**1. Іонізуюче опромінення та його види.**

Перш ніж розглядати дію іонізуючого опромінення, згадаємо передумови виникнення цього явища. Розпочнемо з будови атому. Атом складається з ядра та електроної оболонки. Ядро в свою чергу складається з двох типів часток: це позитивно заряджені протони та нейтрони, які не мають заряду. Кількість протонів завжди дорівнює кількості електронів - негативно заряджених часток. Тому атом завжди знаходиться у незбудженому стані, тобто є нейтральним. Кількість нейтронів може і не дорівнювати кількості протонів. Елементи, які мають однакову кількість протонів, але різну кількість нейтронів називаються ізотопами. Ядра, які мають велику кількість протонів дуже нестабільні, тому від ядра може відриватися компактна частина, яка складається з двох протонів та двох нейтронів. Цю частинку назвали - α-часткою. Від збудженого атому відривається пара електронів - це β-частки. Енергія, яка виділяється при відриві електронів випромінується у вигляді квантів, які формують - γ-частки. Маса та розміри часток різна, тому і проникненість різна у всіх трьох видів випромінювання. Найбільша вона у γ-часток, найменша - у -α-часток. Сила ж дії навпаки найбільша у -α-часток, а найменша - у γ -часток(40).

Розглянемо радіоктивний розпад на прикладі урану-238 (див. Табл.1). Період напіврозпаду показує, що за цей проміжок часу розпадається близько половини радіонуклидів даного типу. Наприклад, за час, який дорівнює одному періоду напіврозпаду, залишуються незміними 50 із 100 атомів, ще за один період - 25 із 50 і так далі по експотенціальному закону(26).

ТАБЛИЦЯ 1

**Радіоактивний розпад урану-238.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Вид** |  | **Нуклид** | **Період** |
| **Випромінування** |  |  | **Напіврозпаду** |
| α |  | Уран-238 | 4,47 млрд.років |
| β | ↓ | Торій-234 | 24,1 доби |
| β | ↓ | Протактиний-234 | 1,17 хвилин |
| α | ↓ | Уран-234 | 245 тис.років |
| α | ↓ | Торій-230 | 8 тис.років |
| α | ↓ | Радій-226 | 1,6 тис.років |
| α | ↓ | Радон-222 | 3,823 доби |
| α | ↓ | Полоній-218 | 3,05 хвилини |
| β | ↓ | Свинець-214 | 26,8 хвилини |
| α | ↓ | Вісмут-214 | 19,7 хвилини |
| β | ↓ | Свинець-210 | 22,3 роки |
| β | ↓ | Вісмут-210 | 5,01 доби |
| α | ↓ | Полоній-210 | 138,4 доби |
|  |  | Свинець-206 | Стабільний |

Далі ми будемо користуватись деякими термінами радіобіології, тому згадаємо їх.

Поглинута доза - кількість енергії іонізуючого опромінення, яку поглинуло опромінене тіло (тканини організму), в перерахунку на одиницю маси. Поглинена доза в системі СІ вимірюється в греях (Гр). 1 Гр = 1 Дж/кг. Ще цю дозу вимірюють в радах (рад, rad). 1 рад = 0,01 Гр.

Еквівалентна доза - це поглинута доза, помножена на коефіцієнт, який враховує різну чутливість окремих тканин до опромінення. Як відомо різні тканини та органи мають різну чутливість до опромінення. Приведемо деякі коефіцієнти:

0,12 - червоний кістковий мозок;

0,03 - кісткова тканина;

0,03 - щіткоподібна залоза;

0,15 - молочна залоза;

0,12 - легені;

0,25 - статеві органи;

0,30 - інші тканини.

Цю дозу вимірюють в системі СІ в зівертах (Зв, Sv). 1Зв = 1 Дж/кг. Цю ж дозу вимірюють в берах (бер, rem). 1бер = 0,01 Зв.

Додавши всі дози, отримані групою людей, одержимо колективну ефективну, еквівалентну дозу, яку вимірюють в людино-зівертах (люд-Зв).

