

УДК 614.876

ВОЛОДИМИР АНАТОЛІЙОВИЧ ВІННІКОВ¹, ГАЛИНА ВАСИЛІВНА КУЛІНІЧ¹,
ІГОР ЮРІЙОВИЧ ЧЕРНЯВСЬКИЙ²

¹ ДУ «Інститут медичної радіології ім. С. П. Григор'єва НАМН України», Харків

² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

РАДІОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ МОЖЛИВИХ СЦЕНАРІЇВ КОНТАКТУ З РАДІАЦІЙНИМ ЧИННИКОМ У ВІЙСЬКОВІЙ ПРАКТИЦІ В УКРАЇНІ

Мета роботи. Класифікувати основні радіологічні наслідки радіаційного опромінення, що призводять до втрат дієздатності особового складу підрозділів Збройних Сил України за різних сценаріїв контакту з радіаційним чинником, очікуваних у сучасній військовій практиці.

Матеріали і методи. Проведено інформаційний пошук у нормативних документах з військової системи радіаційної безпеки і настановах з воєнної радіології. Змодельовано ймовірні сценарії радіаційного опромінення військових підрозділів в умовах воєнного часу згідно із сучасною парадигмою використання ядерної зброї. Здійснено аналіз і синтез актуальної інформації стосовно ранніх радіобіологічних ефектів радіаційного впливу на людину в тих умовах, що відповідають військовим сценаріям опромінення.

Результати. Вперше представлено логічну та зручну класифікацію можливих сценаріїв опромінення у військовій практиці, що поєднує причинну ситуацію, тип бойового завдання і ранні клінічні ефекти, які спричиняють зниження дієздатності особового складу. Наведено п'ять причинних ситуацій, кожна з яких містить від одного до трьох варіантів контакту із радіаційним чинником, для кожного з яких, у свою чергу, представлено специфічну симптоматику ранніх клініко-біологічних ефектів зовнішнього та/або внутрішнього опромінення. При оцінках втрат дієздатності підрозділів основним критерієм має бути частота і ступінь тяжкості загальної первинної реакції на радіаційний вплив. Визначено порядок зростання небезпеки наслідків опромінення: від радіофобії до токсемічної і церебральної форми гострої променевої хвороби (ГПХ), синдрому ранньої тимчасової непрацездатності та комбінованих радіаційно-травматичних і радіаційно-термічних уражень.

Висновки. Клінічні наслідки радіаційного впливу, що виступають детермінантами втрат дієздатності військових підрозділів, істотно варіюють залежно від сценарію контакту із променевим чинником. Недоуваження радіологічних ефектів поза межами ГПХ може призвести до помилок при оцінках втрат в умовах воєнного часу. Подальша оптимізація системи військової радіаційної безпеки вимагає встановлення чітких кількісних коефіцієнтів зв'язку між різними клінічними симптомами і втратами дієздатності в опроміненних підрозділах.

Ключові слова: військові сценарії радіаційного опромінення, гостра променева хвороба, місцеві променеві ураження, орофарингеальний синдром, радіофобія, втрата дієздатності особового складу військових підрозділів.

У світлі сучасних подій українська армія отримала прогресивний напрямок модернізації та наближення до стандартів НАТО. У межах цього процесу вочевидь мають бути переглянуті концептуальні засади військової радіаційної безпеки (ВРБ).

За умов мирного часу військова радіаційна гаульз досить ефективно регламентується настановами і наказами з часів СРСР [1, 2]. Державними гігієнічними нормативами «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)» [3] і вказівками МАГАТЕ [4, 5]. Проте для умов бойових дій парадигма ВРБ в Україні істотно відрізняється від підходу, що прийнятий в арміях країн НАТО [6, 7]. Ідеологічна і фактологічна

база вітчизняної ВРБ все ще спирається на концепції та знання, що були актуальними 50–70 років тому [8–18]. Залишається незмінною методологія оцінки радіаційно-зумовлених втрат серед особового складу, яка обмежується додозалежним частотно-часовим розподілом випадків гострої променевої хвороби (ГПХ) різного ступеня тяжкості і смертності від неї [1, 2, 16–21]. При цьому як джерело радіаційного навантаження розглядається «за замовчуванням» тільки гамма-випромінення у сценарії тотального, відносно рівномірного опромінення, а діапазон поглинутих доз обмежено значеннями 5–6 Гр.

Між тим, за час, що минув з 1970–1980-х років, було впроваджено нові типи ядерних боєприпасів

(ЯБ), розроблено бойові спецзасоби на нових фізичних принципах, сформувався концепція оцінювання наслідків дії радіаційного чинника не тільки за виживаністю, але й за боєздатністю особового складу [21–23]. Для цього стратифікація втрат повинна обов'язково враховувати провідний характер діяльності військового персоналу: переважно розумовий (оцінка обставин і прийняття рішень) чи переважно фізичний [24]. Проте в усіх відомих керівних настановах з ВРБ, що містять таблиці з оцінками очікуваних втрат, виживаності і дієздатності [1, 2, 16–21], в жодному разі не вказано алгоритм отримання таких оцінок і не наведено конкретних клінічних симптомів, за рахунок яких втрачається дієздатність.

Ще однією характерною рисою керівних настанов з ВРБ є класифікація рівнів променевого ураження у відриві від санітарних втрат, викликаних іншими уразливими факторами ядерного вибуху, як-от ударною хвилею, світловим і тепловим випромінюванням і хіміотоксичною дією радіоактивних елементів, що потрапили в організм. Дійсно, оцінка втрат від комбінованих радіаційних уражень (КРУ) є дуже складним завданням, що вимагає врахування низки варіабельних факторів [25], але ігнорування КРУ буде мати катастрофічні наслідки при розподілі медичних ресурсів під час первинної фази організації медичної допомоги потерпілим [26, 27].

