

Вплив психоемоційного навантаження на показники імунної системи в осіб, що проживали на територіях, забруднених радіонуклідами

В.Л. Соколенко

Черкаський національний університет ім. Богдана Хмельницького; e-mail: sokolenko@ukr.net

Вивчали особливості показників імунної системи у мешканців території, забруднених радіонуклідами, за умов додаткового психоемоційного навантаження. Обстежено 150 осіб з відносно екологічно чистих територій (контрольна група) і 200 осіб з територій посиленого радіоекологічного контролю. Всі обстежені – студенти Черкаського національного університету віком від 18 до 24 років. Роль додаткового фактора психоемоційного навантаження відіграла зимова екзаменаційна сесія. Встановлено, що в міжсесійний період спостерігалися перерозподіл лейкограми на користь гранулоцитарних фракцій, а також зниження відносної і абсолютної кількості лімфоцитів, що експресують антигени CD3, CD5, CD4, CD16, зниження імунорегуляторного індексу $CD4^+/CD8^+$ і підвищення концентрації сироваткового імуноглобуліну G. Психоемоційне навантаження посилювало виявлені тенденції, внаслідок чого значень, нижчих від гомеостатичної норми, сягали відносна ($23,41 \pm 1,01\%$) і абсолютна кількість ($0,28 \pm 0,02 \cdot 10^9/\text{л}$) T-лімфоцитів з фенотипом $CD4^+$ та імунорегуляторний індекс ($1,04 \pm 0,03$). Для цих же показників спостерігався найдовший період відновлення. Ключові слова: радіаційне забруднення; стрес; кортизол; імуносупресія; відновний період.

ВСТУП

Останнім часом досить дискусійним є питання про статус населення, котре проживає на територіях, забруднених радіонуклідами внаслідок аварії на ЧАЕС. З одного боку, основний фактор забруднення цих територій – довгоживучий радіонуклід ^{137}Cs , період піврозпаду якого – 30 років [1, 2]. Таким чином, з 1986 р. пройшов час, достатній для істотного зниження радіаційного навантаження на стан здоров'я мешканців IV радіаційної зони – території посиленого радіоекологічного контролю. Слід врахувати: по-перше, пройшов лише період піврозпаду; по-друге, внаслідок еколого-географічних особливостей забруднених районів, особливостей господарської діяльності людини і певних закономірностей міграції радіонуклідів, рівень забруднення ізотопами цезію у окремих населених пунктах залишився на істотно підвищеному рівні

© В.Л. Соколенко

[3]. Крім того, зважаючи на стохастичний характер радіаційного впливу на біологічні об'єкти, індуковані опромінюванням зміни в організмі мешканців територій, забруднених радіонуклідами, можуть проявитися через віддалений період у вигляді більш чи менш виражених патологій чи передпатологічних станів [4, 5]. Зокрема, чисельні обстеження ліквідаторів аварії на ЧАЕС, котрі проходили бальнеотерапію на курорті Трускавець, виявили значну й різноспрямовану варіативність дисфункцій природної резистентності організму [6]. Тобто підтверджується факт високої радіочутливості імунної системи. Такий феномен пояснюють структурно-метаболічними процесами в біологічних мембранах імунокомпетентних клітин, викликаними радіаційними чинниками [7, 8]. Оптимальна робота імунних клітин можлива лише при належному функціональному стані мембранних рецепторів, котрі визначають роль лімфоцита

у реалізації певних процесів [9, 10]. При додаткових навантаженнях, зокрема, впливі психоемоційного стресу, ризик порушень роботи імунної системи зростає [11]. Таким чином, оцінка імунного статусу мешканців територій, забруднених радіонуклідами, особливо, за умов наявності додаткових імунодепресантів, залишається актуальною.

Мета нашої роботи вивчити особливості показників імунної системи у мешканців територій, забруднених радіонуклідами, за умов додаткового психоемоційного навантаження.

МЕТОДИКА

Протягом 2000-2015 рр. нами обстежено 145 осіб чоловічої статі та 205 осіб жіночої статі (обстежених у фолікулярну стадію менструального циклу), серед яких виділили групу мешканців радіаційно незабруднених районів (контрольна група, 150 осіб) та мешканців територій посиленого радіоекологічного контролю (IV радіаційна зона, щільність забруднення ґрунтів ізотопами ^{137}Cs $3,7 \cdot 10^4$ – $18,5 \cdot 10^4$ Бк/м², 200 осіб). Всі обстежені – студенти Черкаського національного університету віком від 18 до 24 років, котрі на час обстеження не мали гострих захворювань. Між показниками осіб різних статей не спостерігалось статистично вірогідної різниці, тому надалі їх розглядали як єдину сукупність.

