

RADIOBIOLOGICAL EFFECTS FORMATION IN EXPERIMENTAL ANIMALS UNDER LOW DOSES CHRONIC INTERNAL AND EXTERNAL IRRADIATION

ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ВНУТРЕННЕМ И ВНЕШНЕМ ОБЛУЧЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ В МАЛЫХ ДОЗАХ

M.Yu. Alesina

Chernobyl Scientific-Technical Centre for International Research
6 Shkolnaya Street, Chernobyl, 255620, Ukraine
tel: 8-04493-5-1530; fax: 8-04493-5-2064; E-mail: amy@ic-chernobyl.kiev.ua

М.Ю. Алесина

Чернобыльский научно-технический центр международных исследований
255620, Украина, г. Чернобыль, ул. Школьная, 6
тел.: 8-04493-5-1530; факс: 8-04493-5-2064; E-mail: amy@ic-chernobyl.kiev.ua

Abstract

The research aim was to study the radiobiological effects dynamics in animals depending on absorbed dose value and formation term. Work was carried out among 720 male rats of the Vistar population with physiological, biochemical, histological, cytological, spectrometry, radioimmunological and radiochemical research methods application. The long-term radiation exposure (approximately for half-life) formed in rats the absorbed dose value of 500 mGy•year⁻¹, revealed as leading to adaptation system neuro-endocrine regulation central mechanisms alteration, predisposition to dystrophy and destruction of processes in the adrenal cortex, blood serum thyroxin deficiency, reproductive system quantitative parameters deterioration. The radiation-induced deviations in adaptation systems when accumulated with time upset the adaptation-compensatory and destruction processes dynamic ratio and form a basis for “regular pathology”.

Keywords: radiobiological effects, ionising radiation, low doses, adaptation, radiosensitivity, stressoric reaction, fertility.

INTRODUCTION

The health status problem of populations resident within territories contaminated with radionuclides after the Chernobyl nuclear power plant (ChNPP) accident still remains topical 12 years on. An elevated level of somatic diseases among the mentioned contingent was registered at the comparatively low effective yearly dose values (Kenigsberg J.E., 1998; Pirogova Ye.A. et al., 1988). Low doses non-stochastic effects growth are connected to human organism adaptation capacity decrease (Pelevina I.I. et al., 1993; Lyasko L.I. et al., 1994; Baraboy V.A., 1996). At the same time, it is extremely complicated to single out in epidemiological studies the radiation component contribution from the multitude of factors affecting organism adaptation systems status. In present experimental work the situation of internal and external irradiation chronic exposure was designed. Irradiation intensity varied in range from 2.0 to 500.0 mGy in animals kept within the ChNPP estrangement zone. The research purpose was to study the radiobiologi-

ВВЕДЕНИЕ

Через 12 лет после аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) проблема состояния здоровья населения, проживающего в загрязненных радионуклидами районах, по-прежнему актуальна. Повышенный уровень соматических заболеваний среди этого контингента зарегистрирован при сравнительно небольших величинах годовых эффективных доз (Кенигсберг Я.Э., 1998; Пирогова Е.А. и соавт., 1998). Нарастание проявлений нестохастических эффектов малых доз связывают со снижением адаптивных возможностей организма (Пелевина И.И. и соавт., 1993; Ляско Л.И. и соавт., 1994; Барабой В.А., 1996). Вместе с тем в эпидемиологических исследованиях чрезвычайно сложно определить значение радиационного компонента среди множества факторов, оказывающих влияние на состояние адаптационных систем организма. В настоящей экспериментальной работе была смоделирована ситуация хронического воздействия внутреннего и внешнего облучения различной интенсивности в диапазоне доз 2–500 мГр при содержании животных в условиях зоны отчуждения ЧАЭС. Цель исследования — изучение динамики развития радиоби-

cal effects dynamics in various animal viscera and systems depending on absorbed dose value and forming term.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out among 720 pubescent rat males of the Vistar population kept for one year in the Chernobyl vivarium.

The in-door γ -irradiation level constituted 40–60 $\mu\text{R}\cdot\text{h}^{-1}$. The three animal study groups beginning from the age of 3 months were fed daily with food and water with various radionuclide content (fish from power plant cooling pond, meat, grain).

Indices dynamics were studied at 1.5, 4 and 12 month intervals (rats were decapitated). The control animal group was kept in Kyiv. The total (from both internal and external irradiation) year absorbed dose on the whole body constituted: average volume — 50 mGy, minimal — 17 mGy, maximal — 500 mGy (table).

