



УДК 577.3+796.072.2

Вплив помірних фізичних навантажень на показники імунної системи у мешканців радіаційно забруднених територій

В.Л. Соколенко, С.В. Соколенко

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна

Вивчали вплив фізичних навантажень, зумовлених заняттям фізичною культурою, на показники імунної системи у мешканців територій, забруднених радіонуклідами. Встановили, що за умов відсутності фізичних навантажень в обстежених спостерігалася певна імуносупресія Т-клітинної ланки імунітету. Заняття фізичною культурою в основній групі зумовили достовірне зниження відносної кількості лімфоцитів та підвищення відносної кількості паличкоядерних нейтрофілів, що вважається типовою ознакою початкових стадій стресової реакції. Відмічено статистично достовірне зниження відносної та абсолютної кількості клітин із фенотипами CD3+, CD5+, CD4+ та імунорегуляторного індексу CD4+/CD8+. Відсутні вірогідні зміни рівня цитотоксичних Т-лімфоцитів із фенотипом CD8+ та природних кілерів із фенотипом CD16+. Спостерігалася підвищення відносної кількості В-лімфоцитів із фенотипом CD72+ та тенденція до зростання рівня сироваткового IgM. Відновний період тривав дві доби. В осіб із групи ЛФК заняття фізичною культурою не викликали статистично вірогідних змін показників. Таким чином, у мешканців радіаційно забруднених територій помірні фізичні навантаження викликають короточасні компенсаторні зміни показників клітинної ланки імунітету в межах гомеостатичної норми, із досить ефективним відновленням.

Ключові слова: малі дози радіації, фізичні навантаження, стрес, імунітет

Influence of moderate physical load on parameters of the immune system among residents of contaminated areas

V.L. Sokolenko, S.V. Sokolenko

Cherkasy National University named after Bogdan Khmelnytsky, Cherkasy, Ukraine

The aim of this research was to evaluate the effects of physical stress caused by physical activity on parameters of immune system among the residents of areas contaminated with radionuclides. In the 2000–2015 we examined 125 students of Cherkasy State University, including the control group of people from uncontaminated areas, persons working in a basic physical training group and those with symptoms of vegetative-vascular dystonia, who worked in a therapeutic physical training group. Immune system parameters were analyzed: a day before physical training, immediately after the training and two days after the training to assess the 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 the immunoenzyme method. Here we established that even in the absence of physical activity, some immunosuppression of T-cell immunity was observed in residents of contaminated areas. Working in the basic physical training group resulted in a significant decrease in the relative number of lymphocytes and increasing in the relative number of band neutrophils, which is a typical feature of the early stages of stress response. A statistically significant reduction in relative and absolute number of cells with phenotypes CD3+, CD5+, CD4+ and immunoregulatory index CD4+/CD8+ was observed. There were no significant changes of cytotoxic T lymphocytes with phenotype CD8+ and natural killer cells with phenotype CD16+. Increase of the relative number of B cells, that express CD72 antigen, and growth trend in serum IgM were registered. All parameters analyzed were within the physiological homeostatic norm, however, some reached extreme recommended levels. Recovery period lasted 2 days. Individuals working in therapeutic physical training group did not show statistically significant changes in immune system parameters. Thus, therapeutic exercises don't reach the stress level and can be potentially safe for the natural resistance of the body. So, among residents of areas contaminated with radionuclides due to the Chernobyl accident, moderate load during physical training lessons causes short-term compensatory changes of cellular immunity within the homeostatic norm with effective and rapid recovery. Taking

into account the immunosuppression, caused by chronic exposure to low doses of ionizing radiation, it is important to choose exercises, their duration and intensity carefully, giving preference to therapeutic exercises.

Keywords: low doses of radiation; physical activity; stress; immunity

Вступ

Аварія на Чорнобильській АЕС стала одним із факторів, які вже протягом трьох десятиліть визначає стан здоров'я населення України. Дані літератури свідчать про підвищення частоти онкологічних захворювань, ендокринних порушень, серцево-судинних та психосоматичних дисфункцій, генетичних мутацій та імунodefіцитних станів у потерпілих внаслідок цієї радіаційної катастрофи. Така тенденція характерна не лише для ліквідаторів наслідків аварії та цивільного населення, котре зазнало гострого опромінення, а і мешканців територій, забруднених радіонуклідами (Telnov, 2002; Eheman, 2003; Baker, 2011; Bazyka, 2013; Gyuleva, 2015; Horban et al., 2015).

