

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
Харківський національний медичний університет

РАДІАЦІЙНА ТОКСИКОЛОГІЯ

Методичні вказівки
для студентів V курсу
медичних та стоматологічного факультетів

Затверджено
вченою радою ХНМУ.
Протокол № 4 від 27.04.2017.

Харків
ХНМУ
2017

Радіаційна токсикологія: метод. вказ. для студентів V курсу мед. та стомат. фак-тів / упор. С. А. Амiразян, О. О. Фатєєв. – Харків : ХНМУ, 2017. – 20 с.

Упорядники С. А. Амiразян
 О. О. Фатєєв

Радіаційна токсикологія – наука, яка вивчає розподілення, кінетику обміну та біологічну дію радіоактивних ізотопів.

У теперішній час природних та штучних радіонуклідів відомо так багато, що повний опис їх властивостей просто неможливий. По-перше, властивості багатьох із них практично не вивчені. По-друге, радіонукліди з коротким періодом напіврозпаду не відіграють значущої ролі в опроміненні живих організмів. По-третє, вміст багатьох радіонуклідів надзвичайно низький, що не суттєво для радіоекології.

З природних радіонуклідів найбільш важливу роль відіграють такі:

- космогенні ^3H , ^7Be , ^{14}C ;
- земного походження ^{40}K ;
- рядів ^{238}U та ^{232}Th .

Із відомих у теперішній час понад 1 000 штучних радіонуклідів найбільшу цікавість становлять радіонукліди, які утворюються на АЕС (продукти активації та продукти ділення) та на заводах із переробки вигорілого ядерного палива. Також мають значення радіонукліди трансуранових елементів – нептуній **Np**, плутоній **Pu**, америцій **Am**, кюрій **Ci** та ін., які є найбільш радіотоксичними.

Уражаюча дія більшості радіоізоотопів визначається рівнем випромінювання при розпаді (за винятком ізотопів із дуже великим періодом напіврозпаду) після інкорпорації. Для ілюстрації нагадаємо, що гранично допустима доза ^{90}Sr , яка складає 2 мкКі, важить лише $1,4 \times 10^{-8}$ г, а активності в 1 Кі відповідає маса ізотопу в $6,0 \times 10^{-3}$ г.

Основними шляхами інкорпорації радіоактивних ізотопів є такі:

- аліментарний з їжею та водою;
- інгаляційний;
- перкутанний через пошкоджену та непошкоджену шкіру.

При комунальних радіаційних катастрофах найбільш важливим і потенційно небезпечним є інгаляційне надходження радіонуклідів. Радіоактивність повітря, як правило, обумовлена вмістом у ньому радіоактивних газів або дрібнодисперсного пилу (дим, туман).

Надалі поведінка інкорпорованих радіонуклідів пов'язана не тільки з розмірами радіоактивних часток, але й з їх фізико-хімічними властивостями, визначальними з яких є розчинність/нерозчинність, транспортабельність, заряд і деякі інші властивості сполук, що інгалюються, а також біологічна тропність.

Добре розчинні речовини та їх сполуки, як правило, швидко (впродовж декількох десятків хвилин) резорбуються в кровоносне русло, а далі, в процесі обміну речовин, відкладаються в певних (тропних) органах та системах організму або виводяться.

Оптимальними для затримки в бронхолегеневій системі є дрібно-дисперсні сполуки з розміром часток у межах 0,5–2 мк. Поверхня альвеол у десятки разів більше поверхні шкіри, тому інгаляційне потрапляння РР до організму може зробити значний внесок у загальне їх потрапляння, особливо в перші години/дні після радіоактивного забруднення місцевості газоподібними та аерозольними короткоживучими продуктами ядерного розпаду у вигляді пилу, туману, дощу.

У випадку інгаляції погано розчинних сполук близько 25 % радіоактивної речовини негайно евакуюється з повітрям, яке видихається, близько 50 % затримується у верхніх дихальних шляхах та видаляється впродовж декількох годин у результаті діяльності миготливого епітелію. Із 25 % аерозолів, які потрапили в нижні дихальні шляхи, 10 % впродовж декількох годин потрапляють у ротову порожнину й заковтуються. Решта 15 %, які залишилися, фіксуються в легеневій тканині або відбувається їх фагоцитоз та міцна фіксація в лімфатичних вузлах. Унаслідок цього концентрація малорозчинних сполук радіоактивних аерозолів у лімфатичних вузлах у пізні строки після інкорпорації може в сотні разів перевищувати таку в легенях. Саме лімфатичні вузли й стають критичними органами для цих радіонуклідів.

Бронхолегенева система є критичним органом у випадках не тільки інкорпорації малорозчинних і нетранспортабельних радіонуклідів, але й також радіонуклідів із коротким періодом напіврозпаду.

Не менш значущим може стати аліментарний шлях інкорпорації радіонуклідів з їжею та водою (забруднення продуктів харчування штучними радіонуклідами або по "харчових ланцюгах"). Надалі з урахуванням розчинності/транспортабельності радіонукліди можуть надходити у різноманітні тропні органи та тканини. Залежно від кислотності/лужності відділів шлунково-кишкового тракту різноманітні сполуки можуть перетворюватися із нерозчинних на розчинні та навпаки, із розчинних на нерозчинні (наприклад, сполуки плутонія в лужному середовищі).

Резорбції піддається, як правило, незначна частина радіоактивних сполук, у той час, як більша їх частина евакуюється з калом. Транспорт радіонуклідів по кишечнику супроводжується опроміненням різних відділів ШКТ, при цьому кишкова стінка може піддаватися впливу корпускулярного альфа- (проникна здатність 40–50 мкм) та бета-випромінювання з проникною здатністю 8–10 мм. Гамма-випромінювачі призводять до опромінювання органів не тільки ШКТ, але й усіх оточуючих.

