Український Радіологічний Журнал
© Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва (2003)
УРЖ 2003; 11: 298 – 304

С.В. Хижняк,
А.В. Клепко,
О.О. Кисіль,
Л.В. Бабич,
Д.О. Міщук,
В.М. Войціцький,
М.Є. Кучеренко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

Інститут біохімії ім. О.В. Палладіна, м. Київ

Біологічні ефекти хронічної дії йонізувальної радіації та йонів кадмію

Biological effects of chronic ionizing radiation and cadmium ions

Цель работы: Оценка хронического действия ионизирующего излучения (ИИ) в низких дозах и кадмия на организм по ряду биохимических показателей.

Материалы и методы: Экспериментальных животных (крыс-самцов массой 160–200 г) подвергали раздельному или сочетанному хроническому внешнему γ-облучению ^{60}Co (мощность дозы 0,72 сГр/сут) на установке «Эталон» (Институт ядерных исследований НАН Украины) наряду с поступлением вместе с питьевой водой хлорида кадмия (0,01 мг/л) в течение 5 месяцев. Объектами исследований служили печень, слизистая оболочка тонкого кишечника, мозг, сыворотка крови. Исследовано содержание липидов, активности ряда ферментов, показатели перекисного окисления липидов и активности антиокислительных систем. Результаты обработаны методами вариационной статистики с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты: Показано изменение окислительно-антиокислительного гомеостаза в разных тканях крыс при раздельном или сочетанном действии ИИ и кадмия. Установлены разнонаправленные изменения количества липидов в тканях. Изменение активности ряда ферментов в разных органах указывает на нарушение проницаемости клеточных мембран при данных видах воздействия. Приведенные данные свидетельствуют об отчетливой реакции клеточных систем организма в ответ на воздействие ИИ в низких дозах и кадмия.

Выводы: Полученные биохимические данные свидетельствуют, что раздельное или сочетанное действие γ-облучения и кадмия в области низких доз и концентраций различается по выраженности ответной реакции различных систем организма. Хроническое сочетанное действие исследованных факторов характеризуется нарастанием эффекта с увеличением дозы, выявленные структурно-функциональные изменения клеточных систем имеют стойкий прогрессирующий характер, что может указывать на стадию предпатологии.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, кадмий, низкие дозы, хроническое действие, биохимические показатели.

Objective: To evaluate chronic exposure to low-dose ionizing radiation and cadmium according to a number of biochemical parameters.

Material and Methods: The experimental animals (male rats weighing 160–200 g) were exposed to separate or combined chronic action of γ-radiation of ^{60}Co (dose rate 0.72 cGy/day) of «Etalon» unit (Institute for Nuclear Studies, National Academy of Science of Ukraine) and were given cadmium chloride (0.01 mg per liter of drinking water) for 5 months. The liver, mucous membrane of small intestine, brain, blood serum were studied. Lipid amount, enzyme activity, lipid peroxidation and antioxidant system parameters were studied.

The finding were evaluated using t-Student's criterion.

Results: The changes in redox homeostasis in various tissues at separate and combined action of ionizing radiation and cadmium were observed. The changes in the lipid amount were different. The changes in enzyme activity in different organs suggest disturbances in cellular membrane permeability at exposure to cadmium and ionizing radiation. The obtained data suggest a distinct reaction of the cellular systems in response to the action of ionizing radiation and cadmium.

Conclusion: The obtained data suggest that separate or combined action of γ-radiation and cadmium differ in the degree of the response in various systems of the organism. Chronic combined action of the investigated factors is characterized by increased effect with the increase in the dose. The revealed changes in the cellular systems are stable, progressing thus suggesting predisease.

Key words: ionizing radiation, cadmium, low doses, chronic action, biochemical parameters.

За сучасної екологічної ситуації поряд із переопромінюванням біоти внаслідок катастрофи на ЧАЕС відбувається забруднення довкілля сполуками важких металів. Накопичення важких металів в організмі та їх стійкість до процесів природної детоксикації створює безпосередній ризик для здоров'я людини [1]. Кадмій, один із розповсюджених забруднювачів, який не піддається біотрансформації, характеризується високою токсичною і канцерогенною дією [2]. Поєднаний вплив іонізувального випромінення (ІВ) та йонів кадмію має стійкий характер, що викликає зміни основних функцій внутріклітинних систем і структур та, як наслідок, зниження загальної резистентності організму [3, 4].