Вочевидь, першим кроком на шляху оновлення клініко-радіобіологічного сектора системи ВРБ має стати раціональний перегляд семіотики клінічних наслідків опромінення, що впливають на дієздатність особового складу. При цьому мають бути враховані не тільки різні ступені ГПХ, а й увесь спектр різноманітних радіологічних ефектів, які істотно варіюють залежно від умов контакту із променевим чинником.

В умовах воєнного часу характер такого контакту і відповідні втрати дієздатності визначатимуться насамперед типами бойових завдань, які мають виконувати підрозділи в рамках певної причинної ситуації. Отже уявляється доцільним провести систематизацію можливих військових сценаріїв опромінення з паралельним аналізом ранніх клінічних наслідків радіаційного впливу та їх якісним ранжуванням за ступенем негативного впливу на дієздатність особового складу.

За нашими даними, такий підхід оприлюднюється вперше.

Дослідження виконано в межах планової НДР ДУ ІМР НАМН, шифр НАМН 03.16, «Модернізація радіологічних засад військової системи радіаційної безпеки».

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У чинних нормативних документах з ВРБ і керівництвах з воєнної радіології [1, 2, 14–21] враховуються фактично два глобальних типи сценаріїв: застосування ядерної зброї та аварії на об'єктах ядерної промисловості, насамперед атомних електростанцій (АЕС). Відповідно, джерелами радіаційної небезпеки військового характеру вважаються проникна радіація від ядерного вибуху і радіоактивного зараження місцевості (РЗМ), внутрішнє опромінення від радіонуклідів унаслідок їх потрапляння пероральним чи інгаляційним шляхом, або через ранову поверхню, наведена активність з ґрунту, техніки і власного тіла, додаткове опромінення від радіоактивного забруднення одягу, техніки і транспортних засобів. Точність оцінки сумарного дозового навантаження залежить від коректного врахування кожної з цих компонент. Обсяги і структура очікуваних санітарних втрат у вогнищі ядерного ураження можуть бути надзвичайно варіабельними, оскільки залежать не тільки від дії радіації, але й багатьох інших чинників (екранування, наявності травм та опіків і т. ін.).

Для оцінки розмаїття теоретично можливих варіантів радіаційного ураження за умов військового часу було проведено аналіз літератури щодо сучасної доктрини використання ядерних джерел і досвіду екстремальних радіологічних подій, в яких брали участь армійські підрозділи [22, 23, 28–33]. З'ясувалося, що чимала кількість варіантів умов опромінення насправді вкладається в обмежене число причиново-наслідкових ситуацій, у межах яких реалізуються певні сценарії, пов'язані із виконанням конкретних бойових завдань. Як результат цієї роботи, в таблиці наведено перелік таких сценаріїв з відтворенням провідних варіантів впливу радіаційного чинника та відповідними радіогенними клінічними симптомами.

Вірогідні військові сценарії контакту з радіаційним чинником

№	Причинна ситуація	Сценарій (бойове завдання)	Провідні варіанти впливу радіаційного чинника	Клінічні синдроми, що спричиняють втрату дієздатності	
1.1	Радіоактивне зараження навколишнього середовища внаслідок вибуху ядерного боєприпасу	Підрозділ РХБ захисту виконує деконтамінацію/ дезактивацію об'єктів, техніки, території	Пролонговане рівномірне гамма-опромінення у низьких дозах	Радіофобія	
1.2	(у т. ч. на об'єктах інфраструктури) чи руйнації реактора на об'єкті ядерної енергетики (АЕС)	Підрозділ здійснює марш на місцевості, що зазнала радіоактивного зараження	Пролонговане рівномірне гамма-опромінення зі змінною потужністю дози, часто у поєднанні зі впливом α -, β -випромінення на відкриті ділянки поверхні тіла. Внутрішнє опромінення від радіонуклідів (інгаляція, абсорбція кризь слизові)	Радіофобія. Променевий дерматит. За відсутності засобів захисту: променевий пневмоніт і променевий блефарокон'юнктивіт. Променевий ентероколіт. Гемато-імунно-ендокринно-психологічні порушення. ГПХ I. Радіохімічна інтоксикація	
2.1.a	Аварія на об'єкті ядерної енергетики (АЕС), у т. ч. викликана вибухом ЯБ	Виконання підрозділом охорони об'єкта (АЕС)	Гостре нерівномірне або дозоградієнтне гамма-опромінення із додатковим впливом α -, β -радіації і переважним ураженням: – верхньої частини тіла (голова, торс)	ГПХ I, II, III і IV ст. Синдром множинної дисфункції органів (синдром взаємного обтяження). Дисфункція щитоподібної залози при потрапленні ^{131}I . Променевий дерматит.	
2.1.б				– нижньої частини тіла (живіт, ноги)	Кишковий синдром
2.2					Комбіноване радіаційно-термічне ураження. Сепсис
2.3					Комбінована радіаційно-механічна (компресійна) травма. Кровотеча. Сепсис
3.1				Бойове зіткнення із застосуванням набоїв з ^{238}U	Екіпаж БМП/БТР/танка
3.2		Мотострілкові підрозділи	Радіоактивна шрапнель — інкорпорація мікрочастинок за током крові	Комбінована радіаційно-механічна (компресійна) травма. Сепсис. Радіохімічна інтоксикація	
3.3		Інженерні підрозділи та підрозділи технічного обслуговування та ремонту пошкодженої техніки	Тактильний контакт. Наддисперсний пил	Променевий дерматит. Променевий пневмоніт	
4	Приховане використання бойових радіоактивних аерозолів	Мотострілкові підрозділи на ділянці руху або при зайнятті району ПТД	Аерозоль. Інгаляційна інкорпорація $^{239,240}\text{Pu}$, ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr	Радіохімічна інтоксикація. Орофарингеальний синдром. Променевий пневмоніт	
5.1	Вибух тактичного ядерного боєприпасу, у т. ч. для «деескалації» конфлікту	Підрозділ у ПТД / ППД – на відкритій місцевості	Гостре, тотальне дозоградієнтне гамма-нейтронне опромінення із різним коефіцієнтом нерівномірності	Комбінована радіаційно-механічна (компресійна) травма. Кровотеча. Шок. Сепсис. ГПХ I, II, III і IV ст.	
5.2		– у будівлі, сховищі, неброньованому транспорті	Гостре, нерівномірне дозоградієнтне гамма-нейтронне опромінення із переважним ураженням верхньої частини тіла (голова, торс)	Комбіноване радіаційно-термічне ураження. Сепсис. Орофарингеальний синдром. ГПХ I, II, III і IV ст.	
5.3		– в БТР / БМП / танку	Істотний градієнт нейтронного опромінення. Градієнт частково компенсовано вторинним наведеним гамма-випроміненням з металевих поверхонь	ГПХ I і II. Променевий дерматит	

