

Лекція № 14 (ч.1)

Тема лекції: **Електромагнітні випромінювання та радіаційна безпека.**

План лекції

Вступ.

1. Класифікація електромагнітних випромінювань та загальні характеристики впливу на людину.
 2. Іонізуюче випромінювання (ІВ) та профілактика несприятливого впливу.
- Заключна частина.

Література:

1. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці.- Київ: Вища освіта в Україні, 2013. – С. 200 – 244.
2. Катренко Л.А., Кіт Ю.В., Пістун І.П. Охорона праці.- Суми.- 2009.- С.107 - 123.
3. Основи охорони праці: Навч. посіб. / Воронов І.О., Коваленко І.Д., Афанасьєв П.В., Булгач Т.В. – К.: Генеза, 2004. – С.96 – 116.
4. Ильин Л.А., Кириллов В.Ф., Коренков И.П. Радиационная гигиена. – М., Медицина, 1999. – С. 157-175.
5. ГОСТ 12.1.006—84. ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
6. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. Наказ МОЗ України 02.02.2005 № 54.

Наочні посібники

Мультимедійний проектор (кадропроєктор).

Слайди для мультимедійного проектору (кадропроєктору).

Завдання на самостійну роботу

1. Вивчити основні положення нормативно-правових актів, що регламентують вимоги до умов праці при роботі з іонізуючим та неіонізуючим ЕМВ.
2. Вивчити ЗІЗ від дії ІВ.

Вступ

Джерела іонізуючих випромінювань - це речовина (радіонукліди, RN) або пристрій, що генерує енергію, яка приводить до іонізації середовища. В Україні діють чотири атомних електростанції з 15 енергетичними блоками, два дослідних ядерних реактори та більше ніж 8000 підприємств і організацій, які використовують у виробництві, науково-дослідній роботі та у медичній практиці різноманітні радіоактивні речовини (РР).

У побуті та промисловості набули масового застосування обладнання та прилади, робота яких пов'язана з утворенням неіонізуючого випромінювання широкого діапазону частот, потужність та кількість яких постійно зростає.

Джерелом електростатичного поля й електромагнітних випромінювань у широкому діапазоні частот (понад - та інфранизькочастотному, радіочастотному, інфрачервоному, видимому, ультрафіолетовому, рентгенівському,) є персональні електронно-обчислювальні машини (ПЕОМ і відеодисплейні термінали (ВДТ) на електронно-променевих трубках, які використовуються як у промисловості та наукових дослідженнях, так і в побуті. Небезпеку для користувачів являє електромагнітне випромінювання монітора в діапазоні частот 20 Гц-300 МГц і статичний електричний заряд на екрані.

Джерелами електромагнітних полів промислової частоти є будь-які електроустановки і струмопроводи промислової частоти. Чим більше струм, що протікає в них, тим вище інтенсивність полів.

1. Класифікація електромагнітних випромінювань та загальні характеристики впливу на людину

Єдиної класифікації випромінювань не існує, проте є «робоча» класифікація:

1. ЕМП неіонізуючої частини спектру:

- електростатичне поле (ЕСП);
- постійне магнітне поле (ПМП);
- струми промислової частоти;
- ЕМВ радіочастотного діапазону;
- ЕМВ оптичного діапазону - інфрачервоне випромінювання, ультрафіолетове випромінювання, лазерне випромінювання.

2. Іонізуючі випромінювання:

- рентгенівське;
- γ -випромінювання;
- β -випромінювання;
- α -випромінювання;
- нейтронне;
- позитронне і ін.

3. За природою походження:

- а) природний фон;
- б) техногенно-змінений фон:

- клас А (технологічні) - це випромінювання, які використовуються в технологічних процесах, лікувально-діагностичних цілях;

- клас Б (нетехнологічні або паразитні) - це випромінювання, які є побічним продуктом будь-якого технологічного процесу.

Людина піддається постійному впливу ЕМВ, іншими словами вона знаходиться в електромагнітній «павутині» (електромагнітне забруднення або смог).

Види впливу ЕМВ на людину:

- ізольоване - від одного джерела ЕМВ;

- змішане - від двох і більше джерел;

- комбіноване - одночасний вплив ЕМВ та інших фізичних, хімічних і біологічних факторів;

- постійне - протягом 8 год робочого дня в виробничих або протягом 24 год в побутових умовах;

- непостійне - протягом певного проміжку часу (менше 8 год у виробничих і менш 24 год в побутових умовах);

- локальне (місцеве) - вплив на будь-яку частину тіла людини;

- загальне - вплив на все тіло людини.

2. Іонізуюче випромінювання та профілактика несприятливого впливу

Іонізуючим випромінюванням називається випромінювання, взаємодія якого з речовиною призводить до утворення у цій речовині іонів різного знаку. Іонізуюче випромінювання складається із заряджених та незаряджених частинок, до яких відносяться також фотони. Енергію частинок іонізуючого випромінювання вимірюють у позасистемних одиницях – електрон-вольтах, еВ. $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Джерело іонізуючого випромінювання (джерело випромінювання) – об'єкт, що містить радіоактивну речовину, або технічний пристрій, який створює або в певних умовах здатний створювати іонізуюче випромінювання. **Пристрій для генерування іонізуючого випромінювання** (нерадіонуклідне джерело) - технічний пристрій (рентгенівська трубка, прискорювач, генератор і т. п.), в якому іонізуюче випромінювання виникає за рахунок зміни швидкості заряджених часток, їх анігіляції або ядерних реакцій.

Всі джерела іонізуючих випромінювань поділяються на закриті та відкриті.

