

БІОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ У НАЩАДКІВ КЛІТИН ПРИ ПОЄДНАНІЙ ДІЇ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ МІЛІМЕТРОВИХ ХВИЛЬ

© 2010 С. Р. Гурандо¹, Г. Й. Лавренчук², Г. М. Чоботько²¹ Військово-медичне управління СБУ, Київ² ДУ "Науковий центр радіаційної медицини" АМН України, Київ

Досліджено модифікуючий вплив низькоінтенсивних електромагнітних випромінювань міліметрового діапазону на клітини лінії L₉₂₉, опромінені γ-радіацією в діапазоні доз 0,1 - 10,0 Гр, який зберігається у нащадків при субкультуванні до 8 - 10 пасажів. Виявлено ефекти підвищення виживання, проліферативної та мітотичної активності клітин, радіостійкості та адаптивної відповіді у нащадків опромінених клітин в умовах поєднаної дії γ-квантів та електромагнітних міліметрових хвиль.

Ключові слова: культура клітин, виживання, іонізуюче випромінювання, низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання міліметрового діапазону, радіостійкість, адаптивна відповідь.

Вступ

Антропогенна трансформація біосфери є одним із найпотужніших глобальних процесів сьогодення. Найяскравішим її проявом є інтенсивні темпи урбанізації, що ведуть до забруднення довкілля не тільки іонізуючим випромінюванням, але й неіонізуючим електромагнітним випромінюванням (ЕМВ) різних частот. Після Чорнобильської аварії в Україні склалася ситуація, за якої основні радіобіологічні дослідження спрямовані на вивчення такого екологічного чинника, як іонізуюча радіація (ІР) та її вплив на біоту. І, водночас, незрівнянно менше зверталось уваги на дослідження іншого фактора впливу на довкілля – ЕМВ, яке набуває все більшого використання в народному господарстві, медицині і, що особливо істотно, в побуті. Експериментальні дані вітчизняних та зарубіжних дослідників свідчать про високу біологічну активність ЕМВ у всіх частотних діапазонах [1, 2]. При відносно високих рівнях ЕМВ сучасна теорія визнає тепловий механізм впливу [2, 3]. При відносно низьких рівнях говорять про інформаційний характер впливу на біологічні об'єкти [4 - 6]. Наразі був виявлений ефект "запам'ятовування" організмом впливів ЕМВ [7 - 9].

Водночас експериментальні дослідження останніх десятиріч свідчать про те, що деякі пошкодження, які індукуються в клітинах унаслідок дії іонізуючого випромінювання, проявляються не одразу після опромінення, а через багато поколінь [10]. Авторами [11 - 14] на різних штаммах клітин ссавців було показано, що впродовж 30 - 100 пострадіаційних генерацій реєструється загибель нащадків опромінених клітин, зниження їхньої проліферативної активності, підвищення кількості клітин з мікроядрами. Це свідчить про те, що віддалені ефекти та загибель клітин при дії радіації може бути

обумовлена не стільки безпосередніми пошкодженнями ДНК, скільки індукцією порушень, що реалізуються в наступних поколіннях клітин, тобто вони характеризуються нестабільністю геному. Нестабільність геному багатогранна: вона виражається в збільшенні віддаленої загибелі клітин [11], частоти мутацій [14], нестабільних аберацій хромосом, анеуплоїдії, числа гігантських клітин [13, 15 - 17], підвищенні чутливості до додаткового опромінення [18]. У дослідженнях [19, 20] показано, що нестабільність геному проявляється також у зміні здатності до адаптивної відповіді. Упродовж більш як 20 років адаптивна відповідь (адаптивна реакція) є предметом всебічного вивчення. Проте і зараз виникає багато питань про її генетичну детермінованість, універсальність як захисної реакції, утвореної в процесі еволюції.

З огляду на вищевказане метою науково-дослідної роботи було дослідження можливості формування клітинних ефектів в умовах поєднаного впливу іонізуючого випромінювання та електромагнітних міліметрових хвиль у нащадків опромінених клітин.

Матеріали та методи

Експериментальні дослідження проведено на асинхронній культурі перещеплюваних клітин лінії L₉₂₉. Культивування клітин здійснювали загальноприйнятими методами роботи з культуральними штаммами [21] у поживному середовищі такого складу: середовище RPMI-1640 (90 %), ембріональна теляча сироватка (10 %) та гентаміцин із розрахунку 10 мкг/мл. Клітинний цикл у середньому – 24 год.

Опромінення культури клітин іонізуючою радіацією здійснювали на апараті "ІГУР-1" (Росія) (джерело – ¹³⁷Cs з енергією γ-квантів 660 кеВ, потужність експозиційної дози 4,58 ×

$\times 10^{-4}$ Кл/(кг·с), дози опромінювання 0,1, 1,0 та 10,0 Гр). Через 30 хв після дії ІР клітини опромінювали низькоінтенсивним нетепловим електромагнітним випромінюванням міліметрового діапазону (ЕМВ ММД) за допомогою апарата „Порог” (генерує поодинокі імпульси зі щільністю потоку потужності 0,1 - 3,0 мВт/см² у частотному діапазоні 55 - 68 ГГц) з експозицією 5 хв, після чого їх у кількості 5 тис. Кл/мл розсівали в пеніцилінові пляшечки, на дні яких знаходились покривні скельця – це була субкультура 0. Через кожні 5 діб проводили субкультування. Таким чином, в одному пасажі було 5 генерацій. Усього досліджено 10 пасажів (50 післярадіаційних генерацій). У кожному пасажі на 2, 3, 4, 5, 6 доби дослідні та контрольні культури клітин фіксували 96° етанолом та фарбували гематоксилін-еозинном. Життєздатність клітин оцінювали за характером кінетики росту, мітотичним індексом та індексом гігантських багатоядерних клітин. Було вивчено 4050 культур клітин.