Слід пам'ятати, що на відміну від звичайних бойових дій активна фаза військового конфлікту із застосуванням ядерної зброї триватиме 1–2 доби, і її результати (ступінь досягнення політичної мети) стануть очевидними за тиждень. У таких умовах найважливішим фактором — детермінантом дієздатності підрозділів — є частотно-ступеневий розподіл індивідуальної первинної реакції організму на вплив іонізуючого випромінювання (ІВ), що складається із комплексу симптомів, які з'являються в перші кілька хвилин — годин після опромінення [15–18, 24–27, 34–37].

У механізмі розвитку первинної реакції провідну роль відіграють радіотоксини, що утворюються під час опромінення і впливають на інтерорецептори. Радіотоксинами є перекисні продукти і речовини хіноїдного ряду, похідні від біологічних молекул, ушкоджених вільними радикалами, які в свою чергу є результатом взаємодії продуктів радіолізу води між собою і з киснем. До радіотоксинів вільнорадикального генезу додаються серотонін, гістамін і різноманітні молекулярні продукти розпаду клітин, що гинуть за механізмом апоптозу чи некрозу. Виникає порушення регуляції судинного тонуусу і гіперстимуляція означеними біологічно активними речовинами хеморецептивної тригерної зони на дні ІV шлуночка продовгуватого мозку.

В осіб, які зазнали гострого, короткочасного радіаційного впливу у високих дозах, раптово настає нудота і блювання, слабкість, головний біль, запаморочення, стан збудженості чи, навпаки, пригнічення та апатії, в'ялість, сонливість, жага, сухість у роті. Інколи виникає біль у за груднинному просторі чи в животі. Блювання може бути одноразовим, повторним, багаторазовим, нестримним. При дії високих доз радіації вмикаються рефлекторні механізми, що спричиняють потужну аферентну імпульсацію з рецепторів шлунково-кишкового тракту. Іноді розвиваються проноси, тенезми, парез шлунка і кишечника. В тяжких випадках слабкість досягає стану адинамії.

При об'єктивному обстеженні виявляють різні вазомоторні реакції: гіперемію і гіпергідроз шкіри, тахікардію, транзиторне підвищення артеріального тиску із подальшою гіпотонією. Підвищується температура тіла, може розвинути гостра серцево-судинна недостатність. У периферичній крові визначається нейтрофільний лейкоцитоз зі зсувом вліво, відносна лімфопенія, що утворюється внаслідок дозозалежної інтерфазної загибелі лімфоцитів та їх інтенсивної міграції до м'яких тканин, і схильність до ретикулоцитозу.

Із плином часу токсичні речовини метаболізуються і виводяться з організму, що сприяє покращенню загального стану організму. Настає латентний період відносного клінічного благополуччя. При тяжкому і вкрай тяжкому ступені первинної реакції у потерпілих визначається нестача власних ендогенних тіолів, які знешкоджують радіотоксини, і в таких випадках період відносного клінічного благополуччя може не настати без інтенсивної дезінтоксикаційної терапії.

Ступінь вираженості, час появи і тривалість симптомів первинної реакції корелює із поглинутою дозою опромінення, тому саме ці симптоми вважаються діагностично-прогностичними при визначенні ступенів ГПХ. При легкому ступені тяжкості період загальної первинної реакції триває до 1 доби, при середньому ступені — до 2 діб, при тяжкому ступені — до 3 діб, при вкрай тяжкому ступені — до 4 діб. У цілому, тяжкість і час розвитку цього симптомокомплексу є критичними факторами для оцінки санітарних втрат серед особового складу військ і визначення потрібних об'ємів контрзаходів.

При високих поглинутих дозах на шкіру, в тому числі при тактильному контакті із джерелами радіації, важливу роль відіграють променеві ураження шкіри. Їх ранні прояви характеризуються так званою «первинною еритемою», що виникає в перші кілька годин після опромінення при поглинутих дозах від 6 Гр і вище, при β -опроміненні — від 30 Гр. При розвиненому променевому опіку II ст. (поглинуті дози 12–30 Гр) первинна еритема зберігається від кількох годин до 2–3 діб. У разі опромінення в дозах 50 Гр і вище виникають променеві опіки вкрай тяжкого ступеня (IV ст.) із явищами некрозу. До того ж первинна еритема надзвичайно виразна і переходить у розпал хвороби без латентного періоду, натомість одразу проявляється як набряк шкіри, крововиливи і некротичні вогнища в уражених ділянках, розвиток больового синдрому, швидке приєднання вторинної інфекції, зростання загальної інтоксикації організму. При дозах понад 100 Гр наприкінці першої доби може виникнути так звана «парадоксальна ішемія»: шкіра, підшкірна жирова клітковина і м'язи утворюють єдиний цупкий конгломерат, а знекровлена шкіра набуває білого кольору. Через 3–4 доби шкіра над вогнищем ураження чорніє через розвиток коагуляційного некрозу.