Відкриті джерела іонізуючого випромінювання – це рідкі, газоподібні або у вигляді порошків чи суспензій радіоактивні речовини при використанні яких можливе забруднення оточуючого середовища, потрапляння на одягу персоналу, на шкіру та в організм людини.

Закриті джерела випромінювання влаштовані так, що це виключає забруднення оточуючого середовища. До них слід відносити: рентгенівські установки; радіоактивні препарати у вигляді бус, трубок, голок; гамма-терапевтичні апарати; лінійні та циклічні прискорювачі, де радіоактивний препарат знаходиться у металічній герметичній трубці.

Види іонізуючих випромінювань:

1) α -(Альфа)-випромінювання - корпускулярне випромінювання, що складається з ядер гелію (He).

2) Нейтрони.

3) β -Бета-випромінювання - корпускулярне електронне або позитронне (протонне).

4) γ -(Гама)-випромінювання - короткохвильове електромагнітне (фотонне) випромінювання, довжина хвилі $\lambda < 0,1$ нм.

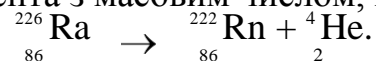
5) Рентгенівське випромінювання - довжина хвилі $\lambda = 0,0001 - 0,1$ - нм ($10^{-5} - 10^{-2}$). Рентгенівське випромінювання - електромагнітне випромінювання, що виникає при гальмуванні швидких електронів в речовині (безперервний спектр), та при переходах електронів з зовнішніх електронних оболонок атома на внутрішні (лінійчастий спектр). Джерела - рентгенівська трубка, деякі радіоактивні ізотопи, прискорювачі та накопичувачі електронів (синхротронне випромінювання).

Ядерний матеріал (радіонуклідне джерело іонізуючої енергії) - це радіоактивна речовина, яка здатна розщеплюватися за схемою ланцюгової реакції, наприклад, такі *радіонукліди (RN)*, як: плутонію -239, уран-235, 233; цезій 134, 136, 137, стронцій 89, 90.

Радіоактивність - властивість радіонуклідів спонтанно перетворюватися в атоми інших елементів внаслідок переходу ядра з одного енергетичного стану в інший, що супроводжується іонізуючим випромінюванням.

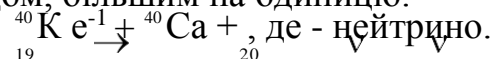
Види ядерних перетворень:

α -розпад - характерний для важких (з великим масовим числом) елементів, включає в себе, у вільоті з ядра атома, α -частинки - за своєю природою ядра гелію (2 протони і 2 нейтрони), внаслідок чого з'являється ядро нового хімічного елемента з масовим числом, меншим на 4 і зарядом, меншим на 2:



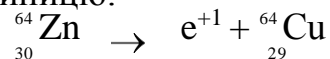
Втративши частинку, ядро атома знаходиться у збудженому стані з надлишком енергії, яка виділяється у вигляді γ -випромінювання, тобто α -розпад завжди супроводжується γ -випромінюванням.

β -електронний розпад - процес, при якому з ядра атома (з одного із нейтронів) вилітає електрон, внаслідок чого цей нейтрон перетворюється в протон, у зв'язку з чим утворюється новий елемент з тим же масовим числом і з зарядом, більшим на одиницю:



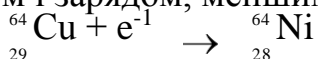
Збуджене при втраті електрона ядро у більшості випадків випромінює і γ -кванти.

β -позитронний розпад - процес, при якому з ядра атома (з одного із протонів) вилітає позитрон, внаслідок чого протон перетворюється в нейтрон і з'являється новий хімічний елемент з тим же масовим числом і зарядом, меншим на одиницю:



Електронний-К-захват - коли ядро (один з протонів) захоплює електрон з найближчої К-орбіти, у зв'язку з чим цей протон перетворюється в нейтрон,

внаслідок чого з'являється ядро нового хімічного елемента з тим же масовим числом і зарядом, меншим на одиницю:



На звільнене місце К-орбіти (і послідовно з інших орбіт) переміщуються електрони, а звільнена енергія при цьому висвічується у вигляді характеристичного рентгенівського випромінювання.

Спонтанний поділ ядра характерний для важких трансуранових елементів, у яких співвідношення нейтронів до протонів більше 1,6. В результаті утворюються ядра двох нових елементів, у яких співвідношення $n : p$ ближче до одиниці, а “зайві” нейтрони висвітлюються у вигляді нейтронного випромінювання:



Таким чином, з якісної сторони ядерні перетворення характеризуються: видом розпаду, видом випромінювання, періодом напіврозпаду – терміном, за який розпадається половина вихідної кількості атомів. (Згідно закону радіоактивного розпаду, число атомів N , що розпадається за термін t , пропорційно вихідній кількості атомів): $N = N_0 e^{-\lambda t}$.

З гігієнічної точки зору та вибору методів дезактивації радіоактивних відходів, всі радіонукліди поділяють на короткоживучі ($T_{1/2} < 15$ діб) і довгоживучі ($T_{1/2} > 15$ діб): короткоживучі витримують у відстійниках до зниження активності, а потім спускають у загальну каналізацію чи вивозять, а довгоживучі – вивозять і хоронять у спеціальних могильниках.

