

Глава 12

Інтенсивна терапія та реанімація при радіаційному опроміненні

Цілі

- Визначити види іонізуючого випромінювання та їхній вплив на організм людини.
- Розпізнати ознаки та симптоми, які є результатом гострого радіаційного опромінення.
- Описати необхідні процеси знезараження, сортування пацієнтів та початкового лікування після впливу іонізуючого опромінення.
- Описати методи визначення дози радіації, отриманої постраждалими від радіаційного інциденту.
- Визначити, які пацієнти з гострим опроміненням потенційно можуть отримати користь інтенсивної терапії та реанімації.
- Обговорити стратегії лікування тяжкохворих з гострими променевими синдромами.

Аналіз клінічного випадку

26 квітня 1986 року на 4-му блоці Чорнобильської атомної електростанції сталася аварія. Неконтрольована ядерна ланцюгова реакція призвела до розриву активної зони реактора, що призвело до пожежі в реакторі та значного радіоактивного зараження повітря, що створило зону відчуження в радіусі 30 км навколо майданчика. Пожежники, які реагували на аварію, отримали бета- та гамма-випромінювання, створене ізотопами цезію, йоду та стронцію. Внаслідок цієї аварії у 134 осіб було діагностовано гострий променевий синдром. Цих постраждалих розмістили в лікарнях по всьому регіону, а більшість з них перевезли до Москви для надання остаточної допомоги (Клименко та ін., 2011).

А тепер уявіть, що дев'ятьох із цих працівників транспортували до вашої лікарні через годину після опромінення. У деяких із них відзначаються нудота та блювота, у одного є виражена еритема на шкірі, а в інших захворювання протікає безсимптомно.

- Що вам слід зробити, перш ніж працівники поступлять до вашого відділення невідкладної допомоги (ВНД)?
- Яким чином вам оцінити їхнє радіологічне опромінення? Як визначити опромінення всього тіла?
- Чи становлять ці травмовані працівники ризик для персоналу ВНД?
- Яким чином лікувати цих пацієнтів?

I. ВСТУП

З 1947 року в Міжнародному агентстві з атомної енергії ООН (МАГАТЕ) було зареєстровано понад 3 000 радіаційних аварій у всьому світі. Можливість навмисного чи випадкового впливу іонізуючого опромінення є джерелом великої стурбованості та занепокоєння у всьому світі. Крім того, неможливість виявити радіаційного опромінення без спеціального обладнання робить потенційно небезпечні опромінення особливо небезпечними. Радіаційне

опромінення всього тіла може викликати значну захворюваність і смертність навіть за швидкого та агресивного лікування. Радіаційне опромінення може бути викликане різними шляхами, у тому числі промисловими аваріями, впливом прихованого джерела радіації (простим радіаційним пристроєм), пристроями радіологічного розсіювання (брудними бомбами), аваріями на реакторах або детонацією ядерної зброї. Особливе занепокоєння викликає ймовірність події, пов'язаної з брудною бомбою (звичайні хімічні вибухові речовини, змішані з ядерними матеріалами, такими як уран, торій, плутоній, кобальт-60 або цезій-137). Брудні бомби можуть заразити територію в радіусі 1 000 метрів від місця вибуху. Хоча брудна бомба може не призвести до значного радіаційного опромінення людей, вона може значно ускладнити протоколи дій служби екстреного реагування та впливати на навколишнє середовище протягом тривалого часу після події. Брудні бомби, окрім нанесення травматичних тілесних ушкоджень людям, що знаходяться в безпосередній близькості, можуть викликати значне занепокоєння в довколишнього населення. Навпаки, інциденти, пов'язані з активними ядерними енергетичними реакторами або резервуарами для зберігання опромінених ядерних відходів, можуть призвести до значних радіаційних уражень. Крім великих реакторів на електростанціях, на кораблях, підводних човнах, метеорологічних буях та супутниках є безліч ядерних реакторів меншого розміру. У цій главі представлена основна інформація про радіацію, типи подій, що призводять до опромінення, а також початкову реакцію на події, пов'язані з іонізуючим опроміненням, у тому числі сортування пацієнтів та специфічні методи лікування радіаційних уражень.

II. ОСНОВИ РАДІАЦІЙНОЇ ФІЗИКИ

Існує два загальні види випромінювання — іонізуюче та неіонізуюче. Іонізуюче випромінювання — це будь-яке електромагнітне випромінювання або випромінювання у вигляді частинок, здатне виробляти іони, прямо чи опосередковано, шляхом взаємодії з речовиною. Неіонізуюче випромінювання (лазери, мікрохвилі та радіочастотне випромінювання) не створює іонів або заряджених частинок. У цій главі основна увага приділяється інцидентам, пов'язаним із іонізуючим випромінюванням. Коли іонізуюче випромінювання вступає в контакт з біологічною тканиною, воно поглинається або сповільнюється і завдає шкоди, передаючи свою енергію тканині.

A. Види іонізуючого випромінювання

Існують різні види іонізуючого випромінювання. Вони відрізняються за масою та зарядом (**Таблиця 12-1**).

Таблиця 12-1. Види іонізуючого випромінювання (FDM 3rd Таблиця 6-1)

Радіація	Частинка	Заряд	Маса
Альфа	Ядра гелію	++	~3700 MeV
Бета	Електрон	-	0,5 MeV
Гамма/рентгенівські промені	Фотон	0	0
Нейтрон	Нейтрон	0	900 MeV

Скорочення: MeV, мегаелектронвольт

1. Альфа-промені та альфа-частинки

Альфа-частинки позитивно заряджені (вони, по суті, є ядрами гелію), мають масу і можуть бути легко заблоковані тонкими захисними бар'єрами, такими як папір. Альфа-частинки виділяються дуже важкими ядрами, такими як

радон. Альфа-частинки не становлять зовнішньої небезпеки. Однак альфа-випромінюючі матеріали, якщо їх вдихнути або проковтнути, можуть призвести до значного пошкодження органів. При проковтуванні альфа-частинки викликають у 100 разів більше хромосомних ушкоджень, ніж спричинені еквівалентною кількістю іншого випромінювання.

2. Бета-промені та бета-частинки

Бета-частинки — це негативно заряджені електрони, які можуть подорожувати по повітрю на кілька сантиметрів і легко проходити крізь папір. Ці частинки можуть призвести до зовнішньої небезпеки після тривалого впливу. Вони можуть переміщатися на невелику відстань у тканинах і, якщо задіяні великі кількості, можуть пошкодити базальний шар шкіри. Виникне ураження, яке називається бета-опіком, яке може виглядати схожим на термічний опік.

3. Гамма-промені та гамма-частинки

Гамма-промені є електромагнітними. За певних обставин ядро атома може випромінювати надлишок енергії у вигляді пакета енергії, який називається фотоном. Гамма-промені схожі на рентгенівські промені (які також є електромагнітними) і можуть становити значну зовнішню небезпеку залежно від тривалості впливу, відстані від джерела та типу екранування (за наявності) від гамма-променів. Гамма-промені виходять з ядра атома, а рентгенівські промені — поза межами ядра.

4. Нейтрони

Нейтрони, як і гамма-промені, незаряджені. Вони випромінюються лише при ядерному вибуху або аварії на ядерному реакторі. Оскільки вони нейтральні, нейтрони не пошкоджують безпосередньо клітини. Однак нейтрони мають значну масу; при взаємодії з ядрами атомів вони можуть серйозно порушити атомні структури. В організмі людини нейтрони взаємодіють з воднем молекул води і можуть завдати тканини у 10 разів більше ушкоджень, ніж гамма-промені.

Із аналізу клінічного випадку: який тип іонізуючого радіаційного опромінення був джерелом еритеми у пацієнта?

V. Вплив іонізуючого випромінювання

Іонізуюче випромінювання взаємодіє з організмом людини за допомогою прямих і непрямих механізмів. Радіація безпосередньо взаємодіє з критичними біологічними структурами в клітині людини. Ядро клітини особливо чутливе до радіації. ДНК в ядрі клітини є найважливішою біологічною мішенню прямого випромінювання.

Радіація опосередковано впливає на тканини, виробляючи іони та вільні радикали, які потім взаємодіють з критичними клітинними компонентами. Багато з цих іонів і вільних радикалів утворюються при взаємодії з молекулами води в тканинах. Вільний радикал є хімічною речовиною з неспареним електроном і є потужним окислювачем, який атакує біологічні молекули. Одним із важливих вільних радикалів є гідроксильний радикал (ОН \cdot). Два з цих радикалів з'єднуються, утворюючи перекис водню (ОН \cdot + ОН \cdot = H₂O₂). Це сильний окислювач, який може атакувати та пошкоджувати біологічні молекули, розриваючи хімічні зв'язки. Оскільки майже 80 % усіх м'яких тканин людського організму становить вода, вважається, що непрямий вплив іонізуючого випромінювання є більш вірогідним і руйнівним, ніж прямий вплив. Нейтрони не мають заряду і, таким чином, опосередковано іонізуються з матеріалами. Змішане поле нейтронів і гамма-променів завжди зустрічається в реальних ситуаціях. Біологічні ефекти нейтронів сильно залежать від енергії. Зокрема, нейтрони умовно класифікуються як повільні (теплові) або швидкі (енергія 1 MeV та вище). Вважається, що взаємодії швидких нейтронів із клітинами людського організму особливо руйнівні.