В окремих публікаціях сповіщається про зниження у ліквідаторів показників фізичної працездатності та про позитивний вплив на стан здоров'я мешканців радіаційно забруднених районів (зокрема, підлітків) фізичних навантажень. Такий ефект пояснюють зростанням неспецифічної стійкості до різноманітних стресорів, у тому числі й до радіаційного, за рахунок збільшення активності важливого антиоксидантного ферменту супероксиддисмутази у скелетних м'язах, а також зниження рівня активності перекисного окиснення ліпідів у випадку максимальних навантажень (Kryvytskyi, 2001; Chyzyk, 2008).

З іншого боку, фізичні навантаження також вважаються визнаним стресовим фактором (Pedersen, 2000). Фізичні навантаження, котрі досягли стресового рівня, впливають перш за все на імунейроендокринну систему організму, викликаючи розвиток адаптаційного синдрому, а за тривалої хронічної дії чи значної потужності можуть зумовлювати порушення гомеостазу та, як наслідок, ініціацію низки патологічних станів (Khaitov, 2001; Agadzhanian, 2005; Horban and Stanshevska, 2014). При цьому інтенсивні та тривалі навантаження спричинюють виражену імуносупресію, що неодноразово відмічалось для професійних спортсменів, особливо в період відповідальних змагань (Baj, 1994; Suzdalnitskiy, 2003). Надзвичайно потужним імунодепресантом вважається також вплив іонізуючого випромінювання (Telnov, 2002; Cohen, 2007).

Таким чином, з одного боку, у студентів традиційно наявний дефіцит рухової активності, який можна компенсувати дозованими навантаженнями на заняттях фізичною культурою (Pulnenkiy, 2006). Окремі дослідження свідчать, що оптимальне фізичне навантаження в сукупності з раціональним харчуванням і правильним способом життя варто рекомендувати як найефективніший засіб подолання різних відхилень стану здоров'я підлітків і молоді (Agadzhanian, 2005; Grabovskyi and Grabovska, 2015). З іншого боку, й іонізуюче випромінювання, і фізичні навантаження визнаються стресовими факторами та потенційними імунодепресантами. Тобто, у випадку студентів, які приїхали на навчання з території посиленого радіоекологічного контролю, можливі ефекти потенціювання, адитивності чи синергізму та, як наслідок, явища

дистресу, критичного для гомеостатичних систем організму, у тому числі імунної. Це зумовило актуальність наших досліджень та визначило мету.

Мета роботи – оцінити вплив фізичних навантажень, зумовлених заняттям фізичною культурою, на показники імунної системи у мешканців територій, забруднених радіонуклідами.

Матеріал і методи досліджень

Протягом 2000–2015 років обстежено 125 осіб, студентів ЧНУ, серед яких виділили три групи. Першу (контроль) склали 50 осіб, віднесених до групи практично здорових, – мешканці відносно екологічно чистих районів. Другу групу, чисельністю 50 осіб, сформували студенти ЧНУ, які приїхали на навчання з територій посиленого радіоекологічного контролю (IVa радіаційна зона, щільність забруднення ґрунтів ізотопами ^{137}Cs 1–5 Кі/км²), у яких не спостерігалось виражених морфoфункціональних порушень, тому вони відвідували основну групу фізичного виховання. Ще 25 осіб із території посиленого радіоекологічного контролю мали ознаки вегето-судинної дистонії та відвідували групу лікувальної фізкультури (ЛФК). Вік обстежених – 18–24 роки, на час обстеження вони не мали гострих інфекційних захворювань. Проаналізовано показники 39 осіб чоловічої статі та 86 осіб жіночої (обстежених у фолікулярну стадію менструального циклу). Між показниками осіб різних статей не спостерігалось статистично вірогідної різниці, тому у подальшому їх розглядали як єдину сукупність.

