

CELL CRITERIA OF ESTIMATION INFLUENCING FOR THE EXPOSURE OF MOBILE COMMUNICATION AND CS¹³⁷ RADIATION

Tomashevskaya L.A., Obukhan K.I., Kravchun T.Ye.

КЛІТИННІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ВПЛИВУ СУМІСНОЇ ДІЇ ВИПРОМІНЮВАНЬ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ І ЦЕЗІЮ-137



**ТОМАШЕВСЬКА Л.А.,
ОБУХАН К.І.,
КРАВЧУН Т.Є.**

ДУ "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва АМН України", м. Київ

УДК: 613.16+611.018.1

*КЛЕТОЧНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ И ЦЕЗИЯ-137
Томашевская Л.А.,
Обухан К.И., Кравчун Т.Е.
Результаты цитологических исследований позволили установить особенности и дозо-эффективную зависимость реагирования костного мозга на совместное действие излучений мобильной радиосвязи и малых доз цезия-137. Количественные сдвиги процессов репродукции и дифференциации клеток отражают их адаптивный характер. Биомаркерами (критериями оценки) влияния изучаемых факторов можно считать реакции бластовых и недифференцированных клеток.*

У населених містах України безперервно розширяється сфера застосування мобільного зв'язку, що зумовлює насичення навколишнього середовища електромагнітними полями (ЕМП) радіочастотних діапазонів [1, 2]. Вплив ЕМП як біологічно активного фактора на організм людини може знижувати сталість гомеостазу до інших чинників довкілля. Актуальною гігієнічною проблемою є встановлення безпеки сполученої дії неіонізуючого та іонізуючого випромінювання, зокрема цезію-137, внесок якого у дозу внутрішнього опромінення внаслідок Чорнобильської аварії є найвищим [3, 4].

З метою обґрунтування клітинних критеріїв небезпеки від сумісної дії низьких рівнів ЕМП і цезію-137 виконано цитологічні та цитогенетичні дослідження кісткового мозку, реакції якого мають важливе значення для діагностики донозологічних змін в організмі і встановлення межі адаптивних реакцій та пошкодження. Структурно-функціональні зміни гемопоетичних клітин сигналізують про порушення гомеостазу і розлад життєво важливих функцій організму [5].

Об'єкти і методи досліджень. Експеримент проведено на 5 групах молодих білих безпородних щурів у динаміці 4 місяців сумісної дії ЕМП та цезію-137 і за місяць після закінчення. Піддослідні тварини розподілялись по 10 особин у групі: 1 група — інтактний контроль; 2 — щури, які з кормом отримували цезій-137 у дозах, що не перевищували встановлених гігієнічних нормативів (ДР-97); 3, 4 і 5 групи — щури, опромінені ЕМП (частота —

192 МГц, напруженість — 50 В/м) за режиму опромінення 40, 80 та 120 хв./добу сумісно з паралельним надходженням до організму цезію-137.

Цитологічні дослідження виконані на кістковому мозку стегнових кісток, забарвлених за Паленгеймом, згідно з прийнятими у гематології методиками, цитогенетичні — способом І.А. Алова [6].

Результати та їх обговорення. Узагальнений аналіз даних мікроскопічних досліджень кісткового мозку відображає різний ступінь радіочутливості еритроїдних, лімфоїдних, гранулоцитарних, поліплоїдних, ретикулярних, бластових та інших типів клітин. Зміни найчутливіших з них вибірково наведені у табл. 1 і на рис. 1-3.

Отримані дані свідчать насамперед про дозо-ефективну залежність клітинних реакцій відносно експозицій і терміну опромінення. Еритроїдні клітини виявились найменш чутливими. Реакції лейкоцитів у багатьох випадках сягали достовірної різниці з контролем, але рідко виходили за межу фізіологічної норми. Особливої уваги заслуговують цитоморфологічні та кількісні зміни недиференційованих (ретикулярних), бластових та імунокомпетентних клітин і проліферативна активність.

Після 1 місяця вживання щурами страви з радіоцезієм цитоморфологічні зміни у багатьох клітинних популяціях більш виражені, ніж за сумісної дії ЕМП та цезію-137. Вміст бластових клітин підвищується майже у чотири рази, а мітична активність каріоцитів — більше ніж у 4 рази, зростає кількість імунокомпетентних і ретикулярних клітин ($p < 0,05$), дещо посилюються деструктивні зміни у клітинах, найчасті-

© Томашевська Л.А., Обухан К.І., Кравчун Т.Є.
СТАТТЯ, 2009

виявились макрофаги, ретикулярні та бластові клітини. Порівняння наслідків дії ЕМП та цезію-137 з інтактним та іонізованим контролем свідчить про менш суттєві зсуви у другому варіанті. Цитогенетичні порушення не перевищують $0,50 \pm 0,26\%$.