Роль додаткового стресового фактора, що зумовив розвиток психоемоційного навантаження, відіграла зимова екзаменаційна сесія. Забори крові проводили вранці, до вживання їжі. У обстежених відбирали 10 мл венозної крові. Для частини аналізів (оцінки лейкоцитарної формули та кількості лейкоцитів) використовували капілярну кров. Перший аналіз показників імунної системи проводили у міжсесійний період, другий – після першого іспиту, третій – після останнього, четвертий – через 2 тиж відновного періоду.

Загальне число лейкоцитів підраховува-

ли в камері Горяєва, лімфоцитів – на основі кров'яного мазка (фарбування за Романовського-Гімзе). Експресію поверхневих антигенів лімфоцитами периферичної крові визначали імунофлуоресцентним методом з використанням моноклональних антитіл до поверхневих маркерів клітин імунної системи LT1, LT3 (для оцінки експресії пан-Т-клітинних маркерів CD3 та CD5), LT4, LT8, LNK16 (для оцінки експресії антигенів CD4⁺, CD8⁺, CD16⁺ та CD72⁺) та F(ab)₂ – фрагментів овечих антитіл до імуноглобуліну G (IgG) миші, мічених FITC («Сорбент», Росія).

Вміст Ig у сироватці крові визначали методом радіальної імунодифузії з використанням моноспецифічних сироваток проти IgG(H), IgM(H), IgA(H), вміст кортизолу – імуноферментним методом з використанням набору «BIO-RAD» (США).

Отримані результати обробили методами варіаційної статистики з використанням програми Microsoft Excel і представляли у вигляді: середнє арифметичне ± похибка середнього арифметичного (M±m). Вірогідність різниці між вибірками визначали за критерієм t Стьюдента. Кореляційний аналіз проводили з використанням коефіцієнта кореляції (лінійної залежності) Пірсона.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Встановлено, що у обстежених з контрольної групи показники імунної системи перебували в межах гомеостатичної норми. У студентів з територій посиленого радіоекологічного контролю за умов відсутності психоемоційного навантаження спостерігався певний перерозподіл показників клітинної ланки імунітету на користь гранулоцитарних фракцій. Відносна та абсолютна кількість паличко- і сегментоядерних нейтрофілів збільшувалась, а лімфоцитів – знижувалась (таблиця). Такий ефект вважається типовою ознакою стресових реакцій помірної інтенсивності і узгоджується з даними літератури про хронічне опромінення малими дозами

[4, 11, 13]. Зростання абсолютної кількості еозинофілів на фоні відсутності їх відносного значення може бути відображенням підвищеного числа лейкоцитів у периферичній крові. Спостерігалася також певна імуносупресія Т-клітинної ланки імунітету, що проявлялася зниженням відносної та абсолютної кількості лімфоцитів, що експресують антигени CD3, CD5, CD4 та CD16. У обстежених був знижений імунорегуляторний індекс CD4⁺/CD8⁺ і підвищена концентрація сироваткового IgG (див. таблицю).

Таким чином, навіть за відсутності додаткових стресових впливів спостерігалася пригнічення окремих ланок клітинного специфічного імунітету, котре, до певної міри, компенсувалося зростанням продукції імуноглобулінів.

Зимова екзаменаційна сесія відбувалася в грудні і тривала близько 2 тиж. Враховуючи дані літератури [11], критерієм наявності додаткового психоемоційного навантаження вважали показник вмісту кортизолу у периферичній крові, а можливості адаптації організму аналізували за динамікою показників протягом сесії та наступного відновного періоду.

Встановлено, що у мешканців територій, забруднених радіонуклідами, вміст кортизолу в міжсесійний період перебував на верхній межі гомеостатичної норми і був вірогідно підвищений порівняно з контролем. Цей показник вірогідно зростав після першого іспиту, зберігався підвищеним протягом сесії і на кінець відновного періоду повертався до міжсесійного значення, вірогідно вищого від контролю (див. таблицю). Раніше нами було показано, що вміст кортизолу у мешканців ІV радіаційної зони демонстрував чіткий кореляційний зв'язок з активністю радіонуклідів [14].