Мета даної роботи полягала в оцінці хронічної дії ІВ та хлориду кадмію на організм (протягом 5 місяців) за деякими біохемічними показниками.

Методика дослідження

Експерименти проводили на білих безпородних щурах-самцях, які на початок досліджень мали масу 130–150 г і перебували в стаціонарних умовах віварію. Хронічне зовнішнє γ-опромінювання ^{60}Co щурів проводили на установці «Еталон» (на базі Інституту ядерних досліджень НАН України) з потужністю дози 0,72 сГр/добу. Тварини отримували питну воду, яка містила 0,01мг/л хлориду кадмію (в перерахунку на метал), що відповідає 10 ГДК. Проведено 2 серії експериментів, в кожній із яких тварин було розподілено на групи (по 4–6 тварин): контрольні — для кожного терміну дослідження та основні — отримували розчин кадмію протягом 42 діб, 84 діб та 145 діб; піддавали γ-опромінюванню протягом 42, 84 та 145 діб; піддавали сумісній дії γ-опромінення та кадмію протягом 42, 84, 145 діб. Тварин забивали методом декапітації з дотриманням правил евтаназії, як відзначено в [5], через 42, 84 та 145 діб, що відповідає сумарній поглинутій дозі відповідно 0,3; 0,6 та 1,0 Гр.

Об'єктом дослідження були сироватка крові, печінка, тонкий кишечник та мозок. Для отримання сироватки кров збирали у пробірки і центрифугували при 3000 об/хв. Препарати печінки та тонкого кишечника отримували після центрифугування гомогенатів при 4500 об/хв. Із сірої речовини головного мозку щурів отримували фракцію мікросом (10000–50000g). Визначення вмісту тріацилгліцеролів (ТГ), фосфоліпідів (ФЛ) та холестеролу (ХС) проводили за допомогою біхроматичної фотометричної системи «STAT FAX 1904 PLUS» (США). Активність ферментів аланінамінотрансферази (АлАТ), γ-глутамілтрансферази (ГГТ) та лужної фосфатази (ЛФ) визначали за допомогою стандартних наборів реактивів. Активність Na^+,K^+- АТФази оцінювали відповідно до [6]. Перебіг процесу ПОЛ оцінювали, вимірюючи ТБК-активні продукти, за якими розраховували вміст малонового діальдегіду згідно з [7], активність каталази згідно з [8] та антиокисну активність (АОА) згідно з [9]. Вміст білка в досліджуваних пробах визначали за методом Лоурі та ін. [10]. Експериментальні дані обробляли загальноприйнятими методами варіаційної статистики за спеціально складеними програмами. Вірогідність відмінностей між показниками дослідної та контрольної груп оцінювали за t-критерієм Стьюдента, як запропоновано в [11], з урахуванням, що кожний досліджуваний показник вимірювали у 3 повторах.

Результати та їх обговорення

Проведені дослідження свідчать, що в результаті хронічного опромінювання окремо чи поєднано із надходженням кадмію, спостерігаються відмінності в перебігу процесів ПОЛ для різних органів щурів. Встановлено зниження рівня МДА в клітинах печінки при всіх термінах дослідження, причому через 42 доби експерименту вірогідне (приблизно в 1,4 разу) зниження рівня МДА спостерігається при поєднаній дії ІР та кадмію. На кінець досліджень (145 діб) зменшення МДА при окремій дії γ-опромінення чи кадмію та поєднаній дії цих факторів становить відповідно 25, 50 та 60 % (рис. 1а).

У препаратах слизової оболонки тонкого кишечника через 42 доби вміст МДА не відрізняється від контролю. Через 84 доби експерименту при окремій дії γ-опромінення чи кадмію спостерігається зменшення рівня МДА в середньому в 1,3 разу, а поєднаній дії цих чинників — в 3 рази. На кінець досліджень (145 діб) рівень МДА залишається зниженим в 3 рази лише при окремій дії опромінювання чи поєднано з кадмієм (рис.1б). В мозку рівень МДА у всі досліджувані строки залишався на рівні контролю (дані не наведені).