Після двох місяців вживання щурами цезію лейкоцитарні реакції є менш вираженими, ніж за місячної дії, що можна пояснити розвитком адаптивних зрушень у системі крові. Цитогенетичні ефекти посилюються: на 1000 клітин, здатних до репродукції, виявлено $0,2\%$ склеювання хромосом у метафазі, $0,2\%$ мостів в анафазі, 1% мікроядер бластових клітин, відсутніх в інтактних тварин.

Ефекти сумісної дії ЕМП та цезію-137 з підвищенням експозиції до 80 хв. і 120 хв. призводять до більш значних

змін клітинності кісткового мозку, посилення вакуолізації і процесів регенерації за рахунок мітотичної активності, активізації імунної системи та підвищення кількості патологічних форм мітозу (в інтактному контролі — 0, в іонізованому контролі — $0,5\%$, після ЕМП опромінення — $0,7\%$).

Протягом 3-х місяців дії ЕМП та цезію-137 реакції кісткового мозку посилюються, що особливо відбивається на клітинах з високим мітотичним потенціалом (бластові, ретикулярні) і на мегакаріоцитах. Експозиція ЕМП 120 хв. призводить до нейтропенії, збільшення кількості макрофагів, бластових і ретикулярних клітин, посилення деструкції та мітотичного поділу відносно цезієвого контролю ($p < 0,05$). Цитогенетичні зміни становили $0,4 \pm 0,24\%$ (мости, злипання хромосом).

ше — вакуолізація цитоплазми. Виявлені ознаки порушень мітозу, зокрема асиметрія ядерного апарату, в ана- та телофазі становлять $0,4 \pm 0,24\%$ (у контролі — 0). В одному випадку зареєстровано бластову клітину з мікроядром.

Протягом місяця опромінення тварин, що вживали цезій, кількісні зміни кісткового мозку посилюються з підвищенням експозиції. Реактивними

Таблиця 1

Цитологічні реакції кісткового мозку у динаміці дії ЕМП та Cs¹³⁷

Експозиція в/м х хв.	Кількість мієлокаріоцитів у різні строки опромінення, %				
	30	60	90	120	Післядія
Клітини строми					
Контроль	$0,26 \pm 0,04$	$0,34 \pm 0,06$	$0,30 \pm 0,04$	$0,22 \pm 0,04$	$0,18 \pm 0,04$
Контроль+Cs ¹³⁷	$0,58 \pm 0,10^*$	$0,48 \pm 0,04$	$0,24 \pm 0,05$	$2,80 \pm 0,51^*$	$0,46 \pm 0,02^*$
2000	$0,34 \pm 0,04$	$0,44 \pm 0,05$	$0,56 \pm 0,05^{*+}$	$0,30 \pm 0,03^+$	$0,24 \pm 0,02^+$
4000	$0,62 \pm 0,14^*$	$0,58 \pm 0,07^*$	$0,68 \pm 0,04^{*+}$	$0,48 \pm 0,04^{*+}$	$0,22 \pm 0,04$
6000	$0,62 \pm 0,08^*$	$2,34 \pm 0,67^{*+}$	$0,72 \pm 0,04^{*+}$	$0,32 \pm 0,04^+$	$0,40 \pm 0,05^*$
Бластові клітини					
Контроль	$1,16 \pm 0,09$	$1,78 \pm 0,41$	$1,84 \pm 0,35$	$1,60 \pm 0,19$	$1,40 \pm 0,19$
Контроль+Cs ¹³⁷	$4,60 \pm 0,30$	$2,42 \pm 0,40$	$1,76 \pm 0,34$	$3,50 \pm 0,22^*$	$2,1 \pm 0,24$
2000	$3,40 \pm 0,40^{*+}$	$2,74 \pm 0,22$	$2,80 \pm 0,20^+$	$2,86 \pm 0,25^*$	$1,70 \pm 0,12$
4000	$3,52 \pm 0,31^{*+}$	$3,80 \pm 0,68^*$	$2,90 \pm 0,10^{*+}$	$3,0 \pm 0,31^*$	$1,70 \pm 0,20$
6000	$3,64 \pm 0,24^*$	$4,40 \pm 0,51^{*+}$	$3,88 \pm 0,34^{*+}$	$3,20 \pm 0,37^*$	$3,00 \pm 0,43^*$
Деструктуровані клітини					
Контроль	$0,28 \pm 0,04$	$0,52 \pm 0,04$	$0,46 \pm 0,05$	$0,26 \pm 0,02$	$0,24 \pm 0,05$
Контроль+Cs ¹³⁷	$0,50 \pm 0,07^*$	$0,68 \pm 0,04^*$	$0,36 \pm 0,05$	$1,20 \pm 0,14^*$	$0,36 \pm 0,02$
2000	$0,42 \pm 0,04^*$	$0,56 \pm 0,04$	$0,64 \pm 0,04^+$	$2,12 \pm 0,71^*$	$0,32 \pm 0,04$
4000	$0,55 \pm 0,04^*$	$0,58 \pm 0,04$	$0,80 \pm 0,03^{*+}$	$0,48 \pm 0,04^{*+}$	$0,54 \pm 0,08^*$
6000	$0,50 \pm 0,12$	$1,06 \pm 0,09^{*+}$	$0,72 \pm 0,04^{*+}$	$5,80 \pm 1,16^{*+}$	$1,72 \pm 0,42^{*+}$
Мітотичний індекс (‰)					
Контроль	$0,8 \pm 0,40$	0	$1,0 \pm 0,45$	$1,4 \pm 0,87$	$0,80 \pm 0,37^*$
Контроль+Cs ¹³⁷	$3,4 \pm 0,51^*$	$2,60 \pm 0,51^*$	$0,40 \pm 0,24$	$4,20 \pm 0,20^*$	$1,60 \pm 0,40$
2000	$1,4 \pm 0,40$	$1,20 \pm 0,20^+$	$1,20 \pm 0,20^+$	$2,40 \pm 1,17$	$0,60 \pm 0,24$
4000	$2,4 \pm 0,63$	$1,80 \pm 0,37^*$	$1,40 \pm 0,24^+$	$4,20 \pm 0,58^*$	$0,80 \pm 0,37$
6000	$2,0 \pm 0,71$	$5,20 \pm 1,56^*$	$2,40 \pm 0,24^+$	$1,60 \pm 0,40^+$	$3,4 \pm 0,24^{*+}$