Аналіз показників імунної системи проводили у вересні – жовтні, до та після занять фізичною культурою. Формою проведення навчально-тренувальних занять для основної групи був 90-хвилинний оздоровчо-тренувальний процес, побудований за традиційною структурою, що містив вправи, передбачені державною програмою. Комплекс лікувальної фізкультури (ЛФК) проводили для осіб з ознаками вегето-судинної дистонії, містив дозовані навантаження, зокрема, розтяжку, дихальні вправи, вправи на координацію рухів, вправи для вестибулярного апарату, короткочасні рухливі ігри.

Аналіз показників імунної системи проводили за добу до занять фізичною культурою, відразу після закінчення заняття (яке стояло першою парою) та через дві доби для оцінки відновного періоду. В обстежених відбирали 10 мл венозної крові. Для частини аналізів (оцінки лейкоцитарної формули та рівня лейкоцитів) використовували капілярну кров. Обстеження та забори крові проводили кваліфіковані медичні працівники на базі санаторію-профілакторію «Едем» при Черкаському національному університеті.

Загальну кількість лейкоцитів підраховували в камері Горяєва, лімфоцитів – на основі кров'яного мазка, фарбованого за Романовським – Гімзою).

Експресію поверхневих антигенів лімфоцитами периферичної крові визначали імунofлуоресцентним методом

із використанням моноклональних антитіл до поверхневих маркерів клітин імунної системи LT1 (для оцінки експресії пан-Т-клітинного маркера CD5), LT3 (для оцінки експресії пан-Т-клітинного маркера CD3), LT4 (для оцінки експресії Т-клітинного маркера хелперної активності CD4), LT8 (для оцінки експресії Т-клітинного маркера ефекторної або супресорної активності CD8), LNK16 (для оцінки експресії маркера природної кілерної активності CD16) та F(ab)2 – фрагментів овечих антитіл до IgG миші, мічених FITC (Сорбент, Росія).

Рівень імуноглобулінів у сироватці крові визначали методом радіальної імунодифузії за Манчінні з використанням моноспецифічних сироваток проти IgG(H), IgM(H), IgA(H). Вміст кортизолу у сироватці крові визначали імуоферментним методом із використанням набору Bio-Rad (Росія).

Статистичну обробку результатів проводили методами варіаційної статистики. Дані наведено у вигляді: середнє арифметичне \pm похибка середнього арифметичного ($M \pm m$). Достовірність різниці між показниками визначали за t-критерієм Стьюдента, попередньо перевірявши вибірки на нормальність розподілу.

Результати та їх обговорення

Навіть за відсутності фізичних навантажень рівень кортизолу в мешканців територій, забруднених радіонуклідами, був вірогідно підвищений порівняно з контролем. Після фізичних навантажень в основній групі рівень кортизолу вірогідно підвищився, у групі ЛФК показник не продемонстрував вірогідних змін (табл.).

Таблиця

Показники імунної системи в обстежених із територій посиленого радіоекологічного контролю за умов помірних фізичних навантажень, зумовлених заняттям фізичною культурою