Оцінку радіорезистентності нащадків опроміненних клітин проводили при повторному опроміненні їх γ -квантами ⁶⁰Со на установці “Рокус 3М” (Росія) (джерело – ⁶⁰Со, потужність експозиційної дози $4,3 \cdot 10^{-4}$ Кл/(кг·с)) у дозі 5,0 Гр (LD₅₀). Досліджували кінетику росту контрольних та дослідних культур клітин. Усього було вивчено 405 культур.

У нащадків опроміненних та інтактних культур клітин у 10-му пасажі визначали здатність до адаптивної відповіді за допомогою додаткового опромінення клітин рентгенівськими променями на апараті “РУМ-17” (Росія) (напруга 180 кВ, сила струму 10 мА, відстань 40 см, фільтри 0,5 мм Cu + 1,0 мм Al, потужність експозиційної дози $2,09 \cdot 10^{-4}$ Кл/(кг·с) у таких варіантах: 1) нащадки інтактних культур клітин опромінювались ІР у дозі 9,0 Гр; 2) нащадки інтактних

культур клітин опромінювались ІР у дозі 0,2 Гр, а через 30 хв – у сублетальній дозі 9,0 Гр; 3) нащадки дослідних культур клітин (опроміненних у 0-генерації ІР у дозах 0,1 та 1,0 Гр) опромінювались ІР у дозі 9,0 Гр; нащадки дослідних культур клітин (опроміненних у 0-генерації ІР у дозах 0,1 та 1,0 Гр) опромінювались ІР у дозі 0,2 Гр, а через 30 хв – у сублетальній дозі 9,0 Гр. Формування адаптивної відповіді оцінювали за виживанням та показниками життєздатності клітин. Було досліджено 540 культур клітин.

Статистичну обробку результатів проводили з використанням t-критерію Стьюдента та за допомогою пакетів прикладних програм Microsoft Excel та Biostat.

Результати та обговорення

В інтактному контролі клітини лінії L₉₂₉ утворюють щільний моношар з типових фібробластоподібних клітин веретеноподібної, округлої або овальної форми. Більшість клітин має два відростки. Цитоплазмі цих клітин притаманні світлі вакуолі та маленькі гранули. Ядра клітин відносно великі, зустрічаються окремі двоядерні, а також гіперхромні клітини. У полі зору спостерігаються 2 - 5 клітин на стадії поділу.

Дослідження кінетики росту інтактних клітин (рис. 1) показало, що для них характерне збільшення проліферативної активності впродовж 1 - 4 діб культивування (фаза логарифмічного росту) з поступовим виходом на плато на 5 - 6-ту добу (фаза стаціонарного росту). У ці терміни щільність моношару клітин досить висока. Максимум мітотичної активності спостерігався на третю добу культивування. У подальшому мітотичний індекс зменшувався за рахунок контактного інгібування мітозу та конфлуентного стану культури клітин. Індекс гігантських полікаріоцитів в інтактному контролі становив 8 - 17 %.

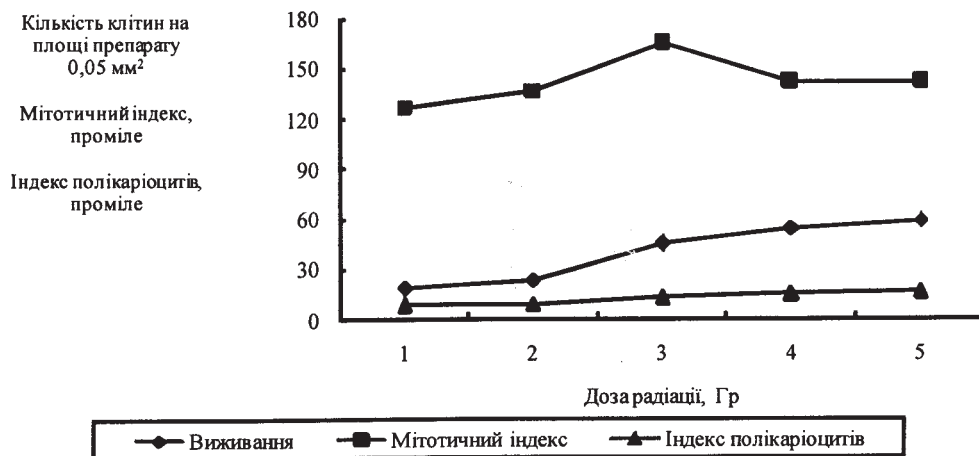


Рис. 1. Кінетика показників життєздатності (проліферативна, мітотична активність та індекс гігантських багатоядерних клітин) інтактної культури клітин лінії L₉₂₉.