Рівень МДА в сироватці крові зростав при всіх термінах дослідження, причому через 42 доби найбільше зростання (в 1,3 разу) спостерігалося при надходженні кадмію, а через 145 діб — у 2 рази при поєднаній дії ушкоджувальних чинників (рис.1в). Зростання рівня МДА в крові можливо в результаті його надходження з інших тканин.

Процеси ПОЛ в організмі, що нормально функціонує, перебувають під контролем антиоксидантної системи. Інтегральною характеристикою стану антиоксидантної системи різних тканин може бути АОА їх гомогенної фракції, яку оцінювали за величиною константи інгібування (K_i). У препаратах слизової оболонки тонкого кишечника через 42 доби спостерігається зниження K_i в середньому на 25 % при дії всіх досліджуваних чинників (рис.2а). Причому, на кінець досліджень (145 діб) лише при поєднаній дії γ-опромінення та кадмію K_i зменшується на 20 %, що, ймовірно, свідчить про виснаження антиоксидантної системи за цих умов. Разом із цим інтегральний показник АОА печінки знижувався зі зростанням терміну дослідження при всіх умовах експерименту. Через 145 діб таке зниження при дії кадмію, γ-опромінення чи їх поєднаному впливі становило в середньому 25 % (рис. 2б). Імовірно, що такі зміни зумовлені тривалою дією негативних факторів, що спричиняє підсилення навантаження на печінку, яка є основним детоксикаційним органом.

Каталаза, один із основних ферментів антиоксидантного захисту, є найбільш чутливим до дії різноманітних чинників. Результати проведених досліджень вказують на пригнічення активності цього ферменту в сироватці крові, що

проявляється на 42-гу та 84-ту добу впливу різних чинників. Через 145 діб активність каталази в сироватці крові при поєднаній дії залишається зниженою на 15 %, однак при окремій дії γ-опромінення та кадмію зростає в середньому на 25 % (рис. 3). Отримані резуль-