Methods: physiological (fertility evaluation), biochemical (11-oxycorticosteroids serum content assay), radioimmunological (thyroid hormones serum content assay), radiochemical and spectrometry, histological (pituitary and adrenal structure studies), cytological (spermatogram analysis), standard statistics.

ологических эффектов в различных системах и органах животных в зависимости от величины и срока формирования поглощенной дозы.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперимент выполнен на 720 половозрелых самцах крыс линии Вистар, содержащихся в течение года в виварии, находящемся на территории Чернобыля.

В помещении γ -фон составлял 40–60 $\text{мкР}\cdot\text{ч}^{-1}$. Три группы животных, начиная с 3-месячного возраста ежедневно получали корм (рыба из пруда-охладителя, мясо, зерно) и питьевую воду с различным содержанием радионуклидов.

Показатели изучали через 1,5; 4 и 12 мес эксперимента (крыс декапитировали). Контрольных животных содержали в Киеве. Величины суммарных (внутреннего и внешнего облучения) годовых поглощенных доз на все тело составили для нагрузки среднего уровня — 50 мГр, минимального — 17 мГр, максимального — 500 мГр (таблица).

Методы: физиологический (изучение фертильности), биохимический (определение содержания 11-оксикортикостероидов в крови), радиоиммунологический (определение концентрации тиреоидных гормонов в крови), радиохимический и спектрометрический, гистологический (исследование структуры гипофиза и надпочечников), цитологический (анализ спермограмм), стандартные статистические.

TOTAL ABSORBED DOSES (TAD) IN EXPERIMENTAL ANIMALS, mGy

TABLE

СУММАРНЫЕ ПОГЛОЩЕННЫЕ ДОЗЫ У ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ, мГр

ТАБЛИЦА

Viscera or tissue	Maximal TAD			Average TAD			Minimal TAD		
	Irradiation term, days								
	45	120	365	45	120	365	45	120	365
Total body	72.6	150	508	7.3	15	50.8	2.1	4.6	16.9
Muscles	104.9	240	720	10.5	24	72	3.4	7.8	24
Spleen	70.6	150	432	7.1	15	43.2	2.4	5.4	14.3
Liver	108.9	240	662	10.9	24	66.2	3.6	8.1	22.1
Kidney	110.2	240	628	11	24	62.8	3.4	8.4	20.9
Heart	126.1	270	766	12.6	27	76.6	4.2	9.6	25.5
Lungs	91.7	210	554	9.2	21	55.4	3	6.9	18.5
Gonads	93.7	210	568	9.4	21	56.8	3.1	6.9	18.9
Bone marrow	93.5	210	632	9.4	21	63.2	3.1	6.9	21

RESULTS

The endocrine system's leading role in organism adaptation to environment changes is well-known. Damage of its separate branches and absence of adequate functional connections between endocrine glands sharply decrease the organism's resistance to extreme factors. We studied the status of neurochemical mechanisms providing γ -aminobutyric acid (GABA) — brain main inhibiting mediator — system function in rats under long-term internal and external low dose irradiation (Mishunina T.M. et al., 1998)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Известно, что в адаптации организма к изменению внешней среды ведущую роль играет эндокринная система. Нарушения ее отдельных звеньев и неадекватность функциональных связей между эндокринными железами резко снижают устойчивость организма к воздействию экстремальных факторов. Мы изучили состояние нейрохимических механизмов, обеспечивающих функционирование системы основного тормозного медиатора мозга — γ -аминомасляной кислоты (ГАМК), — у крыс при длительном внутреннем и внешнем облучении в малых дозах (Мишунина Т.М. и соавт., 1998).

The GABA synthesis intensity dose-dependent deviations (estimated via synthesis enzyme glutamate decarboxylase activity) and its reception by synaptic membranes (by ^{14}C -GABA) have been expressed already in the early stage of the experiment at absorbed dose value 2 mGy. In that case declination from control indices (parameters value decrease) in some brain regions, for example in hemisphere cortex were of a transient nature and normalised by the 12-th month (figure 1). At the same time in the medulla oblongata those disorders became more substantial up to the end of the experiment (figure 2). Radiation-stipulated effects expression among GABA-system in particular in the medulla was in all probability stipulated by radioactive caesium selective uptake in respective structure compared to others (Rudnev M.I. et al., 1997). Parallel GABA production and its reception by synaptic membranes