Поглинена доза іонізуючого випромінювання вимірюється в радах (поглинена доза випромінювання), але для

оцінки радіаційного захисту та безпеки використовується одиниця еквівалентної дози бер (біологічний еквівалент рентгена). Для рентгенівських і гамма-променів бер і ради еквівалентні (**Таблиця 12-2**). Нейтрони шкідливіші, ніж гамма-промені — для нейтронів бер у 10 разів вищий, ніж ради. Біологічні ефекти іонізуючого опромінювання можуть бути описані у вигляді локалізованих органоспецифічних ефектів або у вигляді клінічних синдромів після опромінення всього тіла. Ефекти залежать від об'єму органу, підданого опромінюванню (для локалізованих ефектів) та загальної отриманої дози. Доза, у свою чергу, залежить від активності джерела, близькості та тривалості опромінення.

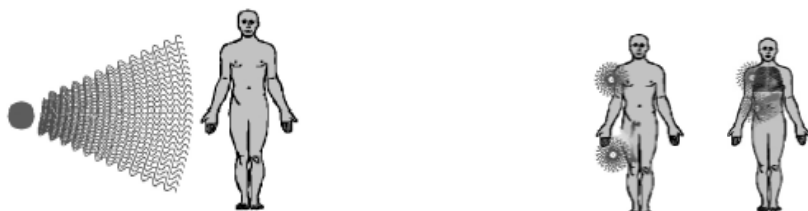
Таблиця 12-2. Одиниці виміру дози радіації (FDM 3rd Таблиця 6-2)

Міжнародні одиниці	Традиційні одиниці	Визначення
Грей (Гр) Сантигрей (сГр)	Рад	Поглинута доза радіації. Це міра кількості іонізуюче випромінювання, що поглинається або розсіюється в даному об'єкті (живому чи неживому). 100 радів = 1 Грей.
Зіверт (Зв)	Бер	Еквівалент дози. Ця одиниця використовується при оцінці радіаційного захисту та безпеки. Вона еквівалентна поглиненій дозі іонізуючого випромінювання з поправкою на тип (якість) випромінювання. Для рентгенівських і гамма-променів еквівалент дози дорівнює поглиненій дозі (фактор якості = 1).

С. Класифікація радіаційної небезпеки

Радіаційна небезпека залежить від ряду факторів, у тому числі джерела випромінювання, його конфігурації, навколишнього середовища та положення пацієнта відносно джерела. Радіаційна небезпека може бути викликана як зовнішнім опроміненням, так і зараженням (**Рисунок 12-1**). При ушкодженнях, викликаних зараженням, присутність радіоізотопів на пацієнтах призведе до опромінення та пошкодження. Без спеціальних пристроїв виявлення неможливо визначити, чи є пацієнт опроміненим чи зараженим. Коли пацієнти сильно заражені, значне розсіювання енергії альфа- або бета-випромінюючих ізотопів при проковтуванні, вдиханні або потраплянні на шкіру може становити серйозну небезпеку для медичних працівників, що знаходяться поблизу. Таким чином, життєво важливо якнайшвидше належним чином знезаразити пацієнтів, щоб знизити ризик передачі зараження від людини до людини. Всіх пацієнтів із внутрішнім зараженням слід розглядати як пацієнтів із зовнішнім зараженням. Належний збір та утилізація відходів (калу, сечі, ранових виділень) від пацієнтів із внутрішнім зараженням дозволяє уникнути подальшого зараження медичних працівників. Деякі поширені види радіаційних аварій описані в **Таблиці 12-3**. Більшість таких аварій пов'язані з викидом матеріалів із промислових чи атомних станцій.

Рисунок 12-1. Характеристики радіаційної небезпеки



Опромінення	Зараження
Пацієнт зазнав впливу іонізуючого випромінювання, але не контактував з радіоактивними ізотопами	Пацієнт заражений радіоактивними частинками. Зараження може бути отримано зовні через шкіру або зсередини при вдиханні, ковтанні або від ран.
Пацієнт НЕ радіоактивний	Пацієнт радіоактивний
Догляд за пацієнтом не є небезпечним для медичних працівників.	Догляд за пацієнтом може бути дуже небезпечним для медичних працівників.
Приклад: пацієнт зазнав впливу джерела радіоактивного випромінювання зі втрачених промислових відходів, але джерело залишалося закритим.	Приклад: пацієнт пив або вмивався водою, зараженою радіоактивними відходами.

Виноска: Опромінені пацієнти піддалися впливу радіації, але не мають радіоізоотопів на тілі чи всередині, і вони не радіоактивні. Заражені пацієнти мають радіоізоотопи на тілі або всередині та є радіоактивними.

Таблиця 12-3. Поширені радіаційні аварії

Подія	Імовірність	Кількість постраждалих
<p>Радіаційна небезпека для медичних закладів чи лікарень Технічні спеціалісти в ядерних аптеках, де виробляють джерела радіації для медичної діагностики та терапії, можуть зазнати радіаційного опромінення. Радіологічний персонал і пацієнти також можуть піддаватися впливу радіації. Зовнішнє та внутрішнє радіаційне опромінення можливе при прийомі внутрішньо або вдиханні, проколі, порізі або зануренні в рідину. Дози в цій категорії, як правило, нижчі за нормативні (менше 5 бер на рік).</p>	Дуже висока	Дуже низька
<p>Сильна промислова радіаційна небезпека Працівники піддаються впливу промислового випромінювання в основному під час інспекцій свердловин, лісозаготівель і зварювальних робіт. Джерела радіації іноді помилково змішують із предметами, що підлягають вторинній переробці, і викликають сильні опіки у працівників складу металобрухту біля плавильних печей. Як правило, негайної смерті не настає, але ймовірні сильні опіки. Такі обставини можна класифікувати як зовнішнє радіаційне опромінення. Якщо джерело демонтовано, зараження не відбувається</p>	Висока	Низька
<p>Небезпека пристрою для розсіювання радіації (брудна бомба) Брудні бомби використовують радіоактивні матеріали разом зі звичайними бомбами для розсіювання радіоактивних матеріалів. Внутрішнє радіаційне опромінення можливе при прийомі внутрішньо або вдиханні, проколі, порізі або зануренні в рідину. Брудна бомба може заразити велику територію або об'єкт. Опромінення може бути незначним, якщо воно взагалі буде.</p>	Середня	Середня
<p>Розплавлення ядерного реактора та викид ізотопів Розплавлення ядерного реактора може призвести до зовнішнього та внутрішнього радіаційного опромінення. Кількість постраждалих і серйозність травм залежатимуть від різних обставин, у тому числі кількості розсіяного випромінювання, географічних факторів, такі як рельєф місцевості та вітер, тривалість опромінення та відстань від джерел випромінювання. Очікується негайна смерть і серйозна небезпека для здоров'я.</p>	Низька	Висока
<p>Ядерний вибух Вибух ядерної бомби з неконтрольованою реакцією синтезу та/або поділу призведе до викиду величезної кількості радіації (в основному гамма-випромінювання та нейтронів) та радіоактивних ізотопів. Очікується велика кількість загиблих через гострий променевиий синдром, вибухову травму й опіки.</p>	Дуже низька	Дуже висока

D. Клінічні ефекти опромінення всього тіла

Після опромінення найбільше постраждають органи зі швидшим оновленням клітин. Насамперед страждає кровотворна система, за нею слідує шлунково-кишковий тракт і судинна система та, нарешті, нервова система, яка є найбільш радіорезистентною. Гострий променевиий синдром розвивається в 4 етапи: продромальний, латентний, хвороба та одужання (**Таблиця 12-4**). Тривалість і тяжкість кожної фази залежать від кількості опромінення, отриманого пацієнтом, при цьому більш високі дози призводять до коротших латентних періодів.