Показники	Контроль (n = 50)	Обстежені з IV зони, основна група, до навантаження (n = 50)	Обстежені з IV зони, основна група, після навантаження (n = 50)	Обстежені з IV зони, ЛФК, до навантаження (n = 25)	Обстежені з IV зони, ЛФК, після навантаження (n = 25)
Кортизол, нмоль/л	349 \pm 10,1	627 \pm 21,1*	693 \pm 15,9**	620 \pm 24,3*	641 \pm 19,0*
Лейкоцити, $\times 10^9$ /л	6,59 \pm 0,074	7,01 \pm 0,121*	7,21 \pm 0,254*	7,42 \pm 0,099*	7,45 \pm 0,112*
Лімфоцити, %	26,9 \pm 0,26	22,9 \pm 0,29*	21,5 \pm 0,11**	24,1 \pm 0,31*	23,7 \pm 0,35*
Лімфоцити, $\times 10^9$ /л	1,85 \pm 0,035	1,60 \pm 0,041*	1,55 \pm 0,057*	1,74 \pm 0,041*	1,69 \pm 0,043*
Моноцити, %	5,69 \pm 0,291	6,06 \pm 0,251	5,87 \pm 0,242	6,15 \pm 0,250	6,10 \pm 0,210
Моноцити, $\times 10^9$ /л	0,39 \pm 0,031	0,42 \pm 0,021	0,40 \pm 0,037	0,41 \pm 0,028	0,38 \pm 0,031
Нейтрофіли паличкоядерні, %	3,61 \pm 0,287	4,55 \pm 0,075*	5,39 \pm 0,096**	4,98 \pm 0,085*	5,01 \pm 0,077*
Нейтрофіли паличкоядерні, $\times 10^9$ /л	0,24 \pm 0,019	0,32 \pm 0,027*	0,41 \pm 0,056*	0,35 \pm 0,040*	0,37 \pm 0,029*
Нейтрофіли сегментоядерні, %	62,8 \pm 0,48	65,3 \pm 0,49*	65,4 \pm 0,31*	64,4 \pm 0,50*	65,1 \pm 0,51*
Нейтрофіли сегментоядерні, 10^9 /л	4,18 \pm 0,051	4,51 \pm 0,050*	4,65 \pm 0,089*	4,49 \pm 0,065*	4,51 \pm 0,064*
Базофіли, %	0,13 \pm 0,068	0,32 \pm 0,099	0,35 \pm 0,087	0,32 \pm 0,099	0,33 \pm 0,084
Базофіли, $\times 10^9$ /л	0,01 \pm 0,006	0,02 \pm 0,009	0,02 \pm 0,011	0,02 \pm 0,009	0,03 \pm 0,011
Еозинофіли, %	1,00 \pm 0,245	2,37 \pm 0,201*	2,55 \pm 0,295*	2,47 \pm 0,194*	2,49 \pm 0,201*
Еозинофіли, 10^9 /л	0,05 \pm 0,017	0,10 \pm 0,015*	0,12 \pm 0,021*	0,12 \pm 0,019*	0,13 \pm 0,021*
CD3+, %	66,1 \pm 0,43	62,5 \pm 0,60*	60,0 \pm 0,72**	59,4 \pm 0,62*	58,9 \pm 0,71*
CD3+, $\times 10^9$ /л	1,21 \pm 0,022	1,00 \pm 0,026*	0,75 \pm 0,031**	0,96 \pm 0,024*	0,91 \pm 0,029*
CD5+, %	71,8 \pm 0,60	65,5 \pm 0,59*	62,1 \pm 0,59**	67,9 \pm 0,59*	67,1 \pm 0,51*
CD5+, $\times 10^9$ /л	1,36 \pm 0,015	1,08 \pm 0,028*	0,88 \pm 0,037*	1,08 \pm 0,029*	1,08 \pm 0,028*
CD4+, %	40,3 \pm 0,40	33,9 \pm 0,59*	31,1 \pm 0,60**	30,8 \pm 0,74*	30,0 \pm 0,61*
CD4+, $\times 10^9$ /л	0,82 \pm 0,012	0,62 \pm 0,026*	0,50 \pm 0,037**	0,55 \pm 0,038*	0,50 \pm 0,029*
CD8+, %	27,4 \pm 0,41	26,8 \pm 0,39	27,2 \pm 0,41	25,1 \pm 0,51*	25,2 \pm 0,41*
CD8+, $\times 10^9$ /л	0,49 \pm 0,025	0,48 \pm 0,021	0,52 \pm 0,045	0,43 \pm 0,021	0,45 \pm 0,019
CD4+/CD8+	1,65 \pm 0,031	1,35 \pm 0,031*	1,20 \pm 0,037**	1,33 \pm 0,039*	1,31 \pm 0,038*
CD16+, %	18,6 \pm 1,09	14,7 \pm 1,09*	13,1 \pm 1,12*	14,8 \pm 1,11*	14,4 \pm 0,98*
CD16+, $\times 10^9$ /л	0,35 \pm 0,031	0,22 \pm 0,015*	0,19 \pm 0,028*	0,22 \pm 0,020*	0,20 \pm 0,019*
CD72+, %	9,9 \pm 0,17	10,2 \pm 0,39	11,9 \pm 0,41**	10,3 \pm 0,40	10,4 \pm 0,31
CD72+, $\times 10^9$ /л	0,17 \pm 0,010	0,17 \pm 0,021	0,21 \pm 0,032	0,15 \pm 0,020	0,17 \pm 0,020
IgG, мг/мл	10,1 \pm 0,19	12,0 \pm 0,57*	11,0 \pm 0,63	11,1 \pm 0,53	11,1 \pm 0,41
IgM, мг/мл	1,70 \pm 0,121	1,85 \pm 0,187	2,15 \pm 0,110	1,87 \pm 0,201	1,90 \pm 0,101
IgA, мг/мл	1,80 \pm 0,097	1,70 \pm 0,092	1,67 \pm 0,099	1,69 \pm 0,099	1,71 \pm 0,088