Шлунково-кишковий тракт стає критичним органом у випадках значного опромінення його певних відділів, при цьому необхідно враховувати радіочутливість не тільки органів та тканин, але й різноманітних

клітинних пулів. Найменш радіорезистентними є клітини крипт тонкого кишечника, які належать до 1-го класу з класифікації Рубіна–Казаретта (1968 р.), аж до денудації тонкої кишки, що і зумовлює загальну картину при інкорпорації радіонуклідів через ШКТ.

Найбільш часто в організм сільськогосподарських тварин, а далі по "харчових ланцюгах" (із м'ясом, молоком, яйцем птиці) до організму людини потрапляють:

– лужні елементи – **K, Ca, Na, Rb, Cs, I** (біодоступність 100 %);

– лужно-земельні елементи – **Sr** (40–60 %), **Co** (30 %), **Mg** (10 %), **Zn** (10 %), **Ba** (5 %);

– трансуранові елементи й рідкоземельні метали (важкорозчинні сполуки) – **Po** (6 %), **Ru** (3 %), **U** (3–6 %), **Pu** (0,01 %), **Zr** (0,01 %).

Перкутанний шлях через пошкоджену та непошкоджену шкіру повинен обов'язково враховуватись при перебуванні контингентів людей у радіоактивній хмарі при незахищених шкірних покривах – без загально-військового захисного комбінезона (ЗЗК) або інших засобів захисту. Незважаючи на те, що значна частина відомих сполук практично не проникає через неушкоджену шкіру, цей шлях може стати небезпечним при контакті зі сполуками тритію, парами йоду, водорозчинними сполуками плутонію.

Потрапляння радіонуклідів перкутаним шляхом може призвести до переопромінення найбільш радіочутливого кліткового пула – базального шару шкіри. Саме тому при такому шляху опромінення враховується доза, яка формується на глибині близько 100 мкм. Окрім цього потрібно враховувати стан місцевого кровообігу і шляхів відтоку крові та лімфи.

Метаболізм радіонуклідів

При інкорпорації радіонуклідів виділяють так звані основні шляхи розподілу радіонуклідів:

– рівномірне розподілення (дифузний) – елементи 1-ї групи періодичної системи: **H, Li, Na, K, Rb, Cs, Ru, Cl, Br** та деякі інші;

– скелетний, або остеотропний – лужно-земельні елементи: **Be, Ca, Sr, Ra, Zr, Ir, F** та ін.;

– тропні до органів, які багаті на елементи ретикулоендотеліальної системи: **La, Ce, Pm, Pu, Th, Mn** та ін.;

– тропні до щитоподібної залози: **I, Br, As**;

– накопичення в нирках: **Bi, Sr, As, U, Se**.

Радіоактивні ізотопи, які потрапили до організму так само, як і стабільні ізотопи елементів, у результаті обміну виводяться із організму з калом, сечею (у сільськогосподарських тварин – із молоком, у птахів – із яйцями) та іншими шляхами.

Для розрахунку дози, отриманої від інкорпорованих активностей, далеко недостатньо знати період напіврозпаду ($T_{1/2}$) того чи іншого елемента. Людина – це відкрита система, тому для розрахунків використовується так званий біологічний період напіввиведення – період часу, впродовж якого із організму виводиться половина радіонуклідів ($T_{\text{біол.}}$), які надійшли. Абсолютно зрозуміло, що обидва ці процеси протікають у часі паралельно, тому враховується час, упродовж якого активність радіонуклідів в організмі зменшується вдвічі, що отримало назву ефективний період напіввиведення і позначається як $T_{\text{еф.}}$.

Ефективний період напіввиведення розраховується за наступною формулою:

$$T_{\text{еф.}} = (T_{\text{фіз.}} \times T_{\text{біол.}}) : (T_{\text{фіз.}} + T_{\text{біол.}}).$$

Ефективний період для різних радіоактивних ізотопів відрізняється широкою різноманітністю: від декількох годин (для ^{24}Na , ^{64}Cu) та днів (для ^{131}I , ^{32}P , ^{35}S) до десятків років для деяких остеотропних радіонуклідів (^{226}Ra , ^{90}Sr). Чим більше ефективний період напіввиведення радіонуклідів, тим вище ступінь його радіотоксичності, оскільки сумарна доза при інших рівних умовах зростає зі збільшенням $T_{\text{еф.}}$.

У практиці, окрім загальних принципів розподілення, необхідно враховувати не стільки макророзподілення радіонуклідів, скільки нерівномірність їх розподілення, в тому числі в межах тропних тканин. Так, остеотропні елементи вибірково накопичуються в метафізах та епіфізах, що зумовлює реєстрацію відомих із радіології "гарячих вогнищ" та призводить до надлишкового опромінення кісткової тканини цих зон.

Те ж саме можна сказати про легеневу тканину або печінку, де в зонах надлишкового накопичення інкорпорованих радіонуклідів може сформуватися доза, яка здатна призвести до розвитку ізольованого патологічного процесу променевого генезу.

Радіонукліди як потенційні джерела внутрішнього опромінення поділяються (в низхідному порядку) за ступенем радіаційної небезпеки на чотири групи з індексами А, Б, В, Г:

Група А – радіонукліди з мінімально значущою активністю (МЗА) 3,7 кБк (0,1 мкКі) – полоній-210, радій-226, плутоній-238, свинець-210, уран-232 та ін.

Група Б – радіонукліди з МЗА 37кБк (1мкКі) – стронцій-90, йод-131, церій-144, уран-235, торій-234 та ін.

Група В – радіонукліди з МЗА 370 кБк (10 мкКі) – фосфор-32, кобальт-60, стронцій-89, цезій-137, барій-140 та ін.

Група Г – радіонукліди з МЗА 3700кБк (100 мкКі) – тритій, вуглець-14, фтор-18, хром-51, залізо-55 та ін.