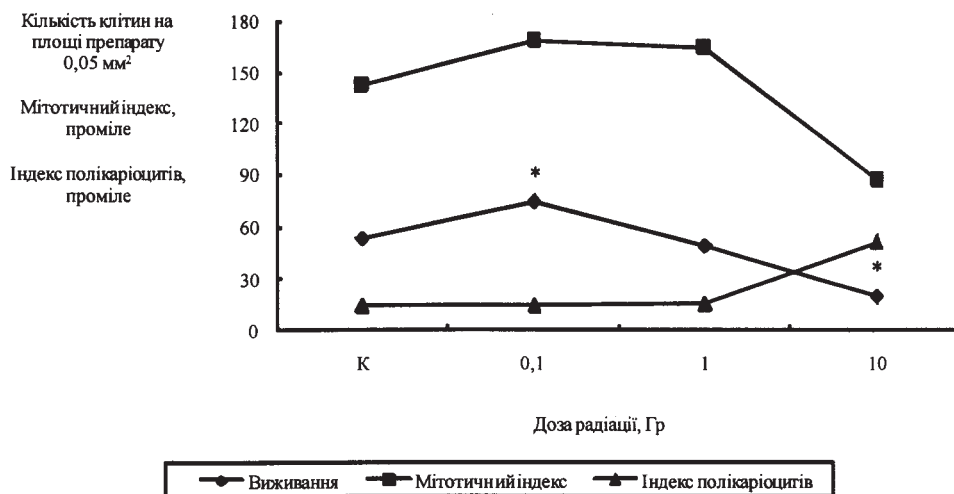


Рис. 2. Дозова залежність показників життєздатності клітин лінії L_{929} (кінетика росту, мітотичний індекс та індекс полікаріоцитів) на 5-ту добу після дії ІР. Пр и м і т к а. Відмінності достовірні порівняно з контролем, $p < 0,05$.

Іонізуюче випромінювання в дозах 0,1, 1,0 та 10,0 Гр викликало різнонаправлені ефекти в клітинах. Аналіз залежностей «доза - час - ефект» виявив особливості цих ефектів при дії ІВ у малій (0,1 Гр) та сублетальній (10,0 Гр) дозах (рис. 2), що обумовлені принципово різними механізмами впливу на клітини та субклітинні структури. Виявлено, що ІР у малій дозі (0,1 Гр) стимулювала проліферацію та поділ клітин у культурі. Рівень виживання та мітотичний індекс в опромінених культурах клітин достовірно вищий ($p < 0,05$), у порівнянні з інтактними культурами, а кількість полікаріоцитів не відрізнялась від показників контролю. Ефект стимуляції відмічався впродовж усього часу культивування клітин. Підвищення дози опромінення до 1,0 Гр спричиняло виникнення в культурі клітин ознак негативного впливу ІР, а саме: патологічні мітози, триядерні клітини, клітини з мікроядрами. Найбільш виражені променеві ушкодження клітин рееструвались при дії ІР у сублетальній дозі (10,0 Гр). На препаратах спостерігали суттєве зменшення щільності клітинного моношару (до 30 % порівняно з контролем); клітини на склі розташовувались окремими групами, більшість клітин мала округлу або полігональну форму; гетерогенність культури підвищувалась за рахунок утворення значної кількості гігантських багатоядерних клітин. Вважають, що вони є маркерами репродуктивної загибелі клітин [22]. Досить високий рівень мітозів на 4-ту добу культивування при низькій щільності клітинної популяції вказує на те, що загибель клітин переважала над їхнім виживанням.

Дослідження поєднаної дії ІР та ЕМВ ММД виявило статистично достовірне підвищення життєздатності клітин L_{929} у порівнянні з

окремою дією радіації (рис. 3). Дія ЕМВ на клітини, опромінені в дозі 0,1 Гр, призводила до ще більшої стимуляції проліферації клітин у культурі (порівняно з дією радіації): щільність клітинної популяції на 4-ту добу росту культури збільшилась у 1,2 рази, а зменшення мітотичного індексу у фазі стаціонарного росту відбувалось за рахунок конфлуентності культури. Кількість гігантських багатоядерних клітин була в межах інтактного контролю.

Найбільший модифікуючий ефект ЕМВ ММД спостерігався в культурах клітин, опромінених ІР у дозі 10,0 Гр: щільність клітинної популяції і мітотичний індекс збільшилися у 2 рази та, що дуже важливо, суттєво змінилась морфологічна структура культури клітин за рахунок зменшення (більш ніж у 2 рази) кількості багатоядерних полікаріоцитів ($p < 0,001$). Істотне зменшення кількості гігантських багатоядерних клітин у цей термін спостереження може свідчити про підвищення виживання опромінених радіацією клітин та активізацію їх проліферативної і мітотичної здатності.