Дозозависимые изменения интенсивности синтеза ГАМК (которую оценивали по активности фермента синтеза глутаматдекарбоксилазы) и ее рецепции синаптическими мембранами (с помощью ^{14}C -ГАМК) возникли уже на раннем этапе эксперимента при поглощенной дозе 2 мГр. При этом в некоторых участках мозга, например, в коре больших полушарий, отклонения от контроля (снижение показателей) имели преходящий характер и указанные процессы нормализовались к 12-му месяцу (рисунок 1). В продолговатом мозге эти изменения прогрессировали к концу эксперимента (рисунок 2). Выраженность радиационно обусловленных эффектов, влияющих на активность ГАМК-ергической системы (в частности, способствующих ее снижению) в продолговатом мозге, обусловлена, по всей вероятности, избирательностью накопления радиоактивного цезия в этой структуре по сравнению с другими (Руднев М.И. и соавт., 1997). Параллельное снижение продукции ГАМК и ее рецептирования синаптическими мембранами в не-

FIGURE 1. GLUTAMATEDECARBOXYLASE ACTIVITY (a) AND ^{14}C -GABA RECEPTION BY SYNAPSETIC MEMBRANES (b) IN RAT CEREBRAL HEMISPHERES UNDER PROLONGED IRRADIATION. D_1 — MAXIMAL, D_2 — AVERAGE AND D_3 — MINIMAL TAD

РИСУНОК 1. АКТИВНОСТЬ ГЛУТАМАТДЕКАРБОКСИЛАЗЫ (a) И РЕЦЕПЦИЯ ^{14}C -ГАМК СИНАПТИЧЕСКИМИ МЕМБРАНАМИ (b) В КОРЕ БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ МОЗГА КРЫС ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ. D_1 — МАКСИМАЛЬНАЯ, D_2 — СРЕДНЯЯ И D_3 — МИНИМАЛЬНАЯ ПОГЛОЩЕННЫЕ ДОЗЫ

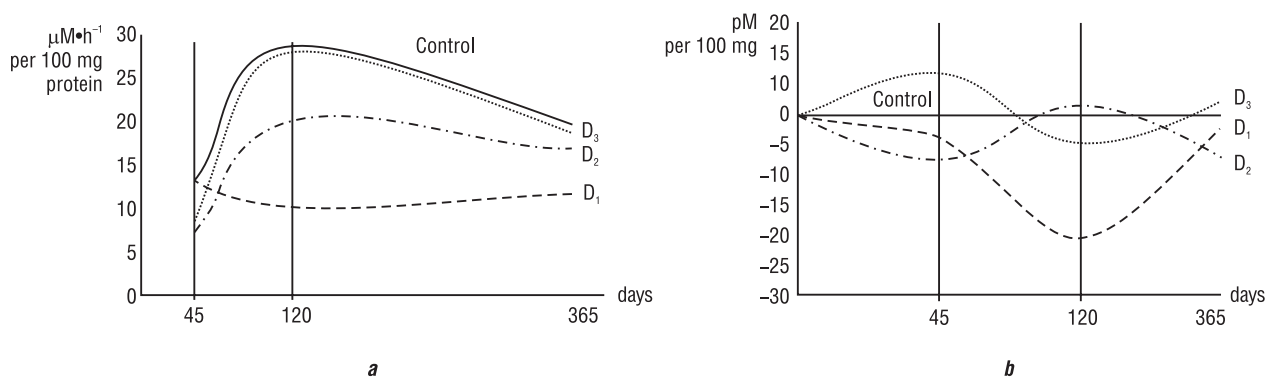
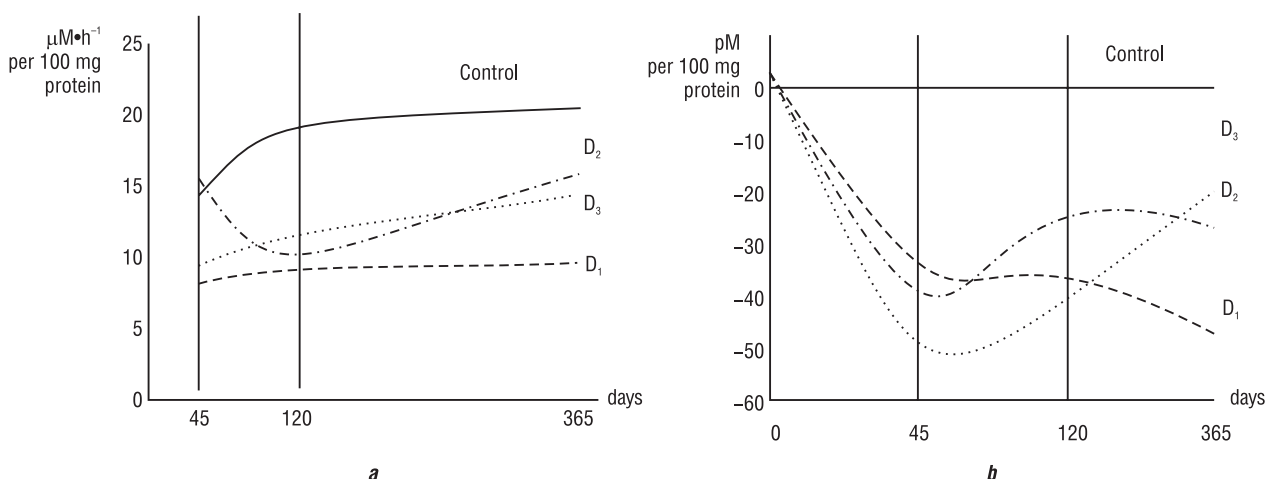


