text{биол.}}}$$

$$T_{\text{физ.}} + T_{\text{биол.}}$$

- $T_{\text{эфф.}}$ – эффективный период полувыведения (в сутках);
- $T_{\text{биол.}}$ - период полувыведения(в сутках);
- $T_{\text{физ.}}$ – период полураспада (в сутках).

Решите задачи:

1. Цезий-137 при попадании в организм быстро всасывается в кровь и относительно равномерно распределяется в организме. Период полувыведения ($T_{\text{биол.}}$) в среднем 110 дней, период полураспада ($T_{\text{физ.}}$) – 30 лет. Рассчитайте эффективный период полувыведения.
2. Америций 241 ($T_{\text{физ.}} = 433$ года) откладывается преимущественно в костях (45%) и в печени (45%). $T_{\text{биол.}}$ из печени 40 лет, из скелета 100 лет. Рассчитайте эффективный период полувыведения элемента из костей и печени.

Особенности острой лучевой болезни от внутреннего облучения:

- первичной реакции нет или слабо выражена;
- все периоды острой лучевой болезни растянуты во времени, особенно период разгара и восстановления;
- избирательно поражается критический орган, в котором накапливаются радионуклиды;
- наблюдается большая поражаемость путей поступления радионуклидов в организм;
- нет четкой периодизации острой лучевой болезни первой и второй степени тяжести, вызванной радионуклидами, имеющими большой Т эфф.

Оценка уровня облучения инкорпорированными радионуклидами

- В радиобиологических исследованиях для количественной оценки уровня внутреннего облучения, как и в случаях внешнего воздействия, используют **поглощенную дозу**, выраженную в греях, учитывая коэффициенты **ОБЭ**. Однако специфика внутреннего облучения, связанная с резко выраженной неравномерностью распределения инкорпорированных в излучателе энергии и интенсивности, затрудняет использование ОБЭ.
- При оценке малых уровней облучения, ограниченных областью радиационной защиты, используют **эквивалентную дозу**, рассчитываемую с помощью модифицирующих коэффициентов, учитывающих, прежде всего характерные для инкорпорированных изотопов специфические концентрационные и временные условия формирования тканевых доз.

Особенности поражений при внутреннем облучении

- ❑ Особую опасность в таких случаях приобретают радионуклиды тяжелых элементов, испускающие не только β -, но и α -частицы. Обладая высокой ОБЭ, эти излучения, несмотря на малую проникающую способность, вызывают тяжелые повреждения эндотелия и эпителия, воздухоносных путей и кишечника, в которых они теряют весь запас своей энергии.
- ❑ В отличие от внешнего облучения, при котором роль организма пассивна, при внутреннем облучении организм играет активную роль в формировании тканевых доз из-за наличия транспортных и метаболических процессов, обуславливающих накопление и выведение радионуклидов из определенных органов и тканей.

Практическое значение изучения инкорпорированных радионуклидов

- Наибольшее практическое значение имеет изучение различных аспектов биологического действия различных инкорпорированных радионуклидов, попадающих в организм человека в профессиональных условиях.
- В чрезвычайных обстоятельствах военного времени, а также в аварийных случаях в результате взрыва ядерного устройства может возникнуть поражение попавшими в организм продуктами ядерного деления (ПЯД).
- Продукты ядерного деления представляют собой смесь более чем 200 радиоактивных изотопов 36 элементов средней части (от Zn до Gd) периодической системы Менделеева. Поступая в организм, они в процессе обмена заменяют стабильные элементы и при распаде образуют нуклиды соседних групп периодической системы. Такие трансмутационные эффекты, а также возможность химических перестроек в результате радиоактивной отдачи, происходящей при эмиссии β -частиц и нейтронов, определяют некоторое своеобразие биологического действия ПЯД, которое в основном зависит от дозы, поглощенной органами преимущественного распределения радионуклидов, а также времени их полураспада и скорости выведения.