Психоемоційне навантаження, зумовлене екзаменаційною сесією, викликало посилення тенденцій, виявлених у міжсесійний період. Зокрема, ще більше знизилася відносна та абсолютна кількість лімфоцитів на фоні

підвищення числа нейтрофілів у периферичній крові. Відносна та абсолютна кількість хелперних Т-лімфоцитів з фенотипом CD4⁺, а також імунорегуляторний індекс у значній частини обстежених сягали значень, нижчих від гомеостатичної норми, чого не відмічалася для контрольної групи [12]. Вміст IgG, підвищений у міжсесійний період, став вірогідно нижчим як від контрольних, так і від значень, отриманих за відсутності додаткового психоемоційного навантаження (див. таблицю).

Вивчення динаміки показників протягом аналізованого періоду виявило кілька закономірностей. Зокрема, для більшості субпопуляцій Т-лімфоцитів, крім ефекторних/супресорних клітин з фенотипом CD8⁺, які вважаються кортизолрезистентними і радіорезистентними [15, 16], відмічено тенденцію до прогресуючого зниження показників протягом періоду сесії (за середнім значенням). Число лімфоцитів з фенотипом CD16⁺ та вміст сироваткового IgG реагували дещо інакше: від початку до кінця сесії вони поступово підвищувалися. Останній аналіз, проведений через 2 тиж після закінчення сесії, продемонстрував відновлення до міжсесійного рівня всіх показників, за винятком відносної та абсолютної кількості Т-лімфоцитів з фенотипами CD3⁺, CD4⁺ та імунорегуляторного індексу CD4⁺/CD8⁺ (див. таблицю).

Динаміка показників лімфоцитів з фенотипами CD4⁺ та CD16⁺, під час екзаменаційної сесії та відновного періоду, дає привід для формування гіпотез щодо механізмів розвитку адаптаційних чи дезадаптаційних процесів за таких умов. Хелперні Т-лімфоцити з фенотипом CD4⁺ стимулюють запуск значного числа імунних процесів, і, при цьому, характеризуються підвищеною чутливістю до впливу іонізуючого випромінювання [7, 17-19]. Лімфоцити з фенотипом CD16⁺ відіграють важливу роль у розпізнаванні і знищенні малігнізованих клітин [9, 15].

Зокрема, є підстави вважати, що виявлені зміни реалізуються на рівні проліфератив-

Показники імунної системи у осіб з території посиленого радіоекологічного контролю, котрі зазнали впливу психоемоційного навантаження