FIGURE 2. GLUTAMATE DECARBOXYLASE ACTIVITY (a) AND ^{14}C -GABA RECEPTION BY SYNAPSETIC MEMBRANES (b) IN RAT MEDULLA OBLANGATA UNDER PROLONGED IRRADIATION. D_1 — MAXIMAL, D_2 — AVERAGE AND D_3 — MINIMAL TAD

РИСУНОК 2. АКТИВНОСТЬ ГЛУТАМАТДЕКАРБОКСИЛАЗЫ (a) И РЕЦЕПЦИЯ ^{14}C -ГАМК СИНАПТИЧЕСКИМИ МЕМБРАНАМИ (b) В ПРОДОЛГОВАТОМ МОЗГЕ КРЫС ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ. D_1 — МАКСИМАЛЬНАЯ, D_2 — СРЕДНЯЯ И D_3 — МИНИМАЛЬНАЯ ПОГЛОЩЕННЫЕ ДОЗЫ



decrease in some brain structures under prolonged irradiation can probably be explained by dystrophic changes present in cellular and intracellular membranes induced by lipid peroxidation activation (Nosov A.T. et al., 1994).

The GABA-ergic brain system limits the potentially hazardous irritation of organism stress-promoting systems and also involvement in various physiological functions (sleep and awakening; cardiovascular, respiratory, vestibular and sensory systems activities) and brain supreme integrative functions, emotions and memory realisation regulation (Rayevsky K.C., 1986; Rozanov V.A., 1989). Thus the mentioned system activity decrease under the low-intensity ionising irradiation impact is the unfavourable factor predisposing to numerous radiobiological effects. Clinical observations prove this (Lyasko L.I. et al., 1994; Mitriayeva N.A., 1995; Nyagu A.I. et al., 1996; Cheban A.K. et al., 1996). Taking into account the pituitary-adrenal system's important role in organism adaptation capacities provision, we jointly with T.I. Bogdanova, explored these system status morphology-functional characteristics under various values and duration of radiation exposure.

The data received indicate pituitary-adrenal complex activation presence, with expression and respective phase depending on the absorbed dose value in every observation period. The confrontation of stressor reactions nature in corticotropocytes and adrenocorticotropocytes under influence both of incorporated radionuclides impact and external irradiation enabled us to conclude that only in maximal TAD value (yearly increase from 70 to 500 mGy) the respective reactions activity growth was followed by dystrophics and destructive changes arising with hormone production suppression in adrenal cortex cells.

Other researchers observed a similar situation in vole-mice long inhabiting the estrangement zone (Yermakova O.V., 1996). In case of lower dose values the hormonal (11-oxycorticosteroids content) and morphological indices variability was stipulated by compensatory-adaptation processes and have not led to pathological changes in adrenal cortex bundle zone cells.

In a thyroid gland hormonal function dynamics study among rats exposed to radiation for one year, gradual formation of thyroxin content deficiency in serum was marked. In the early experimental stage (1.5 months) the synchronous and dose-dependent serum content elevation of both thyroid hormones — T_3 and T_4 was observed; 4 months after the elevated T_3 level was obviously maintained by peripheral conversion of T_4 into T_3 intensification that in the 12-month term led to T_4 production decrease (figure 3). Thus the prolonged radiation exposures can predispose to hypothyroid status.

которых структурах мозга при длительном облучении, возможно, является следствием дистрофических изменений в клеточных и внутриклеточных мембранах, индуцированных активацией перекисного окисления липидов (Носов А.Т. и соавт., 1994).