Більш високі дози радіації всього тіла можуть викликати ранні летальні синдроми. При дозах у діапазоні 3–8 Гр без підтримуючої терапії може розвинути летальний гемопоетичний синдром. Смерть від цього синдрому настає через кілька тижнів після дії, тому що гемопоетичні клітини-попередники пошкоджені і, таким чином, не можуть поповнити запас циркулюючих дорослих клітин крові, включаючи еритроцити, лейкоцити та тромбоцити. Пацієнти з цим синдромом можуть вижити при підтримувальній терапії, у тому числі введенні рідин, антибіотиків, переливанні продуктів крові та ретельних заходів інфекційного контролю. Використовувалася трансплантація кісткового мозку, але ефективність втручання незрозуміла та може бути недоцільним варіантом у ситуації з масовими жертвами через обмеженість ресурсів.

Таблиця 12-4. Клінічні ефекти опромінення всього тіла

	Продромальний етап	Латентний етап	Етап хвороби	Одужання
Система кровотворення	Нічого	Стовбурові клітини кісткового мозку гинуть	Зниження у всіх клітинних лініях, інфекція, кровотеча	Відновлення кісткового мозку або смерть за 1–3 місяці
Шлунково-кишковий тракт	Анорексія, блювота, судоми	Стовбурові клітини ШКТ гинуть	Діарея, анорексія, інфекції	Погана виживаність; смерть за 1–3 тижні
Серцево-судинна система	Відчуття печіння в кінцівках	Оклюзії судинних артерій	Артеріальний некроз	Виживання дуже мало ймовірно; смерть за <1 тиждень
Центральна нервова система	Нервозність, сплутаність свідомості	Тимчасове відновлення	Судоми, кома	Відсутність відновлення; смерть за <3 дні

Скорочення: ШКТ, шлунково-кишковий тракт.

Дані з Medical Management of Radiological Casualties Handbook. 4th ed. Bethesda, MD: Armed Forces Radiology Research Institute; 2013.

Пацієнти, які отримали 10 Гр (1 000 радів) і більше, мають невеликі шанси на виживання. При дозах в діапазоні 10 Гр у пацієнтів розвивається шлунково-кишковий синдром, стан, що виникає в результаті депопуляції клітин, що утворюють епітеліальну оболонку шлунково-кишкового тракту. Втрата цих клітин призводить до оголення слизової оболонки кишечника. У постраждалих пацієнтів розвинеться важка діарея, мальабсорбція, тяжкі втрати рідини та порушення електролітного балансу. У пацієнтів із шлунково-кишковим синдромом зазвичай розвивається сепсис і

кривава діарея в блискавичній формі, що зазвичай призводить до шоку та подальшої смерті за один–три тижні. При дуже високих дозах у діапазоні 100 Гр смерть настає приблизно за 1–2 дні через цереброваскулярний синдром зі зміною проникності дрібних кровоносних судин головного мозку. Симптоми включають дезорієнтацію, втрату координації м'язових рухів, дихальний дистрес, судоми та кому. При цій дозі також пошкоджуються інші системи органів, але ці симптоми зазвичай не проявляються через швидку смерть через цереброваскулярний синдром. Очікувані ефекти питомих доз іонізуючого випромінювання наведені у **Таблиці А12-1**.

Виноска: Гострий променевий синдром

4 системи (у порядку зменшення чутливості):

- кровотворення;
- травна;
- судинна;
- нервова.

4 етапи:

- продромальний;
- латентний;
- хвороба;
- одужання.

III. ВИЯВЛЕННЯ, ДІАГНОСТИКА ТА ЛІКУВАННЯ РАДІАЦІЙНОГО ОПРОМІНЕННЯ

Пацієнти з радіаційними ушкодженнями не помирають від гострого променевого синдрому відразу, але можуть померти від пов'язаної травми або опіку. Осіб із важкими травмами слід лікувати насамперед відповідно до характеру їхніх основних звичайних травм. Травматичні та інші небезпечні для життя ушкодження мають перевагу над променевим обстеженням і лікуванням. Постраждалих від радіації слід вивести із зараженої зони та обстежити спочатку за допомогою детектора Гейгера-Мюллера, а потім за допомогою альфа-дозиметра, якщо не виявлено небезпечну для життя надзвичайну ситуацію. Для виявлення радіації необхідно взяти мазки з носа. Далі зніміть забруднений одяг потерпілого, промаркуйте одяг і збережіть його для подальшого дослідження. Якщо є додаткові рани, огляньте їх на ступінь тяжкості, а якщо вони не потребують негайного лікування, накрийте їх стерильною пов'язкою. Після знезараження на місці постраждалих слід доставити до найближчого відділення невідкладної допомоги.

А. Прилади, що використовуються для виявлення та кількісної оцінки радіації

Доза, яку поглинає пацієнт, залежить від трьох факторів: 1) відстань пацієнта від джерела (випромінювання зменшується в коефіцієнт, пропорційний відстані); 2) час впливу; 3) екранування. При подвоєнні відстані до джерела опромінення зменшується вчетверо.

Для вимірювання радіації існує кілька пристроїв. Найпоширенішим є лічильник Гейгера-Мюллера. Основою лічильника Гейгера-Мюллер є трубка, заповнена інертним газом. Коли гамма- або бета-частинка потрапляє в трубку, електропровідність трубки тимчасово зростає. Конфігурація трубки визначає тип випромінювання, яке можна виявити. Усі пристрої для вимірювання радіації вимагають частого повторного калібрування для забезпечення достовірності виміряних даних. Деякі моделі вимірюють радіацію або як кумулятивну загальну дозу (Гр), або як потік радіації (Гр/год). Ці прилади вимірюють бета-, гамма- та рентгенівське випромінювання, але зазвичай не вимірюють альфа- та нейтронне опромінення. Для масових жертв та звичайних радіаційних небезпек підійде будь-який комерційний лічильник Гейгера-Мюллера, який вимірює гамма-, рентгенівське та бета-випромінювання.

В. Первинне знезараження

Пацієнти із зовнішнім або внутрішнім зараженням продовжують отримувати додаткове іонізуюче випромінювання до їх знезараження. Оскільки ці пацієнти переміщуються в межах системи охорони здоров'я, вони можуть заразити медичних працівників і установи. Тому головною метою знезараження є зниження ризику додаткового опромінення пацієнта, а також мінімізація поширення радіоактивного матеріалу серед медичних працівників та установ. В ідеалі пацієнти повинні бути знезаражені перед входом у медичний заклад. Якщо це неможливо, їх слід ізолювати у визначених частинах відділення невідкладної допомоги, операційних і палат. Простий акт зняття одягу та прання водою з милом є ефективним методом для видалення понад 95 % зовнішнього зараження. Слід уникати інтенсивного очищення шкіри, оскільки це може порушити шкірний бар'єр. Знезараження ран має полягати в зрошенні фізіологічним розчином. Хірургічна обробка обмежується видаленням сильно омертвілих тканин.

Живі пацієнти не можуть бути настільки радіологічно заражені, щоб становити гостру небезпеку для медичного персоналу, який займається знезараженням. Медичні працівники, які беруть участь у первинному знезараженні та лікуванні заражених пацієнтів, будуть належним чином захищені, якщо дотримуються універсальних запобіжних заходів. Вжиття універсальних запобіжних заходів дозволить медичним працівникам захистити себе від зараження та поширення матеріалу серед інших осіб по всьому закладу.

Перед знезараженням пріоритет завжди має увага до азбуки реанімації (дихальних шляхів, дихання, кровообігу) та принципів «Удосконаленої системи життєзабезпечення при травмах» Американського коледжу хірургії, а також курсів «Удосконаленої серцево-судинної системи життєзабезпечення» Американської асоціації серця. Пацієнти, які заражені та мають ушкодження, що загрожують життю, мають бути реанімовані у спеціально відведеній зоні ВНД. У цій виділеній зоні має бути наступне: пристрої для моніторингу, попередньо розміщені ЗІЗ, основне реанімаційне та хірургічне обладнання, витратні матеріали, необхідні для збирання проб і тимчасового зберігання відходів. Усі лікувальні столи, поверхні та обладнання мають бути покриті водонепроникними листами. Пацієнти, які заражені та мають незначні ушкодження, повинні бути знезаражені до остаточного лікування їхніх ушкоджень. Особи, які були заражені, але не постраждали, повинні бути знезаражені поблизу місця події.

Належне маркування та зберігання радіоактивних відходів має важливе значення для розслідування ушкоджень пацієнтів і для забезпечення належного подальшого видалення відходів. Воду, використану для знезараження, не слід зливати в міську каналізаційну систему, а збирати та зберігати окремо. Усі люди або матеріали (мішки-маски для реанімації, моніторинг тощо) мають пройти знезараження (**Рисунок 12-2**). Усі пацієнти мають бути перевірені на радіоактивність до знезараження для оцінки отриманої дози та після знезараження для забезпечення ефективного знезараження. Необхідно періодично оцінювати час опромінення медичних працівників і кількість радіації.