Показники	Контрольна група (n=150)	Дослідна група (n=200)			
		до сесії	після першого екзамєну	кінець сесії	після відновного періоду
Кортизол, нмоль/л	345,51±5,93	637,15±12,09*	893,21±8,10*,**	899,1±10,21*,**	645,96±10,03*
Лейкоцити, x10 ⁹ /л	6,63±0,06	6,92±0,05*	7,05±0,15*	6,99±0,09*	6,95±0,07*
Лімфоцити, %	26,56±0,25	23,55±0,25*	20,44±0,38*,**	18,45±0,42*,**	24,12±0,42*
x10 ⁹ /л	1,81±0,03	1,65±0,03*	1,25±0,04*,**	1,21±0,06*,**	1,67±0,05*
Моноцити, %	5,68±0,28	6,10±0,22	5,61±0,22	5,99±0,31	6,00±0,25
x10 ⁹ /л	0,37±0,02	0,42±0,02	0,40±0,03	0,40±0,03	0,41±0,02
Нейтрофіли паличкоядерні, %	3,60±0,25	4,57±0,06*	7,15±0,15*,**	7,10±0,09*,**	4,61±0,08*
x10 ⁹ /л	0,25±0,02	0,31±0,02*	0,41±0,03*,**	0,41±0,03*,**	0,32±0,02*
Нейтрофіли сегментоядерні, %	62,88±0,46	65,11±0,48*	67,12±0,41*,**	67,01±0,51*,**	65,25±0,51*
x10 ⁹ /л	4,19±0,04	4,49±0,05*	6,01±0,08*,**	5,99±0,07*,**	4,55±0,06*
Базофіли, %	0,12±0,07	0,33±0,099	0,41±0,102	0,36±0,098	0,34±0,079
x10 ⁹ /л	0,01±0,005	0,02±0,008	0,02±0,009	0,02±0,009	0,02±0,009
Еозинофіли, %	1,00±0,22	2,34±0,19*	2,89±0,21*	2,55±0,20*	2,39±0,19*
x10 ⁹ /л	0,06±0,015	0,10±0,010*	0,14±0,018*	0,13±0,017*	0,11±0,012*
CD3 ⁺ , %	66,10±0,41	62,68±0,59*	54,33±1,14*,**	52,41±1,35*,**	59,99±0,99*,**
x10 ⁹ /л	1,20±0,02	1,03±0,02*	0,75±0,05*,**	0,61±0,05*,**	0,98±0,04*
CD5 ⁺ , %	71,79±0,56	65,65±0,59*	60,41±1,06*,**	61,25±0,99*,**	64,99±0,88*
x10 ⁹ /л	1,36±0,01	1,11±0,02*	0,77±0,06*,**	0,81±0,06*,**	1,09±0,06*
CD4 ⁺ , %	40,28±0,39	33,84±0,51*	27,84±1,12*,**	23,41±1,01*,**	29,45±0,97*,**
x10 ⁹ /л	0,81±0,01	0,63±0,01*	0,35±0,02*,**	0,28±0,02*,**	0,55±0,02*,**
CD8 ⁺ , %	27,56±0,38	26,81±0,31	25,99±0,48	26,17±0,39	27,54±0,42
x10 ⁹ /л	0,49±0,01	0,47±0,01	0,42±0,02	0,45±0,02	0,47±0,02
CD4 ⁺ /CD8 ⁺	1,65±0,02	1,36±0,02*	1,15±0,02*,**	1,04±0,02*,**	1,17±0,02*,**
CD16 ⁺ , %	18,55±1,02	14,80±0,99*	10,12±1,05*,**	12,36±1,11*	14,58±1,13*
x10 ⁹ /л	0,34±0,02	0,23±0,01*	0,10±0,01*,**	0,15±0,01*,**	0,20±0,02*
CD72 ⁺ , %	9,84±0,16	10,25±0,32	9,56±0,98	10,45±1,01	11,56±1,10
x10 ⁹ /л	0,17±0,01	0,17±0,02	0,14±0,02	0,15±0,02	0,15±0,01
Імуноглобуліни, мг/мл					
G	10,01±0,17	11,44±0,41*	6,55±0,98*,**	7,89±0,85*,**	9,45±0,51**
M	1,69±0,11	1,87±0,14	1,79±0,14	1,81±0,14	1,89±0,15
A	1,81±0,08	1,68±0,08	1,64±0,09	1,65±0,08	1,70±0,08

*P<0,05 щодо контролю; ** P<0,05 щодо показників до психоемоційного навантаження

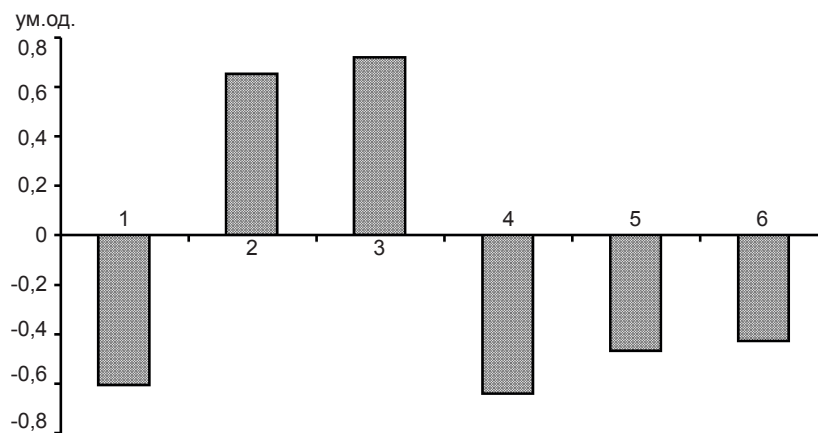
них і диференціювальних процесів у тимусі. Дійсно, зниження числа функціонально зрілих Т-лімфоцитів з фенотипом $CD3^+$ відбувається, вочевидь, за рахунок хелперної субпопуляції з фенотипом $CD4^+$ і реалізується на останніх етапах диференціювання, оскільки інший пан-Т-клітинний маркер, $CD5$, відновлюється ефективніше. Крім того, відмічено зниження експресії антигена $CD16$, що є однією з ознак цитотоксичної кілерної активності, на фоні відсутності змін кількості цитотоксичних/супресорних Т-клітин з фенотипом $CD8^+$. Такий ефект може бути свідченням зниження вмісту природних кілерів, розвиток яких не асоційований з тимусом. Антиген $CD16$ експресується і на природних кілерах (але при відсутності маркера функціонально зрілих Т-клітин $CD3$), і на цитотоксичних Т-лімфоцитах [15, 20].