Під мінімально значущою активністю розуміють найменшу активність відкритого джерела на робочому місці, при якій ще необхідний дозвіл органів Державного санітарного нагляду для роботи. Якщо активність джерела нижче за МЗА, названу в Нормах радіаційної безпеки, спеціального дозволу для роботи не потрібно.

Належність радіонуклідів до групи радіаційної небезпеки зумовлена Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Кожна група характеризується ступенем токсичної дії: група А має особливо високу токсичність, Б – велику або високу, В – середню, Г – низьку.

Іноді тритій та його хімічні сполуки відносять до особливої групи Д з допустимою концентрацією тритію у воді $3,2 \times 10^{-6}$ Кі/л.

До факторів, які обумовлюють ступінь радіотоксичності, належать такі:

- тип радіоактивного розпаду;
- час напіврозпаду;
- схема розпаду;
- вид випромінювання;
- енергія випромінювання;
- шлях потрапляння до організму;
- тривалість надходження;
- характер розпаду в організмі;
- шляхи виведення з організму;
- час знаходження в організмі.

Радіоізотопи, які часто зустрічаються

Радіонуклід	Орган депонування	$T_{\text{эф}}$, доба
^3H	Водна фаза	12
^{32}P	Кісткова система	14,1
^{45}Ca	Кісткова система	164
^{90}Sr	Кісткова система	6 400
^{131}I	Щитоподібна залоза	7,6
^{134}Cs	М'язи	120
^{137}Cs	М'язи	138
^{210}Po	Нирки	46
^{226}Ra	Кісткова система	16 000
^{228}Th	Кісткова система	693
^{233}V	Кісткова система	300
^{239}Pu	Кісткова система	72 000

Найбільш повні відомості про радіотоксичність можна знайти в роботах Д. П. Осанова та І. А. Ліхарева.

Аварія на Чорнобильській АЕС

У результаті техногенної аварії на Чорнобильській АЕС (26 квітня 1986 р.) територія України, Білорусії та прилеглих областей РФ піддалася забрудненню радіонуклідами, деякі з яких відрізняються тривалим терміном дії.

Найбільш важливими дозоутворюючими елементами після аварії на ЧАЕС були ізотопи йоду, цезію, стронцію та плутонію.

У середині червня 1986 р. заступник голови Державного комітету з використання атомної енергії СРСР Б. Семенов так прокоментував ситуацію, що склалася: "За межами 30-кілометрової зони навколо Чорнобильської АЕС основними радіаційними факторами, які впливають на населення України, Білорусії, Молдови та окремих областей РФРСР, на території яких виникло випадіння радіоактивних опадів, є зовнішнє гамма-випромінювання та надходження йоду-131 із харчовими продуктами в кількостях, що є небезпечними для здоров'я населення.

Насамперед, мова йде про молоко. Окремі його партії, де вміст йоду-131 перевищує встановлений норматив, направляються на переробку в продукти, які можуть бути витримані впродовж 1–2 міс. До речі, наш норматив на молоко в 10 разів більш жорсткий, аніж той, який був встановлений у Англії, коли там при аварії реактора в атмосферу також потрапив ізотоп йоду-131 (Селлафілд, жовтень 1957 р.).

Щодо овочів, фруктів, зернових, врожай яких очікується в середині літа й восени, немає жодних підстав припускати, що вони виявляться забрудненими йодом-131".

Коментуючи цю заяву, відзначимо, що й досі нікому не відомо про збільшення частоти виявлення раку щитоподібної залози після аварії у Великобританії, а от кількість постраждалих після аварії на ЧАЕС, у яких виявлено тиреоїдний рак, завідомо перевищує 1 000, 40 % яких слід рахувати радіаційно індукованими.

Як тільки британські фахівці отримали дані про потрапляння у повітря радіонуклідів, у тому числі йоду-131, було вжито вичерпних заходів щодо запобігання потраплянню їх до організму людини. Мораторій на молоко та молочні продукти, а також йодна профілактика дозволили знизити дозу впливу на щитоподібну залозу в 5–7 разів. Аналогічні заходи після аварії на ЧАЕС запізнилися, що призвело до значного зростання захворюваності на тиреоїдний рак у осіб, які були дітьми у 1986 р.

Радіонукліди, які потрапили до організму, діють як точкові джерела випромінювання, мають виражену біологічну дію. Ступінь вираженості цієї дії на організм і є радіотоксичність. Слід пам'ятати, що поняття "токсичність радіоактивних речовин" не зовсім відповідає смислового змісту терміна "токсичність", наприклад, пов'язаному з дією на організм хімічних речовин.

З урахуванням радіоактивного спектра викидів, внесок основних дозоутворюючих радіонуклідів у дозу внутрішнього опромінення передбачався таким: йод – 2,5 %, цезій – 79 %, стронцій – 3,5 % (85 % сумарної дози). У зв'язку з цим був прийнятий ряд заходів.

– По-перше, переробка молока, при якій цезій переходить у масло в кількості 1–2 %, у сметану й сири – до 10 %, у домашній сир – до 20 %.

– По-друге, часткове вилучення з особистих господарств молочної худоби, завезення чистих продуктів (натомість місцевих) та ін.

– По-третє, завдяки агрохімічним заходам вдається зменшити перехід цезія з ґрунту в сільськогосподарські рослини через кореневі системи.

Всі ці заходи дозволили в десять і більше разів знизити дози внутрішнього опромінення населення на контрольованих зонах. Нижче наведені докладні дані про найбільш розповсюджені радіонукліди та їхні ізотопи, які потрапили в навколишнє середовище після аварії на ЧАЕС.

Йод – хімічний елемент, відкритий у 1811 р. Б. Куртуа (Париж, Франція). Назву елемент отримав від грецького слова *iodes* – фіолетовий. Йод – твердий чорний неметал, із блиском (темно-сірі кристали із фіолетовим металевим блиском). Йод – хімічний елемент VII групи періодичної системи Д. І. Менделєєва. Атомний номер – 53. Відносна атомна маса – 126,90447. Температура плавлення – 113,6 °С, температура кипіння – 185 °С. Знаходиться в природі майже всюди, переважно у вигляді йодистих солей натрію, кальцію, магнію, але розсіяно. Вміст в організмі середньої людини (маса тіла 70 кг) – 12–20 мг.