Примітка: * — $p < 0,05$ відносно контролю; + — $p < 0,05$ відносно контролю Cs¹³⁷.

Внаслідок чотиримісячної сумісної дії ЕМП (по 40 хв.) та цезію-137 достовірно збільшується вміст макрофагів, бластових і ретикулярних клітин та ліпофагів ($p < 0,05$). Чисельність лімфоцитів відносно цезієвого контролю знижується ($p < 0,05$). Для кісткового мозку щурів, опромінених ЕМП з експозицією 80 хв. і 120 хв. характерні більш виражені зрушення відносно інтактного контролю, ніж по відношенню до іонізованого контролю, що стосується реакцій гранулоцитів, макрофагів, бластових клітин, мегакаріоцитів, лімфоцитів. Вміст ліпофагів за експозиції 120 хв. сягає $5,8 \pm 1,6\%$ (майже 50% нейтрофілів). У мієлоїдній тканині "цезієвого" контролю їх кількість становить $1,2 \pm 0,14\%$, в інтактному контролі ліпофаги трапляються дуже рідко.

За місяць після закінчення опромінення і надходження в організм радіоцезію є характерним переважно відновлення клітинності кісткового моз-

CELL CRITERIA OF ESTIMATION INFLUENCING FOR THE EXPOSURE OF MOBILE COMMUNICATION AND Cs^{137} RADIATION

Tomashevsk L.A., Obukhan K.I., Kravchun T.Ye.

The results of cytological studies allowed to determine the peculiarities and dose-effect dependency of the reaction of bone marrow on the joint exposure of the mobile communication and small doses of Cs^{137} . The quantitative displacement of the cell reproduction and differentiation processes reflect their adaptive character. The reactions of the blast and undifferentiated cells may be considered the biomarkers (criteria of the assessment) of the effect of studied factors.

тикулярних клітин після 1 місяця опромінення перевищувала рівень контролю, на 2-му і 3-му місяцях зрушення мали лінійну залежність від експозиції. Динаміка реакцій макрофагів відображає майже лінійний характер підвищення їх чисельності (і, очевидно, функції) у перші три місяці опромінення, зниження показника спостерігається у відновлювальний період.

Про адаптаційно-компенсаторний характер цитологічних змін свідчать дані про підвищення вмісту бластових клі-

тин, що залежить і від експозиції (майже лінійне збільшення), і від терміну опромінення. У відновлювальний період спостерігається тенденція до нормалізації (рис. 1).