При накопиченні досить високих доз опромінення (понад 1 Гр) на слизових, у тому числі при інтенсивному потраплянні радіонуклідів, істотну роль у погіршенні стану організму військовослужбовців відіграє орофарингеальний синдром. Він проявляється у вигляді гіперемії, набряку, вогнищового і зливного епітелііту, порушень слиновиділення (ксеростомія), болю при ковтанні і проходженні їжі крізь стравохід. При високих дозах на гортань розвиваються явища ларингіту. Судинна реакція слизових оболонок у вигляді почервоніння, набряку, опалесценції відмічається через 4–8 год після опромінення; пороговою дозою для розвитку небезпечно бурхливої ранньої фази орофарингеального синдрому вважається 5–7 Гр.

У нашому дослідженні «найм'якшим» сценарієм, що начебто виключає можливість розвитку бурхливої ранньої реакції, є пролонговане рівномірне гамма-опромінення у низьких дозах, коли підрозділ виконує деконтамінацію чи дезактивацію об'єктів, території, що зазнали радіоактивного забруднення. Близьким до цієї ситуації є сценарій, в якому підрозділ перетинає місцевість, що зазнала радіоактивного зараження, і потрапляє під пролонговане, рівномірне гамма-опромінення зі змінною потужністю дози, часто

у поєднанні зі впливом β -випромінювання на відкриті ділянки поверхні тіла, з можливим додатковим внутрішнім опроміненням від радіонуклідів унаслідок інгаляції чи абсорбції крізь слизові. Спільною характеристикою зазначених сценаріїв є наявність дозиметричного контролю із можливістю (інколи — умовною) нормування променевого навантаження.

За низьких доз і потужностей опромінення на перше місце серед клінічних синдромів виходить радіофобія. З досвіду досліджень на групах військовослужбовців, які брали участь у ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 р., відомо, що навіть за повної відсутності надфонових рівнів радіаційного випромінювання неправильна інформованість особового складу про начебто високу потужність дози в місці робіт призводила до масової появи психогенної симптоматики, аналогічної розвиненій первинній реакції організму на вплив іонізуючої радіації, включаючи інтенсивне блювання і навіть гематологічні зрушення. Оскільки означені сценарії пролонгованого опромінення будуть масовими, такі клінічні наслідки можуть відіграти істотну негативну роль в аспекті зниження дієздатності підрозділів.

Крім того, певний внесок буде робити недосконалість фізичної дозиметрії у полях змішаного гамма- і бета-випромінювання, що й досі проводиться за допомогою приладів, відградуйованих тільки за гамма-випромінюванням. Як відомо з досліджень ізотопного складу РЗМ після вибухів ЯБ і катастроф на АЕС, енергетичний спектр бета-випромінювання може досягати максимуму в діапазоні від 1,45 до 3,50 МеВ. Отже, на фоні типового для РЗМ фотонного випромінювання з енергією від кількох кеВ до кількох МеВ променеве навантаження від бета-випромінювання на висоті 1 м від поверхні ґрунту на відкритій місцевості може бути у 5–20 разів вищим, ніж від гамма-випромінювання. До того ж, унаслідок особливості просторового поглинання енергії бета-випромінювання його основна дія припадає на шкіру і підшкірну клітковину та кристалик ока, і ураження саме цих органів слід враховувати в оцінках втрат дієздатності.

У тих сценаріях опромінення, де ключову роль відіграють аерозольні форми радіонуклідів (похідні від вибуху набоїв з ^{238}U і бойові радіоактивні аерозолі на основі альфа-випромінювачів), головна проблема також пов'язана зі складністю їх детекції фізичними методами і нестачею надійних клінічних даних щодо радіотоксичності і кінетики саме цих форм (агрегатного стану) радіонуклідів в організмі людини.

Завершують перелік сценаріїв у край тяжкі ураження зі швидким терміном реалізації у втрату дієспроможності. В осіб, опромінених у дозах від 20 до 50 Гр, розвивається токсемічна (судинна) форма ГПХ: критичні розлади гемодинаміки, пов'язані з парезом і підвищенням проникненості судин, прояви загальної інтоксикації внаслідок масового потрапляння у тканини та органи продуктів розпаду тканин, первинних і вторинних радіотоксинів, ендотоксинів кишкової мікрофлори. Токсемія визначає порушення функцій нервових центрів, порушення мозкового

кровообігу і набряк мозку, що прогресує до смерті на 4–7-му добу.

При імпульсному або короткочасному високопотужному опроміненні голови чи верхньої частини тіла (чи всього тіла) в дозах 50 Гр і вище виникає церебральний синдром. Протягом кількох хвилин після опромінення розвивається колаптоїдний стан, слабкість, атаксія, судоми. Даний симптомокомплекс має назву «синдром ранньої тимчасової недієздатності» (РТН) і може тривати 10–45 хв. У подальший, досить короткий період унаслідок загибелі нервових клітин зростають ознаки набряку мозку, психомоторне збудження, атаксія, гіперкінези, дезорієнтація, судоми, розлади дихання і судинного тону, що закінчується комою і смертю не пізніше як через 48–72 год після опромінення. Вочевидь, РТН є найнебезпечнішим радіаційним наслідком для військових підрозділів, оскільки фактично унеможливує виконання бойових завдань.

Проте картина радіогенних втрат у ранній постекспозиційний період істотно змінюється у ситуаціях, коли радіаційне опромінення є однією зі складових комбінованого ураження — радіаційно-хімічного або, що є частішими у бойових сценаріях, радіаційно-термічного і радіаційно-травматичного. Зниження чи взагалі втрата дієздатності у потерпілих з КРУ виникає насамперед за рахунок нерадіаційної компоненти ураження, а променеві синдроми є факторами, що обтяжують ситуацію [25–27].