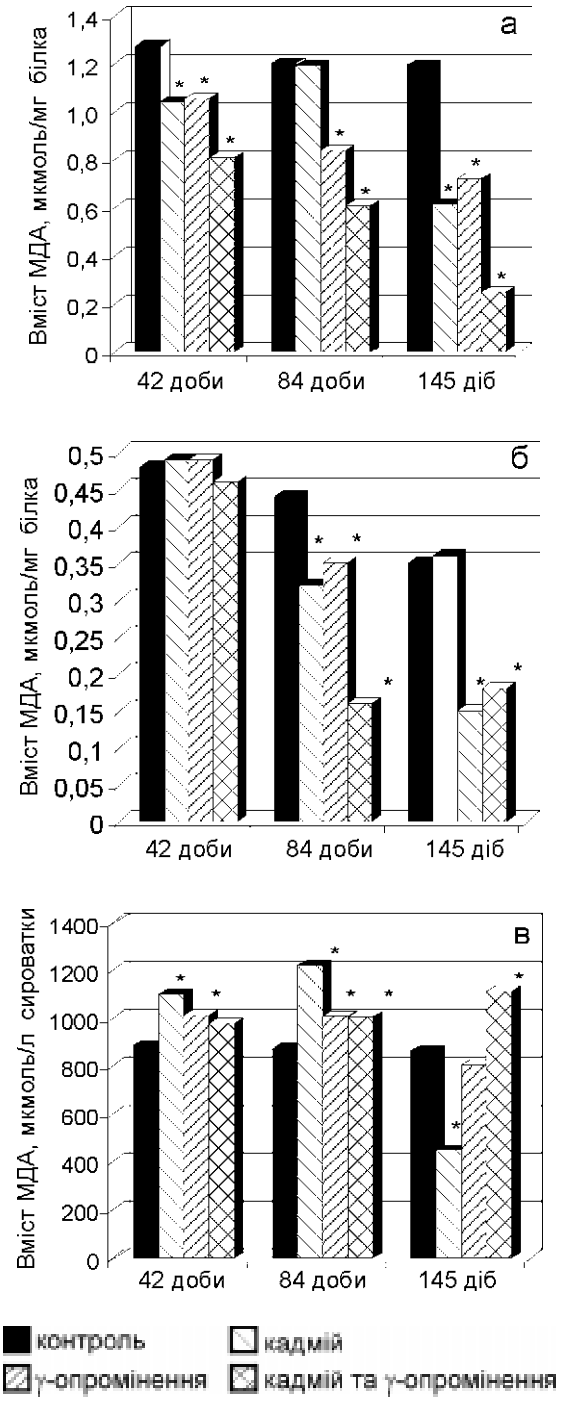

Рис. 1 — Вміст МДА в клітинах печінки (а), слизової оболонки тонкого кишечника (б) та в сироватці крові (в) при хронічній дії ІВ та кадмію

Тут і далі: * — $p \le 0,05$ — по відношенню до відповідного контролю.

Fig. 1 — MDA content in the liver (a), small intestine mucous membrane (б) and blood serum (в) at exposure to ionizing radiation and cadmium.

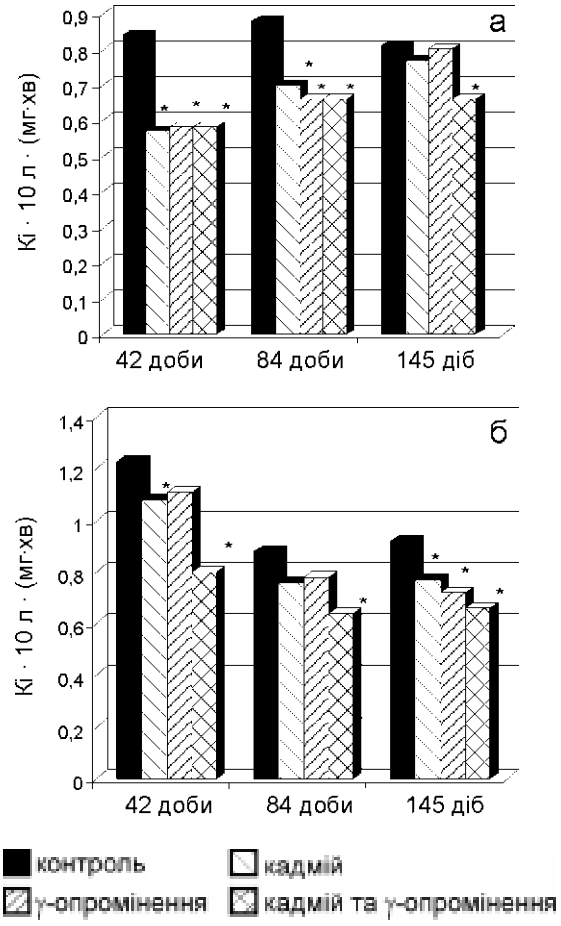

Рис. 2 — Антиокисна активність препаратів слизової оболонки тонкого кишечника (а) та печінки (б) при хронічній дії ІВ та кадмію

Fig. 2 — Antioxidant activity of small intestine mucous membrane (a) and liver (б) preparations at chronic exposure to ionizing radiation and cadmium

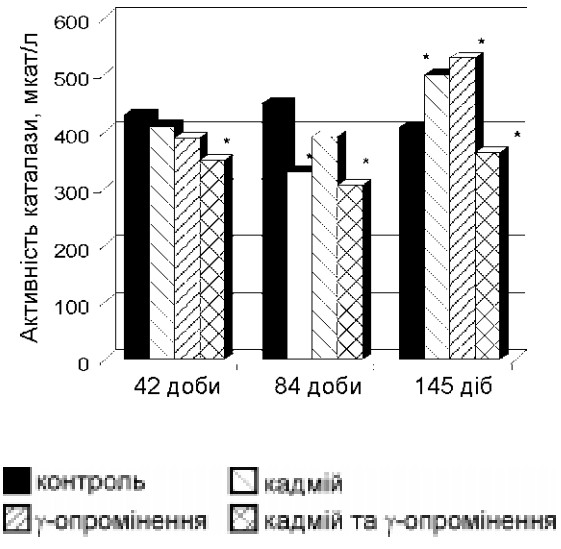

Рис. 3 — Активність каталази в сироватці крові при хронічній дії ІВ та кадмію

Fig. 3 — Catalase activity in blood serum at chronic exposure to ionizing radiation and cadmium

тати свідчать про порушення окисно-антиоксидантного гомеостазу в різних тканинах як при окремій, так і поєднаній дії γ-опромінення та кадмію. Слід відзначити, що за поєднаної дії досліджуваних чинників такі зміни є найбільш вираженими і мають прогресуючий характер.

