

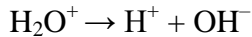
Лекція 2. Вплив радіації на живий організм

У результаті впливу іонізуючого випромінювання на організм людини в тканинах можуть відбуватися складні фізичні, хімічні і біологічні процеси.

Дію іонізуючого випромінювання на біологічні об'єкти можна розділити на кілька етапів, що відбуваються на різних рівнях. Початковий розвивається на атомарному рівні - іонізація і збудження. Час протікання цього процесу складає 10^{-16} - 10^{-14} с. Надалі в результаті прямої чи непрямої дії спостерігаються зміни в молекулярній структурі біологічного об'єкта, що опромінюється. Тривалість цього процесу складає 10^{-10} - 10^{-6} с. На цьому закінчується фізико-хімічний етап радіаційного впливу на живий організм і починається біологічний.

Первинним фізичним актом взаємодії іонізуючого випромінювання з біологічним об'єктом є іонізація. Саме через іонізацію відбувається передача енергії об'єкту.

Відомо, що дві третини загального складу тканини людини складають вода і вуглець. У результаті іонізації молекули води утворюють вільні радикали H^+ і OH^- за наступною схемою:



У присутності кисню утвориться також вільний радикал гідроперекису (H_2O^{\cdot}) і перекис водню (H_2O_2), що є сильними окислювачами.

Вільні радикали й окислювачі, що утворюються в процесі радіолізу води, володіють високою хімічною активністю і вступають у хімічні реакції з молекулами білків, ферментів і інших структурних елементів біологічної тканини, що приводить до зміни біологічних процесів в організмі. У результаті порушуються обмінні процеси, придушується активність ферментних систем, сповільнюється і припиняється ріст тканин, виникають нові хімічні сполуки, не властиві організму – токсини. Це приводить до порушень життєдіяльності окремих функцій чи систем організму в цілому. У залежності від величини поглиненої дози й індивідуальних особливостей організму, викликані зміни можуть бути оборотними чи необоротними.

Деякі радіоактивні речовини накопичуються в окремих внутрішніх органах. Наприклад, джерела альфа-випромінювання (радій, уран, плутоній), бета-випромінювання (стронцій і ітрій) і гамма-випромінювання (цирконій) відкладаються в кісткових тканинах. Усі ці речовини важко виводяться з організму.

При вивченні дії випромінювання на організм були визначені наступні особливості:

- висока ефективність поглиненої енергії. Малі кількості поглиненої енергії випромінювання можуть викликати глибокі біологічні зміни в організмі;
- наявність схованого прояву дії іонізуючого випромінювання. Цей період часто називають періодом уявного благополуччя. Тривалість його скорочується при опроміненні великими дозами;
- дія від малих доз може сумуватись чи накопичуватися. Цей ефект називається кумуляцією;
- випромінювання впливає не тільки на даний живий організм, але і на його потомство. Це так називаний генетичний ефект;
- різні органи живого організму мають свою чутливість до опромінення;
- не кожен організм у цілому однаково реагує на опромінення;
- опромінення залежить від частоти. Одноразове опромінення у великій дозі викликає більш глибокі наслідки, ніж порціонні.

Дія іонізуючого випромінювання на організм не відчутна людиною. Тому це небезпечно. Дозиметричні прилади є як би додатковим органом почуттів, призначеним для сприйняття іонізуючого випромінювання.

У результаті впливу іонізуючого випромінювання порушується нормальний плин біохімічних процесів і обмін в організмі.

Різні ферментні системи реагують на опромінення неоднозначно. Активність одних ферментів після опромінення зростає, інших - знижується, третіх - залишається незмінною.

Поглинена доза випромінювання, що викликає поразку окремих частин тіла, а потім смерть, перевищує смертельну поглинену дозу опромінення всього тіла. Смертельні поглинені

доза для всього тіла наступні: голова - 2000 рад, нижня частина живота - 5000 рад, грудна клітка - 10 000 рад.

Ступінь чутливості різних тканин до опромінення неоднакова. Якщо розглядати тканини органів у порядку зменшення їхньої чутливості до дії опромінювання, то одержимо наступну послідовність: лімфатична тканина, лімфатичні вузли, селезінка, кістковий мозок, зародкові клітки. Велика чутливість кровотворних органів до радіації лежить в основі визначення характеру променевої хвороби. При однократному опроміненні всього тіла людини поглиненою дозою 50 рад через день після опромінення може різко скоротитися число лімфоцитів, зменшиться також і кількість еритроцитів (червоних кров'яних тілець) через два тижні після опромінення.