Таблиця 1

Характеристика радіоактивних речовин

№ з/п	Радіонуклід	T1/2	№ з/п	Радіонуклід	T1/2
1	Аргон-41 (${}^{41}\text{Ar}$)	1,8 годин	13	Плутоній-239 (${}^{239}\text{Pu}$)	24 300 років
2	Бром-82 (${}^{82}\text{Br}$)	35,3 годин	14	Полоній-210 (${}^{210}\text{Po}$)	138,4 доби
3	Європій-154 (${}^{154}\text{Eu}$)	16 років	15	Прометій-145 (${}^{145}\text{Pm}$)	2,6 року
4	Йод-131 (${}^{131}\text{I}$)	8,04 доби	16	Радий-226 (${}^{226}\text{Ra}$)	1600 років
5	Калій-40 (${}^{40}\text{K}$)	30 років	17	Ртуть-203 (${}^{203}\text{Hg}$)	46,8 доби
6	Кобальт-60 (${}^{60}\text{Co}$)	5,3 року	18	Рутений-103 (${}^{103}\text{Ru}$)	39,3 доби
7	Лантан-140 (${}^{140}\text{La}$)	40,2 години	19	Рутений-106 (${}^{106}\text{Ru}$)	1 рік
8	Марганець-52 (${}^{52}\text{Mn}$)	271 діб	20	Стронцій-90 (${}^{90}\text{Sr}$)	29,12 року
9	Марганець-56 (${}^{56}\text{Mn}$)	2,6 години	21	Теллур-204 (${}^{204}\text{Tl}$)	3,6 року
10	Медь-64 (${}^{64}\text{Cu}$)	12,7 години	22	Цезій-134 (${}^{134}\text{Cs}$)	2,06 року
11	Мышьяк-74 (${}^{74}\text{As}$)	26 годин	23	Цезій-137 (${}^{137}\text{Cs}$)	30 років
12	Натрій-22 (${}^{22}\text{Na}$)	2,6 року	24	Цинк-65 (${}^{65}\text{Zn}$)	244 діб

2.1. Метрологія іонізуючих випромінювань.

Радіонуклід - радіоактивні атоми з певним масовим числом і зарядом (атомним номером). Радіонукліди одного й того ж хімічного елемента

називаються його радіоактивними ізотопами (тобто з однаковою кількістю протонів та різною кількістю нейтронів у ядрі).

Активність - величина, яка визначається відношенням кількості спонтанних перетворень ядер dN за інтервал часу dt . $A = dN / dt$

Кількісна міра радіоактивного розпаду – активність (Q) – це кількість розпадів атомів за одиницю часу. Одиниця активності в системі СІ – Беккерель (Бк) – один розпад за секунду (s^{-1}). У зв'язку з тим, що ця одиниця дуже мала, користуються похідними – кілобеккерель (кБк), мегабеккерель (МБк). Позасистемна (застаріла) одиниця активності – кюрі (Ки) – це активність 1 г хімічно чистого радію, дорівнює $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк (розпадів за сек.). Ця одиниця, навпаки, дуже велика, тому користуються похідними – мілікюрі (мКи), мікрокюрі (мкКи), пікокюрі (пкКи).

Для радіонуклідів, яким властиве γ -випромінювання, активність виражають також через гама-еквівалент – відношення γ -випромінювання даного радіонукліда до γ -випромінювання радію. Розрахована гама-постійна радію – 8,4 р/годину – це потужність дози, яку створює γ -випромінювання 1 мг радію на відстані 1 см через платиновий фільтр товщиною 0,5 мм.

Міліграм-еквівалент радію (мг-екв. Ра) – одиниця активності радіонукліда, γ -випромінювання якого еквівалентне (рівноцінне) γ -випромінюванню 1 мг Ра на відстані 1 см через платиновий фільтр 0,5 мм.

Іонізуючі випромінювання з якісної сторони характеризуються:

- видом випромінювання: - корпускулярні (α -, β -, n), електромагнітні (γ -, рентгенівські: характеристичне при К-захваті, гальмівне – в рентгенівській трубці).

- енергією випромінювання, яка в системі СІ вимірюється у джоулях (Дж). (Це енергія, необхідна для підняття температури 1 dm^3 дистильованої води на $1^\circ C$). Позасистемна практична одиниця – електрон-вольт (еВ) – це енергія, яку набуває електрон в електростатичному полі з різницею потенціалів 1В. Ця одиниця дуже мала, тому користуються похідними: кілоелектрон-вольт (КеВ), мегаелектрон-вольт (МеВ).

- проникаючою здатністю (довжиною пробігу) – відстанню, яку воно проходить в середовищі, з яким взаємодіє (в м, см, мм, мкм).

- іонізуючою здатністю: - повною – кількістю пар іонів, які утворюються на всій довжині пробігу частинки чи кванта; - лінійною щільністю іонізації – кількістю пар іонів, які приходяться на одиницю довжини пробігу.

За законом радіоактивного розпаду активність радіонуклідів знижується. Ця закономірність має математичний вираз, використовуючи який завжди можна розрахувати, чи залишилася активність від первісної. (Наприклад, період напіврозпаду йоду $131 = 8,06$ доби. Була, наприклад, активність радіоактивного йоду 50 Бк, а через 8,06 доби - стала 25 Бк.).

Іонізуючі випромінювання **характеризують** за ушкодженням (іонізація) і проникаючою здатністю в зовнішньому середовищі і в біологічних тканинах. **WR - радіаційний зважуючий фактор** - коефіцієнт, який відображає відносну біологічну ефективність різних видів іонізуючих випромінювань.

α -випромінювання-(WR= 20) -ядра гелію, випускаються, наприклад, при радіоактивному розпаді полонію-214. Велика маса частинок має при проникненні в тканини високу іонізуючу активність, але величина пробігу масивних частинок невелика - всього 10 см. Проникаюча здатність - мкм. При енергії випромінювання 4МеВ - довжина пробігу в повітрі - 2,5 см, у біологічній тканині - 31 см.

Нейтрони - WR= 2 - 10.