Поскольку ГАМК-ергическая система мозга ограничивает потенциально опасное возбуждение стресс-реализующих систем организма, а также участвует в регуляции многих физиологических функций (сна и бодрствования, деятельности сердечно-сосудистой, дыхательной, вестибулярной, сенсорных систем) и реализации высших интегративных функций мозга, эмоций и памяти (Раевский К.С., 1986; Розанов В.А., 1989), снижение ее активности под влиянием низкоинтенсивного облучения является неблагоприятным фактором, способствующим развитию многих радиобиологических эффектов, что подтверждено данными клинических наблюдений (Ляско Л.И. и соавт., 1994; Митряева Н.А., 1995; Нягу А.И. и соавт., 1996; Чебан А.К. и соавт., 1996). Учитывая важную роль гипофизарно-надпочечниковой системы в обеспечении адаптационных резервов организма, мы (совместно с Т.И. Богдановой) исследовали морфофункциональные характеристики ее состояния при различных уровнях и длительности дозовых нагрузок.

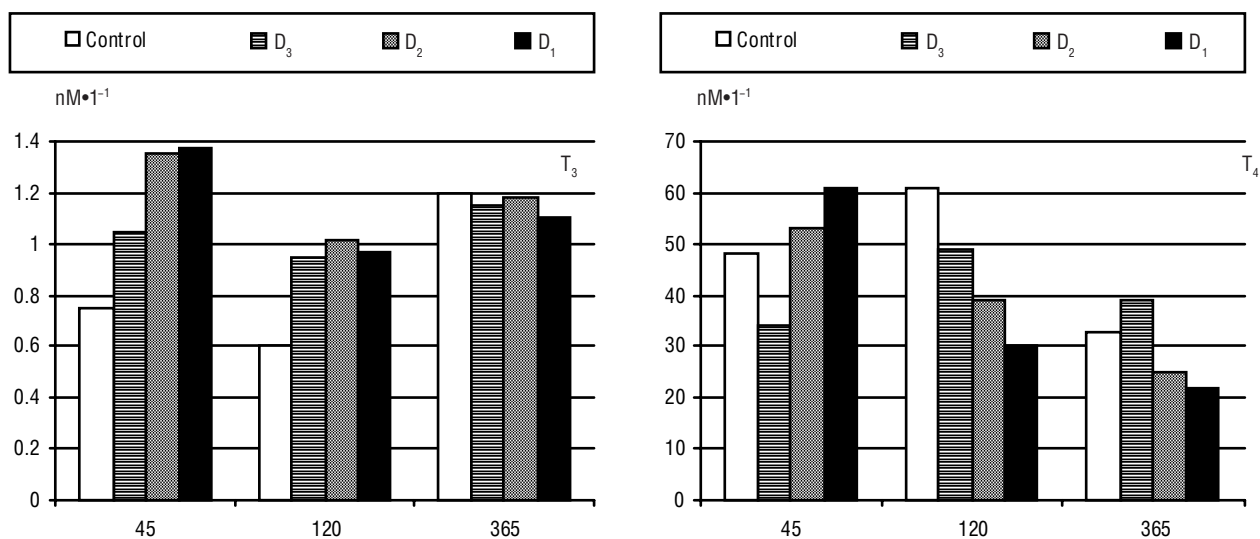
Полученные данные свидетельствуют об активации гипофизарно-надпочечниковой системы, выраженность и фазность которой зависели от величины поглощенной дозы в каждый период наблюдения. При сопоставлении данных о характере стрессорных реакций в кортикотропоцитах и адренокортикоцитах под воздействием инкорпорированных радионуклидов и внешнего облучения установлено, что только при максимальной дозовой нагрузке (увеличении поглощенной дозы в течение года от 70 до 500 мГр) усиление их активности сопровождалось появлением дистрофических и деструктивных изменений в клетках коры надпочечников с угнетением стероидогенеза.

Подобную картину наблюдали и другие исследователи у мышей-полевков, длительное время обитающих в зоне отчуждения ЧАЭС (Ермакова О.В., 1996). При меньших дозах варибельность гормональных (уровень 11-оксикортикостероидов) и морфологических показателей не приводила к патологическим изменениям в клетках пучковой зоны коры надпочечников.

При изучении в динамике гормональной функции щитовидной железы крыс, подвергавшихся облучению в течение года, отмечено постепенное формирование дефицита тироксина в крови: на раннем этапе эксперимента (1,5 мес) наблюдали синхронное и дозозависимое повышение содержания в крови тиреоидных гормонов — T_3 и T_4 ; через 4 мес — повышенный уровень T_3 , по-видимому, поддерживался за счет усиления процессов периферического превращения T_4 в T_3 , что к 12-му месяцу приводило к снижению продукции T_4 (рисунок 3). Таким образом, длительные радиационные нагрузки могут способствовать возникновению гипотиреоидного состояния.