Критичну важливість відокремлення осіб із КРУ при тріажі потерпілих було аргументовано доведено в рекомендаціях з медичного менеджменту радіаційних надзвичайних ситуацій Департаменту охорони здоров'я і людських служб США [27]. Як зазначено в монографії «Medical consequences of radiological and nuclear weapons» [26], сутність військового тріажу полягає у первинному визначенні випадків із ураженнями, які загрожують життю, але потребують невеликих витрат ресурсів і мають найвищу вірогідність виживання. Тому в умовах обмеженості медичних ресурсів потерпілі із травмами, які потребують негайної допомоги, та, до того ж, опромінені в дозах понад 2 Гр, набувають зниженого пріоритету серед інших жертв, або переводяться до категорії очікуваних летальних втрат [27]. Отже, оцінки втрат від радіогенної первинної реакції та РТН набувають сенсу для тих підрозділів, які перебували на достатній відстані від епіцентру, щоб пошкоджувальна дія термічного фактора та ударної хвилі була зведена нанівець. З урахуванням співвідношення різних уражуючих компонентів сучасних типів ЯБ стає очевидним, що провідну роль в реалізації радіологічних наслідків буде відігравати їх тип — термоядерні чи нейтронні.

При використанні термоядерних боєприпасів малої потужності в радіусі ефективною уражуючої дії проникної радіації (до 2,5 км) все ще велику роль відіграє термічний фактор, і тому в структурі причин зниження дієздатності саме термічні опіки виступатимуть критичним ефектом. При застосуванні ж нейтронної зброї розрахунок робиться на розвиток у край тяжких

форм ГПХ і загибелі уражених осіб протягом кількох діб, до того ж, відносно малою часткою випадків ураження середнього і легкого ступеня. Проте внаслідок особливостей поглинання енергії іонізуючого випромінювання, у випадку нейтронів утворюється потужний градієнт дози від поверхні тіла по глибині тканини, і така нерівномірність опромінення має певні клінічні особливості, порівняно із наслідками дії рідкоіонізуючих випромінень.

За присутності нейтронів у спектрі вибуху первинна реакція у потерпілих є бурхливішою і розпочинається одразу після експозиції. Синдром РТН виникає при нижчих дозах, ніж за дії гамма-випромінювання: 10–50 Гр. У цей ранній період різко проявляються гемодинамічні розлади, астенизація, гіподинамія, гастроінтестинальний синдром. З емпіричного досвіду інцидента на ядерному виробництві Токаї-Мура (Японія, 2001) відомо, що після короткочасного гамма-нейтронного опромінення потерпілі із променевим навантаженням у дозі 18–24 Гр і 8–10 Гр з перших секунд відчували біль, нудоту та утрудненість дихання, тоді як особа із поглинутою дозою 2–3 Гр не мала значущих ранніх симптомів (наведено інтервальні оцінки поглинутих доз за поєднаними даними фізичної реконструкції і цитогенетичної дозиметрії) [38, 39]. У потерпілого із дозою 8–10 Гр блювання відкрилося через 1 год після опромінення, а в особи з дозою 18–24 Гр — через кілька хвилин після опромінення, і в останньому випадку це супроводжувалося втратою свідомості на наступні 70 хв. Крім того, у потерпілого із дозою 8–10 Гр за кілька хвилин виникла еритема обличчя, шкіри грудей, плеча і руки, що супроводжувалася сильним набряком і болем у кінцівці.

Коротку порівняльну характеристику клінічних наслідків впливу проникної радіації термоядерного і нейтронного боєприпасів на відкритій місцевості було представлено у нашій попередній публікації [40]. Було зроблено висновок, що за відсутності детекторів нейтронів швидка оцінка втрат дієздатності може ґрунтуватися тільки на ранніх клініко-радіобіологічних ознаках променевого ураження на певній відстані від центру вибуху. В цілому відомо, що за присутності нейтронної компоненти у спектрі вибуху ЯБ істотно посилюються частота і вираженість тих ефектів, що є головною причиною втрат боєздатності на ранньому етапі: диспептичного синдрому (нудота, блювання, діарея), порушень з боку серцево-судинної системи (тахікардія, біль у серці, стрибки артеріального тиску, гостра серцева недостатність, колапс) і змін з боку центральної нервової системи (головний біль, запаморочення, психомоторне збудження чи адинамія, сонливість, втрата координації руху, втрата свідомості, підвищення температури тіла, гіпергідроз, тремор, загальна слабкість/виснаження, менінгеальний синдром). Утім, у практичному аспекті для кожного з вищенаведених клінічних симптомів це посилення потребує кількісної оцінки, формалізації і включення у вигляді чітких кількісних коефіцієнтів до настанов з військової радіології та ВРБ.

Таким чином, при аналізі можливих сценаріїв контакту з радіаційним чинником у військовій практиці було встановлено, що розмаїття вірогідних сценаріїв, пов'язаних із виконанням бойових завдань, можна звести до п'яти причинних ситуацій, у межах кожної з яких визначається від одного до трьох варіантів контакту з радіаційним чинником, що відрізняються за механізмами пошкоджувального впливу і клінічними наслідками. Для прагматичної оцінки втрат дієздатності у різноманітних радіологічних ситуаціях критично важливим є визначення п'яти факторів — енергетичного спектра випромінень, поглинутої радіаційної дози, тривалості експозиції, присутності дозиметричного супроводу і наявності комбінованих уражень.

Об'єктом розрахунків при оцінках змін дієздатності підрозділів на першому етапі має бути частота і ступінь маніфестації загальної первинної реакції на радіаційне опромінення та її вищої форми — синдрому ранньої тимчасової недієздатності. Порядок зменшення критичності клінічних ефектів у військових сценаріях опромінення є таким:

- комбіновані радіаційно-травматичні і радіаційно-термічні ураження у потерпілих при вибуху термоядерного боєприпасу;
- вкрай тяжкі ступені променевого ураження (токсемічна і церебральна форми) при тотальному опроміненні у потерпілих при вибуху нейтронного боєприпасу;
- церебральний та орофарингеальний синдроми в нерівномірно опроміненіх осіб з переважним ураженням верхньої частини тіла;
- кишковий синдром у нерівномірно опроміненіх осіб з переважним ураженням нижньої частини тіла;
- ураження шкіри при нерівномірному опроміненні з нейтронною компонентою чи при локальному тактильному контакті із джерелами випромінювання (у т. ч. наведеного);
- орофарингеальний синдром, блефарокон'юнктивіт і радіохімічна інтоксикація при внутрішньому потрапленні радіонуклідів чи бойових радіоактивних аерозолів у високих концентраціях;
- транзитивні порушення функційного стану центральної нервової системи, серцево-судинної системи і шлунково-кишкового тракту у межах загальної первинної реакції на гостре, відносно рівномірне опромінення в дозах, що викликають розвиток ГПХ I і II ст.;
- радіофобія і психогенні розлади у представників особового складу при виконанні бойового завдання за наявності умовного контролю радіаційної обстановки.