Так як багато радіонуклідів розпадається дуже повільно і опромінювання організму продовжується, то багато поколінь людей отримають колективну ефективну еквівалентну дозу від певного джерела іонізуючого опромінення. Таку дозу назвали повна (очікувана) колективна ефективна еквівалентна доза (28).

Взагалі розрізняють два види опромінення: **зовнішнє** - опромінення без проникнення всередину організму, та **внутрішнє**, яке відбувається в зв’язку з тим, що радіонукліди потрапивши в організм (з повітрям, їжею, водою або через пошкодження шкіри) фіксуються в ньому і опромінюють прилеглі тканини та органи - цей вид опромінення самий тяжкий (29).

**2. Механізм та біологічні наслідки дії іонізуючого опромінення на організм людини.**

Здатність руйнувати хімічні речовини і викликати ланцюгові реакції мають рентгенівські промені та γ-промені. Такою ж активністю володіють α та β-промені, але з меншою проникністю. Рентгенівські промені та іонізуюче опромінення можуть бути об’єднані в одну назву - іонізуюча радіація, тобто здатність іонізувати своїми променями. Цю здатність і було покладено в механізм визначення 1 рентгену –це така кількість опромінення, при поглинені якої повітрям об’ємом 1см3 при 0 С° та 760 мм рт.ст. утворюється 2,08 \* 109 пар іонів(12).

Взагалі дію іонізуючої радіації на організм людини можна поділити на декілька етапів.

1. **Опромінення.** α та β- частки проникають до організму і втрачають свою енергію внаслідок енергетичних взаємодій з електронами, близь яких вони проходять. γ - проміні та рентгенівські передають свою енергію кількама шляхами, але всі вони зводяться до електричних взаємодій.
2. **Електричні взаємодії**. При збільшенні енергії, яку атому передали опромінюючи частки, електрон відривається від атому та стає негативно зарядженим, а атом набуває позитивного заряду. Ці перетворення мають назву процес іонізації. Відірваний електрон може і далі іонізувати інші атоми.
3. **Фізико-хімічні перетворення**. Вільний електрон та іонізований атом довго у такому стані знаходитись не можуть і вступають в ланцюг складних реакцій, в результаті яких утворюються нові молекули, а також вільні радикали, які відрізняються великою реакційною здатністю.
4. **Хімічні перетворення**. Вільні радикали взаємодіють один з одним та іншими молекулами і, через ланцюг певних перетворень, можуть

викликати хімічну модифікацію важливих у біологічному відношенні молекул, що необхідні для нормального функціонування клітини.

1. **Біологічні перетворення**. Це цілком біохімічні перетворення, що можуть призвести до загибелі або до утворення ракових пухлин.

Перший, другий, третій, четвертий етапи проходять за дуже малий проміжок часу - долі секунди. Тривалість же п’ятого періоду від декількох секунд до десятиріч(11).

Так як людський організм складається здебільшого з води, то розглянемо як опромінення впливає на воду. Поглинувши квант енергії вода виштовхує електрон :

Н2О --- Н2О+  + е.

Інша молекула води приймає електрон :

Н2О --- Н2О --.

Потім ці іонізовані молекули води починають розпадатись з утворенням радикалів:

Н2О ----- Н+ + ОН.

Н2О+ --- Н + ОН--.

В свою чергу радикали зіткнувшись утворюють небезпечні для організму речовини:

Н + О2 --- О2Н.

О2Н + О2Н --- О2 + Н2О2.

Зазначимо, що інактивація ферментів, яку викликають утворені речовини, досить вражаюча: О2Н = 47%, ОН = 30%, Н2О2 = 23%.

Як видно з рівнянь, для отримання самого токсичного радикалу потрібен кисень:

Н + О2 --- О2Н

Тобто, чим менше кількість кисню в тканинах, тим більше їх стійкість до опромінення (підрахували, що лише 1 молекула на 10 млн. буде іонізована при нестачі кисню).