Важливим фактором при впливі іонізуючого випромінювання на організм є час опромінення. Зі збільшенням потужності дози вражаюча дія випромінювання зростає. Чим більш дробове випромінювання за часом, тим менше його вражаюча дія.

Біологічна ефективність кожного виду іонізуючого випромінювання знаходиться в залежності від питомої іонізації. Так, наприклад, альфа-частинки з енергією 3 Мев утворюють 40 000 пар іонів на одному міліметрі шляху, бета-частинки з такою же енергією – до чотирьох пар іонів. Зовнішнє опромінення альфа- і бета-випромінюваннями менш небезпечно, тому що альфа- і бета-частинки мають невелику величину пробігу в тканині і не досягають кровотворних і інших органів.

Ступінь поразки організму залежить від розміру поверхні, що опромінюється. Зі зменшенням поверхні, що опромінюється, зменшується і біологічний ефект. Індивідуальні особливості організму людини виявляються лише при невеликих поглинених дозах.

Чим молодше людина, тим вище його чутливість до опромінення, особливо висока вона в дітей. Доросла людина у віці 25 років і більше найбільш стійка до опромінення.

Є ряд професій, де існує велика імовірність опромінення. При деяких надзвичайних обставинах (наприклад, вибух на АЕС) опроміненню може піддатися населення, що живе на визначених територіях. Деякі відомі речовини, здатні цілком захистити, частково захищають організм від випромінювання. До них відносяться, наприклад, азид і ціанід натрію, речовини утримуючі сульфогідридні групи і т.д. Вони входять до складу радіопротекторів.

Радіопротектори частково запобігають виникненню хімічно активних радикалів, що утворюються під впливом випромінювання. Механізми дії радіопротекторів різні. Одні з них вступають у хімічну реакцію з радіоактивними ізотопами, що попадають в організм, і нейтралізують їх, утворюючи нейтральні речовини, які легко виводяться з організму. Інші мають відмінний механізм. Одні радіопротектори діють протягом короткого проміжку часу, час дії інших більш тривалий. Існує кілька різновидів радіопротекторів: таблетки, порошки і розчини.

При попаданні радіоактивних речовин всередину організму, вражаючу дію роблять в основному альфа-джерела, а потім бета- і гама-джерела, тобто в зворотній зовнішньому опроміненню послідовності. Слід альфа-частинки, що має густину іонізації, руйнує слизову оболонку, що є слабким захистом внутрішніх органів у порівнянні з зовнішнім покривом.

Попадання твердих часток у дихальні органи залежить від ступеня дискретності часток. Частки розміром менше 0,1 мкм при вході разом з повітрям попадають у легені, а при видиху видаляються. У легенях залишається тільки невелика частина. Великі частки розміром більше 5 мкм майже усі затримуються носовою порожниною.

Ступінь небезпеки залежить також від швидкості виведення речовини з організму. Якщо радіонукліди, що потрапили усередину організму однотипні з елементами, що споживаються людиною, то вони не затримуються на тривалий час в організмі, а виділяються разом з ними (натрій, хлор, калій і інші).

Інертні радіоактивні гази (аргон, ксенон, криптон і інші) не є вхідними до складу тканини. Тому вони згодом цілком видаляються з організму.

З організму швидко виводяться радіоактивні речовини, що концентруються в м'яких тканинах і внутрішніх органах (цезій, молібден, рутеній, йод, телур). Повільно виводяться – добре фіксовані в кістках (стронцій, плутоній, барій, ітрій, цирконій, ніобій, лантаніди). Ці

елементи, хімічно зв'язані з кістковою тканиною, дуже важко виводяться з організму. З великого числа радіонуклідів найбільшу значимість як джерело опромінення населення представляють стронцій-90 і цезій-137.