Число ізотопів (з урахуванням ядерних ізомерів) – 37. Природний йод складається з одного стабільного ізотопу – йод-127. Радіоактивних ізотопів – 24 – від йоду-117 до йоду-126 та від йоду-128 до йоду-139. Найбільш значними радіоактивними ізотопами є йод-129 та йод-131. В радіодіагностиці найбільш широко застосовуються йод-123 та йод-125. Більшість радіоізотопів йоду мають короткий період напіврозпаду (секунди, хвилини, години).

Йод-129 – це гамма-бета-випромінювач із періодом напіврозпаду $1,67 \times 10^7$ років. Велику небезпеку становить йод-131. Це також гамма-бета випромінювач із періодом напіврозпаду 8,04 днів. Належить до групи Б (висока радіотоксичність).

Йод-131 має високу летючість та є хімічно активним елементом. Він включається у компоненти біосфери (ґрунт – вода – флора – фауна) та бере участь у біологічному циклі обміну речовин.

До організму тварин та людини йод-131 потрапляє через шлунково-кишковий тракт, через органи дихання, шкіру, кон'юнктиву, рани. Він добре та швидко всмоктується зі шлунково-кишкового тракту (100 %)

у кров та до 60 % відкладається у щитоподібній залозі, яка є критичним органом при інкорпорації ізотопів йоду. Концентрація його в організмі становить у співвідношенні: кров – 1; нирки, печінка, яєчники – 2–3; слинна залоза, сеча – 3–5; кал та молоко – 5–15; щитоподібна залоза – 10 000. З організму радіоактивний йод, як і стабільний, виводиться з сечею (до 70–80 %), калом, молоком, а у птиці – з яйцем. У лактуючих корів із 1 л молока виділяється близько 1 % кількості йоду-131, який потрапив за день. При введенні в організм овець та телят із кормом стабільного йоду на 50 % знижується подальше депонування йоду-131 у щитоподібній залозі.

У результаті аварії на ЧАЕС з реактора було викинуто близько 7×10^{20} Бк радіоактивного йоду. У щитоподібній залозі після потрапляння до організму радіоактивний йод реєструвався через кілька годин, де за його участю проходить утворення гормонів (моно-, ди-, трийодтиронін і тироксин), які регулюють зріст, обмін речовин, стан нервової системи та багатьох інших функцій організму. Період йодної небезпеки після аварії на ЧАЕС продовжувався 1,5–2 міс. За цей час щитоподібна залоза опинилася опроміненою у 1,5 млн людей, у тому числі у 160 000 дітей. До можливих віддалених наслідків опромінення щитоподібної залози відносяться стійке порушення її функцій та розвиток пухлин. Пухлини можуть реалізуватися у дітей через 10 років із моменту опромінення, а у дорослих і в більш пізні строки.

Цезій – хімічний елемент, відкритий у 1860 р. Р. Бунзеном та Г. Р. Кирхгофом (Гейдельберг, Німеччина). Назву він отримав від латинського слова *Caesius* (небесно-блакитний). Це блискучий, золотистого кольору м'який метал. Цезій відноситься до елементів I групи періодичної системи Д. І. Менделєєва. Атомний номер 55. Відносна маса 132,9054. Температура плавлення 28,5 °С, температура кипіння – 670 °С. На повітрі миттєво запалюється, добре розчинний у воді. У земній корі міститься 7×10^{-4} вагових відсотків. Зустрічається в основному в розсіяному стані та у мінералах.

Цезій як елемент представлений 40 ізотопами (з урахуванням ядерних ізомерів) із масовими числами 114–145, із них радіоактивних ізотопів 34. Стабільним є ізотоп цезію-133. Основних радіоактивних ізотопів три: Cs-134, 135, 137. Найбільш значущі радіоактивні ізотопи – Cs-134 та Cs-137.

Cs-134 – бета гамма-випромінювач з періодом напіврозпаду 2,065 років. Цезій-137 має період напіврозпаду 30,17 років і є продуктом ділення важких ядер. При розпаді дає бета-випромінювання, але його дочірній елемент Ва-137 ($T_{1/2} = 2,55$ хв) при розпаді дає гамма-випромінювання. Саме тому цезій-137 вважають бета-гамма випромінюючим радіонуклідом. За ступенем токсичності відноситься до групи В (середня радіотоксичність).

З, який потрапив у навколишнє середовище після аварії на ЧАЕС. Із ґрунтом, кормом, водою, повітрям він потрапляє до організму тварин

в основному через травний тракт та дихальні шляхи. Ступінь всмоктування у шлунково-кишковому тракті досягає 100 %. В обмінних процесах подібний до калію. Цезій-137 в організмі розподіляється в основному рівномірно, але деякі тканини та органи (м'язи, серце, печінка, нирки) накопичують його більше. Виводиться з організму через шлунково-кишковий тракт, нирки, а також із молоком, яйцем птиці (в основному через білок). Ефективний період напіввиведення цезію-137 у лактуючих корів складає від 20 до 50 днів.

Стронцій – хімічний елемент, ідентифікований у 1790 р. А. Кроффордом (Единбург, Шотландія). Виділений у 1808 р. Свою назву отримав на честь Шотландії – *Strontiant*. Цей сріблясто-білий м'який метал відноситься до хімічних елементів II групи періодичної системи Д. І. Менделєєва. Атомний номер – 38. Відносна атомна маса – 87,62. Температура плавлення – 752–797 °С, температура кипіння – 1 366 °С. Хімічно активний. На повітрі окислюється при звичайній температурі. Значно розповсюджений у природі. У земній корі його міститься 0,04 вагових відсотків. Вміст в організмі середньої людини (маса тіла 70 кг) становить 320 мг.