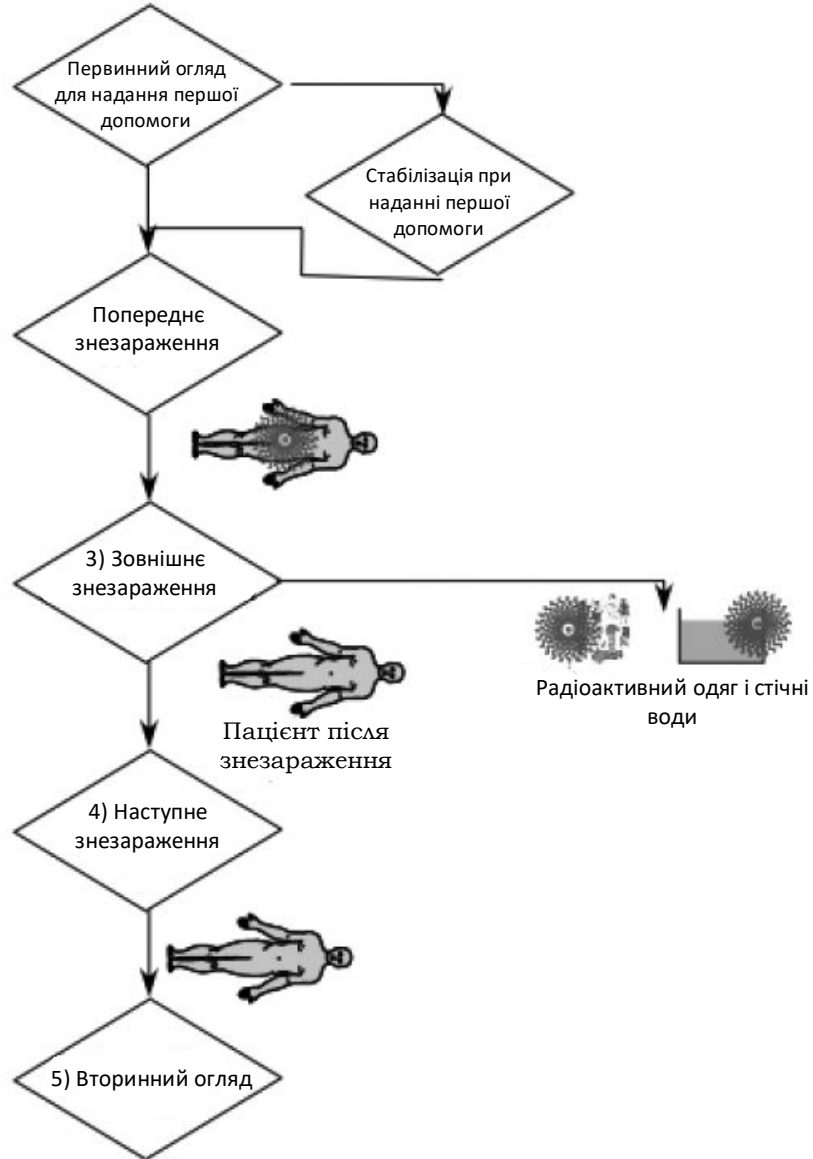
Виноска: Підрахунок радіації має включати:

- пацієнтів перед знезараженням — оцінити їхнє зараження та дозу;
- пацієнтів після знезараження — перевірити ефективність знезараження;
- персоналу, який займається знезараженням, після ротації на місці знезараження, щоб уникнути зараження об'єкта.

Рисунок 12-2. Переміщення пацієнтів із зараженням



Прибуття пацієнта з травмами й інфікованими ранами



Скорочення: азбука, дихальні шляхи, дихання, кровообіг; знезараження.

С. Внутрішньо заражені пацієнти

Методи, що використовуються для знезараження пацієнтів із внутрішнім зараженням, включають розведення, блокування, хелатування, мобілізацію та видалення радіоактивного матеріалу. Лікування залежить від ізотопу та шляху зараження. Конкретні плани для пацієнтів, які були внутрішньо заражені AM-241, Cs-134/137, Co-60, P-32, Pu-238/239, Sr-90, H3, U-235/238 тощо, викладено у **Таблиці A12-2**.

D. Профілактика та лікування йодом

Радіоактивний йод може виділятися внаслідок аварій на ядерних реакторах і ядерних вибухів. Ефективним і недорогим тиреоблокатором є йодид калію (KI). Він запобігає накопиченню радіоактивного йоду в щитовидній залозі. Ефективність KI у захисті щитовидної залози найбільш безпосередньо залежить від часу введення дози відносно часу початкового опромінення. Захист є оптимальним, якщо KI приймається безпосередньо перед опроміненням або відразу після нього. Він має блокувати понад 90 % поглинання радіоактивного йоду щитовидною залозою. При прийомі протягом 3–4 годин після радіаційного опромінення KI здатний блокувати приблизно 50 % поглинання. Як тільки радіоактивний йод зосереджується в щитовидній залозі, KI блокує його виведення. Рекомендована доза KI становить 130 мг/доба (містить 100 мг стабільного йоду) для дорослих і менше для дітей (**Таблиця 12-5** і **Таблиця 12-6**). Разова доза не захистить людей довше, ніж протягом приблизно 36 годин. Тому KI слід вводити щонайменше 3 дні поспіль після радіаційного опромінення, щоб запобігти накопиченню радіоактивного йоду в щитовидній залозі.

Виноска: Йодид калію запобігає накопиченню радіоактивного йоду в щитовидній залозі, тому його слід приймати протягом 3–4 годин після опромінення. Він не захищає від інших ізотопів або опромінення. Адміністрація не повинна відкладати евакуацію та інші заходи.

Таблиця 12-5. Рекомендації щодо введення дози йодиду калію

Пацієнт/вік ^a	Вплив, Гр (ради)	Доза KI (мг)
>40 років	>5 (500)	130
18–40 років	0,1 (10)	130
12–17 років	0,05 (5)	65
4–11 років	0,05 (5)	65
1 місяць–3 роки	0,05 (5)	32
Народження–1 місяць	0,05 (5)	16
Вагітні або жінки, що годують	0,05 (5)	130

^aДіти та підлітки з масою тіла більше 70 кг мають отримувати дорослу дозу (130 мг).

Відтворено з дозволу Markenson D, Redlener I. Pediatric Disaster and Terrorism National Consensus Conference: Executive Summary. New York, NY: National Center for Disaster Preparedness; 2003.

Таблиця 12-6. Рекомендації щодо приготування дозування розчину калію йодиду для дітей

1. Помістіть 1 таблетку KI по 130 мг у невелику миску та подрібніть у дрібний порошок задньою стороною ложки. У порошок не повинно бути великих шматочків.
2. Додайте 4 чайні ложки (20 мл) води до порошку KI. Використовуйте ложку, щоб змішати їх разом, поки порошок KI не розчиниться у воді.
3. Додайте 4 чайні ложки (20 мл) молока, соку, соди або сиропу (наприклад, малинового) до суміші KI та води. Йодид калію, змішаний із будь-яким із рекомендованих напоїв, зберігається в холодильнику до 7 днів.
4. Отримана суміш становить 16,25 мг KI на чайну ложку (5 мл).
5. Рекомендації щодо дозування залежно від віку:
 - Новонароджені–1 місяць — 1 чайна ложка
 - 1 місяць–3 роки — 2 чайні ложки
 - 4 роки–17 років — 4 чайні ложки^a

Скорочення: KI, йодид калію.

^aДіти та підлітки з масою тіла більше 70 кг мають отримувати дорослу дозу (130 мг).

Відтворено з дозволу Markenson D, Redlener I. Pediatric Disaster and Terrorism National Consensus Conference: Executive Summary. New York, NY: National Center for Disaster Preparedness; 2003.