Хоча В-лімфоцити з фенотипом $CD72$ вважаються стійкими до стресових чинників [5, 6], зміни продукції сироваткових IgG свідчать, що накладання хронічного опромінення малими дозами і посиленого психоемоційного навантаження викликало збої у компенсаторних механізмах, зокрема, на рівні продукції сироваткових імуноглобулінів, можливість яких пояснювалася підвищеним вмістом IgG у мешканців територій, забруднених радіонуклідами.

Для оцінки інтегративної роботи імунної системи провели кореляційний аналіз показників. Виявилось, що найчіткіше закономірності взаємодії проявилися у кінці екзаменаційної сесії на фоні максимального зростання вмісту кортизолу.

Пряма кореляційна залежність спостерігалася між відносною кількістю Т-лімфоцитів з фенотипом $CD3^+$ та субпопуляцією Т-хелперів з фенотипом $CD4^+$; субпопуляції Т-хелперів з фенотипом $CD4^+$ та імунорегуляторного індексу $CD4^+/CD8^+$ (рисунок).

Такий ефект є закономірним, оскільки хелперні Т-лімфоцити є однією з двох головних субпопуляцій функціонально зрілих Т-лімфоцитів, які, у свою чергу, формують імунорегуляторний індекс. Інша субпопуляція, ефекторні/супресорні Т-лімфоцити з фенотипом $CD8^+$ демонстрували зворотний кореляційний зв'язок з імунорегуляторним індексом, що ще раз підтверджує їх відносну стресостійкість. Крім того, стабільне число супресорної субпопуляції на фоні зниження активності Т-хелперів відобразилося негативним кореляційним зв'язком між Т-лімфоцитами з фенотипом $CD8^+$ та вмістом сироваткового IgG , продукція якого вимагає індукції з боку клітин з фенотипом $CD4^+$. Зворотний кореляційний зв'язок між відносною кількістю Т-лімфоцитів з фенотипом $CD3^+$ та



Найбільш виражені вірогідні кореляційні залежності показників імунної системи у обстежених за умов психоемоційного навантаження: 1 – нейтрофіли (%) та лімфоцити (%); 2 – $CD3^+$ (%) та $CD4^+$ (%); 3 – $CD4^+$ (%) та $CD4^+/CD8^+$; 4 – $CD8^+$ (%) та $CD4^+/CD8^+$; 5 – $CD3^+$ (%) та $CD72^+$ (%); 6 – $CD8^+$ (%) та IgG

В-лімфоцитів з фенотипом CD72⁺ відображає певну компенсацію пригнічення Т-клітинної ланки імунітету зростанням частки потенційних продуцентів антитіл. Таким чином, хоча продукція головного сироваткового Ig, за стресових умов, загальмована, гомеостатичний рівень інших Ig, зокрема, IgM (продукція якого не вимагає стимуляції з боку Т-хелперів), очевидно, забезпечується відносним зростанням кількості функціонально зрілих В-лімфоцитів.

Підтвердженням перерозподілу лейкограми на користь поліморфноядерних клітин, за умов стресової ситуації, є негативний кореляційний зв'язок між відносною кількістю нейтрофілів і відносною кількістю лімфоцитів.

Таким чином, психоемоційне навантаження, викликане екзаменаційною сесією, викликає зниження багатьох показників специфічного імунітету, найбільш виражене безпосередньо після останнього екзамену. У студентів, що приїхали з територій, забруднених радіонуклідами, показники при цьому часто виходять за межі гомеостатичної норми. Найдовше відновлюються функціонально зрілі Т-лімфоцити, зокрема, їх регуляторна субпопуляція з фенотипом CD4⁺. Додатковий короточасний стресовий чинник, поєднаний із хронічним впливом малих доз радіації, посилює залежність імуносупресії, зумовленої радіаційним забрудненням місцевості проживання обстежених, і створює підстави для регулярного моніторингу стану здоров'я населення, що зазнало комбінованого стресового впливу, а у період відновлення – для реалізації профілактичних заходів.