Основних ізотопів стронцію вісім. Природний стронцій складається з чотирьох стабільних ізотопів: Sr-84, 86, 87, 88. Стронцій має чотири радіоактивних ізотопи: Sr-82, 85, 89, 90. Найбільше значення з них мають стронцій-89 та стронцій-90, які є продуктами ядерного ділення (ділення урану в ядерних реакторах, вибухи атомних бомб).

Стронцій-89 – бета-випромінювач із періодом напіврозпаду 50–52 дні. Група токсичності В (середня токсичність). У перші місяці після вибуху атомного заряду стронцій-89 є одним із провідних радіонуклідів, який визначає сумарну бета-активність суміші продуктів ділення.

Стронцій-90 – бета-випромінювач, який має період напіврозпаду ($T_{1/2}$) 29,1 року. Енергія бета-часток – 0,544 Мев. Зазнаючи бета-розпад, стронцій перетворюється на дочірній радіоактивний елемент ітрій-90 ($T_{1/2}$ – 64,2 ч, бета-випромінювач). Стронцій-90 за токсичністю відноситься до групи Б (висока радіотоксичність).

Потрапляючи до атмосфери, стронцій випадає у вигляді сухих та вологих аерозолів (опадів) на поверхню землі, на рослини, у воду. Більша його частина залишається у верхньому (3–5 см) шарі ґрунту (у пісках проникає до 30–45 см у глибину). Активно накопичують його торф та глина. Вимивається водою, потрапляє у водоймища. Стронцій-90 включається в компоненти біосфери, мігрує по біохімічних ланцюгах та з продуктами рослинного та тваринного походження може потрапляти до організму людини.

В організмі тварин та людини стронцій всмоктується у шлунково-кишковому тракті (5–100 %). Величина всмоктування залежить від раціону, віку людини або тварини, функціонального стану, фізико-хімічних власти-

востей сполук та ін. Стронцій являє собою аналог кальцію, включається в мінеральний обмін, має скелетний тип розподілу. Концентрується переважно у діафізах кісток. Це призводить до безпосереднього опромінення всього скелета й переважно кісткового мозку. Вибіркова дія на червоний кістковий мозок може призвести до розвитку додаткових випадків гемобластозів, а також остеосарком, новоутворень молочних залоз, яєчників, гіпофіза. Порушується функція печінки, нирок, знижується імунна реактивність організму.

Виділяється стронцій-90 з організму в основному з калом, сечею, молоком. Період напіввиведення стронцію-90 із м'яких тканин складає 2,5–8,5 діб, а з кісток – 90–145 діб.

Плутоній – хімічний елемент, відкритий у 1940 р. Г. Т. Сиборгом, А. Валем та Дж. У. Кеннеді (Берклі, Каліфорнія, США). Названий на честь планети Плутон. Це радіоактивний сріблястий метал. Атомний номер – 94. Відносна атомна маса – 244. Температура плавлення – 640 °С.

Плутоній – радіоактивний хімічний елемент, який має 15 ізотопів. У природі існує в незначній кількості на поверхні Землі. Утворюється з урану під дією нейтронів космічного опромінення та нейтронів, які виникають при спонтанному діленні урану, а також у ядерних реакторах. При цьому утворюється ізотоп плутонію-239. Це довгоживучий радіоізотоп. Період його напіврозпаду – 24 390 років. Альфа-гамма випромінювач. Плутоній та його сполуки мають відносно високу альфа-радіоактивність, яка супроводжується слабким гамма-випромінюванням та м'яким рентгєнівським випромінюванням.

За токсичністю частина радіоізотопів віднесена до групи А (особливо висока радіотоксичність), а частина – до групи Б (висока). За радіотоксичністю плутоній-239 у 100 разів перевищує стронцій 90. Плутоній-241 має період напіврозпаду 14,4 роки.

Плутоній міцно фіксується в ґрунті, переміщується у ньому повільно. До рослин надходить у невеликих кількостях. В організм тварин ізотоп плутонію-239 потрапляє інгаляційним шляхом, через шкіру при її пошкодженнях, шлунково-кишковий тракт. Це гепатотропний радіонуклід (тропний до органів, які багаті на елементи РЕС). У людини 45 % плутонію з крові депонується у печінці, з якої виводиться впродовж 20 років. Через 2–3 міс після інкорпорації в значному відсотку випадків виникає цироз, можливі гепатоми.

Плутоній-238 має період напіврозпаду 87,74 роки. Надзвичайно радіотоксичний, здатний різко збільшувати число хромосомних аберацій та призводить до розвитку пухлин (остеосаркоми). Тропний до кісткової тканини, з якої виводиться вкрай повільно, його біологічний період напіввиведення становить 100 років.

Плутоній використовується як компактне джерело енергії, ядерне паливо, а також у виробництві ядерної зброї (саме плутонієва бомба була скинута американцями на Нагасакі 9 серпня 1945 р.).

Медикаментозне забезпечення радіаційного захисту

Клінічні прояви уражень при надходженні розчинних форм радіонуклідів нагадують гостру променеву хворобу, викликану зовнішнім опроміненням. При надходженні нерозчинних з'єднань превалює симптоматика ушкоджень органів дихання і травлення.

Лікування та профілактика уражень, які викликані надходженням до організму радіонуклідів, повинні бути направлені в першу чергу на швидке та можливо повне видалення радіонуклідів шляхом запобігання їх всмоктуванню крізь шкіру, легені та ШКТ.

У ситуаціях, які можуть супроводжуватися зовнішнім гамма-випромінюванням, використовуються радіопротектори. Це препарати, які викликають гіпоксію в радіочутливих тканинах і тим самим підвищують їх радіорезистентність (цистамін, індралін та ін.), а також гормональні засоби (діетилстилбестрол та ін.). Радіопротектори повинні вводитися до опромінення в дозах, які можуть призвести до значних побічних ефектів.