β -випромінювання - (WR= 1 - 5) – корпускулярне електронне (чи позитронне). Маса електрона = 1/1840 маси протона. При середній енергії спектру - величина пробігу частинок 10 м. Проникаюча здатність - мм. При енергії випромінювання 4 МеВ - у повітрі пробіг частинок - 17,8 м, у воді - 2,6 см.

γ -випромінювання -(WR= 1) – короткохвильове електромагнітне (фотонне), виникає при розпаді радіоактивних ядер, переході ядер із збудженого стану в основний, при анігіляції електронно-позитронних пар тощо Пробіг 500 - 600 м (в повітрі). Проникаюча здатність - пронизує організм наскрізь.

Радіоактивність не залежить від маси речовини. Так, наприклад, при активності в 1 кюрі маса радію складає 1 грам, урану - 570 кг, плутонію - 16 грам, кобальту - 60 міліграм, а радіоактивного натрію лише десяти мільйонні частки грама. Тому кількість радіонукліда не говорить про ступінь його небезпеки, орієнтиром служать свідчення відповідних приладів.

2.2. Дозиметрія іонізуючих випромінювань

Зовнішнє опромінення - опромінення об'єкта (наприклад, тіла людини) від джерел іонізуючих випромінювань, які знаходяться поза цим об'єктом.

Внутрішнє опромінення - опромінювання тіла людини та окремих її органів і тканин від джерел іонізуючих випромінювань, що знаходяться в самому тілі.

ДОЗА – це ***реалізація енергії іонізуючого випромінювання в матеріалі - Kinetic energy released into material = KERМ, виражена у греях.*** Це відношення суми кінетичних енергій всіх заряджених частинок, утворених під впливом іонізуючого випромінювання в елементарному об'ємі речовини, до маси речовини в цьому об'ємі. Іншими словами – доза – це кількісна міра поглиненої енергії.

Реалізація кінетичної енергії ІВ в повітрі - **Експозиційна доза** - це відношення приросту сумарного заряду одного знаку, утворених в елементарному об'ємі повітря, до його маси.

$$X = \nabla Q / \nabla m.$$

Експозиційній дозі відповідає $2,08 \cdot 10^9$ пар іонів. *Рентген* є позасистемною одиницею, при якій сполучена корпускулярна емісія в 1 см^3 сухого атмосферного повітря робить іони, що несуть заряд у 1 електростатичну одиницю кожного знака.

Реалізація кінетичної енергії ІВ в твердій речовині - **Поглинена доза** - це відношення приросту середньої енергії, переданої випромінюванням речовині

(твердого тіла) в елементарному об'ємі, до маси m . Одиниця вимірювання поглиненої дози – Рад. $1 \text{ рад} = \text{ерг} / \text{г}$.

$\boxed{D_T = \nabla E / \nabla m}$ Системна одиниця *Грей* (Гр).
Грей - 1дж/кг; Гр = 100 рад = 100 ерг / г.

Реалізація енергії ІВ в біологічній тканині - Еквівалентна доза - добуток поглиненої дози на середній коефіцієнт якості в даній точці тканини (біологічний об'єкт).

Доза еквівалентна $\boxed{HT = D_T \cdot WR}$ (отримання поглиненої дози в певній точці окремого органа або тканини).

Одиниця виміру - бер - біологічний еквівалент рентгену - доза поглиненої енергії будь-якого виду випромінювання біологічний ефект від якого буде відповідати дії рентгенівського і гамма-випромінювання. Системна одиниця - Зіверт - це відношення поглиненої дози на коефіцієнт якості (Q). $1 \text{Зв} = 1 \text{Гр} : Q$.

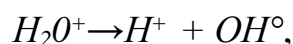
Реалізація енергії ІВ в біологічному об'єкті (в цілому організмі) - **Ефективна доза** - сума отриманих еквівалентних доз цілісним організмом. Доза ефективна $E = \sum(HT \cdot WT)$. Сума отриманих еквівалентних доз в окремих органах і тканинах помножені на відповідний тканинний зважуючий фактор.

Тканинний зважуючий фактор - коефіцієнт, який відбиває відносний стохастичний ризик опромінення окремої тканини. WT: гонади - 0,20; кістковий мозок (червоний) - 0,12 (товстий кишечник, легені, шлунок); сечовий міхур - 0,05 (молочна залоза, печінка, стравохід, щитовидна залоза, інші органи), шкіра та кістки - 0,01.

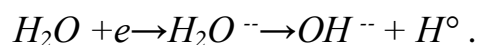
2.3. Дія ІВ на організм людини

Радіаційна загроза при роботі з джерелами іонізуючих випромінювань полягає в тому, що зовнішнє та внутрішнє опромінення організму справляє як *прямий*, так і *опосередкований* вплив на внутрішньоклітинні структури, особливостями якого є невідчутність для людини, наявність певного латентного періоду прояву біологічного ефекту та ефекту сумування поглинутих доз.

Демо пояснення вільно радикального окислення. Основну частину маси живого організму складає вода (у людини 75-68%). Тому при опроміненні живої тканини значна частина енергії іонізуючого випромінювання поглинається, відбувається її радіоліз, при якому молекули розщепляються на пару іонів: $H_2O \rightarrow H_2O^+ + e$. Позитивний іон води відразу ж розпадається з утворенням вільного радикала OH° :



а вибитий електрон e захоплюється іншою молекулою води, у результаті утворюється негативний іон води, який розпадається з утворенням радикала H° :



Якщо іони H^+ і $OH^{\cdot-}$ рекомбінуючи утворюють воду, то вільні радикали H°

(сильний відновник) і OH° (сильний окислювач) мають високу хімічну активність. За наявності кисню утворюються також вільні радикали гідроперекису OH_2° і перекису водню $H_2O_2^\circ$, які також є сильними окислювачами.