Стронцій - 90. Період напіврозпаду цього радіоактивного елемента складає 29 років. При попаданні стронцію всередину його концентрація в крові вже через 15 хв. досягає значної величини, а в цілому цей процес завершується через 5 годин. Стронцій вибірково накопичується в основному в кістках і опроміненню піддаються кісткова тканина, кістковий мозок, кровотворна система. Унаслідок цього розвивається анемія, називана в народі "малокрів'ям". Дослідження показали, що радіоактивний стронцій може знаходитися й у кістках немовлят. Через плаценту він проходить у період всього періоду вагітності, причому в останній місяць перед народженням у кістках його накопичується стільки ж, скільки акумулювалося за всі попередні вісім місяців. Біологічний період напіввиведення стронцію з кістак складає понад 30 років. Прискорення виведення з організму стронцію є важкою задачею. Принаймні дотепер не знайдено високоефективних засобів для швидкого виведення цього радіоактивного елемента з організму.

Цезій - 137. Після стронцію-90 цезій-137 є самим небезпечним радіонуклідом для людини. Він добре накопичується рослинами, попадає в харчові продукти і швидко всмоктується в шлунково-кишковому тракті. Цезій-137 - довгоживучий радіонуклід, період його напіврозпаду складає 30 років. До 80% цезію відкладається в м'язовій тканині. Біологічні процеси ефективно впливають на цезій, тому на відміну від стронцію, біологічний період напіввиведення цезію в дорослих людей коливається від 50 до 200 доби, у дітей у віці 6 - 16 років від 46 до 57 доби, у немовлят - 10 доби. Причому близько 10% нукліда швидко виводяться з організму, інша частина - більш повільними темпами. Але в будь-якому випадку щорічний його зміст в організмі практично визначається надходженням нукліда з раціоном у даному році.

Найважливіші біологічні реакції організму людини на вплив іонізуючого випромінювання умовно розділені на дві групи. До **першої** відносяться гострі поразки, до **другої** - віддалені наслідки, що у свою чергу розділяються на соматичні (вплив на тіло і кістки) і генетичні ефекти.

Променева хвороба. У випадку однократного опромінення людини значною дозою радіації на короткий термін ефект від опромінення спостерігається вже в першу добу, а ступінь хвороби залежить від величини поглиненої дози.

При опроміненні всього організму людини дозою менше як 1 Зв, як правило, відзначаються лише легкі реакції організму, що виявляються в зрушеннях у формулі крові, зміні деяких вегетативних функцій.

При дозах опромінення більш 1 Зв розвивається гостра променева хвороба, тяжкість проходження якої залежить від дози опромінення. Перший ступінь променевої хвороби (легка) виникає при дозах 1-2 Зв, друга (середньої ваги) – при дозах 2-3 Зв, третя (важка) – при дозах 3-5 Зв і четверта (у край важка) – при дозах більше 5 Зв.

Дози однократного опромінення 5-6 Зв при відсутності медичної допомоги вважаються в 100 % випадків смертельними.

Інша форма гострої променевої хвороби виявляється у виді променевих опіків при опроміненні деякої невеликої ділянки тіла. У залежності від поглиненої дози іонізуючої радіації мають місце реакції 1-й ступеня (при дозі до 5 Зв), 2-й (до 8 Зв), 3-й (до 12 Зв) і 4-й ступінь (при дозі вище 12 Зв), що виявляються в різних формах: від випадання волосся, лущення і легкої пігментації шкіри (при 1-ої ступені опіку) до язвено-некротичних хвороб і утворення довгострокових незагойних трофічних виразок (при IV ступені променевої хвороби). При тривалому повторюваному зовнішнім чи внутрішнім опроміненні людини в малих, але перевищуючих допустимі величини, дозах можливий розвиток хронічної променевої хвороби.

Віддалені наслідки. До віддалених наслідків соматичного характеру відносяться різноманітні біологічні ефекти, серед яких найбільш істотними є лейкемія, злоякісні утворення, катаракта кристалика ока і скорочення тривалості життя.

Лейкемія – відносно рідке захворювання. Частота випадків виникнення лейкемії серед людей, які піддавалися впливу іонізуючої радіації, за даними ряду авторів, перевершує рівні, характерні для населення в цілому.

Більшість радіобіологів вважають, що імовірність виникнення лейкемії складає 1-2 випадків на рік на 1 млн. населення при опроміненні всієї популяції дозою 0,01 Зв.