Примітки: * – вірогідна різниця показника порівняно з контролем за $P < 0,05$; ** – вірогідна різниця показника після навантаження порівняно з показником до навантаження за $P < 0,05$.

Таким чином, підтверджується стресова дія хронічного впливу малих доз іонізуючого випромінювання, яка може посилюватися залежно від інтенсивності додатково-го фізичного навантаження. Аналіз показників клітинного

імунітету показав, що до занять фізичною культурою в обстежених із територій посиленого радіоекологічного контролю спостерігалось вірогідне підвищення (порівняно з контролем) відносної та абсолютної кількості па-

личкоядерних і сегментоядерних нейтрофілів, еозинофілів, зниження відносної та абсолютної кількості лімфоцитів (їх субпопуляцій, що експресують антигени CD3, CD5, CD4 та CD16). Також в обстежених знижений імунорегуляторний індекс CD4+/CD8+ та підвищена концентрація сироваткового IgG. Відмічені ефекти стосуються як основної групи, так і групи ЛФК з ознаками вегето-судинної дистонії (табл.). Отримані дані узгоджуються з повідомленнями про імуносупресію Т-клітинного імунітету за умов хронічного опромінення малими дозами радіації (Godekmerdan, 2004; Sajjadih, 2009; Jahns, 2011; Balogh, 2013; Gyuleva, 2015).

Заняття фізичною культурою в основній групі зумовило достовірне зниження відносної кількості лімфоцитів та підвищення відносної кількості паличкоядерних нейтрофілів (табл.). Тобто посилилися тенденції, відмічені для періоду без навантаження. Згідно з даними літератури (McDowell, 1992; Khaitov, 2001; Hodes, 2014), зниження рівня лімфоцитів на фоні підвищення концентрації гранулоцитарних фракцій вважається типовою ознакою початкових стадій стресової реакції. У нашому випадку компенсація реалізувалася за рахунок молодих паличкоядерних форм, що підтверджує зміни диференціальних процесів у кістковому мозку. При цьому аналізовані показники перебували у межах фізіологічної гомеостатичної норми.

Аналіз показників Т-клітинної ланки імунітету показав, що після занять фізичною культурою в основній групі спостерігається статистично достовірне зниження відносної та абсолютної кількості клітин із фенотипами CD3+, CD5+ та CD4+ на фоні відсутності змін кількості лімфоцитів із фенотипом CD8+. Відсутні також зміни рівня природних кілерів із фенотипом CD16+. Відмічено зниження імунорегуляторного індексу CD4+/CD8+ (табл.). Кластери диференціювання CD3 та CD5 належать до пан-Т-клітинних маркерів, із провідною роллю молекули CD3 у передачі сигналу від Т-клітинного рецептора (ТКР) всередину лімфоцита, що зумовлює стимуляцію процесу його активації та проліферації. Антигени CD4 та CD8 маркують основні регуляторні субпопуляції Т-лімфоцитів: співвідношення хелперних Т-лімфоцитів із фенотипом CD4+ та ефекторних або супресорних Т-лімфоцитів із фенотипом CD8+ визначає силу та напрямок імунної відповіді. Кілерні лімфоцити із фенотипом CD16+ знищують малігнізовані та інфіковані вірусами клітини (Drannik, 1999; Yarilin, 1999; Paul, 2013). Таким чином, хоча клітини із цитотоксичним потенціалом не демонструють вірогідного зниження кількості під час фізичних навантажень, активність імунної відповіді може бути пригніченою за рахунок певного дефіциту Т-хелперів.