Цистамін відноситься до препаратів, що містять сірку та являє собою дисульфід хлористоводневої солі – меркаптоетиламіну. Рекомендована доза – 1,2 г. Оптимальний термін застосування цистаміну – за 40–60 хв до впливу іонізуючого опромінення, тривалість радіозахисної дії – 4–5 год.

Індралін являє собою гетероциклічне з'єднання (похідне індолілалкіламіну) та відноситься до радіопротекторів екстреної дії. Рекомендована доза для людини – 0,45 г на прийом. Три таблетки радіопротектора по 0,15 г ретельно розжовують та запивають водою. Оптимальний термін прийому – за 15 хв до ймовірного опромінювання. Препарат забезпечує захист протягом 1 год. Допускається повторний прийом з інтервалом 1 год.

Індралін як радіопротектор показаний при можливості короткотривалого впливу іонізуючого випромінювання різних видів (гамма-випромінювання, високоенергетичні нейтрони, протони, електрони) з великою потужністю дози. Ефективність його застосування підвищується в умовах нерівномірного опромінення та при поєднаному застосуванні із засобами раннього та комплексного лікування радіаційних уражень.

Індралін зберігає радіопротекторні властивості в умовах впливу на організм таких екстремальних факторів, як високе фізичне навантаження, підвищена температура повітря та ін., а також при спільному застосуванні з іншими медикаментозними засобами радіаційного захисту, зокрема із засобами профілактики первинної реакції на опромінення. Препарат не

чинить негативного впливу на операторську та інші види професійної діяльності військових або цивільних спеціалістів різного профілю та добре ними переносяться в екстремальних умовах.

При проведенні персоналом аварійних робіт в умовах впливу низькоінтенсивного гамма-випромінювання на забрудненій місцевості при дозах радіації 150–200 мЕв призначають перш за все засоби субстратної терапії, які сприяють прискоренню репаративних процесів в організмі. З цією метою можливе застосування метаболіків (рибоксин, мілдронат), амінотетравіту, препаратів бурштинової кислоти. Розроблений протипроменевиї препарат – індометафен, призначений для захисту персоналу від низькоінтенсивного гамма-випромінювання, перш за все профілактики ураження органів системи кровотворення.

Засоби попередження або ослаблення первинної загальної реакції організму на опромінення (нудота, блювання, загальна слабкість). До них відносяться в основному седативні засоби – диметкарб (включає 0,04 г протиблювотного засобу диметпраміду та 0,002 г психостимулятора сиднокарба), етапіразин, диметпрамід, діетилпіразин, метоклопрамід, кофєїн та ефедрин); найбільш ефективними засобами протиеметичної терапії є латран (0,008 г), тропісетрону гідрохлорид (навобан) – 5,64 мг.

У випадках перорального або інгаляційного надходження радіоактивних речовин, для прискорення виведення їх із ШКТ та запобігання всмоктуванню у кров використовують адсорбенти. Останні не володіють поливалентною дією, тому для виведення ізоіпів стронцію та барію застосовують адсорбар, полісурмін, високоокислену целюлозу, альгісорб; при інкорпорації плутонію – інгаляції пентацину; при потраплянні радіоактивного йоду – препарати стабільного йоду; для запобігання всмоктуванню ізоіпів цезію найбільш ефективні фероцин, бентонітова глина, вермікуліт, берлінська лазур. Цинкацин як і пентацин зв'язує в стійкі водорозчинні комплекси ізоіпи плутонію, америцію, ітрію, церію, прометію та ін.

Застосовують катіоно- та аніонообмінні смоли, які призначаються всередину, блювотні засоби, промивання шлунка, несольові проносні, відхаркувальні засоби (при інгаляційному надходженні), комплексоіи (препарати, які прискорюють виведення РР із організму: солі лимонної, молочної, оцтової кислот). Комплексоіи призначаються інгаляційно у вигляді аерозолів. Вони утворюють у легенях із радіоізоіпами комплексоіні сполуки, які потім всмоктуються у кров та виводяться з сечею. Поряд із комплексоінами для виведення з організму солей урану та полонію використовується унітіол. У профілактиці та лікуванні радіаційних уражень застосовуються адаптогени, стимулятори кровотворення та центральної нервової системи та ін.

Радіологічна зброя – "брудна бомба"

У самому простому випадку "брудна бомба" може складатися з оболонки або контейнера з радіоактивними ізотопами (ізотопом) та заряду хімічної вибухової речовини. При підриві заряду контейнер з ізотопами руйнується та за рахунок ударної хвилі радіоактивна речовина у вигляді дрібнодисперсного пилу розповсюджується на великі відстані, забруднюючи значну територію. Одним із варіантів "брудної бомби" може бути навмисний підрив установки невійськового призначення, в якій використовуються радіоактивні матеріали.

У наш час зброї за типом "брудної бомби", яка стоїть на озброєнні армій держав, не існує. Теоретики вважають, що застосування її недоцільно, бо вона не вирішує бойових завдань: не надає негайного вражаючого ефекту, може призвести до радіаційного забруднення ґрунту та води на великих територіях. Очищення території може зайняти тривалий час та потребувати вкладення колосальних коштів. Дія іонізуючого випромінювання призведе до формування у населення доз, здатних викликати хронічну променевою хворобу, може призвести до появи мутацій у нащадків. За такої ситуації говорити про отримання матеріальної вигоди від війни не приходиться.

Ідею кобальтової бомби висловив у 1950 р. Лео Силард у якості прикладу зброї, яка здатна перетворити цілі континенти на безлюдні пустелі. Піднятий вибухом високо у стратосферу, ізотоп ^{60}Co здатний розсіюватись на великих площах, заражаючи їх. На щастя, такі бомби ніколи не випробовувалися та не створювалися, скоріше за все через непередбачуваність ефекту від їх дії.