Вільні радикали води H° , OH° , HO_2° , $H_2O_2^\circ$, що утворюються в процесі радіолізу води, маючи високу хімічну активність, вступають у хімічні реакції з молекулами білка, ферментів і інших структурних елементів біологічної тканини, що призводить до зміни біохімічних процесів в організмі. У результаті порушуються обмінні процеси, пригнічується активність ферментних систем, сповільнюється і припиняється ріст тканин, виникають нові хімічні сполуки, не властиві організму – токсини. Порушується життєдіяльність окремих функцій або систем і організму в цілому. Це призводить до незворотних процесів в організмі людини. Змінюється склад найважливіших тканин живого організму (зокрема, крові, кісткового і спинного мозку), починається переродження клітин.

Механізми пошкодження клітин і тканин при впливі іонізуючих випромінювань. У 1898 році Анрі Беккерель протягом шести годин носив в кишеньковому жилеті пробірку з радієм, яку подарувала йому Марія Склодовська-Кюрі і через деякий час на його тілі там, де зберігалася пробірка з радієм утворився опік. Так вперше було виявлено особливу властивість радіо впливати на живу тканину. Це поклало початок нової галузі науки - радіаційної біології.

Поступаючи в тіло живого організму, енергія випромінювання змінює біологічні і фізіологічні процеси, що протікають в ньому, порушує обмін речовин. Вплив іонізуючих випромінювань на біологічні об'єкти поділяють на п'ять видів:

1. Фізико-хімічний (викликає перерозподіл енергії за рахунок іонізації). Тривалість – 10^{-12} - 10^{-8} с.

2. Хімічне пошкодження клітин і тканин (утворення вільних радикалів, збуджених молекул і т.д.).

3. Біомолекулярні пошкодження (пошкодження білків, нуклеїнових кислот і т.д.). Тривалість - від мікросекунд до декількох годин.

4. Ранні біологічні ефекти (загибель клітин, органів, всього організму). Триває стадія від декількох годин до декількох тижнів.

5. Віддалені біологічні ефекти (виникнення пухлин, генетичні порушення, скорочення тривалості життя і т.д.). Триває роками, десятиліттями і навіть століттями.

Виділяють два шляхи ураження клітин іонізуючим випромінюванням: прямий і непрямий (зовнішній). Прямий шлях ураження клітини характеризується поглинанням енергії випромінювання молекулами (мішенями) клітин, і в першу чергу молекулами ДНК (дезоксирибонуклеїнової кислоти), що входять в структуру ядерних хромосом. При прямому впливі іонізуючих випромінювань відбуваються збудження молекул, їх іонізація, розрив хімічних зв'язків. Руйнуються ферменти і гормони і відповідно в організмі здійснюються фізико-хімічні зрушення. Відбуваються аберації (помилки) хромосом. Останні надриваються, розриваються на осколки або структурно перебудовуються. Тісна залежність між ступенем руйнування (аберацій) хромосом і летальним ефектом

опромінення свідчить про вирішальну роль ураження ядерного матеріалу в результаті променевого опромінення клітин.

Для більш повного з'ясування даного шляху ураження слід розглянути будову клітини. Вона складається з оболонки, ядра і ряду клітинних органел. Ядро відокремлене від цитоплазми мембраною. Воно містить ядро і хроматин. Останній являє собою певний набір ниткоподібних частинок - хромосом. Речовина хромосом складається з нуклеїнових кислот, які є хранителями спадкової інформації та спеціальних білків. Індивідуальна особливість кожного типу білка залежить від того, скільки амінокислот і які саме складають його ланцюг.

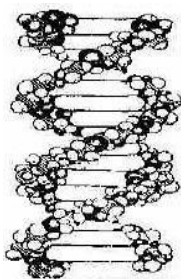


Рис. 1. Ділянка молекули ДНК

При впливі великих доз випромінювання клітка виглядає під мікроскопом майже так само, як і при дії високої температури: порушується: цілісність її оболонки і складових частин цитоплазми, ядро ущільнюється, розривається, але може і розріджуватися. Клітини гинуть. При невеликих дозах випромінювання найбільш небезпечним є пошкодження ядерних ДНК, у яких закодована структура білків. Пошкодження ДНК дає поштовх для пошкодження генетичного коду.

Непрямий вплив іонізуючого випромінювання здійснюється проявою в хімічних реакціях, що відбуваються в результаті розкладання або дисоціації води. Оскільки організм людини складається на 85-90% з води, цей шлях ураження є важливим у формуванні наслідків радіаційних уражень.

Клітини при впливі не смертельної для них дози здатні до репарації, тобто відновлення. Не всі пошкодження ДНК рівнозначні за наслідками, радіаційного впливу. Відновлення одиночних розривів ниток ДНК відбувається досить ефективно. У клітинах ссавців швидкість репарації така, що при нормальній температурі половина радіаційних одиночних розривів відновлюється приблизно протягом 15 хв, так що, ймовірно, поодинокі розриви ниток ДНК не є причиною загибелі клітин на відміну від подвійних розривів ниток і пошкоджень підстав.