Аналіз гуморальної ланки специфічного імунітету виявив, що помірні фізичні навантаження викликають в обстежених з основної групи занять фізичною культурою підвищення відносної кількості В-лімфоцитів, що експресують антиген CD72 та тенденцію до зростання рівня сироваткового IgM (табл.). Молекула CD72 виконує роль ліганду для молекул CD5 на Т-лімфоцитах і забезпечує ефективний контакт В-клітин із хелперними Т-лімфоцитами. Функціонально зрілі В-лімфоцити після активації формують клони антитілопродукувальних плазматичних клітин, тобто класифікуються як клітинні фактори гуморального специфічного імунітету. IgM

вважається одним із перших бар'єрів на шляху інфекції, виконуючи, у той же час, функцію типового антиген-специфічного рецептора В-лімфоцитів. Оскільки у стимуляції синтезу IgM не беруть участі Т-лімфоцити, він вважається резистентним до дії імуносупресантів, у тому числі опромінення (Drannik, 1999; Paul, 2013; McMahon, 2014).

Отримані результати узгоджуються з даними літератури, де вказується, що фізичні навантаження пригнічують переважно Т-клітинну ланку імунітету (особливо субпопуляцію Т-хелперів), практично не впливаючи (або навіть розгальмовуючи) гуморальну відповідь на початковому етапі адаптаційного процесу. Це проявляється зниженням кількості Т-лімфоцитів, їх метаболічної та функціональної активності, порушеннями взаємозв'язків між різними субпопуляціями імункомпетентних клітин (Bell, 1998; Tvede, 1989; Pedersen, 2000). Досить суперечливі дані щодо впливу фізичних навантажень на рівень природних кілерів. Наявні сповіщення про відсутність виражених змін, як у нашому випадку, про підвищення чи зниження їх кількості після спортивних змагань (Mackinnon, 1989; Pedersen, 1990; Tvede, 1993).

Хоча ми не відмітили виходу аналізованих показників за межі норми, деякі з них досягали граничних гомеостатичних значень (відносне число лімфоцитів, паличкоядерних і сегментоядерних нейтрофілів, Т-лімфоцитів із фенотипом CD4+ та імунорегуляторний індекс CD4+/CD8+). Виявлені тенденції свідчать: фізичні навантаження для осіб, які зазнали хронічного впливу малих доз іонізуючого випромінювання, потрібно ретельно дозувати із періодичною перевіркою імунного статусу.

Аналіз показників імунної системи через дві доби після занять фізичною культурою показав їх повернення до вихідних значень, що свідчить про задовільну ефективність відновних процесів природної резистентності організму за умов помірних фізичних навантажень.

Вивчення впливу фізичних навантажень на імунну систему осіб із групи ЛФК не виявило статистично вірогідних змін показників (табл.). Спостерігаються лише слабковиражені тенденції закономірностей, відмічених для основної групи мешканців радіаційно забруднених територій. Тобто вправи лікувальної фізичної культури не досягають за інтенсивністю стресового рівня і можуть вважатися потенційно безпечними для природної резистентності організму. У той же час, ми не виявили стимулювального чи модулювального ефекту таких вправ щодо імунної системи.

Висновки

У мешканців територій, забруднених радіонуклідами внаслідок аварії на ЧАЕС, помірні навантаження, зумовлені заняттям фізичною культурою, викликають короточасні компенсаторні зміни показників клітинної ланки імунітету у межах гомеостатичної норми, з ефективним та швидким відновленням. Враховуючи наявність імуносупресії, зумовленої хронічним впливом малих доз іонізуючого випромінювання, необхідно ретельно підбирати вправи за їх тривалістю та інтенсивністю, віддаючи перевагу комплексам ЛФК.