Структурування сценаріїв контакту з променевим чинником за типом бойових завдань та розширений аналіз відповідних клінічних наслідків є необхідним первинним елементом у переліку заходів з модернізації вітчизняної системи ВРБ. Подальша робота в цьому напрямку має включати розробку нового формалізму для опису кількісного зв'язку між клінічними

симптомами та зниженням дієздатності, а також уточнення практично-значущих параметрів, що відображують органоспецифічну токсичність радіонуклідів, кінетику бойових аерозолів, роль синдрому взаємного обтяження при ураженні різних органів, застосування радіопротекторів і роль вихідного типу індивідуальної реактивності організму. Саме це стане основою для нового підходу у військовій радіології, який дозволить адекватно оцінювати і прогнозувати санітарні втрати і зміни дієздатності особового складу при дії ІВ в умовах воєнного часу.

ВИСНОВКИ

На сучасному етапі реформування Збройних Сил України та їх наближення до стандартів НАТО військова система нормувань радіаційних навантажень вимагає уточнених оцінок втрат дієздатності особового складу за різних умов опромінення. Детермінантами втрат виступають клінічні наслідки радіаційного впливу на людину, що мають специфіку залежно від сценарію контакту із променевим чинником.

Уперше представлено логічну та зручну класифікацію можливих сценаріїв опромінення у військовій практиці, що поєднує причинну ситуацію, тип бойового завдання і ранні клінічні ефекти, які спричиняють зниження дієздатності. Загалом визначено п'ять

причинних ситуацій, кожна з яких містить від одного до трьох варіантів контакту із радіаційним чинником, які, у свою чергу, містять специфічну клінічну симптоматику. Для коректної оцінки радіогенних втрат необхідно враховувати енергетичний спектр випромінень, розмірність поглинутих радіаційних доз, тривалість експозиції, присутність дозиметричного супроводу і наявність додаткового ураження від нерадіаційних факторів.

Представлено перелік ранніх клініко-біологічних ефектів зовнішнього і внутрішнього опромінення, які можуть зустрітися у військовій практиці. Об'єктом розрахунків при оцінках змін дієздатності підрозділів має бути частота і ступінь прояву загальної первинної реакції на радіаційний вплив. У межах запропонованої класифікації військових сценаріїв опромінення наведено логічний порядок зростання небезпеки наслідків радіаційного впливу: від радіофобії до токсемічної і церебральної форми ГПХ, синдрому РТН та комбінованих радіаційно-травматичних і радіаційно-термічних уражень.

Перспективою розвитку такого підходу має стати формалізація умов опромінення, відповідних клінічних наслідків та їх зв'язку зі втратою дієздатності для різних типів бойових завдань в умовах воєнного часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Рекомендации по критериям оценки боеспособности и трудоспособности лиц, подвергшихся острому радиационному воздействию.* — М. : Воениздат, 1981. — 16 с.
2. *Рекомендации по оценке последствий воздействия поражающих факторов ядерного взрыва на личный состав войск, сил флота, формирующей гражданской обороны и населения.* Приказ министра обороны СССР № 310 от 23 декабря 1983 г. — М., 1983. — 44 с.
3. *Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97).* ДГН 6.6.1-6.5.001-98. — Київ, 1998. — 125 с.
4. *МАГАТЭ. Серия норм безопасности МАГАТЭ № GSR Part 3 — Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные стандарты безопасности, STI/PUB/1578.* — 2015. — 477 с.
5. *МАГАТЭ. Серия норм безопасности МАГАТЭ № GS-R-2 — Готовность и реагирование в случае ядерной или радиационной аварийной ситуации, STI/PUB/1133.* — 2004. — 92 с.
6. *An Evaluation of Radiation Exposure Guidance for Military Operations: Interim Report.* Institute of Medicine / Eds.: J. C. Johnson, S. Thaul. — Washington : D.C. (USA) : National Academy Press, 1997. — 78 p.
7. *Potential Radiation Exposure in Military Operations: Protecting the Soldier Before, During, and After.* Committee on Battlefield Radiation Exposure Criteria, Institute of Medicine / Eds.: S. Thaul, H. O'Maonaigh. — Washington : D.C. (USA) : National Academy Press, 1999. — 160 p.
8. *Нейтронное оружие и характер его воздействия // Гражданская оборона.* — 1977. — Вып. 6. — 98 с.
9. *Гозенбук В. Л. Дозовая нагрузка на человека в полях гамма-нейтронного излучения / В. Л. Гозенбук, И. Б. Кеирим-Маркус, А. К. Савинский, Е. Н. Чернов.* — М., Атомиздат, 1978. — 166 с.
10. *Климов И. А. Зависимость степени тяжести острой лучевой болезни от дозы радиации при неравномерном облучении человека / И. А. Климов // Военно-мед. журн.* — 1979. — № 11. — С. 29–31.
11. *Марасанов Р. А. Основные итоги научно-исследовательских работ по совершенствованию медицинской противорадиационной защиты / Р. А. Марасанов, В. Г. Владимиров, С. И. Черняк // Военно-мед. журн.* — М. : Военное издание. — 1988. — Вып. 45. — С. 139–145.
12. *Гозенбук В. Л. Дозиметрические критерии тяжести острого облучения человека / В. Л. Гозенбук, И. Б. Кеирим-Маркус.* — М. : Энергоатомиздат, 1988. — 184 с.
13. *Актуальные проблемы военной радиологии / Под ред. Э. А. Нечаева.* — М. : Воениздат, ЦВМУ МО, 1991.
14. *Защита от оружия массового поражения / Под ред. В. В. Мясникова. 2-е изд., перераб. и доп.* — М. : Воениздат, 1989. — 398 с.
15. *Миргородский В. Р. Безопасность жизнедеятельности : курс лекций / В. Р. Миргородский // Московский гос. ун-т печати.* — М. : МГУП, 2001. — 288 с. (Лекция 2. Чрезвычайные ситуации, вызванные применением военных средств поражения).
16. *Бадюгин И. С. Военная токсикология, радиология и защита от оружия массового поражения / И. С. Бадюгин.* — М. : Воениздат, 1992. — 336 с.