IV. ВЕДЕННЯ ПАЦІЄНТІВ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ РАДІАЦІЇ

A. Визначення дози опромінення пацієнта

Після первинного сортування, лікування ушкоджень, що загрожують життю, та знезараження постраждалих, важливо виявити пацієнтів, які отримали значну дозу опромінення та у яких розвинеться гострий променевиї синдром (**Таблиця 12-7**). Точна оцінка дози є важливою для подальшого сортування постраждалих, вибору терапії та призначення прогнозу. Важливо зібрати анамнез, який визначає відстань пацієнта від джерела опромінення та тривалість опромінення. Крім того, час до появи продромальних симптомів (час до блювоти) та їх тривалість точно сигналізують про кількість радіації всього тіла, отриманої людиною. Пацієнти, які отримали більше 8 Гр, відчувають нудоту протягом 10 хвилин після впливу, тоді як пацієнти, які отримали 2–4 Гр, не проявлятимуть симптомів протягом 1–2 годин. Дозу для всього тіла можна також оцінити, вимірюючи загальну кількість лімфоцитів пацієнта під час пред'явлення, через 24 години і знову через 48 годин. Зниження абсолютної кількості лімфоцитів пропорційне отриманій дозі (**Рисунок 12-3**). Сучасним золотим стандартом для визначення дози є біологічний аналіз хромосомних аберацій. Точну оцінку впливу на все тіло можна зробити, поєднуючи час до початку блювоти, абсолютну кількість лімфоцитів, швидкість виснаження лімфоцитів, відносне збільшення амілази та кількість дицентриків у лімфоцитах периферичної крові (**Таблиця 12-7 і Таблиця 12-8**). Незважаючи на ресурсомісткість, дицентричний аналіз є одним із типів декількох доступних цитогенетичних аналізів, які можна використовувати для гострої біологічної дозиметрії. Докладніше обговорення цих методів можна знайти у «Довіднику з ТМТ», посилання на яке наведено в кінці цієї глави. Оцінку дози радіаційного опромінення можна знайти на вебсторінці (https://www.remm.nlm.gov/ars_wbd.htm). Інформація, необхідна для завершення розрахунку, включає час впливу та один з таких параметрів: час до блювоти, три послідовні підрахунки лімфоцитів або аналіз дицентричних хромосом. Це не замінює більш трудомістку реконструкцію дози, виконану фізиками-медиками, але надає деяку інформацію, необхідну для сортування та завчасного прийняття рішень. Точні оцінки впливу можна отримати за допомогою Інструменту оцінки біодозиметрії (BAT; можна отримати на вебсайті <https://www.usuhs.edu/sites/default/files/media/afrrri/pdf/batbrochure.pdf>). Цей ресурс вимагає наявності облікового запису. BAT поєднує моніторинг радіоактивності рідин організму, мазків та одягу з історією опромінення. Допомогти сортувати пацієнтів може система класифікації, заснована на гематологічних змінах, спричинених впливом іонізуючого випромінювання. Хворих із змінами кровотворення 3-го і 4-го ступеня слід госпіталізувати у ВРІТ. (**Таблиця 12-9**).

Таблиця 12-7. Лабораторні тести для первинної оцінки.

При отриманні пацієнтів розгляньте можливість проведення наступних лабораторних тестів:

Лабораторний тест	Мета
ЗАК з підрахунком лейкоцитарної формули*	Оцінити кінетику лімфоцитів
Рівні ліганду FLT-3 в крові	Маркер гемопоетичного ушкодження
Цитрулін у крові	Зниження рівня свідчить про пошкодження ШКТ

Цитогенні дослідження з індексом наддисперсії	Оцінити часткове опромінення тіла
Інтерлейкін-6 (ІЛ-6)	Збільшується при більшій дозі опромінення
Кількісний Г-КСФ	Збільшується при більшій дозі опромінення
С-реактивний білок (СРБ)	Збільшується при більшій дозі опромінення
Амілаза у сироватці**	Збільшується при більшій дозі опромінення через один день після опромінення

* Повторювати кожні 6 годин **Вихідний рівень і кожні наступні 24 години

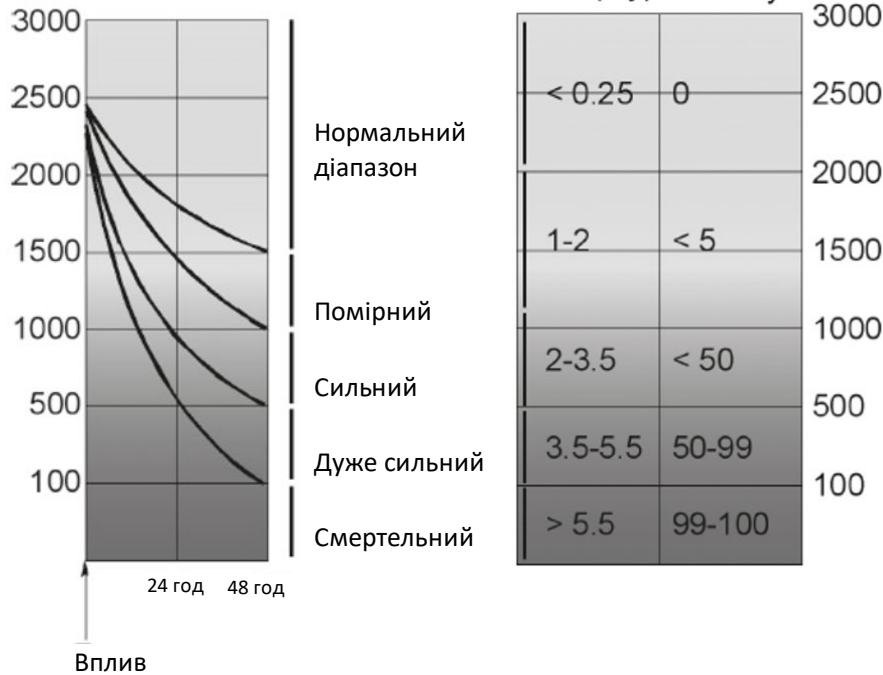
Таблиця 12-8. Багатопараметричні біодозиметри

Доза (Гр)	% блювоти	Середній початок блювоти (год)	Абсолютна кількість лімфоцитів; % от нормальної протягом перших 24 годин	Відносне підвищення амілази в сироватці, день 1	Кількість дицентриків на 50 метафаз
0	-	-	100	1	0,05–0,1
1	19	-	88	2	4
2	35	4,6	78	4	12
3	54	2,6	69	6	22
4	72	1,7	60	10	35
5	86	1,3	53	13	51
> 6	90-100	1,0	< 47	> 15	-

Відтворено з Medical Management of Radiological Casualties Handbook. 4th ed. Bethesda, MD: Armed Forces Radiology Research Institute; 4th Edition of July 2013.

Рисунок 12-3. Відношення зниження абсолютної кількості лімфоцитів до отриманої дози радіації

Кінетика абсолютної кількості лімфоцитів Лімфоцитів за 24–48 год
[10⁹/літр]



Адаптовано з дозволу з Textbook of Military Medicine — Medical Consequence of Nuclear Warfare. Armed Forces Radiobiology Research Institute. <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/emergencies/arsphysicianfactsheet.htm>

*Яких пацієнтів із клінічного випадку слід розглянути для госпіталізації у ВРІТ?
Які критерії будуть потрібні, щоб прийняти це рішення?*

В. Сорткування та критерії госпіталізації до відділення реанімації та інтенсивної терапії

Вживання дуже ймовірно для пацієнтів, які отримали менше 1 Гр радіації та мають мінімальні супутні ушкодження. Ці пацієнти можуть лікуватися як амбулаторно, і у стаціонарних умовах. Пацієнти, які отримали 2–10 Гр, можуть отримати користь від агресивного лікування, що проводиться у ВРІТ. Якщо постраждалих небагато, пацієнтів із значними шкірними, шлунково-кишковими та судинно-нервовими симптомами та гематологічними змінами третього чи четвертого ступеня слід спрямовувати у ВРІТ. Тим не менш, пацієнти, чиє передбачуване зараження перевищує 10–12 Гр, мають отримувати паліативне лікування, оскільки агресивніше лікування не вплине на результат. Аналогічно, пацієнтам із ранньою поліорганною недостатністю слід надавати паліативне лікування, оскільки вони, ймовірно, отримали дуже високі дози опромінення. Пацієнти, які отримали помірні дози радіації та у яких розвинулася полісистемна недостатність органів через кілька днів або тижнів після події, можуть отримати користь від лікування у ВРІТ.

Пацієнти з травмою плюс опроміненням піддаються підвищеному ризику, оскільки травма збільшує летальність від опромінення, а опромінення збільшує захворюваність і смертність від травми. Тому категорії сорткування мають бути відповідно адаптовані (**Таблиця 12-10**).

Виноска: Дози опромінення всього тіла: Імовірні результати

< 1 Гр: у пацієнтів малоймовірні ускладнення; амбулаторний або стаціонарний догляд.

2–10 Гр: пацієнти, які можуть мати ускладнення; можуть скористатися багатоорганною підтримкою у ВРІТ.

>10 Гр: пацієнти навряд чи виживуть; агресивна підтримка навряд чи змінить результат.