Репарація ДНК - основа нормального функціонування клітини. Встановлено, що вже при дозі 1 Гр в кожній клітині людини пошкоджується 5000 підстав молекул ДНК, виникає 1000 одиночних і 10-100 подвійних розривів. Розрізняють три види репарацій:

1. Безпомилкові репарації, засновані на видаленні ушкодженої ділянки ДНК і заміні його новим, що призводить до відновлення нормальної функції ДНК;

2. Помилкові репарації, що призводять до втрати або зміни частини генетичного коду;

3. Неповні репарації, при яких безперервність ниток ДНК не відновлюється. Два останні види репарацій призводять до виникнення мутацій тобто видозмін в клітинах. Поява мутації означає, що клітина містить генетичний матеріал, відмінний від генетичного матеріалу, що міститься у вихідних (нормальних) клітинах. Мутації можуть посилюватися, зменшуватися або якісно змінювати ознаку, яка визначає геном. Ген - одиниця спадкового матеріалу, відповідальна за формування якого-небудь елементарної ознаки (фермент), зазвичай представляє собою частину молекули ДНК.

Наслідки виникнення мутацій не такі великі в соматичних (нестатевих) клітинах організму на відміну від мутацій в статевих клітинах. Мутація в соматичній клітині може привести до порушення функції або навіть загибелі цієї клітини або її нащадків. Але оскільки кожен орган складається з багатьох мільйонів клітин, вплив однієї або кількох мутацій на життєдіяльність всього організму не буде значним. Однак соматичні мутації згодом можуть стати причиною ракових захворювань або передчасного старіння організму.

Мутації, що відбуваються в статевих клітинах, можуть надати згубну дію на потомство: ведуть до загибелі потомства або викликають появу потомства з серйозними аномаліями.

Якщо великі дози опромінення призводять до припинення всіх обмінних процесів в клітці і навіть до руйнування клітини, тобто її фактичної загибелі, то при опроміненні невеликими дозами часто відбувається придушення здатності клітин ділитися, що називається репродуктивною загибеллю. Клітка, що втратила здатність ділитися, не завжди має ознаки ушкоджень, вона може ще довго жити і після опромінення. В даний час вважається, що більшість гострих і віддалених наслідків опроміненнь організму - результат репродуктивної загибелі клітин, яка проявляється при «спробі» таких клітин розділитися.

Відповідно до убування ступеня радіочувствительности клітини організму можна розташувати в такій послідовності:

1. Висока чутливість до радіоактивного випромінювання: лімфоцити (білі кров'яні тільця), кровотворні клітини кісткового мозку, зародкові клітини сім'яників і яєчників, клітини епітелію тонкого кишечника;

2. Середня чутливість: клітини зародкового шару шкіри і слизових оболонок, клітини сальних залоз, клітини волосяних фолікулів, клітини потових залоз, клітини епітелію кришталика, хрящові клітини, клітини судин;

3. Досить висока стійкість до випромінювань: клітини печінки, нервові клітини, м'язові клітини, клітини сполучної тканини, кісткові клітки.

Кожна клітина містить молекулу ДНК, яка несе інформацію, потрібну для правильного утворення нових клітин. Радіаційне опромінення може вбити клітини або змінити інформацію в ДНК так, що з часом в організмі почнуть з'являтися дефектні клітини. Зміна генетичного коду клітини організму називається *мутацією*. Внаслідок пошкодження в результаті впливу іонізуючого випромінювання ядерних структур виникають генетичні ураження (мутації у клітинах статевих органів), що призводить до спадкових захворювань. Велике значення мають також віддалені

наслідки мутацій у соматичних клітинах організму, які можуть викликати захворювання на рак та інші злякисні новоутворення.

Отже, до основних видів променевого уражень відносять:

- *генетичні ураження* (домінантні або рецесивні генні мутації, хромосомні та хроматидні аберації, що передаються нащадкам через статеві клітини);

- *сомато-стохастичні ураження* (скорочення тривалості життя людини та її нащадків; онкогенез – злякисні новоутворення в різних органах та лейкоз – рак крові; тератогенний вплив – вроджені аномалії розвитку плода);

- *соматичні ураження* або детерміністичні (гостра та хронічна променева хвороба, опіки, катаракта; гострий трахеоларінгобронхіт; гіперплазія щитовидної залози; променевий дерматит); детерміністичні ураження виникають тільки при перевищенні дозових лімітів.

Гостра променева хвороба (ГПХ). Виникає при отриманні дози опромінення від 1 до 10 Зв (кістково-мозкова форма), 10 - 20 Зв (кишкова форма), 20 -50 Зв (токсемічна форма), понад 50 Зв (церебральна).

Хронічна променева хвороба. Пригнічення кровотворення у кістковому мозку. ХПХ розвивається при отриманні на протязі років наступних доз: 2 – 3 Зв.

Катаракта. Помутніння кришталіка викликає доза 0,5 - 5 Зв (50 - 500 бер).

Опромінення всього організму людини дозою від 1 до 10 Зв призводить до протікання у нього типової форми гострої променевої хвороби. Розрізняють чотири ступені тяжкості хвороби: легка (I) ступінь - при опроміненні дозою 1-2 Зв; середня (II) ступінь - доза опромінення 2-4 Зв; важка (III) ступінь - доза 4-6 Зв; вкрай важка (IV) ступінь - доза 6-10 Зв і більше. Доза, що викликає загибель 50% опромінених людей протягом 30 днів після опромінення, а то й прийнято відповідні медичні заходи, становить 3-5 Зв.

У типовій формі променевої хвороби розрізняють чотири періоди:

1. Період первинної реакції - триває від декількох годин до декількох діб, в залежності від тяжкості ураження.

2. Період уявного благополуччя (прихований період). Він триває 2-5 тижнів. Причому чим більше була поглинена доза, тим коротше прихований період і при досить великих дозах він взагалі може бути відсутнім. В цей час порушення в організмі наростають: спустошується кістковий мозок, розвиваються зміни в кишечнику, шкірі, випадає волосся, але загальний стан залишається задовільним.