17. *Військова токсикологія, радіологія та медичний захист* : Підручник // За ред. Ю. І. Скалецького, І. В. Місули. — Тернопіль : Укрмедкнига, 2003. — 362 с.
18. *Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита* : Учебник / С. А. Куценко, Н. В. Бутомо, А. Н. Гребенюк и др. ; под ред. С. А. Куценко. — СПб. : Фолиант, 2004. — 528 с.
19. *Защита от оружия массового поражения и химическое обеспечение войск ПВО. Алгоритмы решения задач по оценке последствий воздействия на войска ПВО современных средств поражения: методические рекомендации* / Под ред. И. М. Каргашова. — МО СССР ; Академия ПВО им. Л. А. Говорова, 1990. — 114 с.
20. *Виявлення та оцінка хімічної та радіаційної обстановки* : навч. посібник / В. В. Кірдеєв, В. П. Лаврик, І. І. Попов та ін. — Харків : ХВУ, 2003. — 184 с.
21. *Радіаційний, хімічний, біологічний захист підрозділів* : навч. посібник / Г. Б. Гишко, А. Г. Гутченко, В. В. Убоженко та ін. — Харків : ХУПС, 2015. — 160 с.
22. *Василенко И. Я.* Ядерное оружие нового поколения и его радиационно-гигиенические аспекты / И. Я. Василенко, О. И. Василенко // Бюллетень по атомной энергии. — 2004. — № 1. — С. 60–62.
23. *Чернявський І. Ю.* Військова дозиметрія : Підручник / І. Ю. Чернявський, В. В. Марущенко, І. М. Мартинюк. — Харків : Підручник НТУ «ХП», 2012. — 560 с.
24. *Иванов И. В.* Исходная реактивность организма и радиационные воздействия: лечебно-профилактические аспекты проблемы: научно-практическое руководство / И.В. Иванов. — М. : Изд-во РМАПО, 2005. — 395 с.
25. *Хоруженко А. Ф.* Комбинированные радиационные поражения при чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени / А. Ф. Хоруженко // Стратегия гражданской защиты: Проблемы и исследования. — 2014. — Т. 4, № 1. — С. 310–323.
26. *Medical consequences of radiological and nuclear weapons* / ed.: A.V. Mickelson. — Fort Detrick, Maryland (USA) : Office of the Surgeon General, Borden Institute, 2012. — 293 p.
27. *Guidance on Diagnosis and Treatment for Healthcare Providers Radiation Emergencies Medical Management*, US Department of Health and Human Services. <https://www.remm.nlm.gov/TriageToolscombined.pdf>.
28. *Белоус В.* Тактическое оружие в новых геополитических условиях / В. Белоус // Ядерный контроль. — 1996. — № 14.
29. *Соков Н.* Тактическое ядерное оружие: новые геополитические реальности или старые ошибки / Н. Соков // Ядерный контроль. — 1997. — № 26.
30. *Широкоград А.* Малая бомба для малой войны / А. Широкоград // Независимое военное обозрение. — 1998. — 6 марта.
31. *Левшин В. И.* О применении ядерного оружия для деэскалации военных действий / В. И. Левшин, А. В. Неделин, М. Е. Сосновский // Военная мысль. — 1999. — № 3. — Вып. 5–6. — С. 34–37.
32. *Действия войск РХБ защиты* / С. А. Богданов, О. П. Козырев, В. В. Коробушин и др. // Участие Вооруженных Сил в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС — М. : Военная академия хим. защиты им. С. К. Тимошенко, 1995. — С. 42–47.
33. *Чернявський І. Ю.* Обґрунтування шляхів вдосконалення системи збору та обробки інформації про РХБ обстановку при виконанні завдань підрозділами та частинами у складі ОСШР щодо нейтралізації збройного конфлікту / І. Ю. Чернявський // Інформаційний бюлетень військ РХБ захисту : Науково-інформаційне видання. — Харків : ХІТВ, 2008. — № 6. — 100 с.
34. *Радиационные поражения человека* / Под общ. ред. Л. И. Ильина. — М. : ИздАТ, 2001. — Т. 2. — 432 с.
35. *Радиационные поражения человека* / Под общ. ред. Л. И. Ильина. — М. : ИздАТ, 2001. — Т. 3. — 402 с.
36. *Синдромы острой лучевой болезни. Клинические проявления, профилактика и лечение* / Г. М. Аветисов, В. Г. Владимиров, С.Ф. Гончаров и др. — М. : ВЦМК «Защита», 2003. — 244 с.
37. *Гребенюк А. Н.* Основы радиобиологии и радиационной медицины : учеб. пособие / А. Н. Гребенюк, О. Ю. Стрелова, В. И. Лебеза, Е. Н. Степанова. — СПб. : Фолиант, 2012. — 232 с.
38. *International Atomic Energy Agency: Report on the preliminary fact finding mission following the accident at the nuclear fuel processing facility in Tokaimura, Japan, 1999.* — IAEA, Vienna, 1999. — 35 p.
39. *Cytogenetical dose estimation for 3 severely exposed patients in the criticality accident in Tokai-mura* / I. Hayata, R. Kanda, M. Minamihisamatsu et al. // J. Radiat. Res. — 2001. — Vol. 42. — P. S149–S155.
40. *Чернявський І. Ю.* Военно-радиологические аспекты пространственного распределения поглощенной дозы импульсного гамма-нейтронного излучения / И. Ю. Чернявський, В. В. Марущенко // Укр. радіол. журн. — 2016. — Т. XXIV. — вип. 2. — С. 34–39.