Злоякісні утворення. Перші випадки розвитку злоякісних утворень від впливу іонізуючої радіації описані ще на початку ХХ сторіччя. Це були випадки раку шкіри кистей рук у працівників рентгенівських кабінетів. Надалі була виявлена можливість виникнення остеосарком при зміні ^{226}Ra в організмі в кількостях, що перевищують 0,5 мкКю. Свідчення про можливість розвитку злоякісних утворень у людини поки ще носять описовий характер, незважаючи на те, що в ряді експериментальних досліджень на тваринах були отримані деякі кількісні характеристики. Тому точно вказати мінімальні дози не можливо.

Розвиток **катаракти** спостерігалось в людей, які пережили атомні бомбардування в Хіросімі і Нагасакі, у фізиків, що працювали на циклотронах, у хворих, очі яких піддавалися опроміненню з лікувальною метою. Однократна катарактогенна доза іонізуючої радіації, на думку більшості дослідників, складає близько 2 Зв. Період до появи перших ознак хвороби звичайно складає від 2 до 7 років.

Скорочення тривалості життя в результаті впливу іонізуючої радіації на організм виявлено в експериментах на тваринах (припускають, що це явище обумовлене прискоренням процесів старіння і збільшенням сприйнятливості до інфекцій). Тривалість життя тварин, опромінених дозами, близькими до летальних, скорочується на 25-50% у порівнянні з контрольною групою. При менших дозах термін життя тварин зменшується на 2-4% на кожен 1 Гр.

Достовірних даних про скорочення термінів життя людини при тривалому хронічному опроміненні малими дозами дотепер не отримано. На думку більшості радіобіологів, скорочення тривалості життя людини при опроміненні знаходиться в межах 1-15 днів на 0,01 Зв.

Дози і можливі наслідки опромінення:

- 4,5 Зв - важкий ступінь променевої хвороби (помирає 50% опромінених).
- 1 Зв - нижній рівень розвитку легкого ступеня променевої хвороби.
- 0,75 Зв - незначна короточасна зміна складу крові.
- 0,30 Зв - опромінення під час рентгенографії шлунка (місцеве)
- 0,10 Зв - припустиме разове опромінення населення.
- 0,03 Зв - опромінення при рентгенографії зубів.
- 0,005 Зв - припустиме опромінення населення при нормальних умовах за рік.
- 0,001 Зв - фонове опромінення за рік.
- 0,0001 Зв - перегляд одного футбольного матчу.

При впливі іонізуючого опромінення летальна доза для ссавців складає 10 Зв, а енергія, що поглинається при цьому тканинами й органами тварин, могла б підвищити їхню температуру усього на тисячні частки градуса. Ясно, що саме по собі таке підвищення температури не могло б викликати настільки вираженого ефекту поразки; в той же час безпосередньо прямі порушення в хімічних зв'язках молекул у клітинах і тканинах, що виникають слідом за опроміненням, незначні.

Надалі відбуваються реакції хімічно активних речовин з різними біологічними структурами, при яких відзначається як зміна, так і утворення нових, не властивих, для організму з'єднань, що опромінюються.

Наступні етапи розвитку променевої поразки виявляються в порушенні обміну речовин у біологічних системах зі зміною відповідних функцій. У вищих організмів це протікає на фоні нейрогуморальної реакції на розвиток порушення.

Явища, що відбуваються на початкових, фізико-хімічних етапах променевого впливу, прийнято називати первинними, оскільки саме вони визначають весь подальший хід розвитку променевих поразок.

Деякі дози випромінювання

Джерело іонізуючого випромінювання	Річна доза
КОСМІЧНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ На рівні моря На кожні 100 м над рівнем моря	0,2 мЗв 0,03 мЗв
ВИПРОМІНЮВАННЯ ЗЕМЛІ У зоні вапняків У зоні осадових порід У зоні гранітів	0,3 мЗв 0,5 мЗв 1,2 мЗв
ЖИТЛО З дерева З цегли З бетону	0,01 мЗв 0,1 мЗв 0,5 мЗв
ЇЖА Природні радіоізотопи, що містяться в продуктах (мінерали, м'ясо, овочі, риба і т.п.)	0,02 мЗв
ПОЛЬОТИ НА ЛІТАКУ На кожні 500 км	0,04 мЗв
ТЕЛЕВІЗОР І МОНІТОР При середній тривалості перегляду телевізора 1 година в день	0,05 мЗв
ВІДПУСТКА Тиждень відпустки в горах на висоті 2000 м	1 мЗв
МЕДИЦИНА Рентгенографія легень Рентгенографія зубів	1 мЗв 0,2 мЗв