3. Період розпаду хвороби - розлад функцій кишечника, порушення проникності судин, що супроводжується кровотечами і крововиливами в шкірні покриви і слизові оболонки; глибоке ураження кровотворної та імунної систем; розвиток інфекційних ускладнень, які можуть призвести до загибелі організму.

4. Період відновлення - при успішному результаті починається на другому – п'ятому місяці після опромінення з нормалізації кровотворення, поступового зменшення та припинення кровоточивості, зростання волосся, поліпшення загального стану і відновлення рухової активності та апетиту.

При променевої хвороби I (легкої) ступеня первинна реакція, якщо вона розвивається, стихає в день впливу. Прихований період триває 30-40 діб. У період розпаду (на п'ятому-сьомому тижні) зміни периферичної крові обмежуються

зниженням числа лейкоцитів, людина відчуває загальну слабкість. Одужання, як правило, настає без лікування.

При II (середнього) ступеня променевої хвороби первинна реакція триває до 24 год. Спостерігаються дво-, триразова блювота, загальне нездужання, іноді незначне підвищення температури. Прихований період триває 16-28 діб. У період розпалу значно знижується вміст лейкоцитів в крові, виражені загальні клінічні прояви: інфекційні ускладнення, кровоточивість, загальне нездужання. Хворі потребують спеціалізованої медичної допомоги.

При III (важкого) ступеня променевої хвороби первинна реакція триває до двох діб і супроводжується багаторазовими блювотами, нездужанням, значним підвищенням температури, можливо почервоніння шкіри і слизових оболонок. Прихований період триває 8-17 діб. Однак вже до кінця першого тижня можливе виникнення набрякості, почервоніння і виразки слизової оболонки рота і горла, значна зміна складу крові, лихоманка, тяжкі інфекційні ускладнення. Смертельні результати можливі, починаючи з третього тижня. Хворі потребують своєчасного спеціалізованого лікування.

IV (українська важка) ступінь променевої хвороби в залежності від дози опромінення проявляється в різних клінічних формах.

У діапазоні доз 6-10 Зв розвивається променева хвороба з яскраво вираженим кісткомозковим (кровотворним) синдромом, але в клінічній картині значне місце займає також ураження шлунково-кишкового тракту. Первинна реакція триває протягом трьох-чотирьох діб. Можливі загальне почервоніння шкіри, рідкий стілець. На 8-12-у добу можуть виявлятися кишкові порушення. Надалі - типова клініка променевої хвороби тяжкого ступеня. Смертельні результати настають з кінця другого тижня. Одужання невеликої частини уражених можливо лише при лікуванні в умовах спеціалізованого стаціонару.

2.4. Нормування та моніторинг ІВ.

Допустимі рівні іонізуючого випромінювання регламентуються „Нормами радіаційної безпеки України НРБУ- 97”, якій є основним документом, що встановлює радіаційно-гігієнічні регламенти для забезпечення прийнятих рівнів опромінення як для окремої людини, так і суспільства взагалі. НРБУ-97 поширюються на ситуації опромінення людини джерелами ІВ.

Згідно з цим нормативним документом *опромінюванні особи поділяються на наступні категорії:*

А — персонал — особи, котрі постійно або тимчасово працюють з джерелами іонізуючого випромінювання;

Б — обмежена частина населення — особи, що не працюють безпосередньо з джерелами випромінювань, але за умовами проживання або розташування робочих місць можуть підлягати опроміненню;

В — населення області, країни.

НРБУ-97 включають деякі регламентовані величини: ліміт дози, похідні рівні, контрольні рівні, рекомендовані рівні та ін.

Для контролю за опроміненням людини найбільш значимою є ліміт ефективної дози опромінення за рік ($\text{мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$). Також встановлюють ліміт річної еквівалентної дози окремих органів і тканин (табл. 2).

Таблиця 2

Ліміти дози опромінювання ($\text{мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$)

Ліміти доз опромінення	Категорія осіб, які зазнають опромінювання		
	А	Б	В
LD_E (ліміт ефективної дози)	20 *	2	1
Ліміти еквівалентної дози зовнішнього опромінювання:			
- LD_{lens} (для кришталика ока)	150	15	15
- LD_{skin} (для шкіри)	500	50	50
- LD_{extrim} (для кистей та стіп)	500	50	-

*- в середньому за будь-які послідовні 5 років, але не більше 50 мЗв за окремий рік.

Радіаційний контроль — це контроль за забезпеченням радіаційної безпеки, виконанням вимог щодо санітарних норм праці з радіонуклідами, а також отримання інформації, про опромінення медичного персоналу та населення. Розрізняють 4 види радіаційного контролю: дозиметричний, радіометричний, індивідуально-дозиметричний, спектрометричний.

Відповідно до класифікації основних видів радіаційного контролю, апаратуру, що використовують для його проведення, поділяють на наступні групи:

1. Дозиметричні прилади, що визначають потужність дози (рівень радіації).
2. Радіометричні прилади, які визначають рівень забруднення поверхонь різних предметів.
3. Індивідуальні та мініатюрні портативні прилади, що призначені для проведення індивідуального контролю дози опромінення за певний проміжок часу.
4. Спектрометричні установки, які — встановлюють спектр (склад) радіонуклідів у будь-якому забрудненому об'єкті.

Оцінка радіаційного стану здійснюється за допомогою приладів, принцип дії яких базується на наступних методах:

- іонізуючих (вимірювання рівня іонізації випромінювання);
- сцинтиляційних (вимірювання інтенсивності світлових спалахів, які виникають у речовинах, що люмінесціюють при проходженні через них іонізуючих випромінювань);
- фотографічних (вимірювання густини почорніння фотопластинки під дією іонізуючого випромінювання).