В.Л. Соколенко

ВЛИЯНИЕ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ У ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ

Изучали особенности показателей иммунной системы у населения территорий, загрязненных радионуклидами, в условиях дополнительного психоэмоциональной нагрузки.

Обследовано 150 лиц из относительно экологически чистых территорий (контрольная группа) и 200 лиц из территорий усиленного радиоэкологического контроля. Все обследованные – студенты Черкасского национального университета в возрасте от 18 до 24 лет. Роль дополнительного фактора психоэмоциональной нагрузки выполнила зимняя экзаменационная сессия. Установлено, что в межсессионный период наблюдались перераспределение лейкограммы в пользу гранулоцитарных фракций, а также снижение относительного и абсолютного количества лимфоцитов, экспрессирующих антигены CD3, CD5, CD4, CD16, снижение иммунорегуляторного индекса CD4⁺/CD8⁺ и повышенная концентрация сывороточного иммуноглобулина G. Психоэмоциональная нагрузка вызвала усиление обнаруженных тенденций, вследствие чего значений ниже гомеостатической нормы достигали относительное (23,41±1,01%), абсолютное количество (0,28±0,02x10⁹/л) Т-лимфоцитов с фенотипом CD4⁺ и иммунорегуляторный индекс (1,04±0,03). Для этих же показателей наблюдался самый длительный период восстановления.

Ключевые слова: радиационное загрязнение; стресс; кортизол; иммуносупрессия; восстановительный период

V.L. Sokolenko

IMPACT OF EMOTIONAL STRESS ON THE IMMUNE SYSTEM INDICES AMONG RESIDENTS OF RADIATION CONTAMINATED AREAS

The aim of this research is to study special characteristics of immune system functioning among residents of the areas contaminated with radionuclides, under conditions of additional emotional load. We examined 350 people, including a group of radiation free areas residents (control group, 150 people) and a group of residents living in the areas of enhanced radiation monitoring (IV radiation zone, the density of soil contamination with isotopes ¹³⁷Cs 1-5 Ki/km², 200 people). All examined are the students of Cherkassy State University, aged 18-24 years, at the time of research didn't have any acute diseases. The role of additional stress factor (additional emotional load) was fulfilled by winter examination session. The first analysis of immune system indices was carried out in the interval between examination sessions, the second – after the first exam, the third – after the last exam, the fourth – after two weeks recovery period. Indicators of cellular immunity were determined by immunophenotyping and dyeing on Romanowsky-Giemsa. The level of immunoglobulins in blood serum was determined by radial immunodiffusion on Mancini. The level of cortisol in blood serum was determined by immunoenzyme method. We determined that leukogram redistribution in favor of granulocyte fractions can be observed in the analyzed group in the intersession period, and also the reduction of the relative and absolute number of lymphocytes expressing antigens CD3, CD5, CD4 and CD 16. Also, all examined had

reduced immunoregulatory index CD4⁺/CD8⁺ and increased concentration of serum immunoglobulin G. Emotional stress increased earlier revealed tendencies. As a result the relative (23.41±1.01%) and absolute (0.28±0.02x10⁹/л) number of T cells with the phenotype CD4⁺, and immunoregulatory index (1.04±0.03) reached values lower than homeostatic norm. These indicators also show the longest period of recovery. Dynamics of the analyzed indices in session and recovery periods gives a reason to believe that mechanisms of adaptation and deadaptation are better displayed for thymus-dependent cells. Additional short-term stress factor intensifies immunosuppression caused by living in radiation contaminated areas, and creates the basis for regular monitoring of health status of the population that suffered from the combined stress and for implementing preventive measures during the recovery period. Key words: radiation contamination; stress; cortisol; immunosuppression; recovery period