При субкультивуванні контрольних та дослідних (опромінених у 0-генерації ІР та ІР + ЕМВ) упродовж 10 пасажів спостерігали зміну життєздатності клітин. Виживання клітин, опромінених у дозі 0,1 Гр було нижче неопроміненого контролю в 4, 5 та 10-му пасажах (рис. 4). У першому та другому пасажах спостерігався стимулюючий ефект малої дози на проліферативну та мітотичну активність клітин, який зникав при подальшому субкультивуванні. Виживання клітин, опромінюваних ІР у дозах 1,0 і 10,0 Гр (рис. 5 і 6) було меншим від інтактних упродовж усього часу спостереження. Слід зауважити, що культури клітин, опромінені в дозі 10,0 Гр,

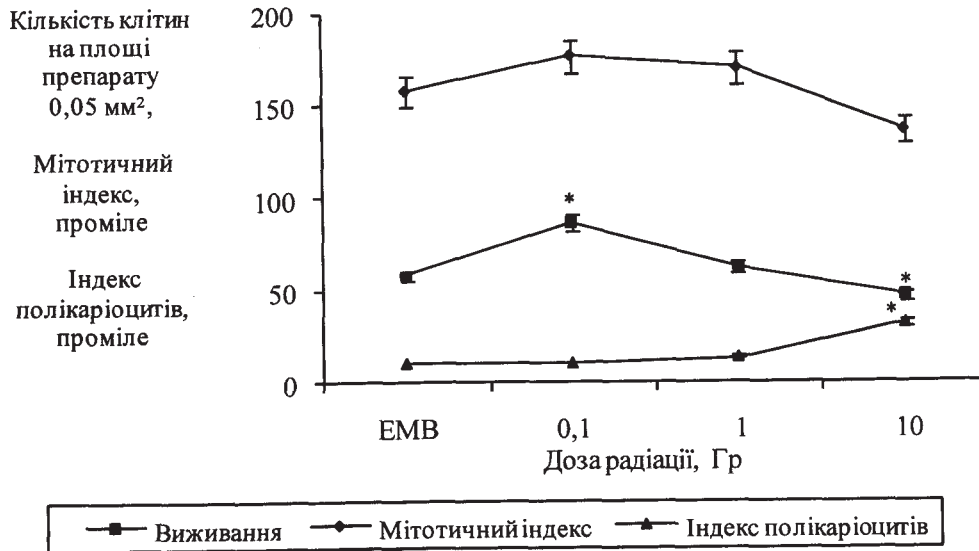


Рис. 3. Показники життєздатності клітин лінії L₉₂₉ (кінетика росту, мітотичний індекс та індекс полікаріоцитів) на 5-ту добу культивування при поєднаній дії ІР у різних дозах та ЕМВ ММД. П р и м і т к а. Відмінності достовірні порівняно з окремою дією ІР, $p < 0,001$.

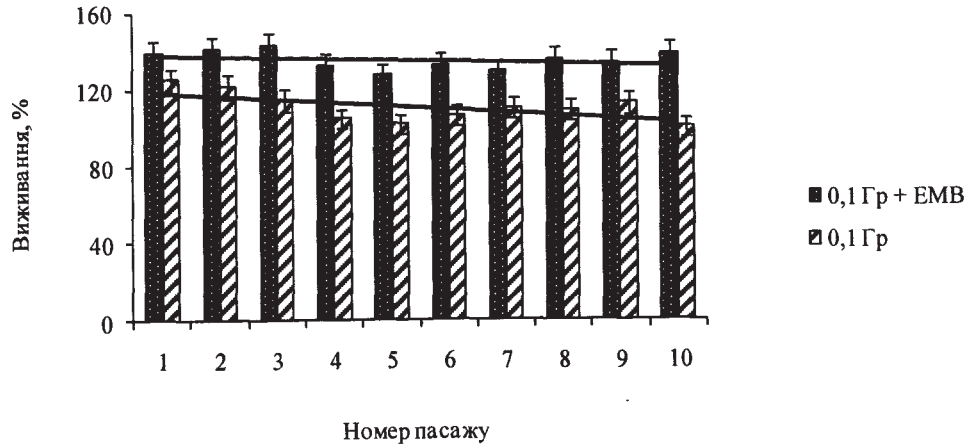


Рис. 4. Вживання клітин у моношарових культурах на 5-ту добу після опромінення їх іонізуючим випромінюванням у дозі 0,1 Гр та ЕМВ ММД при субкультивуванні.

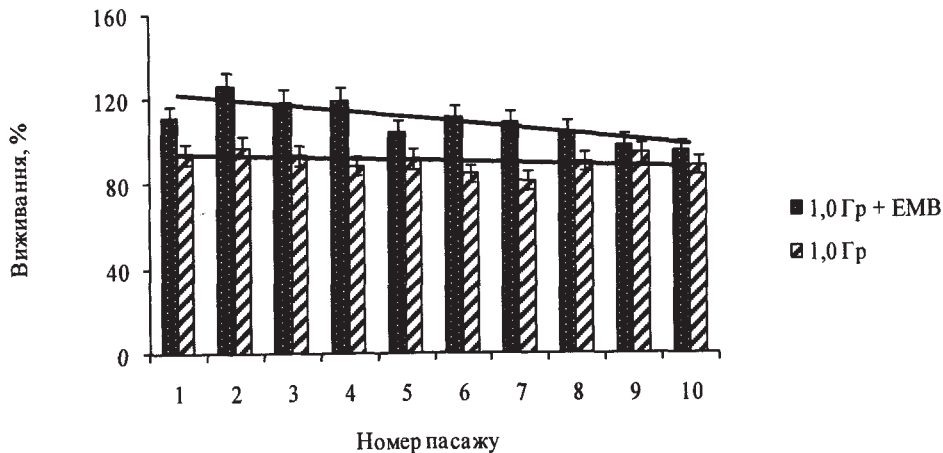


Рис. 5. Вживання клітин у моношарових культурах на 5-ту добу після опромінення їх іонізуючим випромінюванням у дозі 1,0 Гр та ЕМВ ММД при субкультивуванні.

