

ПОРУШЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ОРГАНІЗМУ ПРИ БІОЛОГІЧНОМУ ВПЛИВІ РАДІАЦІЇ

Землянська О.В., ст. викл. (каф. ОПП та ЦБ НТУУ “КПІ”)

Під біологічною дією іонізуючих випромінювань розуміють їх здатність викликати функціональні та анатомічні зміни в клітинах, тканинах, органах та організмі в цілому. Біологічна дія іонізуючих випромінювань є результатом порушення та іонізації атомів живої матерії. Заряджені частинки і фотони, проходячи через тканини, викликають збудження атомів та їх розпад на негативно заряджені частинки – іони.

В результаті прямої дії радіації у клітинах і тканинах утворюються збуджені та іонізовані атоми і молекули, що мають високу хімічну активність. Їх поява та вплив на різні компоненти клітини – це початковий етап розгортання біологічного ефекту. При цьому змінюються не тільки ті молекули та клітини, які вступили в безпосередню взаємодію з частками та фотонами, але і багато інших. Іонізація атомів і молекул є лише пусковим механізмом для розвитку в подальшому в живому організмі вторинних процесів, які відбуваються вже за біологічними закономірностями.

Радіонукліди мають різну біологічну ефективність та за своєю біологічною дією розрізняються між собою залежно від виду, енергії випромінювання, періоду напіврозпаду, величини всмоктування, накопичення та швидкості виведення з організму. Клітини, що поглинули енергію, передають її клітинам, що не були піддані опроміненню, тобто відбувається міграція енергії. У результаті впливу іонізуючого випромінювання на організм людини в тканинах відбуваються складні фізичні, хімічні та біологічні процеси.

Якщо радіоактивній дії піддавалося мало клітин, то процес може бути зворотним, хімічна структура тканин відновлюється, шкідливі продукти виводяться, функція клітинних популяцій нормалізується. В іншому випадку процес виявляється незворотним: у тканинах розвиваються дистрофічні та некробіотичні зміни та живий організм гине.

Основну за обсягом та вагою частку тканини живої речовини людини складає вода (60-70% ваги тіла) та вуглець. У процесі радіолізу у воді організму виникають молекулярні іони, які під впливом випромінювання розщеплюються (дисоціюють) на активні радикали – водень Н та гідроксильну групу ОН. Подальші реакції ведуть до появи в тканинах сполук пероксидного типу – гідратного оксиду та перекису водню H_2O_2 . Ці сполуки при нормальних фізіологічних умовах в організмі не зустрічаються. Вони взаємодіють у клітинах та тканинах з молекулами речовин, які розчинені у воді, що викликає первинні радіаційно-хімічні реакції.

Білкові молекули також зазнають під впливом іонізуючого випромінювання різного роду зміни: молекула білка під дією фотона руйнується та розпадається на амінокислоти (фотоліз білка) з утворенням токсичних гістаміноподібних сполук.

Таким чином, іонізуюче випромінювання викликає фізико-хімічні зміни, як в клітинах і міжклітинній речовині, так призводить до зміни ферментів, які відіграють в організмі роль каталізаторів біохімічних реакцій. Розпад молекули ферменту супроводжується порушенням нормального ходу відповідних біохімічних процесів. Особливу роль при цьому відіграє порушення діяльності дихальних ферментів, що призводить до розладу тканинного дихання. Клітинні ядра втрачають здатність синтезувати певні типи білка, внаслідок чого порушується процес ре-дублювання складних макромолекул, що призводить до ушкодження нуклеїнових кислот і, особливо, дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК). Без синтезу ДНК неможливий мітотичний поділ клітин та клітинне розмноження.

Результатом порушення ре-дублювання білкових молекул є мутації – виникнення дочірніх клітин зі зміненими властивостями. Під дією радіації відбувається зміна білкового, вуглеводного, ліпоїдного та холестеринового обміну речовин.