Бібліографічні посилання

- Agadzhanian, N.A., Dvoenosov, V.G., Ermakov, N.V., 2005. Dvigatel'naya aktivnost i zdorovie [Moving activity and health]. Kazan State University, Kazan (in Russian).
- Baj, Z., Kantorski, J., Majewska, E., Zeman, K., Pokoca, L., Fornalczyk, E., Tchorzewski, H., Sulowska, Z., Lewicki, R., 1994. Immunological status of competitive cyclists before and after the training season. *Int. J. Sports Med.* 15, 319–324.
- Baker, J.E., Moulder, J.E., Hopewell, J.W., 2011. Radiation as a risk factor for cardiovascular disease. *Antioxid. Redox Signal.* 15(7), 1945–1956.
- Balogh, A., Persa, E., Bogdarndi, E.N., Benedek, A., Hegyesi, H., Sarfrarny, G., Lumniczky, K., 2013. The effect of ionizing radiation on the homeostasis and functional integrity of murine splenic regulatory T cells. *Inflamm. Res.* 62, 201–212.
- Bazyka, D.A., Loganovsky, K.N., Ilyenko, I.N., Chumak, S.A., Marazziti, D., Maznichenko, O.L., Kubashko, A.V., 2013. Cellular immunity and telomere length correlate with cognitive dysfunction in clean-up workers of the chernobyl accident. *Clinical Neuropsychiatry* 106, 280–281.
- Bell, E.B., Spartshott, S., Bunce, C., 1998. CD4+ T cell memory, CD45R subsets and the persistence of antigen: A unifying concept. *Immunol. Today* 19, 60–64.
- Chyzyk, V.V., Makarenko, M.V., Romaniuk, V.P., Pedyk, L.A., Fuks, L.P., 2008. Obruntuvannia systemy fazychnykh navantazhen, spriamovanykh na ozdorovlennia y pidvyshchennia pratsezdatsnosti v umovakh prozhyvannia na zabrudnennykh radionuklidamy terytoriiakh [Justification of the exercise system, aimed at health improving and efficiency increasing in terms of living in the contaminated areas]. *Visnyk Volynskogo Natsionalnogo Universytetu imeni Lesi Ukrainky* 17, 51–55 (in Ukrainian).
- Cohen, S., Janicki-Deverts, D., Miller, G.E., 2007. Psychological stress and disease. *J. Am. Med. Assoc.* 298(14), 1685–1687.
- Drannik, G.N., 1999. Klinicheskaja immunologija i allergologija [Clinical immunology and allergology]. Astroprint, Odessa (in Russian).
- Eheman, C.R., Garbe, P., Tuttle, R.M., 2003. Autoimmune thyroid disease associated with environmental thyroidal irradiation. *Thyroid* 13, 453–464.
- Godekmerdan, A., Ozden, M., Ayar, A., 2004. Diminished cellular and humoral immunity in workers occupationally exposed to low levels of ionizing radiation. *Arch. Med. Res.* 35, 324–328.
- Grabovskiy, S.S., Grabovska, O.S., 2015. Vplyv imunomoduljatoriv pryrodnoho pochodzennja na koncentraciju protejinykh frakcij ta riven' kortyzolu u plazmi krovi krolykiv za umov stresu [Influence of natural immunomodulators on protein fractions and cortisol content in rabbit blood under stress]. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University* 5(2), 93–102 (in Ukrainian).
- Gyuleva, I.M., Penkova, K.I., Rupova, I.T., Panova, D.Y., Djounova, J.N., 2015. Assessment of some immune parameters in occupationally exposed nuclear power plants workers: Flowcytometry measurements of T, B, NK and NKT cells. *Dose Response* 13(1), 1–15.
- Hodes, G.A., Pfau, M.L., Leboeuf, M., Golden, S.A., Christoffel, D.J., Bregman, D., 2014. Individual differences in the peripheral immune system promote resilience versus susceptibility to social stress. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111(45), 16136–16141.
- Horban, D.D., Stanshevska, T.I., 2014. Indyvidual'notypolohichni osoblyvosti reaktyvnosti tkanynnoho krovotoku u divchat-studentok [Individual-typological features of blood flow and vascular reactivity in female students]. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University* 4(3), 125–131 (in Ukrainian).