Таблиця 12-9. Ступені реакції кровотворення на радіацію у людини

Симптом/ознака	Ступінь 1	Ступінь 2	Ступінь 3	Ступінь 4
Зміни лімфоцитів ^а	>1,5 x 10 ⁹ /л	1–1,5 x 10 ⁹ /л	0,5–1 x 10 ⁹ /л	<0,5 x 10 ⁹ /л
Зміни гранулоцитів ^а	≥2 x 10 ⁹ /л	1–2 x 10 ⁹ /л	0,5–1 x 10 ⁹ /л	<0,5 x 10 ⁹ /л або початковий гранулоцитоз
Зміни тромбоцитів ^а	≥100 x 10 ⁹ /л	50–100 x 10 ⁹ /л	20–50 x 10 ⁹ /л	<20 x 10 ⁹ /л
Втрата крові	Петехії; легкі синці; нормальний гемоглобін	Легка крововтрата зі зниженням гемоглобіну <10 %	Велика крововтрата зі зниженням гемоглобіну на 10–20 %	Спонтанна кровотеча або крововтрата зі зниженням гемоглобіну >20 %

^аДовідкові нормальні показники: лімфоцити 1,5–4 x 10⁹/л; гранулоцити 4–9 x 10⁹/л; тромбоцити 140–400 x 10⁹/л.

Dainiak N, Waselenko JK, Armitage JO, et al. The hematologist and radiation casualties (Дайняк Н., Васеленко Дж. К., Армідедж Дж. О. та ін. «Гематолог і постраждали від радіації»). *Гематологія*. 2003:473-496.

Таблиця 12-10. Категорії сортування, адаптовані для радіаційного опромінення (FDM 3rd Таблиця 6-9)

Звичайні категорії сортування (лише травми)	Категорії сортування, адаптовані для радіаційного опромінення				
	Малоймовірно Важко	Ймовірно	Мінімально	Помірно	
P1	P1	P1 або P4	P1 або P4	P4	P4
P2	P2	P1	P1	P4	P4
P3	P3	P2	P2	P4	P4
P4	P4	P4	P4	P4	P4

Адаптовано з дозволу з NATO Handbook on the Concept of Medical Support in NBC Environments.

С. Лікування у відділенні реанімації та інтенсивної терапії

Початкова підтримуюча терапія пацієнтів з променевими ураженнями включає агресивну інфузійну терапію для корекції дегідратації, протиблювотні засоби, антидіарейні препарати, корекцію електролітних порушень та анальгетики. При опроміненні всього тіла основними підтримуючими методами лікування є інфекційний контроль та відновлення кісткового мозку/імунітету. Профілактичні антибіотики рекомендуються пацієнтам, які отримали більше 2 греїв. У пацієнтів без нейтропенії антибіотики мають бути спрямовані проти відомих інфекцій. Пацієнтам зі значною нейтропенією необхідні профілактичні антимікробні засоби широкого спектру дії. На опроміненіх моделях тварин, а також у пацієнтів з нейтропенією продемонстрували користь фторхінолони. У пацієнтів з нейтропенією також застосовують профілактичні противірусні та протигрибкові засоби. Пацієнтам із значними

рівнями гематопоетичної токсичності у міру необхідності призначають трансфузії еритроцитарної маси та тромбоцитів. Усі трансфузії мають бути лейко-зниженими та опроміненими, щоб знизити ризик реакції «трансплантат проти господаря». Рекомбінантний гранулоцитарно-макрофагальний колонієстимулюючий фактор, гранулоцитарний колонієстимулюючий фактор (Г-КСФ) і пегільований Г-КСФ розглядаються для постраждалих із розрахунковими дозами 3–7 греїв. Для пацієнтів з комбінованими травматичними ушкодженнями діапазон для лікування цитокінами слід зменшити до 2–6 греїв. При радіаційних ураженнях використання трансплантації стовбурових клітин обмежено. Поточні рекомендації полягають у тому, що пацієнтам з розрахунковими дозами 7–10 греїв без значної супутньої захворюваності можна розглянути можливість трансплантації стовбурових клітин. В окремих випадках, коли доступний або сингенний донор, або раніше отриманий аутологічний кістковий мозок, для пацієнтів з опроміненням більше 4 греїв може бути розглянуте переливання стовбурових клітин. В очікуванні потенційної трансплантації стовбурових клітин усім пацієнтам, що надходять у ВРІТ, слід проводити типування людського лейкоцитарного антигену.

У пацієнтів із поєднаними травматичними пошкодженнями або опіками план лікування повинен враховувати променевий синдром: через пригнічення кісткового мозку, супутніх інфекцій та уповільненого загоєння ран хірургічне втручання пов'язане зі значними ускладненнями через 48 годин і поки кістковий мозок не відновиться після опромінення (зазвичай від 80 до 120 днів, **Рисунок 12-4**). Це збільшує навантаження на мізерні ресурси під час масової катастрофи: до цього часу мають бути завершені всі процедури лікування переломів, опіків тощо. Слід віддавати перевагу мінімально інвазивним процедурам, таким як центромедулярний стрижень, щоб мінімізувати кількість і розмір точок входу в шкіру (**Таблиця А12-1**).

Виноска: Лікування гострого променевого синдрому у відділенні реанімації та інтенсивної терапії:

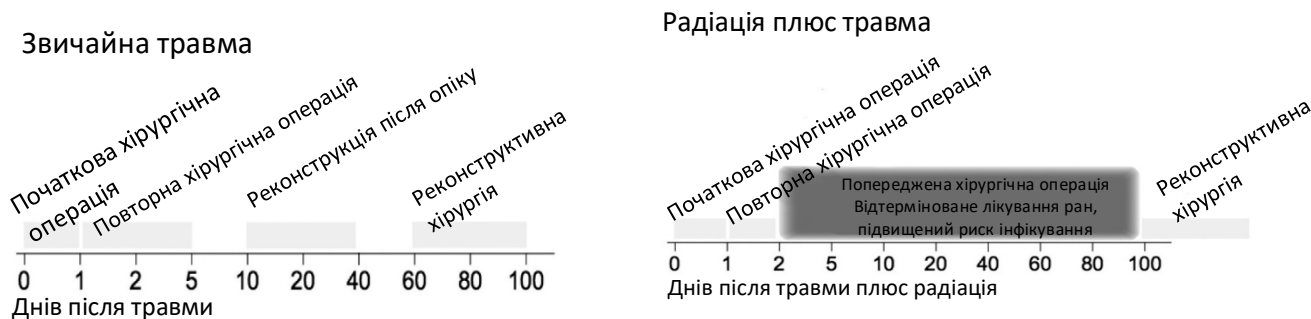
-Рідини/електроліти/протидіарейні засоби/заспокійливі засоби

-Профілактичні антитіла (якщо радіація > 2 Гр)

-Гематологічна підтримка (еритроцитарна маса/тромбоцити) (тільки опромінені продукти)

-Підтримка кісткового мозку

Рисунок 12-4. Логістичні питання та планування лікування після травм або опіків з опроміненням



КЛЮЧОВІ МОМЕНТИ: ІНТЕНСИВНА ТЕРАПІЯ ТА РЕАНІМАЦІЯ ПРИ РАДІАЦІЙНОМУ ОПРОМІНЕННІ

- Чим довше людина піддається радіації, тим більшою буде отримана доза. Отже, постраждалі повинні бути негайно віддалені від джерела випромінювання, та проведено негайне знезараження.

- Доза опромінення людини обернено пропорційна квадрату відстані людини від джерела випромінювання.
- Зняття одягу та миття шкіри з милом та великою кількістю води достатньо, щоб видалити з потерпілого понад 95% зовнішнього радіаційного зараження.
- Якщо у пацієнта є як опромінення, так і ушкодження, що загрожують життю, перш за все слід лікувати ушкодження, що загрожують життю. Лікування радіації, крім знезараження, є другорядним питанням.
- Після ядерного вибуху або аварії на реакторі йодид калію (KI) слід емпірично вводити всім особам, які зазнали опромінення, як разову добову дозу протягом 3 днів (Таблиця 6-5).
- Точна оцінка впливу на все тіло, отримана індивідом, може бути визначена з оцінки часу до появи продромальних симптомів, швидкості виснаження лімфоцитів і результатів дицентричного аналізу лімфоцитів.
- Пацієнти, які отримали 6–10 греїв, можуть отримати користь від агресивного лікування. Пацієнти, які отримали більше 10 греїв радіації всього тіла, навряд чи виживуть, навіть під час проведення агресивного лікування.
- Пацієнтам з нейтропенією можуть знадобитися емпіричні антибіотики та цитокіни.
- Слід розглянути можливість переливання стовбурових клітин пацієнтам, які отримали орієнтовні дози опромінення 7–10 греїв.