Важлива роль у регуляції та контролі співвідношень між рівнем споживання і синтезу ліпідів в організмі належить клітинам печінки та тонкого кишечника. В печінці тварин, яких піддавали поєднаній дії γ-опромінення та кадмію, спостерігається зменшення ФЛ, ХС та ТГ, яке на кінець дослідження (145 діб) становило 26, 20 та 17 % відповідно (табл. 2). При окремій дії цих чинників лише в результаті γ-опромінювання протягом 145 діб спостерігається вірогідне зниження кількості ФЛ, ХС та ТГ на 17, 20 та 13 % відповідно (див. табл. 2).

У препаратах тонкого кишечника через 42 доби спостереження кількість ліпідів змінюється незначно (дані не наведені). Однак через 84 доби експерименту в результаті поєднаної дії опромінювання та кадмію спостері-

Таблиця 1 — Вміст ліпідів та активність ферментів різних органів щурів через 84 доби окремої та поєднаної дії ІВ та кадмію (M ± m, n = 10–12 загальна кількість тварин у кожній групі)
The content of lipids and enzyme activity of different rat organs 84 days after separate and combined action of ionizing radiation and cadmium (M ± m, n = 10–12 total amount of animals in each group)

Показник		Тканина		
		печінка	тонкий кишечник	мозок
ХС, мкг/мг білка	контроль	18,3 ± 0,9	24,4 ± 1,2	169,0± 3,8
	Cd^{2+}	16,3 ± 1,1	18,8 ± 0,9*	175,5 ± 4,1
	опромінення	16,2 ± 1,1	18,2 ± 1,1*	167,1 ± 3,6
	Cd^{2+} + опром.	16,2 ± 1,0	14,6 ± 0,9*	173,7 ± 3,9
ТГ, мкг/мг білка	контроль	72,1 ± 4,7	181,6 ± 6,1	106,3 ± 2,3
	Cd^{2+}	70,8 ± 4,8	155,7 ± 5,6*	105,2 ± 2,3
	опромінення	69,4 ± 4,7	151,2 ± 5,8*	91,7 ± 2,1*
	Cd^{2+} + опром.	63,2 ± 4,5	124,3 ± 5,5*	98,9 ± 2,1*
ФЛ, мкг/мг білка	контроль	81,4 ± 4,6	98,9 ± 4,8	214,5 ± 5,1
	Cd^{2+}	72,3 ± 4,5	87,5 ± 4,3	199,3 ± 4,8*
	опромінення	68,9 ± 4,5*	88,4 ± 4,2	199,8 ± 4,8*
	Cd^{2+} + опром.	60,5 ± 4,2*	84,6 ± 4,3*	205,5 ± 5,2
АлАТ, мкмоль прод./хв·мг білка	контроль	0,59 ± 0,03	15,4 ± 1,1	-
	Cd^{2+}	0,60 ± 0,03	13,5 ± 1,2	-
	опромінення	0,67 ± 0,05*	12,9 ± 0,9	-
	Cd^{2+} + опром.	0,54 ± 0,04*	12,6 ± 1,1*	-
ЛФ, мкмоль прод./хв·мг білка	контроль	3,71 ± 0,30	9,5 ± 0,6	-
	Cd^{2+}	3,31 ± 0,28	8,1 ± 0,6	-
	опромінення	3,22 ± 0,32	8,2 ± 0,7	-
	Cd^{2+} + опром.	2,91 ± 0,26*	8,1 ± 0,6	-
ГГТ, мкмоль прод./хв·мг білка	контроль	1,56 ± 0,06	3,61 ± 0,21	-
	Cd^{2+}	1,47 ± 0,07	3,22 ± 0,24	-
	опромінення	1,52 ± 0,06	3,13 ± 0,21	-
	Cd^{2+} + опром.	1,44 ± 0,05	2,91 ± 0,19*	-
Na^+, K^+-АТФаза, мкмоль Рн./год·мг білка	контроль	-	-	110,4 ± 2,3
	Cd^{2+}	-	-	111,3 ± 3,4
	опромінення	-	-	109,9 ± 3,4
	Cd^{2+} + опром.	-	-	117,9 ± 1,9*

Примітка. Тут і далі: * — $p \le 0,05$ — по відношенню до відповідного контролю.