Наприклад, при опроміненні пацюків у кисні дозою в 500 рентген гинуть усі пацюки. Якщо створити нестачу кисню, то при 500 рентген виживають усі, а загибель настає тільки при 900 рентген (9).

Л.Х.Ейдус стверджує, що уся специфіка дії іонізуючого опромінення на організм може бути зведена до фізіологічних та біохімічних процесів. По-перше, це міграція енергії по макромолекулі і між ними по мікроструктурі об’єкта (енергія іде по специфічним білковим шляхам і наносить удар по слабким місцям). По-друге, макромолекули (білкової або іншої структури) здатні консервувати енергію в деяких довгоживучих (годинами, добами) станах з порушеною електронною структурою. Звідси і явище післядії - опромінення об’єкту після припинення дії іонізуючої радіації - ця особливість визначає променеву хворобу у вищих організмів (12).

Взагалі, опромінення великими дозами радіації - це хімічне отруєння організму, за рахунок утворених під дією вільних радикалів нових активних хімічних речовин (28).

Наслідками дії іонізуючого опромінення почали цікавитись після відкриття радіоактивності. В 1896 році російський вчений І.Р.Тарханов відмітив, що після опромінення жаби, довшає час кислотного рефлексу за Тюрком. В 1903 році М.Н.Жуковський опромінював солями радію оголені великі півкулі мозку у собак і зареєстрував спочатку короткочасну збудливість, а потім гальмування кори мозку (10). В 1953 році Блум і Зеркл показали велику чутливість ядра до опромінення. Після проходження 10 протонів в ядрі відмічалися такі ж зміни, які спостерігалися в цитоплазмі після проходження крізь неї 1000 протонів (26). Еванс, Гудрич, Слайтер показали, що затримання дихання збільшує резистентність організму до радіоактивного опромінення (12).

М.Н.Мейсель в 1955 році стверджував, що нема ні клітин, ні тканин, ні організму не чутливого до радіоактивного опромінення, але ступінь чутливості, вразливості та регенерації різняться. А.Д.Снежко у1957-58 рр. Показав, що після ураження спочатку іде процес відновлення нормальної функції центральної нервової системи, а тільки потім усіх інших систем. В 1959 році М.Н.Ліванов та Д.А.Бірюков відмітили зміни в трьох найважливіших ділянках центральної нервової системи: спінальний рівень, підкоркові утворення, кора головного мозку (11). В цьому ж році А.Пірі підкреслив вплив іонізуючої радіації на роботу ферментів, а Фриц-Ніглі відмітив, що чутливість клітин до іонізуючої радіації різна від тканини до тканини і в межах самої тканини, та залежить від стадії розвитку клітин. Як правило, найбільш чутливі клітини, які не пройшли диференціацію (14). Мілонов П.А. знайшов, що гіпертермія більше впливає на негативні наслідки ніж гіпотермія. Шехтман Я.Л. звертав увагу, що на початкових етапах променевої хвороби звичайно спостерігається ураження клітинних елементів органів кровотворення епітелію кишечнику та ендотелію судин, де значну роль відіграє центральна нервова система, хоча первині зміни в ній можуть бути і незначними (29).

Радіонукліди здатні накопичуватись в організмі. Так радіоактивний натрій швидко виводиться з організму, а Р32 та 90 накопичується в кістковій тканині, чим порушує кровотворення та саму тканину. Радіоактивний іод дуже швидко займає місце в щитоподібній залозі, входить в будову іодмістящих гормонів та розноситься по всьому організму, а у самій залозі сприяє перетворенням, які ведуть до новоутворень (40).

Експериментально доведено, що летальна доза опромінення для людини становить 400 рентген, а доза, яка веде до клінічних наслідків - 200 рентген (9).

Можливі біологічні наслідки опромінення людей поділяють на соматичні та генетичні. Соматичні ефекти опромінення поділяються на стохастичні та нестохастичні (26).