Визначення рівнів радіації, тобто потужності поглинутих доз радіації у повітрі (потужність експозиційних доз) проводять за допомогою рентгенометрів та мікро-рентгенометрів (МРМ-1, МРМ-2, ДРГ-3-01, СРП-68-01, СРП-88Р та ін.).

Визначення індивідуальних доз опромінення персоналу за допомогою індивідуальних дозиметрів – конденсаторних (КІД-1, КІД-2, Д-2РЕ, ДП-24),

термолюмінесцентних (КДТ-02), хімічних (ДП-70), фотографічних (ІФК-2,3, ІФКУ).

За Державними гігієнічними нормативами “Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)”:

5 – питома активність природних радіонуклідів для будівельних матеріалів та мінеральної сировини, яка повинна становити не вище 370 Бк/кг (I клас);

від 370 до 740 Бк/кг (II клас);

від 720 до 1350 Бк/кг (III клас);

6 – потужність поглиненої в повітрі дози повинна становити:

6.1 – для об’єктів, які проектується, будуються або реконструюються для експлуатації з постійним перебуванням людей (житлові, дитячі заклади, санаторно-курортні та лікувально-оздоровчі заклади) – 30 мкР/год;

6.2 – для об’єктів, які експлуатуються для постійного перебування людей – 50 мкР/годину;

6.3 – для дитячих закладів, санаторно-курортних та лікувально-оздоровчих закладів, незалежно від того, чи вони будуються (реконструюються), чи експлуатуються – 30 мкР/год;

7 – питома активність природних радіонуклідів у мінеральних добривах – 1,9 кБк/кг.

8 – активність природних радіонуклідів (радій, торій, калій) у глиняному, порцелярно-фаянсовому та скляному посуді побутового призначення – не більше 370 Бк/кг;

9 – питома активність природних радіонуклідів у мінеральних барвниках – 1400 Бк/кг.

2.5. Типові методи та засоби захисту персоналу від іонізуючого випромінювання у виробничих умовах

Радіаційна безпека являє собою комплекс заходів, що спрямовані на обмеження опромінення населення та запобігання виникнення як ранніх, так і віддалених наслідків опромінення.

Головними принципами протирадіаційного захисту є:

-захист кількістю – розрахунок допустимої активності джерела випромінювання;

-захист відстанню – розрахунок допустимої відстані до джерела випромінювання;

-захист часом – розрахунок допустимого часу роботи із джерелом іонізуючого випромінювання;

-захист за допомогою екранування – розрахунок необхідної товщини захисного екрану;

-хімічні методи захисту – використання спеціальних фармацевтичних препаратів і сполук: радіопротекторів та радіоінгібіторів;

-захист культурою праці – дотримування правил техніки безпеки та особистої гігієни.

Правила роботи з закритими радіонуклідними джерелами і пристроями, що генерують іонізуюче випромінювання, відображені в Основних санітарних правилах (ОСП-72/87, ОСПУ-2001, ОСПУ-2005).

За даними правилами радіонукліди, як потенційні джерела внутрішнього опромінення людини, розподіляються за ступенем радіаційної безпеки на п'ять груп:

Група А – радіонукліди особливо високо радіотоксичні. Їх безпечна активність на робочому місці не має перевищувати 3,7 МБк (0,1 мкКу): ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{239}Pu та інші;

Група Б – радіонукліди з високою радіотоксичністю. Їх безпечна активність на робочому місці не має перевищувати 37 МБк (1 мкКу): ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{124}Sb , $^{125, 126, 129, 131}\text{I}$, ^{210}Bi та інші;

Група В – радіонукліди середньої радіотоксичності. Їх безпечна активність на робочому місці не має перевищувати 370 МБк (10 мкКу): $^{22, 24}\text{Na}$, ^{32}P , ^{34}S , ^{42}K , $^{45, 47}\text{Ca}$, $^{57, 58}\text{Co}$ та інші;

Група Г – радіонукліди малої радіотоксичності. Їх безпечна активність на робочому місці не має перевищувати 3,7 ГБк (100 мкКу): ^{14}C , ^{18}F , ^{38}Cl , ^{55}Fe та інші;

Група Д – найменш радіотоксичний тритій ^3H з безпечною активністю на робочому місці 37 ГБк (1000 мкКу).

Взалежності від групи радіотоксичності ізоотопів та їх допустимої активності на робочому місці, роботи з відкритими ізоотопами поділяються на три класи (I, II, III), така ж градація за класами йде при призначенні колективних та індивідуальних профілактичних заходів. Наприклад, ЗІЗ за Ім класом повинні мати ізолюючі костюми (шлангові, з автономним джерелом повітряного підживлення), а за ІІІм – спецодяг короткочасного та повсякденного призначення.

До організацій і установ, в яких постійно ведуться роботи з радіоактивними речовинами, підвищені вимоги з охорони праці. Керівництво цих організацій зобов'язане розробити детальні інструкції, в яких викладено порядок проведення робіт, облік збереження та використання джерел випромінювання, збір та знешкодження відходів, порядок проведення дозиметричного контролю.

Радіоактивні речовини повинні знаходитися в спеціальних приміщеннях. По кожному з них необхідно вести суровий облік надходжень і витрат, щоб виключити можливість їх безконтрольного використання. Радіоактивні речовини перевозять у спеціальних контейнерах і спеціально обладнаним транспортом.

Заклучна частина

Негативні впливи на здоров'я людини під час тривалої роботи з джерелами іонізуючого випромінювання - це об'єктивна реальність, в основі якої лежать багато причин. Тому додержання правил безпеки при роботі з ЕМВ - головний напрямок дії в галузі охорони праці.