FIGURE 3. THYROID HORMONES SERUM CONTENT IN RATS, EXPOSED TO RADIATION FOR ONE YEAR.
 D_1 — MAXIMAL, D_2 — AVERAGE AND D_3 — MINIMAL TAD

РИСУНОК 3. УРОВЕНЬ ТИРЕОИДНЫХ ГОРМОНОВ В КРОВИ КРЫС, ПОДВЕРГАВШИХСЯ ОБЛУЧЕНИЮ В ТЕЧЕНИЕ ГОДА.
 D_1 — МАКСИМАЛЬНАЯ, D_2 — СРЕДНЯЯ И D_3 — МИНИМАЛЬНАЯ ПОГЛОЩЕННЫЕ ДОЗЫ



Chronic incorporation of radionuclides in animals combined with low-intensity external irradiation negatively affects spermatogenesis quality and quantity indices compared to age control (Karpenko N.A. et al., 1998). It became apparent through earlier and dose-dependent spermatozoa concentration decrease, the number of motionless and pathological cells increased already during the first period of radiation impact that substantially worsened male animal fertility (figure 4). Observed effects were probably stipulated by central nervous system (CNS) reactivity changes (Gorpinchenko I.I. et al., 1992) both with pituitary-gonad system depression arising under endocrine system pituitary-adrenal branch activation (Grigoryev Yu.G., 1990).

It is necessary to note general regularities of various viscera and systems reactions observed there during the experiment: the *first period* (1.5 months) was followed with radionuclide active distribution in tissues and the most expressed compensatory-adaptation processes; the *second period* (4 months) was characterised by relative resistance; the *third period* (12 months) — by pathologic alterations. The biological response dose-dependence was expressed during experiment outset. In more delayed irradiation periods the effect expression nature was dependent to a higher degree upon absorbed dose forming period.

It is essential to note, that despite all the objective difficulties of results transfer from animal studies to humans, there is a real possibility of exploring in experimental conditions the radiobiological effects processes forming during chronic

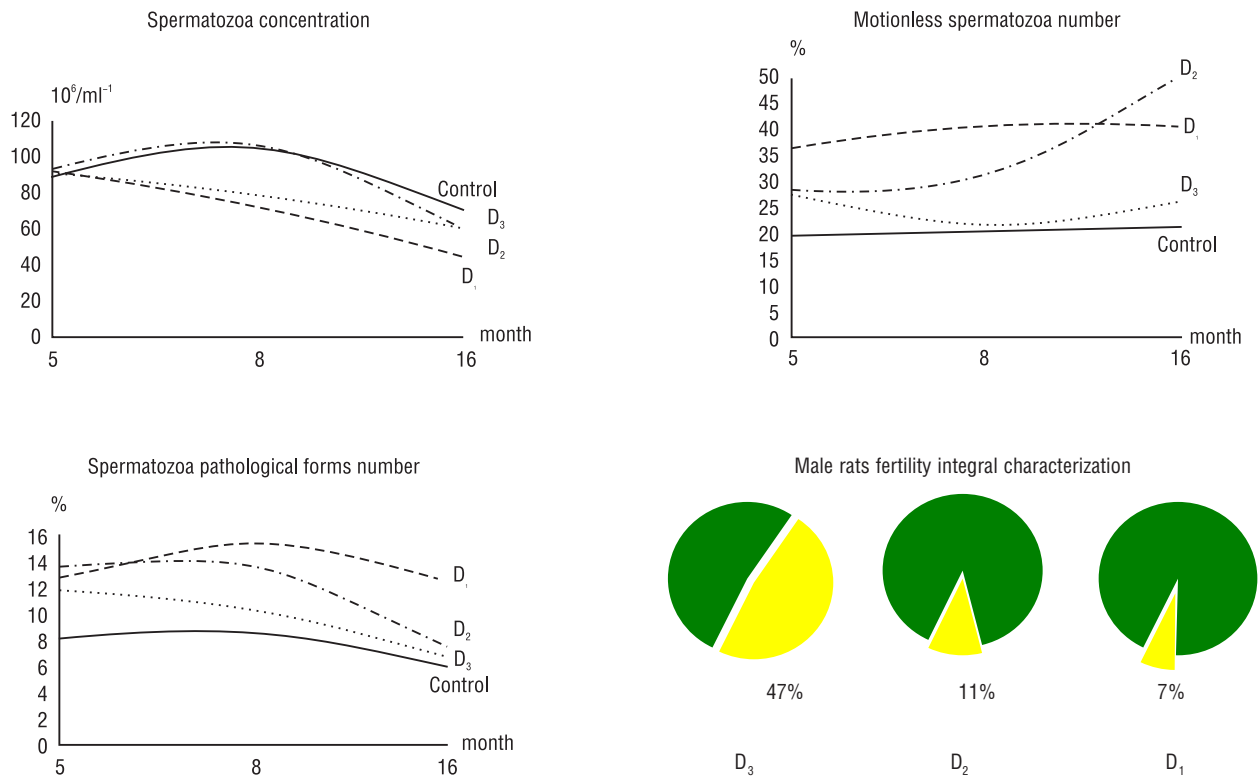
Хроническое поступление радионуклидов в организм животных в сочетании с низкоинтенсивным внешним облучением негативно влияет на качественные и количественные показатели сперматогенеза (Карпенко Н.А. и соавт., 1998). Это проявлялось в более раннем и дозозависимом снижении концентрации сперматозоидов, увеличении количества неподвижных и патологических клеток уже на первом этапе облучения, что значительно ухудшало фертильность самцов (рисунок 4). Наблюдаемые эффекты, возможно, обусловлены изменениями реактивности центральной нервной системы (ЦНС) (Горпинченко И.И. и соавт., 1992), а также угнетением гипофизарно-гонадной системы, возникающим при активации гипофизарно-надпочечникового звена эндокринной системы (Григорьев Ю.Г., 1990).