До стохастичних соматичних ефектів належать пошкодження, імовірність виникнення та ступінь важкості яких зростають відповідно до збільшення дози опромінення, а для виникнення їснує дозовий поріг. До них відносять локальні не злоякісні пошкодження шкіри, злоякісні новоутворення індукованні опроміненням. Не стохастичні ефекти виникають при достатньо високих дозах опромінення.

Радіаційне опромінення це утворення гідроперекису та перекису водню. Також воно ініціює реакцію систем антиоксидантного захисту і систем нейрогуморальної регуляції. Всі ці процеси відповідають концепції радіаційного стресу (В.А.Барабой, 1993).

Важливу роль у процесах пошкодження при опроміненні відіграють продукти переокисного окислення ліпідів (ПОЛ), які порушують структурно-функціональну організацію біологічної мембрани (Б.Н.Тарусов,1962; Н.М.Емануель,1953; В.Е.Орел,1987 та інші.)(29).

Продукти ПОЛ є основним пошкоджуючим фактором впливу радіації на організм. У той же час ПОЛ може активуватися в організмі і в ряді інших процесів у нормі та патології. Відомо, що вільно радикальне окислення складає необхідну ланку таких життєво важливих процесів, як перенесеня електронів багатьма флавіновими ферментами, окислювальне фосфорилювання в мітохондріях, проведення нервово імпульсу і клітинний поділ. ПОЛ постійно відбувається в клітинних мембранах, змінює їхній ліпідний склад, а тим самим активність ліпідзалежних мембранно-звязаних ферментів, до яких належать майже всі основні ферменти організму (Ф.З.Меєрсон,1986)(14).

Надлишок продуктів ПОЛ активується в організмі й за багатьох інших умов. Наприклад, при гіпербаричній оксигенації , при авітамінозі Е, високих фізичних навантаженнях, гіпоксії і т. ін.(Б.Є.Мельник, М.С.Кахана, та інш.,1981). Відомо ряд ферментів які нейтралізують вільні радикали. Супероксидисмутаза дисмутує О – радикал з утворенням Н2О2, який у свою чергу з високою швидкістю руйнується каталазою. Органічні перекиси ліпідів, які утворюються під впливом ПОЛ у біомембранах, знешкоджується глютатіонпероксидазою, наступне відновлення глютатіону здійснюється глютатіонредуктазою (Ю.П.Козлов, 1973).

Лише ОН-радікал, найбільш короткоживучий з ініціаторів ПОЛ, не інактивується спеціальною ферментативною системою, а захист від нього забезпечується вмонтованими в мембрану альфатокоферолом (ліпідний шар). Менш істотна роль таких антиоксидантів як убіхінон, ретиналь.(О.М.Воскресенський,В.А.Тумаков,1982) (11).

При вивченні наслідків аварії на Чорнобильській атомній електростанції вчені прийшли до трьох основних висновків:

1. Механізм реалізації біологічних ефектів малих доз радіації низької інтенсивності може здійснюватися переважно непрямим шляхом. Основними пошкоджуючи ми агентами є продукти ПОЛ. Ефективними засобами захисту є метало-ферментні системи, антиоксиданти і фосфоліпіди мембранного комплексу. Основною мішенню є мембранні структури клітини.
2. Медико-біологічні ефекти малих доз радіації, які формуються зовнішнім та внутрішнім опроміненням організму за рахунок радіонуклідів , які випали внаслідок різних аварійних ситуацій, не пояснюються раніше вивченими і встановленими радіобіологічними залежностями “доза-час-ефект”. У зв’язку з цим спроби передбачення медико-біологічних наслідків аварії на Чорнобильській АЕС на основі використання розрахунків та математичних моделей, запозичених з інших аварійних ситуацій не обґрунтовані.
3. Ефекти що спостерігаються можуть значною мірою бути обумовлені характерною динамікою радіаційного впливу : спочатку короткочасна експозиція у великих дозах “ударних” потім триває опромінення в над фонових рівнях, яке включає істотну внутрішню компоненту дози котра формується високо біологічно активними випромінювачами. У цьому випадку “доопроміненя“ відбувається на фоні зниження антиоксидантних та компенсаторних можливостей організму.