У формуванні біологічного ефекту особливе значення має діяльність інтегруючих систем організму – нервової системи, тісно пов'язаного з нею ендокринного апарату та гуморальної системи, що транспортує по організму токсичні продукти, що утворюються в тканинах в результаті опромінення. Під впливом іонізуючого випромінювання в нервовій тканині також відбувається іонізація атомів і молекул та первинні радіохімічні реакції, порушуються процеси нервової регуляції. У перші хвилини після опромінення в крові та лімфі з'являються токсичні продукти, які безпосередньо впливають на нервову і ендокринну системи, а також на клітини та органи, що викликає в організмі стан підвищеної радіочутливості (аутосенсibiliзацію).

Ступінь чутливості до опромінення різних тканин та органів організму людини не однакова. У порядку зменшення їх чутливості до опромінення є наступна послідовність: лімфатична тканина, лімфатичні вузли, селезінка, зобна залоза, кістковий мозок, зародкові клітини.

Велика чутливість кровотворних органів до радіації лежить в основі визначення характеру променевої хвороби. При одноразовому опроміненні всього тіла людини поглиненою дозою 0,5 Гр через добу після опромінення може різко скоротитися число лімфоцитів, тривалість життя яких і без того незначна – менше однієї доби. Зменшиться також і кількість еритроцитів (червоних кров'яних тілець) після закінчення двох тижнів після опромінення (тривалість життя еритроцитів приблизно 100 діб). У здорової людини налічується порядку 10^{14} червоних кров'яних тілець та при щоденному їх відтворенні в кількості 10-12, у хворого променевою хворобою співвідношення порушується, і в результаті організм гине.

Соматичні (тілесні) ефекти – це наслідки дії опромінення на самого опроміненого, а не на його потомство. Соматичні ефекти опромінення ділять на стохастичні (імовірнісні) та не стохастичні. До не стохастичних соматичних ефектів відносять ураження, ймовірність виникнення та ступінь тяжкості яких зростають при збільшенні дози опромінення та для виникнення яких існує дозовий поріг. До таких ефектів відносять, наприклад, локально не злоякісне

ушкодження шкіри, (променеий опік), катаракту очей (потемніння кришталика), пошкодження статевих клітин (короткочасна або постійна стерилізація) та інші. Час появи максимального ефекту також залежить від дози: після більш високих доз він настає раніше. У 1% населення може виявлятися дуже висока радіочутливість внаслідок вроджених генетичних розладів.

При опроміненні дозою, яка перевищує смертельну, людина гине під час опромінення. Смертельні поглинені дози для окремих частин тіла такі: голова – 20Гр, нижня частина живота – 30Гр, верхня частина живота – 50Гр, грудна клітка – 100Гр, кінцівки – 200Гр.

Іонізуючі випромінювання відповідно до своєї проникаючої здатності викликають біологічні зміни в організмі, як при зовнішньому, так і при внутрішньому опроміненні. Радіоактивні речовини попадають усередину організму пероральним або інгаляційним шляхом через органи дихання, травний тракт та шкіру (подряпини, рани, опікова поверхня).

Радіоактивні речовини, потрапивши в організм, всмоктуються в кров і лімфу та розносяться по різним органам та тканинам. Знання закономірностей розподілу, особливостей обміну та депонування радіонуклідів, їх перерозподіл в організмі має виключно важливе значення, так як дає уявлення про переважне променеє ураження тих чи інших органів, дає змогу зрозуміти механізм дії радіонуклідів, встановити критичний орган, оцінити величину його опромінення та прогнозувати променеє ураження. Одні радіонукліди розподіляються в організмі рівномірно по всіх органах та тканинах, інші ж виявляють тропність (спрямованість) до певних органів, в яких і накопичуються (критичні органи).

Рівні накопичення радіонуклідів в критичних органах у період встановлення рівноваги в розрахунку на один кілограм маси критичного органу мають наступні величини кратності (вказані в дужках): щитовидна залоза – йод-131 (164); скелет – стронцій-90 (91), радій-226 (46), кальцій-45 (13); печінка – залізо-55 (3,5), цинк-65 (1,3), америцій-241 (1,4); нирки – свинець-210 (21), берилій -7 (6), платина-193 (3); м'язи – цезій-137 (2,6), рубідій-87 (1,7), калій-40 (1,4).