Справедливості заради потрібно згадати, що ідея "брудних бомб" у вигляді механічного розпилення радіоактивного матеріалу була вперше описана фантастом Робертом Хайнлайном в оповіданні з красномовною назвою "Нікчемне рішення" у далекому 1940 р.

Часто зустрічається порівняння наслідків аварії на ЧАЕС з дією "брудної бомби". Насправді таке порівняння неправомірно в силу того, що багаторазово великі активності потрапили до атмосфери не після вибуху, а внаслідок пожежі, яка продовжувалась аж до 5 травня 1986 р. Загрозу використання "брудної бомби" терористами скоріш за все слід розуміти не як доставку до місця теракту заздалегідь сконструйованого пристрою, а як загрозу захоплення АЕС або інших об'єктів ядерного циклу.

Санітарні втрати

В останнє десятиліття представники багатьох військових спеціальностей (разом із лікарями) схильні виділяти новий вражаючий фактор – психотравмуючий, підкреслюючи його вплив на формування цілком значних санітарних втрат психогенного походження (психогенія військового часу).

Втрати від психотравмуючого фактора зброї масового ураження поділяються на дві групи:

- 1) такі, що виводять із ладу на короткий час;
- 2) санітарні втрати внаслідок реактивних станів.

Перша група – це особи з ГРС тривалістю від 20–30 хв до 1 доби, більшість з яких лишається в своїх підрозділах.

Друга група – дійсно санітарні втрати, оскільки дані військовослужбовці втрачають боєздатність на строки, які перевищують одну добу (від 1 доби до 6 міс та більше).

Після війни у Персидській затоці таку травму отримали не тільки військовослужбовці, але й десятки тисяч родичів тих, хто воював.

У період бойових операцій у Чечні у 70 % військовослужбовців відзначалися невротичні та психічні стани, при яких потрібно було проведення психофізіологічної корекції. Виникнення стресових реакцій у солдат (75 %) та офіцерів (46 %) призводило до зниження боєздатності частин і підрозділів та збільшення санітарних втрат.

Ризик впливу іонізуючої радіації здатен призвести до формування радіофобії, яка є комплексом нервово-соматичних, психічних та фізіологічних розладів, які іноді важко піддаються лікуванню. Зрозуміло, що дія такого стресора лише збільшить санітарні втрати.

Контрольні питання

1. До щільноіонізуючих видів радіації відносять:
 - A. Альфа-, гамма- та нейтронне випромінювання.
 - B. Протонне-, бета- та гамма-випромінювання.
 - C. Протонне, альфа- та нейтронне випромінювання.
 - D. Залежить тільки від швидкості часток.
 - E. Залежить від енергії часток.
2. До рідкоіонізуючих видів радіації відносять:
 - A. Альфа-, гамма- та нейтронне випромінювання.
 - B. Гамма-, рентгенівське випромінювання.
 - C. Протонне-, бета- та гамма-випромінювання.
 - D. Залежить тільки від швидкості часток.
 - E. Залежить від енергії часток.
3. Природний радіаційний фон складається з:
 - A. Випромінювання земної кори, космічного випромінювання та медичних діагностичних процедур.
 - B. Випромінювання земної кори, космічного випромінювання та випромінювання продуктів, які залишились після ядерних випробувань.
 - C. Зовнішнього та внутрішнього земного та космічного випромінювань.

- D. Суми всіх джерел природного та штучного походження.*
E. Випромінювання тільки продуктів ділення рядів урану та торію.
- 4.** Найбільшу дозу випромінювання людина отримує за рахунок:
A. Випромінювання продуктів ділення рядів урану та торію.
B. Вуглецю-14 та калію 40, які надходять по харчових ланцюжках.
C. Свинцю та полонію 210, які знаходяться у морських продуктах.
D. Радону та його дочірніх продуктів, інгаляційно.
E. Усього перерахованого.
- 5.** Більшу частину радону людина отримує:
A. При палінні.
B. При вживанні гарячих напоїв (чаю, кави).
C. Від води, яка входить до складу продуктів харчування.
D. Від повітря у непротірюваних приміщеннях та водяної пари.
E. Усе перераховане вірно.
- 6.** Найбільшу дозу опромінення населення Землі отримує за рахунок:
A. Космічного випромінювання.
B. Надходження радіонуклідів по харчовим ланцюжкам.
C. Інгаляційного надходження.
D. Зовнішнього випромінювання від природних джерел.
E. Опромінення у діагностичних та лікувальних цілях.
- 7.** Населення, яке проживає поблизу АЕС, отримує дози опромінення:
A. На декілька відсотків більші, ніж ПРФ.
B. Як правило, суттєво перевищуючі ПРФ.
C. Котрі можуть призвести до зниження тривалості життя.
D. Які залежать тільки від типу реактора.
E. Все невірно.
- 8.** Вражаюча дія іонізуючої радіації залежить від:
A. Проникної здатності.
B. Кількості поглинутої енергії.
C. Характеру розподілення поглинутої енергії за часом.
D. Характеру розподілення поглинутої енергії у просторі.
E. Усе перераховане вірно.
- 9.** Критичними структурами шкіри при опроміненні є клітини:
A. Шиповатого шару шкіри.
B. Базального шару шкіри.
C. Зернистого шару шкіри.
D. Блискучого шару шкіри.
E. Рогового шару шкіри.