Фазність адаптаційних та компенсаторних процесів характерна і для проліферативної активності молодих клітин. Після 1-3 місяців дії ЕМП та цезію-137 збільшення мітотичного індексу має майже лінійний характер. На 4-му місяці опромінення у зв'язку з індивідуальними особливостями реагування щурів лінійна залежність реакцій від експозиції не проявляється (рис. 2).

Слід відзначити наявність деякої аналогії у направленості реакцій на сумісну дію ЕМП та цезію з боку еозинофільних гранулоцитів і ретикулярних клітин, для яких у перші 3 місяці виявлена майже лінійна залежність від експозиції. Динаміка їх змін свідчить про активізацію захисних функцій організму у перші три місяці опромінення (меншою мірою — за максимальних експозицій). Кількісні зміни мегакаріоцитів (рис. 3) також відображають наявність коливальних показника залежно від експозиції ЕМП.

Динаміка кількісних змін бластових клітин

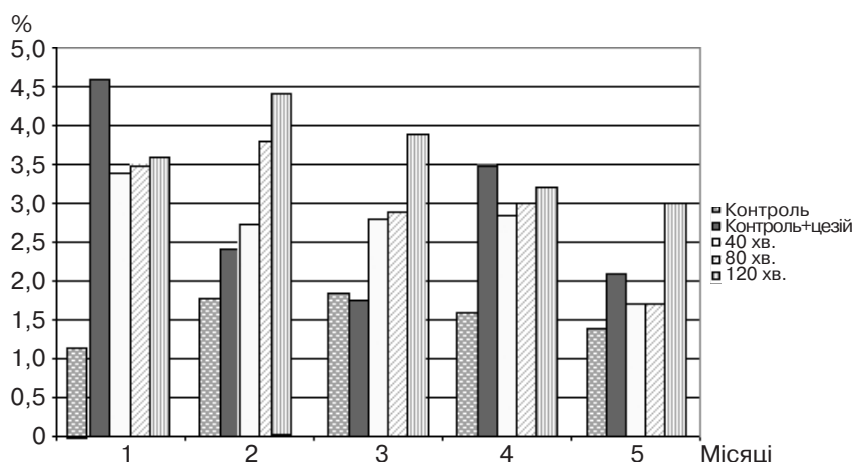


Рисунок 1

ку. Відновлювальні процеси найменшою мірою виявлені за експозиції ЕМП 120 хв.: у кістковому мозку підвищена кількість бластових клітин та мітотичного індексу, що відображає наявність інтенсивних компенсаторно-регенераторних процесів.

Динаміка кількісних змін різних показників, яка частково відображена на рис. 1-3, підтверджує наявність адаптаційних зрушень у відповідь на сумісну дію ЕМП та цезію-137 (з боку бластових клітин, поліплоїдних і клітин, здатних до репродукції). Кількість ре-

Динаміка кількісних змін мітотичного індексу

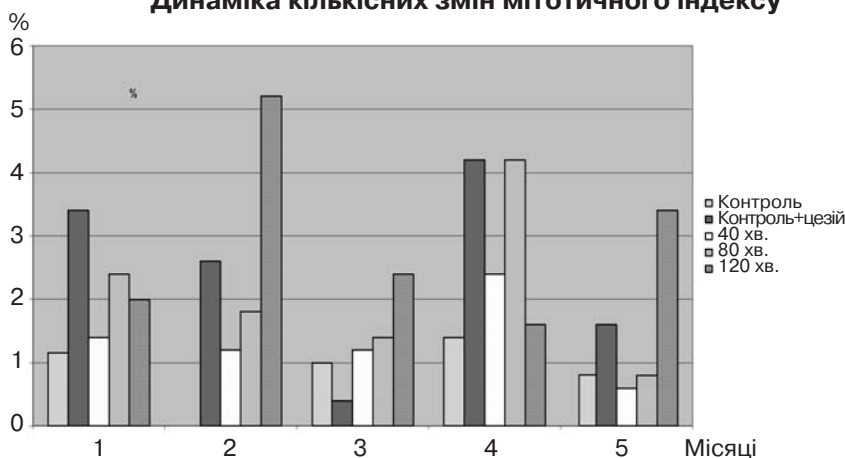


Рисунок 2



Мінімальні розбіжності з контролем виявлені на етапі 1-місячного опромінення, після 2-го місяця різниця поступово збільшується, а надалі — знижується. За місяць після закінчення дослідження настає повна нормалізація вмісту мегакаріоцитів. Виявлена фазність свідчить про можливу активізацію адаптаційних реакцій у процесах диференціації та дозрівання поліплоїдних клітин.