Орієнтиром для оцінки сумарного вмісту радіонукліду в організмі служить кратність накопичення – відношення максимально накопиченої кількості елемента в організмі або в органі до величини щоденного надходження. Кратність накопичення залежить від всмоктування радіонукліду в кров і лімфу, швидкості виведення з організму, від інтенсивності обмінних процесів та періоду напіврозпаду радіонукліда. Характер розподілу радіонуклідів в організмі не є незмінним та обумовлений їх хімічними властивостями, здатністю утворювати колоїди. Розподіл радіонуклідів в організмі може змінюватися в залежності від вихідного стану центральної нервової системи, пригнічення якої сприяє накопиченню, а збудження, навпаки, зниженню вмісту радіонуклідів стронцію-90 та кобальту-60 в організмі та тканинах.

Всі радіонукліди за характером свого розподілу діляться на чотири групи:

- остеотропні, накопичуються у кістках – фосфор-32, кальцій-45, стронцій-90, барій-140, радій-226;
- переважно накопичуються в органах з ретикулоендотеліальною (сітчастою) тканиною – торій-239, плутоній-239;
- специфічно беруть участь в обміні речовин та вибірково накопичуються в окремих органах і тканинах: йод-131 – у щитовидній залозі, залізо-59 – в еритроцитах, цинк-65 – у підшлунковій залозі, молібден-99 – у райдужній оболонці ока;
- рівномірно розподіляються по всім органам і тканинам: калій-40, рубідій-86, ніобій-95, рутеній-106, це-зій-137.

Закономірності утримання та виведення радіонуклідів з організму мають специфічні особливості – протікають з різними швидкостями та залежать від багатьох чинників, а також від функціонального стану видільних систем. Найбільша кількість радіоактивних речовин виводиться через шлунково-кишковий тракт, особливо радіонукліди, які погано всмоктуються в травному тракті: трансуранові елементи, лантаноїди. Розчинні сполуки радіонуклідів добре виділяються через нирки. Швидко виводяться з організму газоподібні радіонукліди – водень-3, ксенон-133 та криптон-85. Основна кількість радіоактивних газів виділяється через легені та шкіру. Радіонукліди йод-131 та цезій-137 виводяться також через потові та слинні залози. Радіонукліди, що утворюють колоїдні комплекси з білками, надходять у печінку та виділяються з жовчю в кишечник. Радіоактивні аерозолі, а також продукти розпаду радію та торію, можуть виділятися з організму через органи дихання. Зменшення вмісту радіоактивної речовини в організмі відбувається не тільки внаслідок її виведення, але і завдяки радіоактивному розпаду, що більш характерно для короткоживучих радіонуклідів: йоду-131, натрію-24, фосфору-32.

Час, протягом якого з організму виділяється половина радіонукліда, що одноразово надійшов, називається біологічним періодом напіввиведення.

Фактичний спад радіонукліда в організмі вимірюється ефективним періодом напіввиведення – це час, протягом якого організм звільняється від половини депонованого в нього радіонукліда як шляхом біологічного виведення, так і внаслідок радіоактивного розпаду. Це залежить від виду хімічної сполуки радіонукліда, особливостей його розподілу, кількості, функціонального стану органів, швидкості протікання фізіологічних процесів, у тому числі – біохімічних реакцій. Темпи цих процесів та рівні підтримки складу речовин в організмі регулюються цілою системою механізмів через певні виконавчі органи. Наприклад, окислювальні процеси в тканинах управляються цілеспрямованими змінами дихального обсягу, життєвою ємністю легенів, обсягу резервного повітря, глибиною вдиху, частотою дихання, ударним об'ємом серця, частотою серцевих скорочень, об'ємом кровотоку, величиною опору судин, кількістю гемоглобіну в крові, величиною кисневої ємності крові.