витримували тільки 4 пасажі, тобто утворювали лише 20 пострадіаційних генерацій, а вживання клітин у кожному наступному пасажі істотно зменшувалось, змінювалась також морфологічна

структура популяції клітин, яка, в основному, містила гігантські полікаріоцити, що свідчить про дегенераційні зміни в клітинах та патологію мітозу.

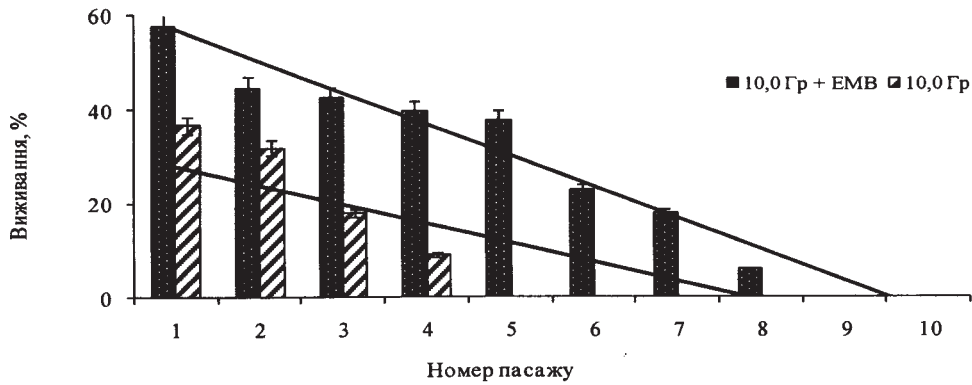


Рис. 6. Виживання клітин у моношарових культурах на 5-ту добу після опромінення їх іонізуючим випромінюванням у дозі 10,0 Гр та ЕМВ ММД при субкультивуванні.

При поєднаному впливі на клітини ІР та ЕМВ ММД виживання клітин підвищене порівняно з інтактним контролем та окремою дією ІР у всіх 10 пасажах (див. рис. 4 - 6). Стимулюючий ефект поєднаної дії ІР у дозі 0,1 Гр та електромагнітних міліметрових хвиль відмічався впродовж усіх 50 пострадіаційних генерацій (див. рис. 4).

Слід звернути увагу на збільшення виживання та проліферації клітин у 2, 3 та 4-му пасажах за умови опромінення в 0-генерації ІР 1,0 Гр + ЕМВ ММД порівняно з інтактними культурами клітин. Стимулюючий ефект поєднаної дії ІР і ЕМВ ММД, порівняно з окремою дією ІР, спостерігався аж до 8-го пасажу (див. рис. 5).

При субкультивуванні культури клітин, опромінені у 0-генерації ІР у дозі 10,0 Гр та ЕМВ ММД, кількість пасажів збільшилась до 8, що удвоє більше, ніж при окремій дії іонізуючого випромінювання (див. рис. 6). Слід зазна-

чити, що життєздатність клітин у таких культурах була значно вища (у 1,5 - 2 рази в першому - третьому пасажах і в 5 разів - у четвертому пасажі).

Результати проведених досліджень указують на протекторну дію ЕМВ ММД по відношенню до іонізуючого випромінювання. Даний ефект «закріплюється» в опромінені клітинах і спостерігається впродовж 50 пострадіаційних генерацій клітин.

Для виявлення прихованих пошкоджень, які в цілому вже не проявляються і не впливають на життєздатність нащадків, а накопичуються [12, 13], інтактні та дослідні культури клітин у 5-му пасажі опромінювали в дозі 5,0 Гр, яка, як установлено в дослідженнях, проведених нами раніше [23], викликає 50 % загибелі клітин. Результати дослідження зображено на рис. 7 і 8.

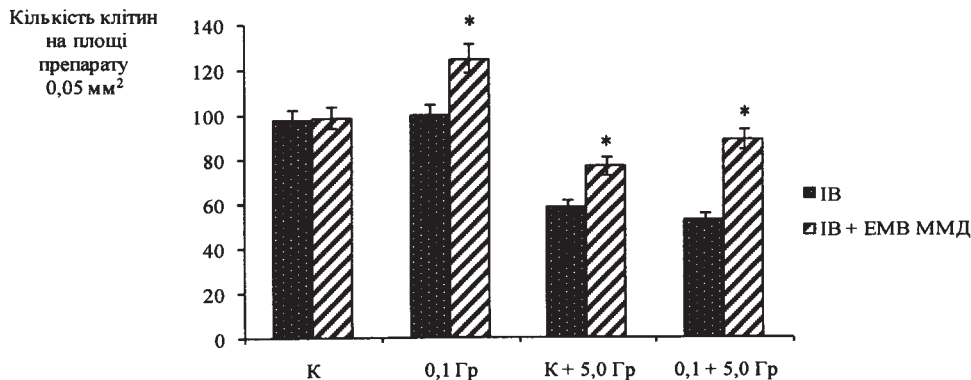


Рис. 7. Радіорезистентність нащадків клітин (5-й пасаж), опромінені в 0-генерації ІР у дозі 0,1 Гр та при поєднанні ІР та ЕМВ ММД. Пр и м і т к а. Відмінності достовірні порівняно з окремою дією ІР, $p < 0,05$.