гається зниження рівня ХС на 40 %, ТГ — на 30 % та ФЛ — на 15 %. При окремій дії кадмію та γ-опромінення зменшення вмісту ХС та ТГ становить в середньому 22 %, 16 % відповідно (табл. 1). На кінець досліджень (145 діб) залишався зниженим вміст ХС, ТГ та ФЛ в результаті дії всіх досліджуваних факторів (див. табл. 2).

У сироватці крові тварин, яких піддавали поєднаній дії γ-опромінення і кадмію, вміст ФЛ, ТГ та ХС через 145 діб вірогідно знижується відповідно на 20 , 24 та 15 % по відношенню до контролю (табл. 3). У мікросомах мозку лише через 145 діб найбільші зміни кількості цих ліпідів спостерігаються при окремій дії γ-опромінення (див. табл. 2).

Виявлені різноспрямовані зміни кількості ліпідів у тканинах можуть бути пов'язані з відмінностями у їх перерозподілі при дії різних досліджуваних чинників. Крім того, зменшення кількості ХС та ФЛ може бути зумовлено структурними порушеннями мембран, наприклад у результаті перебігу процесів ПОЛ чи як наслідок активації фосфоліпаз.

Таблиця 2 — Вміст ліпідів та активність ферментів різних органів щурів через 145 діб окремої та поєднаної дії ІВ та кадмію (M ± m, n = 10–12 загальна кількість тварин у кожній групі)
The content of lipids and enzyme activity of different rat organs 145 days after separate and combined action of ionizing radiation and cadmium (M ± m, n = 10–12 total amount of animals in each group)

Показник		Тканина		
		печінка	тонкий кишечник	мозок
ХС, мкг/мг білка	контроль	18,1 ± 1,3	22,4 ± 1,7	162,2 ± 4,2
	Cd^{2+}	18,2 ± 1,6	17,4 ± 1,4*	171,7 ± 4,8
	опромінення	13,3 ± 0,9*	16,8 ± 1,3*	
	Cd^{2+} + опром.	13,6 ± 1,0*	14,6 ± 1,2*	168,7 ± 4,1
ТГ, мкг/мг білка	контроль	74,0± 3,2	170,6 ± 3,9	108,3 ± 2,3
	Cd^{2+}	70,1 ± 2,9	155,6 ± 4,7*	102,1 ± 2,1
	опромінення	64,5 ± 2,8*	137,6 ± 4,3*	98,3 ± 2,0*
	Cd^{2+} + опром.	61,3 ± 3,2*	120,2 ± 2,0*	106,2 ± 2,1
ФЛ, мкг/мг білка	контроль	79,8 ± 3,8	99,4 ± 2,4	203,3 ± 5,2
	Cd^{2+}	73,0± 3,4	75,4 ± 3,6*	202,8 ± 4,9
	опромінення	66,8 ± 3,5*	81,8 ± 3,4*	181,8 ± 4,2*
	Cd^{2+} + опром.	59,7 ± 2,5*	80,5 ± 3,1*	199,4 ± 4,1
АлАТ, мкмоль прод./хв·мг білка	контроль	0,58 ± 0,02	15,0± 1,0	—
	Cd^{2+}	0,50± 0,02*	14,0± 1,0	—
	опромінення	0,47 ± 0,02*	13,4 ± 0,9	—
	Cd^{2+} + опром.	0,45 ± 0,01*	12,5 ± 1,0*	—
ЛФ, мкмоль прод./хв·мг білка	контроль	3,61 ± 0,41	9,6 ± 0,5	—
	Cd^{2+}	3,42 ± 0,22	8,9 ± 0,6	—
	опромінення	3,23 ± 0,21	8,8 ± 0,6	—
	Cd^{2+} + опром.	2,91 ± 0,12*	8,1 ± 0,5*	—
ГГТ, мкмоль прод./хв·мг білка	контроль	1,54 ± 0,06	3,62 ± 0,32	—
	Cd^{2+}	1,39 ± 0,04*	3,40± 0,24	—
	опромінення	1,36 ± 0,06*	3,02 ± 0,23	—
	Cd^{2+} + опром.	1,39 ± 0,02*	2,91 ± 0,19*	—
Na^+, K^+-АТФаза, мкмоль Рн./год·мг білка	контроль	—	—	110,6 ± 2,7
	Cd^{2+}	—	—	102,3 ± 3,9
	опромінення	—	—	113,2 ± 3,3
	Cd^{2+} + опром.	—	—	126,6 ± 2,9*