Рекомендована література

1. Armed Forces Radiology Research Institute. Medical Management of Radiological Casualties Handbook. 4th ed. Bethesda, MD: НДІ радіобіології збройних сил (Armed Forces Radiology Research Institute); 2013. <https://www.usuhs.edu/sites/default/files/media/afrrri/pdf/4edmmrhandbook.pdf>
2. Armed Forces Radiobiology Research Institute (AFRRI) Pocket Guide: Emergency Radiation Medicine Response. <https://www.usuhs.edu/sites/default/files/media/afrrri/pdf/afrrri-pocket-guide.pdf>. Квітень 2011 р.
3. Бюро медицини та хірургії (Bureau of Medicine and Surgery). Initial Management of Irradiated or Radioactively Contaminated Personnel. Інструкція 6470.10A. <https://www.med.navy.mil/sites/root-eval/directives/ExternalDirectives/6470.10B.pdf>
4. Dainiak, N. та ін. Literature review and global consensus on management of acute radiation syndrome affecting nonhematopoietic organ systems. Медицина катастроф і підготовка до охорони здоров'я (Disaster Med. Public Health Prep.) 5(3), 183-201 (2011)
5. Dainiak, N. та ін. First global consensus for evidence-based management of the hematopoietic syndrome resulting from exposure to ionizing radiation. Медицина катастроф і підготовка до охорони здоров'я (Disaster Med. Public Health Prep.) 5(3), 202-212 (2011)

6. Dainiak, N. Medical management of acute radiation syndrome and associated infections in a high-casualty incident. J Radiat Res 2018;59(suppl_2): ii54-64.
7. National Council on Radiation Protection & Measurements. Management of Persons Contaminated with Radionuclides. Bethesda, MD; National Council on Radiation Protection & Measurements; 2008. Звіт 161.
Надає рекомендації щодо терапії декорпорації для конкретних ізотопів, а також схеми дозування ліків або методів лікування (таблиця 5 і 6 в Медичний контроль постраждалих від радіологічного опромінення (table 5 & 6 in Medical Management of Radiological casualties)).<https://ncrponline.org/publications/reports/ncrp-report-161/>
8. Perez, MR. та ін. The TMT Handbook: Triage, Monitoring and Treatment. 2009. ISBN 978-82-90362-28-2.
Доступно на вебсайті <http://www.tmt handbook.org/>
9. Smith JM, Spano MA. CDC: Interim Guidelines for Hospital Response to Mass Casualties from a Radiological Incident. [Проміжні рекомендації щодо реагування лікарень на масові жертви внаслідок радіологічного інциденту \(cdc.gov\)](https://www.cdc.gov/emergencies/diseases/nrcr/interim-guidelines-for-hospital-response-to-mass-casualties-from-a-radiological-incident)
10. Waselenko JK, MacVittie TJ, Blakely WF, та ін Medical management of the acute radiation syndrome: recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group. Ann Intern Med. 2004;140(12):1037-1051.

Для дітей та осіб з особливими потребами

1. Pediatric Disaster and Terrorism National Consensus Conference: Executive Summary. Нью-Йорк, Нью-Йорк: Національний центр підготовки до катастроф (National Center for Disaster Preparedness); 2003.
<https://www.aap.org/en-us/advocacy-and-policy/aap-health-initiatives/Children-and-Disasters/Documents/execsumm03.pdf>

Рекомендовані вебсайти

2. Науково-дослідний інститут радіобіології Збройних сил США. Університет медичних наук силових структур (Armed Forces Radiobiology Research Institute. Uniformed Services University of Health Sciences).
<https://www.usuhs.edu/afri>
3. Готовність до надзвичайних ситуацій та реагування. Центри з контролю та профілактики захворювань США (Emergency Preparedness and Response. Centers for Disease Control and Prevention). [Що робити в радіаційній надзвичайній ситуації | CDC \(What to do in a Radiation Emergency | CDC\)](https://www.cdc.gov/emergencies/diseases/nrcr/what-to-do-in-a-radiation-emergency)
4. <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/emergencies/masscasualties/training.htm>
5. <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/emergencies/pdf/ars.pdf> (Брошура для лікарів Гострий променевий синдром (A brochure for Physicians Acute Radiation Syndrome))
6. Міжнародне агентство з атомної енергії (International Atomic Energy Agency). www.iaea.org
7. Медичний контроль радіаційних уражень (Medical Management of Radiation Injuries), 2020, доступно на вебсайті <https://www.iaea.org/publications/12370/medical-management-of-radiation-injuries>
8. Центр радіаційної невідкладної допомоги/Навчальний сайт. Окріджський інститут науки та освіти (Radiation Emergency Assistance Center/Training Site. Oak Ridge Institute for Science and Education). www.ornl.gov/reacts

9. Міністерство внутрішньої безпеки США. www.dhs.gov. Комісія ядерного регулювання США (US Department of Homeland Security. www.dhs.gov. US Nuclear Regulatory Commission). www.nrc.gov.
10. Радіаційна швидка медична допомога (РЕММ) Міністерства охорони здоров'я та соціальних служб США (U.S. Department of Health & Human Services REMM Radiation Emergency Medical Management): <https://www.remm.nlm.gov> Чудовий комплексний онлайн-ресурс для медичних працівників, які надають допомогу постраждалим внаслідок впливу іонізуючого випромінювання.
11. https://www.remm.nlm.gov/radiation_children.htm
12. Мережа ВООЗ із забезпечення медичної готовності та допомоги при радіаційних надзвичайних ситуаціях (WHO Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network (REMPAN)) https://www.who.int/ionizing_radiation/a_e/rempan/en/

Додаток

Таблиця А12-1. Медичні аспекти радіаційного ураження

Дозування (розрах.)	Початкові симптоми	Початкові симптоми Інтервал «початок-закінчення»	Медичні проблеми	Показане медичне лікування	Розпорядження без медичної допомоги	Розпорядження з медичною допомогою	Клінічні зауваження
0–0,35 Гр АБО 0–35 РАДІВ	Нічого	Н/Д	Почуття тривоги	Підбатьорювання	Амбулаторно	Амбулаторно	Ймовірність прояву тривоги
0,35–0,75 Гр АБО 35–75 РАДІВ	Нудота, легкий головний біль	ПОЧАТОК 6 год ЗАКІНЧЕННЯ 12 год	Нічого	Підбатьорювання	Амбулаторно	Амбулаторно	Легка депресія лімфоцитів протягом 24 год
0,75–1,25 Гр АБО 75–125 РАДІВ	Тимчасова легка нудота, блювота у 5–30% персоналу	ПОЧАТОК 3–5 год ЗАКІНЧЕННЯ 24 год	Можливість уповільненого загоєння травматичних та хірургічних ран. Мінімальний клінічний ефект	Хірургічна обробка та первинне закриття всіх ран. Без відстроченої операції	Обмежений режим. Без подальшого радіаційного опромінення. Планова операція або поранення	Обмежений режим. Без подальшого радіаційного опромінення	Помірне зниження кількості лімфоцитів, тромбоцитів і гранулоцитів. Підвищена чутливість до умовно-патогенних мікроорганізмів
1,25–3 Гр АБО 125–300 РАДІВ	Тимчасова нудота від легкої до помірної, блювота у 20–70% персоналу. Втомлюваність від легкої до помірної і слабкість у 25–60% персоналу	ПОЧАТОК 2–3 год ЗАКІНЧЕННЯ 2 дні	Значна медична допомога може знадобитися через 3–5 тижнів для 10–50% пацієнтів. Очікувані проблеми повинні включати інфекцію, кровотечу та лихоманку. Поранення або опіки геометрично збільшують захворюваність і смертність	Рідина та електроліти для втрат ШКТ. Розглянути цитокіни для пацієнтів із ослабленим імунітетом (дотримуватись кількості гранулоцитів)	LD5–LD10 Обмежений режим. Далі уникати радіаційне опромінення, планова операція або поранення	Обмежений режим. Далі уникати радіаційне опромінення, планова операція або поранення	Якщо через 48 годин після опромінення є більше $1,7 \times 10^9$ лімфоцитів на літр, малоімовірно, що особа отримала смертельну дозу. Пацієнтам з низьким (300–500) чи меншим числом лімфоцитів або низьким числом гранулоцитів слід розглянути питання про цитокінову терапію та біологічну дозиметрію з використанням метафазного