Ефективність додаткового γ -опромінення нащадків інтактних культур клітин та опромінені у 0-генерації ІР у дозі 0,1 Гр (див. рис. 7) в «ударній» дозі 5,0 Гр призводить до зменшення виживання клітин у 2 рази. Водночас радіорезистентність нащадків клітин, які піддавались поєднаному впливу ІР у дозі 0,1 Гр і ЕМВ ММД,

в умовах додаткового радіаційного навантаження виявилась значно вищою ($p < 0,05$) порівняно з окремою дією радіації в дозі 0,1 Гр. Слід відзначити, що підвищується й радіорезистентність нащадків клітин, опромінені у 0-генерації тільки електромагнітними міліметровими хвилями.

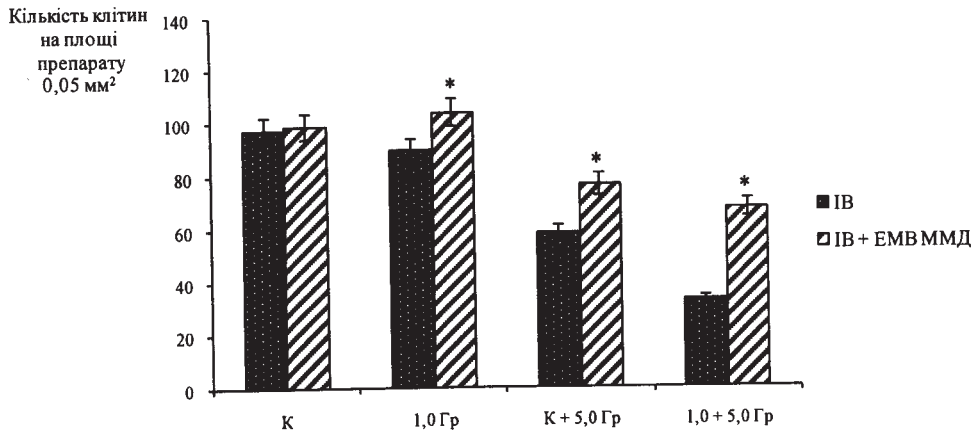


Рис. 8. Радіорезистентність нащадків клітин (5-й пасаж), опромінені у 0-генерації ІР у дозі 1,0 Гр та при поєднанні ІР та ЕМВ ММД. П р и м і т к а. Відмінності достовірні порівняно з окремою дією ІР, $p < 0,05$.

Дія γ -опромінення в дозі 5,0 Гр на нащадків клітин, опромінені у 0-генерації ІР у дозі 1,0 Гр, призвела до статистично значущого зменшення ($p < 0,05$) виживання зазначених клітин у 2,5 рази порівняно з контролем (див. рис. 8) та суттєвого збільшення кількості гігантських полікаріоцитів, що вказує на патологію мітозу та може свідчити про деяку нестабільність геному в цих популяціях клітин.

Аналогічна дія на нащадків клітин, які піддавались поєднаному впливу ІР у дозі 1,0 Гр та ЕМВ ММД, призводить до помітного підвищення їхньої радіорезистентності: виживання клітин збільшувалось майже у 2 рази. Водночас морфологічна структура клітинної

популяції не відрізнялась від інтактного контролю.

Літературні дані [16, 19] свідчать, що попереднє опромінення клітин у малих дозах зменшує кількість хромосомних аберацій, мутацій, двониткових розривів ДНК та збільшує виживання клітин при наступному опроміненні у високих дозах (адаптивна відповідь). Для виявлення здатності до адаптивної відповіді у нащадків клітин, опромінені у 0-генерації ІР у дозах 0,1 та 1,0 Гр, було проаналізовано виживання та кінетика росту клітин L_{929} у 10-му пасажі після додаткового рентгенівського опромінення. Результати дослідів представлено на рис. 9.

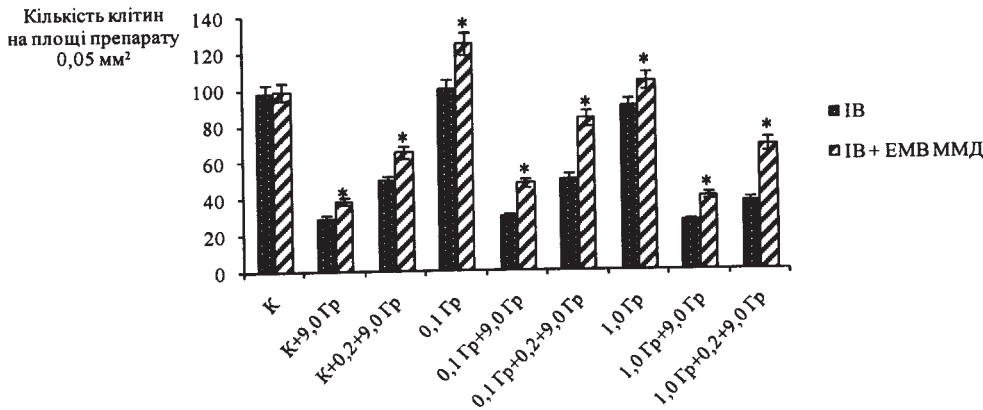


Рис. 9. Адаптивна відповідь у нащадків клітин (10-й пасаж), опромінені у 0-генерації ІР у дозах 0,1 та 1,0 Гр та при поєднанні ІР та ЕМВ ММД. П р и м і т к а. Відмінності достовірні порівняно з окремою дією ІР, $p < 0,05$.