Следует отметить общие закономерности реакции различных систем и органов, наблюдаемых нами при выполнении эксперимента: на *первом этапе* (1,5 мес) происходило активное распределение радионуклидов в тканях и наиболее выраженные компенсаторно-приспособительные процессы; *второй этап* (4 мес) характеризовался относительной резистентностью; *третий этап* (12 мес) — углублением патологических изменений. При этом дозозависимость биологических ответов отмечали в начале эксперимента; в более отдаленные периоды — характер проявления эффекта в большей степени зависел от длительности формирования поглощенной дозы.

Несмотря на объективные сложности экстраполяции результатов на человека, в экспериментальных условиях возможно исследовать динамику формирования радиобиологических эффектов при хроническом поступлении в организм малых количеств радио-

FIGURE 4. MALE RATS EXPOSED TO INTERNAL AND EXTERNAL IRRADIATION FOR A YEAR FERTILITY PARAMETERS.
 D_1 — MAXIMAL, D_2 — AVERAGE AND D_3 — MINIMAL TAD

РИСУНОК 4. ПОКАЗАТЕЛИ ФЕРТИЛЬНОСТИ САМЦОВ КРЫС, ПОДВЕРГАВШИХСЯ ВНУТРЕННЕМУ И ВНЕШНЕМУ ОБЛУЧЕНИЮ В ТЕЧЕНИЕ ГОДА.
 D_1 — МАКСИМАЛЬНАЯ, D_2 — СРЕДНЯЯ И D_3 — МИНИМАЛЬНАЯ ПОГЛОЩЕННЫЕ ДОЗЫ



entry of small amounts of radionuclides into the body. The data received in the present work are evident for gradual exhaustion of main adaptation systems reserves in animals receiving yearly absorbed dose 0.5 Gy (dose formed from both internal and external ionising radiation sources). That exhaustion is stipulated by: cerebral main stress-limiting GABA-ergic system slackening, pituitary-adrenal system activation followed by adrenal cortex cells destructive changes and stress-hormones— glucocorticoids — production decrease, thyroxin deficiency and oxidative stress genesis (Alekhina S.M. et al., 1998).

CONCLUSIONS

Radiation-stipulated alterations observed in adaptation systems on the one hand, enable the organism to correct early responses to radiation exposure, and on the other — being accumulated for a prolonged time upset the dynamic interrelation between adaptation-compensatory and destructive processes and form a basis for “regular pathology”. In this connection the organism’s pharmacological and biological protection problem under low doses chronic exposure remains topical.

нуклидов. В организме животных, получивших в течение года поглощенную дозу 0,5 Гр (от внутренних и внешних источников ионизирующих излучений), происходит постепенное истощение резервов адаптации, обусловленное следующими факторами: ослаблением основной стресслимитирующей ГАМК-ергической системы в мозге, активацией гипофизарно-надпочечниковой системы, сопровождающейся деструктивными изменениями в клетках коры надпочечников и снижением выработки стрессорных гормонов (глюкокортикоидов), дефицитом тироксина и развитием оксидантного стресса (Алехина С.М. и соавт., 1998).

ВЫВОДЫ

Радиационно обусловленные изменения, наблюдаемые в системах адаптации, с одной стороны, позволяют организму скорректировать ранние ответы на воздействие ионизирующих излучений, а с другой, — прогрессируя в течение длительного времени, нарушают динамическое соотношение адаптационно-компенсаторных и деструктивных процессов и формируют основу для “регуляторной патологии”. В связи с этим актуальной остается проблема фармакологической и биологической защиты организма в условиях хронического облучения в малых дозах.