Cherkasy State University of Bohdan Khmelnytsky

REFERENCES

- Hoshi M, Konstantinov YO., Evdeeva TY, Kovalev AI, Aksenov AS, Koulikova NV et al. Radiocesium in children residing in the western districts of the Bryansk Oblast from 1991-1996. *Health Phys.* 2000;79:182-6.
- Morita N, Takamura N, Ashizawa K, Shimasaki T, Yamashita S, Okumura Y. Measurement of the whole-body ¹³⁷Cs in residents around the Chernobyl nuclear power plant. *Radiat Prot Dosimetry.* 2005; 113: 326-9.
- Radiological situation in the territories referred to zones of radioactive contamination. Ministry of Emergencies and Protection of the Population from the Chornobyl Catastrophe of Ukraine. Ed. V.I. Kholosha. Kyiv, 2008. 49 p. [Ukrainian].
- Godekmerdan A, Ozden M, Ayar A. Diminished cellular and humoral immunity in workers occupationally exposed to low levels of ionizing radiation. *Arch Med Res.* 2004;35: 324-8.
- McMahon D, Vdovenko V, Karmaus W. Effects of long-term low-level radiation exposure after the Chernobyl catastrophe on immunoglobulins in children residing in contaminated areas: prospective and cross-sectional studies. *Environ Health.* 2014;13(1): 36-50.
- Prokopovych LN, Bul'ba AY. Specifics of immunotropic reactions caused by balneotherapy in Truskavets' spa among disaster fighters at ChNPP with various state of immunodysfunction. *MH&Rh.* 2005; 3(1): 57-9 [Ukrainian].
- Balogh A, Persa E, Bogdarndi EN, Benedek A, Hegyesi H, Sarfrany G, Lumniczky K. The effect of ionizing radiation on the homeostasis and functional integrity of murine splenic regulatory T cells. *Inflamm Res.* 2013; 62: 201-12.
- Sajjadi MR, Sheikh LV, Kuznetsova VB. Effect of ionizing radiation on development process of T-cell population lymphocytes in Chernobyl children. *Iran J Radiat Res.* 2009;7:127-33.
- Drannik GN. *Clinical immunology and allergology.* Odessa: Astroprint. 1999. 604 p. [Russian].
- Wang HC, Klein JR. Immune function of thyroid stimulating hormone and receptor. *Crit Rev Immunol.* 2001;21(4): 323-37.
- Cohen S, Janicki-Deverts D, Miller GE. Psychological Stress and Disease. *JAMA.* 2007;298(14):1685-7.
- Sokolenko VL, Sokolenko SV. Impact of emotional stress on specific immunity in patients with various combinations of genetic blood markers. Materials of XVII Congress of Ukrainian Physiological Society with international participation. *Fiziol Zh* 2006; 52(2):114 [Ukrainian].
- Haitov RM, Leskov VP. Immunity and stress. *Rus Physiol J.* 2001; 87(8): 1060-72 [Russian].
- Sokolenko VL, Sokolenko SV. Radionuclide activity and the immune system functioning in residents of radiation contaminated areas. *Visn Dnipropetr Univ Ser Biol Med.* 2015;6(2):93-6. [Ukrainian].
- Finlay D, Cantrell DA. Metabolism, migration and memory in cytotoxic T cells. *Nat Rev Immunol.* 2011; 11: 109-17.
- Hommel M, Hodgkin PD. TCR affinity promotes CD8⁺ T cell expansion by regulating survival. *J Immunol.* 2007; 179: 2250-60.
- Jahns J, Anderegg U, Saalbach A, Rosin B, Patties I, Glasow A. et al. Influence of low dose irradiation on differentiation, maturation and T-cell activation of human dendritic cells. *Mutat Res.* 2011; 709-710: 32-9.
- Kinet S, Swainson L, Lavanya M, Mongellaz C, Montel-Hagen A, Craveiro M et al. Isolated receptor binding domains of HTLV-1 and HTLV-2 envelopes bind Glut-1 on activated CD4⁺ and CD8⁺ T cells. *Retrovirology.* 2007; 4:31.
- Weng L, Williams RO, Vieira PL, Sreaton G, Feldmann M, Dazzi F. The therapeutic activity of low-dose irradiation on experimental arthritis depends on the induction of endogenous regulatory T cell activity. *Ann Rheum Dis.* 2010;69: 1519-26.
- Sun JC, Lanier LL. Natural killer cells remember: An evolutionary bridge between innate and adaptive immunity? *Eur J Immunol.* 2009;39(8): 2059-64.

Матеріал надійшов до редакції 15.01.2016