Аналіз експериментальних досліджень показав, що нащадки інтактних клітин при субкультивуванні проявляють здатність до адаптивної відповіді: виживання клітин у моношарових культурах після дії рентгенівських променів у дозі 0,2 Гр, а через 30 хв у дозі 9,0 Гр підвищується в 1,7 рази порівняно з опромі-

ненням тільки в дозі 9,0 Гр (ЛД 70). Щодо формування адаптивної відповіді у нащадків клітин, які були опромінені в 0-генерації ІР у дозах 0,1 та 1,0 Гр, то вона теж спостерігається, причому в культурах клітин, опромінені у дозі 0,1 Гр, здатність до адаптивної відповіді така ж, як в інтактних клітинах, а в культурах клітин,

опромінених у дозі 1,0 Гр – в 1,3 рази менша, ніж у контролі.

За умов поєднаної дії ІР та ЕМВ ММД здатність до адаптивної відповіді в нащадків клітин істотно підвищується як у контрольних культурах клітин, так і в дослідних. Слід зазначити, що виживання нащадків опромінених клітин збільшується більше, ніж у 1,5 рази навіть при дії на них сублетальної дози 9,0 Гр.

Таким чином, біологічні ефекти електромагнітних міліметрових хвиль на клітини, опромінені в 0-генерації іонізуючим випромінюванням, можуть проявлятися через багато поколінь клітин (50 клітинних генерацій).

Висновки

1. Установлено, що біологічні ефекти в нащадків клітин *in vitro* за умов впливу іонізуючого випромінювання в діапазоні доз 0,1 - 10,0 Гр можуть реалізуватися у тому числі й через багато наступних поколінь клітин.

2. Установлено, що модифікуючий вплив низькоінтенсивних електромагнітних випромінювань міліметрового діапазону на клітини лінії L₉₂₉, опромінені γ -радіацією в діапазоні доз 0,1 - 10,0 Гр, проявляється в підвищенні їхньої життєздатності.

3. При субкультивуванні клітин, опромінених у 0-генерації ІР у дозі 10,0 Гр та ЕМВ ММД, кількість пасажів збільшується вдвоє, ніж при окремій дії іонізуючого випромінювання, а життєздатність клітин у таких культурах була значно вища (у 1,5 - 2 рази в 1 - 3-му пасажах та в 5 разів – у 4-му пасажі).

4. Додаткове γ -опромінення клітин у 5-му пасажі в дозі 5,0 Гр виявило суттєве підвищення радіорезистентності нащадків клітин, опромінених у 0-генерації ІР у дозах 0,1 та 1,0 Гр та ЕМВ ММД, що вказує на “збереження” модифікуючого впливу електромагнітних міліметрових хвиль у наступних поколіннях клітин.

5. Виявлено, що у нащадків інтактних клітин та опромінених у 0-генерації ІР у дозах 0,1 та 1,0 Гр у 10-му пасажі спостерігається здатність клітин до адаптивної відповіді, величина якої істотно збільшується за умови поєднаної дії ІР та ЕМВ ММД.

6. Результати проведених досліджень указують на протекторну дію ЕМВ ММД по відношенню до іонізуючого випромінювання. Даний ефект “закріплюється” в опромінених клітинах і спостерігається впродовж 50 пострадіаційних генерацій клітин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Григорьев Ю.Г. Human Being in Electromagnetic Field: Present Situation, Expecting Bioeffects and Evolution of Danger // Радиационная биология. Радиоэкология. - 1997. - Т. 33, вып. 4. - С. 690 - 702.
2. Григорьев Ю.Г. Role of Modulation in a Biological Action of Electromagnetic Radiation // Радиационная биология. Радиоэкология. - 1996. - Т. 36, вып. 5. - С. 659 - 670.
3. Гапеев А.Б., Чемерис Н.К. Действие непрерывного и модулированного ЭМИ КВЧ на клетки животных, обзор, часть III. Биологические эффекты непрерывного ЭМИ КВЧ // Вестник новых медицинских технологий. - 2000. - Т. VII, № 1. - С. 20 - 25.
4. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н. Современные представления о механизмах воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на биологические объекты // Миллиметровые волны в биологии и медицине. - 2001. - № 3 (23). - С. 5 - 18.
5. Применение КВЧ-облучения в экспериментах *in vitro* / Р.Я. Подчерняева, Г.Р. Михайлова, Е.И. Исаева и др. // Там же. - 2004. - № 1. - С. 12 - 17.
6. Бецкий О.В., Лебедева Н.И. Применение низкоинтенсивных миллиметровых волн в биологии и медицине / Там же. - 2007. - № 1 (45). - С. 32 - 59.
7. Тордія Н.В. Низькоінтенсивні електромагнітні випромінювання в діапазоні надвисоких частот як фактор модифікації радіостійкості рослинних клітин: Автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.01/ НАН України. Інститут клітинної біол. та генної інженерії. - К., 2004. - 24 с.
8. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н. Некоторые новые представления о причинах формирования стимулирующих эффектов КВЧ-излучения // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2000. - № 1. - С. 23 - 34.
9. Модифікація неспецифічних адаптаційних реакцій за допомогою низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання надвисокої частоти / О.М. Чужан, Н.А. Темур'янц, М.В. Чирський та ін. // Physics of the Alive. - 2003. - Vol. 11, № 2. - Р. 35 - 44.
10. Соловьян В.Т. Приспособление клеток к неблагоприятным факторам. Характеристика адаптивных ответов // Биополимеры и клетка. - 1990. - Т. 6, № 4. - С. 32 - 42.
11. Нестабильность генома после воздействия радиации в малых дозах (в 10-км зоне аварии на ЧАЭС и в лабораторных условиях) / И.И. Пелевина, В.Я. Готлиб, О.В. Кудряшова и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. - 1996. - Т. 36, вып. 4. - С. 546 - 560.
12. Бычковская И.Б. Проблемы отдаленной радиационной гибели клеток. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 159 с.
13. Сравнение закономерностей отдаленной гибели клеток после действия генотоксических агентов / В.Я. Готлиб, А.М. Серебрянный, С.Б. Черникова и др. // Цитология. - 1996. - Т. 38, № 9. - С. 974 - 982.