Структурні модифікації мембран впливають на функціонування клітин, що виявляється в зміні активності ферментів. Слід відзначити, що через 42 доби активність досліджуваних ферментів змінювалася незначно (дані не наведені). Однак через 84 доби поєднаної дії γ-опромінення та кадмію активність АлАТ та ЛФ в клітинах печінки зменшується відповідно на 12 % та 22 % (табл. 1.). На завершення дослідження (через 145 діб) спостерігається зниження активності АлАТ, ЛФ, ГГТ печінки на 15–20 % при поєднаній дії ушкоджувальних чинників (табл. 2). В такі досліджувані строки при окремій дії γ-опромінення та кадмію активність АлАТ та ГГТ знижується в середньому на 15 %. В клітинах слизової оболонки тонкого кишечника через 145 діб експерименту відбувається вірогідне зниження активності АлАТ, ЛФ та ГГТ приблизно на 20 % лише при поєднаному впливі ушкоджувальних факторів (див. табл. 2).

У сироватці крові тварин, яких поряд із надходженням кадмію піддавали γ-опромінюванню, активність АлАТ, ЛФ та ГГТ через 84 доби зростає в середньому на 20–25 % (табл. 3). Збільшення часу хронічної поєднаної дії цих чинників до 145 діб призводить до збільшення активності АлАТ та ЛФ на 40 та 60 %. Активність ГГТ зростає як при окремій дії ІВ (в 1,8 разу) та йонів кадмію (в 1,6 разу), так і при їх поєднаному впливі (приблизно в 2,5 разу). Зростання активності цитозольних фер-

Таблиця 3 — Вміст ліпідів та активність ферментів у сироватці крові щурів через 84 та 145 діб окремої та поєднаної дії ІВ та кадмію (M ± m, n = 10–12 загальна кількість тварин у кожній групі)
The content of lipids and enzyme activity of rat blood serum 84 and 145 days after separate and combined action of ionizing radiation and cadmium (M ± m, n = 10–12 total amount of animals in each group)

Показник		Тривалість дії	
		84 доби	145 діб
ХС, мг/100мл	контроль	52,2±1,4	52,4±2,6
	Cd^{2+}	50,4±1,4	49,1±2,1
	опромінення	49,1±1,5	47,8±2,4
	Cd^{2+} + опром.	47,2±1,4	44,5±2,1*
ТГ, мг/100мл	контроль	48,1±1,6	46,4±1,8
	Cd^{2+}	46,1±1,5	45,8±2,2
	опромінення	39,3±1,4*	39,8±1,9*
	Cd^{2+} + опром.	35,1±1,4*	35,3±1,3*
ФЛ, мг/100мл	контроль	79,6±2,6	79,3±2,2
	Cd^{2+}	76,6±2,5	70,5±2,8
	опромінення	69,9±2,6	68,9±3,1
	Cd^{2+} + опром.	64,4±2,5*	64,2±3,4*
АлАТ, ммоль/мл·год	контроль	60,2±3,1	60,2±3,2
	Cd^{2+}	59,3±3,3	58,3±2,6
	опромінення	66,1±2,8	65,3±3,6
	Cd^{2+} + опром.	81,0 ±2,9*	85,2±4,3*
ЛФ, ммоль/мл·год	контроль	121,1±7,2	120,4±7,1
	Cd^{2+}	130,2±7,4	129,5±7,4
	опромінення	135,8±7,1	145,8±7,6*
	Cd^{2+} + опром.	148,5±8,1*	195,4±8,2*
ГГТ, ммоль/мл·год	контроль	11,5±1,3	11,8±0,9
	Cd^{2+}	11,6±1,4	19,4±1,4*
	опромінення	12,0±1,1	20,8±1,7*
	Cd^{2+} + опром.	14,5±1,1*	29,5±1,5*

ментів у сироватці крові вказує на порушення нормальної проникності мембран клітин та виходом ферментів у кровотік.