10. При інкорпорації радіонуклідів найбільш важливі:
- Шляхи потрапляння до організму.
 - Особливості розподілення в органах та тканинах.
 - Час перебування в організмі.
 - Усе перераховане невірно.
 - Усе перераховане вірно.
11. Найбільш ефективним засобом протиemetичної терапії є:
- Перфеназин (етапіразин).
 - Хлорпромазин (аміназин).
 - Метоклопрамід (церукал).
 - Диметпрамід або диксафен.
 - Тропісетрон, ондасетрон.
12. Усі радіоактивні ізотопи розподіляються на групи за принципом:
- Довговічності (період напіврозпаду).
 - Типу та енергії випромінювання.
 - Вибірковості локалізації в організмі.
 - Швидкості елімінації.
 - Усе перераховане вірно.
13. Усі радіоактивні ізотопи розподіляються на групи за принципом:
- Довговічності (період напіврозпаду).
 - Типу та енергії випромінювання.
 - Вибірковості локалізації в організмі.
 - Швидкості елімінації.
 - Усе перераховане вірно.
14. Біологічна небезпека радіоізоотопу передусім залежить від:
- Періоду фізичного напіврозпаду.
 - Періоду біологічного напіввиведення.
 - Ефективного періоду напіввиведення.
 - Усе вірно.
 - Усе невірно.
15. До довгоживучих ізотопів відносяться:
- | | |
|---|---|
| A. ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{90}Sr , ^{137}Cs . | D. ^{241}Am , ^{90}Sr , ^{140}Ba . |
| B. ^{131}I , ^{140}Ba . | E. ^{239}Pu , ^{90}Sr , ^{131}I . |
| C. ^{32}P , ^{234}Ra , ^{90}Sr . | |
16. До остеотропних радіонуклідів відносяться ізотопи:
- Лужно-земельних елементів: Ra, Sr, Ca, Ba.
 - Лужних металів: Cs, Rb, K, Na.
 - Ізотопи, тропні до органів, які багаті на елементи РЕС.
 - Йоду.
 - Усі довгоживучі ізотопи.

17. Рівномірно розподіляються в організмі ізотопи:
- A. Лужно-земельних елементів: Ra, Sr, Ca, Ba.
 - B. Лужних металів: Cs, Rb, K, Na.
 - C. Ізотопи, тропні до органів, які багаті на елементи ПЕС.
 - D. Йоду.
 - E. Усі довгоживучі ізотопи.
18. До групи "гепатотропних" радіонуклідів належать ізотопи:
- A. Лужно-земельних елементів: Ra, Sr, Ca, Ba.
 - B. Лужних металів: Cs, Rb, K, Na.
 - C. Тропні до органів, які багаті на елементи ПЕС.
 - D. Йоду.
 - E. Усі довгоживучі ізотопи.
19. Вибірково накопичуються щитоподібною залозою ізотопи:
- A. Лужно-земельних елементів: Ra, Sr, Ca, Ba.
 - B. Лужних металів: Cs, Rb, K, Na.
 - C. Тропні до органів, які багаті на елементи ПЕС.
 - D. Йоду.
 - E. Усі довгоживучі ізотопи.
20. Радіонукліди можуть потрапити до організму:
- A. Аліментарним шляхом.
 - B. Інгаляційним шляхом.
 - C. Через пошкоджену шкіру.
 - D. Через непошкоджену шкіру.
 - E. Усе перераховане вірно.
21. Найбільш важливим шляхом елімінації радіонуклідів є:
- A. Нирки.
 - B. Легені та шкірні покриви.
 - C. ШКТ.
 - D. ШКТ та нирки.
 - E. Усе перераховане вірно.
22. До клінічних проявів інкорпорації ^{131}I відноситься:
- A. Розвиток радіаційного тиреоїдиту та гіпотиреоз.
 - B. Пошкодження слинних залоз (сухість у роті, нудота).
 - C. Нечітка вираженість гематологічного синдрому.
 - D. Як правило, відсутність реакції з боку органів виділення (нирки).
 - E. Усе перераховане вірно.
23. У результаті інгаляційного потрапляння радіоізотопів розвивається:
- A. Неспецифічний бронхіт.
 - B. Променевий пневмоніт (пульмоніт).
 - C. Фіброз та склероз легень.
 - D. У віддаленому періоді бронхогенний рак.
 - E. Усе перераховане вірно.

Відповіді

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>C</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>B</i>	<i>E</i>
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>E</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
21	22	23							
<i>D</i>	<i>E</i>	<i>E</i>							

ЛІТЕРАТУРА

1. Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия / Штаб ГО СССР. – Москва : Типография ВНОК ГО СССР. – 98 с.
2. Козлов Ф. В. Справочник по радиационной безопасности / Ф. В. Козлов. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
3. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) / Затв. наказом МОЗ України № 208 від 14.07.1997. – Харків : Вид-во "Індустрія", 2008. – 112 с.
4. Осанов Д. П. Дозиметрия излучений инкорпорированных радиоактивных веществ / Д. П. Осанов, И. А. Лихтарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Атомиздат, 1977. – 199 с.
5. Пилипенко М. І. Радіологічна термінологія: довідник / М. І. Пилипенко, Л. Г. Розенфельд – Харків : ХНДМР ім. С. П. Григор'єва, 1999. – 436 с.
6. Суژه А. Рекомендации МКРЗ: Причины изменения / А. Суژه, Ж.-К. Нено // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2005. – Т. 50, № 5. – С. 31–40.

Навчальне видання

РАДІАЦІЙНА ТОКСИКОЛОГІЯ

**Методичні вказівки
для студентів V курсу
медичних та стоматологічного факультетів**

Упорядники Аміразян Сергій Артемович
 Фатєєв Олександр Олександрович

Відповідальний за випуск С. А. Аміразян

Редактор М. В. Тарасенко
Коректор Є. В. Рубцова
Комп'ютерна верстка О. Ю. Лавриненко

Формат А5. Ум. друк. арк. 1,3. Зам. № 17-33447.

**Редакційно-видавничий відділ
ХНМУ, пр. Науки, 4, м. Харків, 61022
izdatknmurio@gmail.com**

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавництв, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції серії ДК № 3242 від 18.07.2008 р.

РАДІАЦІЙНА ТОКСИКОЛОГІЯ

*Методичні вказівки
для студентів V курсу
медичних та стоматологічного
факультетів*