14. *Littl J.B., Gorgojo L., Vetrovs H.* Delayed appearance of lethal and specific mutations in irradiated mammalian cells // *Int. J. Oncol. Biol. Phys.* - 1990. - Vol. 19. - P. 1425 - 1429.
15. *Некоторые аспекты биологического действия малых доз радиации / В.Я. Готлиб, И.И. Пелевина, Е.Ф. Конопля и др. // Радиобиология.* - 1991. - Т. 31, № 3. - С. 318 - 325.
16. *Повреждения ДНК, их репарация и апоптоз в отдаленных поколениях клеток L5178Y(R) / Г. Афанасьев, Т. Иваненко, М. Крушевский и др. // Цитология.* - 1997. - Т.39, № 8. - С. 740 - 746.
17. *Ibuki Iuko, Goto Resuke.* Adaptive response to low doses of γ -ray in Chinese hamster cells: determined by cell survival and DNA synthesis // *Biol. and Pharm. Bull.* - 1994. - Vol.17, No. 8. - P. 1111 - 1113.
18. *Черникова С.Б., Готлиб В.Я., Пелевина И.И.* Влияние малых доз ионизирующей радиации на чувствительность к последующему облучению // *Радиобиология. Радиозкология.* - 1993. - Т. 33, вып. 1 (4). - С. 536 - 560.
19. *Газиев А.И.* Возможность индукции адаптивного ответа клеток на воздействие ионизирующей радиации // *Радиобиология.* - 1986. - Т. 24, вып. 4. - С. 447 - 452.
20. *Филиппович И.В.* Феномен адаптивного ответа клеток в радиобиологии // *Радиобиология.* - 1991. - Т. 31, вып. 6. - С. 803 - 815.
21. *Животная клетки в культуре (методы и применение в биотехнологии) / Под общ. ред. проф. Л.П. Дьяконова - М.: Изд-во «Спутник+», 2009. - 656 с.*
22. *Календо Г.С.* Ранние реакции клеток на ионизирующие излучения и их роль в защите и сенсбилизации. - М.: Энергоиздат, 1982. - 96 с.
23. *Лавренчук Г.Й.* Радіогенні ефекти життєздатності клітин та механізм модифікуючої дії їх електромагнітним випромінюванням міліметрового діапазону: Дис. ... докт. біол. наук. - К., 2009.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕТЫ У ПОТОМКОВ КЛЕТОК ПРИ СОЧЕТАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН

С. Р. Гурандо, Г. И. Лавренчук, Г. М. Чоботко

Исследовали модифицирующее влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на клетки линии L₉₂₉, облученные γ -радиацией в диапазоне доз 0,1 - 10,0 Гр, который сохраняется у потомков клеток при субкультивировании до 8 - 10 пассажей. При сочетанном воздействии ионизирующего и неионизирующего излучений обнаружены эффекты увеличения выживаемости клеток, их пролиферативной и митотической активности, радиоустойчивости и адаптивного ответа.

Ключевые слова: культура клеток, выживаемость, ионизирующее излучение, низкоинтенсивное электромагнитное излучение миллиметрового диапазона, радиоустойчивость, адаптивный ответ.

BIOLOGICAL EFFECTS IN CELL DESCENDANTS IN CONDITIONS OF COMBINED INFLUENCE OF IONIZING RADIATION AND ELECTROMAGNETIC MILLIMETER WAVES

S. R. Gurando, G. Y. Lavrenchuk, G. M. Chobotko

Modifying effect of low-intensity electromagnetic radiation of millimeter range is studied on the L₉₂₉ cell line, exposed to γ -radiation in 0, 1 - 10, 0 Gy dose range, which maintains in descendants during subculturing up to 8 - 10 passages. The effects of cell survival increasing, cell proliferative and mitotic activity, the radiation resistance and adaptive response were discovered at irradiated cell cultures in conditions of combined influence of γ -rays in doses 0,1 and 1,0 Gy and electromagnetic millimeter waves.

Keywords: cell culture, cell survival, ionizing radiation, low-intensity electromagnetic radiation of millimeter range, radiation resistance, adaptive response.

Надійшла до редакції 11.06.10,
після доопрацювання - 14.07.10.