Результати дослідження активності Na^+, K^+-АТФази в мікросомах мозку свідчать про її вірогідне зростання за поєднаного впливу різних чинників зі збільшенням тривалості їх дії (див. табл. 1, 2.).

Таким чином, отримані результати свідчать про досить виражену реакцію різних систем організму на дію γ-опромінення та кадмію в низьких дозах. Реакцію організму при різних видах впливу через 42 доби експерименту можна оцінити як стрес-відповідь на дію ушкоджувальних факторів за показниками, що характеризують перекисні процеси, антиокисну активність, вміст ліпідів та активність ферментів. При хронічній поєднаній дії ІВ та кадмію зі зростанням терміну дослідження до 5 місяців проявляється поглиблення змін біохемічних показників, при цьому ступінь ушкоджень для різних тканин є неоднозначним, що вказує на специфічність їх відповідної реакції. В тканинах мозку за даних умов експерименту досліджувані показники змінювалися незначно. Найбільш виражені порушення структури та функцій клітин слизової оболонки тонкого кишечника за поєднаної дії γ-опромінення та кадмію. Аналізуючи отримані дані, слід відзначити, що при хронічній поєднаній дії γ-опромінення та кадмію виявлені порушення мають стійкий прогресуючий характер. Це можна розцінювати як напруження різних систем організму в цілому, що свідчить про стадію передпатології.

Висновки

1. Виявлено неоднозначну відповідну реакцію біохемічних систем клітини різних органів щурів на окрему та поєднану дію йонізуючого випромінення та кадмію в низьких дозах.

2. Різнобічні зміни структурно-функціональних показників стану клітинних мембран найбільш виражені при сумісній дії ІВ та кадмію.

3. Результати біохемічних досліджень вказують на те, що зміни досліджуваних показників поглиблюються із зростанням терміну хронічної поєднаної дії ІВ та кадмію.

Література

1. *Трахтенберг И. М., Колесников В.С., Луковенко В.П. Тяжелые металлы во внешней среде. — Минск: Наука и техника, 1994. — 206 с.*
2. *Осипов А.Н., Григорьев М.В., Сыпин В.Д. и др. // Радиац. биол. Радиоэкол. — 2000. — № 4. — С. 373–377.*
3. *Кучеренко М.Є., Хижняк С.В., Пазюк Л.М. та ін. // Совр. пробл. токсикол. — 2001. — № 2. — С. 20–24.*
4. *Ананьева Т.В., Лихолат Е.А., Дворецкий А.И. // Радиац. биол. Радиоэкол. — 2000. — № 4. — С. 410–415.*
5. *Горбань Є.М. // УРЖ. — 2000. — № 3. — С. 262–264.*
6. *Капля А.А. Кравцова В.В., Кравцов А.В. // Биол. мембр. — 1997. — Т. 14, № 1. — С. 73–82.*
7. *Современные методы в биохимии / Под ред. В.Н. Ореховича. — М.: Медицина, 1977. — 268 с.*
8. *Барабой В.А., Орел В.Э., Карнаух И.М. Перекисное окисление и радиация. — К.: Наук. думка, 1991. — 256 с.*
9. *Семенов В.А., Ярош А.М. // Укр. биохим. журн. — 1985. — Т. 57, № 3. — С. 50–52.*
10. *Lowry O.H., Rosenbrouch N.I., Farr A.L. et al. // J. Biol. Chem. — 1951. — Vol.193, №1. — P. 265–275.*
11. *Кучеренко М.Є., Бабенюк Ю.Д., Войціцький В.М. Сучасні методи біохімічних досліджень. — К.: Фітосоціоцентр, 2001. — 423 с.*

Дата надходження: 15.07.2002.

Адреса для листування:
Хижняк Світлана Володимирівна,
кафедра біохімії, Національний університет ім. Т. Шевченка,
вул. Володимирська, 64, Київ, 01033, Україна