3–5,3 Гр АБО 300–530 РАД	Тимчасова нудота помірного ступня та блювота у 50–90% персоналу. Завчасно: Втомлюваність від легкої до помірної і слабкість у 80–100% персоналу	Нудота/блювота ПОЧАТОК 2 год ЗАКІНЧЕННЯ 3–4 дні Діарея ПОЧАТОК 10 днів ЗАКІНЧЕННЯ 2–3 тижня	Частий діарейний стілець, анорексія, підвищена втрата, рідини, виразка, загибель клітин крипт та лімфоїдної тканини пейєрової бляшки. Підвищена сприйнятливість до інфекцій у період зниженого імунітету. Кровоточивий діатез за 3–4 тижні через втрату мегакаріоцитів	Рідина та електроліти для втрат ШКТ. Розглянути цитокіни (ГКСФ або ГМКСФ) для пацієнтів із ослабленим імунітетом (дотримуватись кількості гранулоцитів). Специфічна антибіотикотерапія інфекцій. Може знадобитися знезараження ШКТ хінолонами. Використовувати аліментарне харчування	Ті, хто вижив від LD10–LD50, можуть повернутися до легкого режиму через 5 тижнів. Без подальшого радіаційного опромінення	Збільшений відсоток тих, хто вижив можуть повернутися до звичайного режиму через 5 тижнів. Без подальшого радіаційного опромінення	аналізу, де це можливо Втрата лімфоцитів від помірної до важкої. Проводити підрахунок кожні 6 годин у перші кілька днів, якщо це можливо для прогнозу. Помірна втрата гранулоцитів і тромбоцитів. Випадання волосся через 14 днів. Тромбоцитопенія на пурпура з'являється за 3 тижні. Розглянути терапію цитокінами та біологічну дозиметрію з використанням метафазного аналізу. Втрата клітин крипт і шлунково-кишкових може призвести до умовно-патогенної бактеріальної інфекції. Уникати парентерального харчування та центральних внутрішньовенних систем. Передбачити анаеробну колонізацію. Усі хірургічні процедури необхідно виконувати протягом перших 36–48 годин після опромінення. Будь-яку додаткову операцію слід відкласти на період до 6 тижнів після опромінення
5,3–8 Гр АБО 530–800 РАДІВ	Нудота від помірної до важкої та блювота у 50–90%	ПОЧАТОК Менше 1 год ЗАКІНЧЕННЯ Невизначено. Може перейти	У період від 10 днів до 5 тижнів у 50–100% персоналу	Для покращення виживання потрібна інтенсивна терапія	LD50–LD90 на нижньому кінці діапазону експозиційної дози. Смерть	Завчасна евакуація до медичного центру третинного рівня до початку захворювання.	Лімфоцитів практично немає через 48 годин. Сильне падіння гранулоцитів та

	персоналу. Завчасно: Помірна втомлюваність і слабкість у 80–100% персоналу. Часта діарея	безпосередньо до шлунково-кишкового синдрому без перерви	очікується розвиток патогенних та умовно-патогенних інфекцій, кровотеча, лихоманка, втрата апетиту, виразки ШКТ, кривавий пронос, нудота, важкі зрушення рідини та електролітів, втрати в третій простір, та гіпотонія	третинного рівня. Рідина та електроліти для втрат ШКТ. Може знадобитися переливання крові та/або введення колоїдів. Цитокіни для пацієнтів з ослабленим імунітетом. Специфічна антибіотикотерапія інфекцій, що включає протигрибкові засоби. Потребує знезараження ШКТ хінолонами. Використовувати аліментарне харчування	може наступити за 6 тижнів у більш ніж 50%. На верхньому кінці діапазону експозиційної дози смерть може настати за 3–5 тижнів у 90%	Пацієнтам знадобиться широка зворотна ізоляція, щоб запобігти перехресному зараженню та внутрішньолікарняно му зараженню	тромбоцитів пізніше. У сценаріях чистого радіаційного опромінення ці пацієнти потребують найвищого пріоритету. Прихований період між продромальними симптомами та явним захворюванням може бути дуже коротким. Коли це радіаційне ураження поєднується з якоюсь значною фізичною травмою, показники виживання наближаються до нуля. Усі хірургічні процедури необхідно виконувати протягом перших 36–48 годин після опромінення. Будь-яку додаткову операцію слід відкласти на період до 6 тижнів після опромінення. Терапія стероїдами неефективна
8–30+ Гр АБО 800–3000+ РАДІВ	Сильна нудота, блювота, втома, слабкість, запаморочення та дезорієнтація. Водно-електролітний дисбаланс від помірного до важкого, гіпотензія, можлива висока лихоманка та раптовий судинний колапс	ПОЧАТОК Менше 3 хв ЗАКІНЧЕННЯ Смерть	Ймовірна смерть за 2–3 тижні. Мінімальна перерва між продромальним синдромом і проявом захворювання. При високих рівнях радіації переважають симптоми з боку ЦНС зі смертю, вторинною по відношенню до церебральної судинної	Підтримуюча терапія у високих діапазонах доз. Агресивна терапія, якщо чисте радіаційне ураження та деякі ознаки реакції	Категорія очікування LD90–LD100	Завчасне переведення до медичного центру третинного рівня під час явного захворювання. Пацієнтам знадобиться широка зворотна ізоляція, щоб запобігти перехресному зараженню та внутрішньолікарняно му зараженню. Більшість пацієнтів залишаться в очікуванні	Кістковий мозок повністю виснажується протягом кількох днів. Трансплантація кісткового мозку може покращити або не покращити кінцевий результат через пізній променевий пневмоніт та фіброзні ускладнення. Навіть незначні поранення можуть стати смертельними.

			недостатності				Агресивна терапія показана, коли є ресурси та можлива транспортування до медичного центру третинного рівня.
--	--	--	---------------	--	--	--	---

Таблиця А12-2. Радіонукліди внутрішнього зараження: Характеристика та лікування

Елемент	Абсорбція через дихальні шляхи, осадження	Абсорбція через ШКТ, осадження	Абсорбція через рановий дефект шкірного покриву	Первинна токсичність	Лікування
241Am	75% всмоктується 10% зберігається	Мінімальне, зазвичай нерозчинне	Швидке в перші кілька днів	Скелетне осадження, пригнічення кісткового мозку, осадження в печінці	Хелатування з ДТПА або ЕДТА
137-134Ce	Повністю всмоктується, слідує за калієм	Повністю всмоктується, слідує за калієм	Повністю всмоктується, слідує за калієм	Ниркова екскреція, бета- та гамма-випромінювання	Іонообмінні смоли Пруський блакитний
60Co	Висока абсорбція, обмежене утримання	< 5% абсорбція	Невідомо	Гамма-випромінювач	Промивання шлунка, пеніциламін у важких випадках
131I	Висока абсорбція, обмежене утримання	Висока абсорбція, обмежене утримання	Висока абсорбція, обмежене утримання	Абляція/карцинома щитовидної залози	Йодотерапія
32P	Висока абсорбція, обмежене утримання	Висока абсорбція, обмежене утримання	Висока абсорбція, обмежене утримання	Кісткові клітини, які швидко реплікуються	Промивання, гідроксид алюмінію, фосфати
238-239Pu метал або сіль	Висока абсорбція, обмежене утримання	Мінімальне, зазвичай нерозчинне	Обмежена абсорбція, можуть утворюватися вузлики	Легені, кістки, печінка	Хелатування з ДТПА або ЕДТА

238-239Pu Сильно обпечені оксиди	Обмежена абсорбція, високе утримання	Мінімальне, зазвичай нерозчинне	Обмежена абсорбція, можуть утворюватися вузлики	Місцеві ефекти від утримання в легенях	Хелатування з ДТПА або ЕДТА, промивання легень
210Po	Помірна абсорбція, помірне утримання	Мінімальне	Помірна абсорбція	Селезінка, нирки	Промивання, димеркапрол
226Ra	Невідомо	абсорбція 30%, але екскреція з калом 95%	Невідомо	Скелетне осадження, пригнічення кісткового мозку, саркома	Промивання MgSO ₄ , хлорид амонію, кальцій, альгірати
90Sr	Помірне утримання	Помірна абсорбція	Невідомо	Кістки слідуєть за кальцієм	Стронцій, кальцій, хлорид амонію
Тритій (Т або 3H) Водень-3 Тритієва вода = НТО	НТ – мінімальне НТО – повне	НТ – мінімальне НТО – повне	НТО – повне	Панмієлоцитопе нія	Розведення з контрольовани м споживанням води, діурез
Фториди 238- 235U UO ₃ , сульфати, карбонати	Висока абсорбція, високе утримання	Висока абсорбція	Висока абсорбція, подразник шкіри	Ниркове, сечова екскреція	Хелатування з ДТПА* або ЕДТА, NaHCO ₃
Деякі оксиди, нітрати 238- 235U	Помірна абсорбція, високе утримання	Помірна абсорбція	Невідомо	Нефротоксичне, сечова екскреція	Хелатування з ДТПА або ЕДТА, NaHCO ₃
Високі оксиди, гідриди, карбіди, зола 238-235U	Мінімальна абсорбція, утримання залежно від розміру частинок	Мінімальна абсорбція, висока екскреція	Невідомо	Нефротоксичне, сечова екскреція	Хелатування з ДТПА* або ЕДТА, NaHCO ₃
238U Збіднений металевий уран	Утримання залежно від розміру частинок	Мінімальна абсорбція, висока екскреція	Утворює псевдокісти з виділенням сечі Обмежена абсорбція	Нефротоксичне, відкладення в кістках, нирках, мозку	Видалення частинок, якщо це можливо