Стаття надійшла до редакції 12.07.2017.

В. А. ВИННИКОВ¹, Г. В. КУЛИНИЧ¹, И. Ю. ЧЕРНЯВСКИЙ²

¹ ГУ «Институт медицинской радиологии им. С. П. Григорьева НАМН Украины», Харьков

² Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗМОЖНЫХ СЦЕНАРИЕВ КОНТАКТА С РАДИАЦИОННЫМ ФАКТОРОМ В ВОЕННОЙ ПРАКТИКЕ В УКРАИНЕ

Цель работы. Классифицировать основные радиологические последствия радиационного облучения, приводящие к потерям дееспособности личного состава подразделений Вооруженных Сил Украины в разных сценариях контакта с радиационным фактором, ожидаемых в современной военной практике.

Материалы и методы. Проведен информационный поиск в нормативных документах системы военной радиационной безопасности и руководствах по военной радиологии. Смоделированы вероятные сценарии радиационного облучения воинских подразделений в условиях военного времени согласно современной парадигме использования ядерного оружия. Осуществлен анализ и синтез актуальной информации касательно ранних радиобиологических эффектов радиационного воздействия на человека в тех условиях, которые отвечают военным сценариям облучения.

Результаты. Впервые представлена логичная и удобная классификация возможных сценариев облучения в военной практике, объединяющая причинную ситуацию, тип боевого задания и ранние клинические эффекты, вызывающие снижение дееспособности личного состава. Выделено пять причинных ситуаций, каждая из которых содержит от одного до трех вариантов контакта с радиационным фактором, для каждого из которых, в свою очередь, представлено специфическую симптоматику ранних клинико-биологических эффектов внешнего и/или внутреннего облучения. При оценке потерь дееспособности подразделений основным критерием должна быть частота и степень тяжести общей первичной реакции на радиационное воздействие. Определен порядок возрастания опасности последствий облучения: от радиофобии до токсемической и церебральной формы острой лучевой болезни (ОЛБ), синдрома ранней временной нетрудоспособности и комбинированных радиационно-травматических и радиационно-термических поражений.

Выводы. Клинические последствия радиационного воздействия, выступающие детерминантами снижения дееспособности воинских подразделений, существенно варьируют в зависимости от сценария контакта с лучевым фактором. Недоучет радиологических эффектов за пределами ОЛБ может привести к ошибкам при оценках потерь в условиях военного времени. Дальнейшая оптимизация системы военной радиационной безопасности требует установления четких количественных коэффициентов связи между различными клиническими симптомами и потерей дееспособности в облученных подразделениях.

Ключевые слова: военные сценарии радиационного облучения, острая лучевая болезнь, местные лучевые поражения, орофарингеальный синдром, радиофобия, потери дееспособности личного состава воинских подразделений.

V. VINNIKOV¹, G. KULINICH¹, I. CHERNYAVSKY²

¹SI «Grigoriev Institute for Medical Radiology of National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kharkiv

²National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

RADIOLOGICAL CONSEQUENCES OF POSSIBLE IRRADIATION SCENARIOS IN MILITARY PRACTICE IN UKRAINE

Objectives. To classify the main radiological consequences (health effects) of radiation exposure that lead to the loss of the work efficiency of the personnel of the Armed Forces of Ukraine in various scenarios of radiation exposure, which are expected in modern military practice.

Materials and Methods. The information search was carried out in the normative documents of the military radiation safety system and military radiology manuals. Possible scenarios of radiation exposure of military units during war time were modeled according to the modern paradigm of the usage of nuclear weapons. The genuine information was analysed and synthesized regarding early radiobiological effects of radiation exposure in humans in those conditions, which correspond to the military exposure scenarios.

Results. For the first time the logical and handy classification of possible radiation exposure scenarios in military practice is presented. It combines the causal situation, the type of battle task and early clinical effects, which lead to the reduction of the work efficiency of the personnel. Five causal situations are distinguished; each containing from one to three variants of the contact with ionizing radiation; and for each particular scenario the specific symptoms of early biomedical effects of the external and/or internal irradiation are presented. The assessment of the work efficacy of military units has to be based of the criteria of the grade and frequency distribution of the general primary reaction on the irradiation. The consequences of radiation exposure are listed in the ascending order of their health danger: from the radiophobia up to the toxemic or cerebral forms of acute radiation syndrome, early transitive disability syndrome and combined radiation-traumatic or radiation-thermal injuries.

Conclusions. The clinical consequences of radiation exposure, which determine the loss of work efficiency of military subdivisions, vary essentially depending on the scenario of irradiation. The underestimation of the full possible spectrum of radiological effects beyond the acute radiation syndrome may lead to the mistakes in the evaluation of the personnel losses during the war time. Further optimization of the military radiation safety system

requires the establishing of clear quantitative coefficients linking various clinical radiation symptoms and the losses of work efficiency in exposed military units.

Keywords: military scenarios of radiation exposure, acute radiation syndrome, local radiation injuries, oropharyngeal syndrome, radiophobia, loss of work efficiency of military personnel.

Контактна інформація:

Вінніков Володимир Анатолійович

кандидат біол. наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи

ДУ ІМР НАМН

вул. Пушкінська, 82, м. Харків, 61024, Україна

тел.: +38 (057) 704-10-72