Виявлені цитоморфологічні зміни кісткового мозку віддзеркалюють високу чутливість клітин до сумісної дії ЕМП та цезію у малих дозах. Реакції окремих клітинних популяцій є біологічними маркерами опромінення. Якщо найвищу радіочутливість клітин виразити найбільшою кількістю статистично достовірних розбіжностей з контролем у динаміці та після опромінення, то досліджені показники можна розташувати у такому порядку: ретикулярні та вакуолізовані клітини, макрофаги і бластові клітини, еозинофільні гранулоцити, мітотичний індекс, лімфоцити, мегакаріоцити і нейтрофіли, ери-

троїдні клітини, плазмоцити.

Порівняння ефектів сумісної дії ЕМП та цезію з інтактним та цезієвим контролем свідчить, що найбільше розбіжностей виявляється відносно інтактного контролю. "Чистий" так би мовити ефект ЕМП дещо знижується на фоні "перехресної" дії цезію. Ця закономірність найбільш характерна для змін кількості еритроїдних клітин, деструктурованих та клітин строми. В інших випадках всі показники, за виключенням еозинофільних гранулоцитів, є більш лабільними при порівнянні наслідків сумісної дії ЕМП саме з даними інтактного контролю.

Оцінюючи виявлені ефекти сполученої дії ЕМП та цезію-137 загалом, слід відзначити їхню залежність від експозиції та терміну опромінення. Протягом першого місяця найреактивнішими є імунокомпетентні клітини, наприкінці другого — мітотичний індекс, ретикулярні, бластові та еритроїдні клітини, після трьох місяців — клітини строми, макрофаги, бластові клітини, підвищується вміст ліпофагів, що є характерним і для чотиримісячного опромінення, коли збільшується також вміст нейтрофілів та лімфоцитів, які відіграють важливу роль у регенеративних процесах. Виявлені ефекти свідчать про глибокі зміни процесів репродукції, диференціації та дозрівання гемопоетичних клітин. Цитогенетичні порушення виявилися незначними. Кількісні порушення у різних клітинних популяціях здебільшого вказують на адаптив-

ний характер реакцій системи крові. У період післядії протягом 1 місяця відбувалося відновлення окремих показників гемопоезу. Біологічними маркерами (критеріями оцінки) сумісної дії досліджених рівнів ЕМП (192 МГц) та цезію-137 слід вважати реакції бластових і ретикулярних клітин.

Висновки

1. Цитоморфологічні зміни кісткового мозку віддзеркалюють високу чутливість різних типів клітин до сумісної дії ЕМП та цезію-137. Реакції бластових та ретикулярних клітин можна вважати біомаркерами опромінення.

2. Встановлені зміни процесів репродукції, диференціації та дозрівання гемопоетичних клітин та їх залежність від експозиції ЕМП і терміну опромінення. Кількісні зміни клітинних популяцій здебільшого вказують на їхній адаптивний характер, а за місяць після закінчення терміну дії факторів — на відновлення окремих показників

ЛІТЕРАТУРА

1. Думанський Ю.Д., Сердюк А.М., Селезньов Б.Ю. Електромагнітне забруднення навколишнього середовища — сучасна гігієнічна проблема (підсумки та перспективи досліджень) // Гігієна насел. місць: Зб. наук. пр. — К., 2003. — Вип. 41. — С. 189-195.

2. Думанський В.Ю. Стільниковий мобільний зв'язок як джерело електромагнітного забруднення навколишнього середовища // Гіг. насел. місць: Зб. наук. пр. — К., 2003. — Вип. 42. — С. 180-188.

3. Подковкин В.Г., Слободянюк И.Л., Углова М.В. Влияние электромагнитных полей окружающей среды на системы гомеостаза. — Самара, 2000. — 108 с.

4. Перевозников О.М., Яковлева Г.М., Василенко В.В. Закономерности формирования доз внутреннего опромещения детей — мешканців радіаційно забруднених внаслідок аварії на ЧАЕС територій // Гіг. насел. місць: Зб. наук. пр. — К., 2003. — Вип. 41. — С. 263-269.

5. Гомеостаз / Под ред. Горизонтова П.Д. — М.: Медицина, 1981. — 464 с.

6. Алов И.А. Цитофизиология и патология митоза. — М.: Медицина, 1972. — 264 с.

Рисунок 3

Динаміка кількісних змін мегакаріоцитів