- Horban, D.D., Yusupova, O.V., Sobischanska, M.I., Chorna, V.G., 2015. Osoblyvosti mikrocyrkuljacji' krovi u studentiv [Features of students' blood microcirculation]. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University* 5(3), 122–129 (in Ukrainian).
- Jahns, J., Anderegg, U., Saalbach, A., Rosin, B., Patties, I., Glasow, A., Kamprad, M., Scholz, M., Hildebrandt, G., 2011. Influence of low dose irradiation on differentiation, maturation and T-cell activation of human dendritic cells. *Mutat. Res.* 709–710, 32–39.
- Khaitov, R.M., Leskov, V.P., 2001. Immunity and stress [Immunitet i stress]. *Rus. Physiol. J.* 87(8), 1060–1072 (in Russian).
- Kryvytskyi, S.Y., Potashniuk, R.Z., 2001. Fyzychi stan studentiv-pershokursnykiv vuziv riznogo profilu, yaki prozhyvaly na terytoriiakh radiatsiinogo zabrudnennia [Physical condition of freshmen in different universities, who lived in areas of radioactive contamination]. *Pedagogika, Psykhologija ta Medyko-Biologichni Problemy Fyzychnogo Vykhovannia i Sportu* 13, 16–21 (in Ukrainian).
- Mackinnon, L.T., 1989. Exercise and natural killer cells: What is the relationship? *Sports Med.* 7, 141–149.
- McMahon, D., Vdovenko, V., Karmaus, W., 2014. 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* 13(1), 36–50.
- McDowell, S.L., Hughes, R.A., Hughes, R.J., Housh, D.J., Housh, T.J., Johnson, G.O., 1992. The effect of exhaustive exercise on salivary immunoglobulin A. *J. Sports. Med. Physical. Fitness.* 32, 412–415.
- Paul, W., 2013. *Fundamental immunology*. 7th ed. Wolters Kluwer Health / Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia.
- Pedersen, B.K., Hoffman-Goetz, L., 2000. Exercise and the immune system: Regulation, integration, and adaptation. *Physiol. Rev.* 80(3), 1055–1081.
- Pedersen, B.K., Tvede, N., Klarlund, K., Christensen, L.D., Hansen, F.R., Galbo, H., Kharazmi, A., Halkjaerkristensen, J., 1990. Indomethacin *in vitro* and *in vivo* abolishes post-exercise suppression of natural killer cell activity in peripheral blood. *Int. J. Sports Med.* 11, 127–131.
- Pylnenkiy, V.V., 2006. Organizatsiyno-metodychni osnovy ozdorovchogo trenuvannia studentiv z nyzkym rivnem somatychnogo zdorovia [Organizational and methodological foundations of health training of students with low level of physical health]. Lviv (in Ukrainian).
- Sajjadieh, M.R., Sheikh, L.V., Kuznetsova, V.B., 2009. Effect of ionizing radiation on development process of T-cell population lymphocytes in Chernobyl children. *Iran. J. Radiat. Res.* 7, 127–133.
- Suzdalnitskiy, R.S., Levando, V.A., 2003. New approaches for understanding of sport stress immunodeficiency [Novye podkhody k ponimaniyu sportivnykh stressovykh immunodefitsitov]. *Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury* 1, 26–31 (in Russian).
- Telnov, V.I., Zhuntova, G.V., 2002. Genotipicheskij analiz biokhimicheskogo statusa u ljudej, obluchennykh v znachitel'nyh dozah [Genotypic analysis of biochemical status of people received radioactive irradiation]. *Voprosy Medicinskoj Himii.* 44(5), 56–60 (in Russian).
- Tvede, N., Heilmann, C., Halkjaer Kristensen, J., Pedersen, B.K., 1989. Mechanisms of B-lymphocyte suppression induced by acute physical exercise. *J. Clin. Lab. Immunol.* 30, 169–173.
- Tvede, N., Kappel, M., Halkjaer Kristensen, J., Galbo, H., Pedersen, B.K., 1993. The effect of light, moderate and severe bicycle exercise on lymphocyte subsets, natural and lymphokine activated killer cells, lymphocyte proliferative response and interleukin-2 production. *Int. J. Sports Med.* 14, 275–282.
- Yarilin, A.A., 1999. *Osnovy immunologii* [Immunology fundamentals]. Medicine, Moscow (in Russian).

Надійшла до редколегії 23.03.2016