ACKNOWLEDGEMENT

The author offers sincere thanks to T.I. Bogdanova (Biological Sciences Doctor), T.M. Mishunina (Biological Sciences Doctor), N.A. Karpenko (Ph.D. in Biology) for participation in research and results interpretation.

REFERENCES

Алехина С.М., Алесина М.Ю., Карпенко Н.А., Дробинская О.В. Процессы перекисного окисления липидов и функционирование антиоксидантной защиты в органах и тканях крыс при различной дозовой нагрузке. В кн.: Отдаленные медицинские последствия Чернобыльской катастрофы. Материалы 2-й Междунар. конф., 1–6 июня 1998 г., Киев, с. 166.

[*Alyokhina S.M., Alesina M.Yu., Karpenko N.A., Drobinskaya O.V.* Processes of peroxide oxidation of lipids and operation of an antioxidative guard in organs and fabrics of rats with various doses. In: Long-term health consequences of the Chernobyl disaster. Proceedings of the 2nd Int. Conf., 1–6 June 1998, Kyiv, p. 167]

Барабой В.А. Чернобыль: десять лет спустя. Медицинские последствия радиационных катастроф (под ред. Д.М. Гродзинского). Чернобыль-интеринформ, Киев, 1996, 169 с.

[*Baraboy V.A.* Chernobyl: ten years after. Radiation disasters medical consequences (D.M. Grodzinsky, Ed.). Chernobylinterinform, Kyiv, 1996, 169 p.]

Горпинченко И.И., Юнда И.Ф., Горбов В.Г. и др. Клиническая характеристика половой функции у мужчин, подвергшихся воздействию ионизирующей радиации. В кн.: Радиационный мониторинг, клинические проблемы. Киев: УНЦРМ, 1992, т. 2, вып. 2, с. 139–143.

[*Gorpinchenko I.I., Yunda I.F., Gorbov V.G. et al.* Clinical characterisation of sexual function in men exposed to ionising radiation. In: Radiation monitoring, clinical problems. Kyiv: USCRM, Vol. 2, iss. 2, pp. 139–143]

Григорьев Ю.Г. Оценка возможности развития соматических эффектов при хроническом облучении в суммарной дозе 35 сГр (на основании проведенных многолетних экспериментов с мощностью дозы 21,62 и 125 сГр/год). В кн.: Молекулярно-клеточные механизмы хронического (внешнего и внутреннего) действия ионизирующего излучения на биологические объекты. Тез. докл. I Всесоюз. симп., 1990, Пушино, с. 36–37.

[*Grigoryev Yu.G.* Somatic effects genesis possibility estimation in chronic irradiation with 35 cGy integral dose (on the basis of carried-out for many years experiments with dose rate 21,62 and 125 cGy/year. In: Molecular-cellular mechanisms of ionising radiation chronic (external and internal) effect on biological objects. Proceedings of I All-Union Symp., 1990, Puschino, pp. 36–37]

Дедов В.И., Норец Т.А., Степаненко В.Ф. Значение состояния нейроэндокринной системы в оценке нестохастических эффектов малых доз внутреннего облучения (экспериментальные исследования). Известия АН СССР, Сер. Биология, 1987, 3: 398–412.

[*Dedov V.I., Noretz T.A., Stepanenko V.F.* Neuroendocrine system status role in low doses internal irradiation non-stochastic effects estimation (pre-clinical studies). Izvestia of USSR Academy of Science, Biology Div., 1987, 3: 398–412]

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает глубокую благодарность д-ру биол. наук Т.И. Богдановой, д-ру биол. наук Т.М. Мишуниной, канд. биол. наук Н.А. Карпенко за участие в исследованиях и интерпретации результатов.

Ермакова О.В. Компенсаторная гиперплазия коры надпочечников у полевок из районов радиоактивного загрязнения. В кн.: Итоги 8 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. Сб. докл. V Междунар. науч.-техн. конф. “Чернобыль-94”, 1994, Зеленый Мыс. Чернобыль, 1996, т. 2, с. 305–312.

[*Yermakova O.V.* Adrenal cortex compensatory hyperplasia in voles from radioactive contamination regions. In: Results of 8 year-long works for ChNPP accident consequences cleaning up. Proceedings of the V Int. Conf. “Chernobyl-94”, 1994, Zeliony Mys. Chernobyl, 1996, Vol. 2, pp. 305–312]

Карпенко Н.А., Алесина М.Ю., Брызгалова Г.А. Репродуктивная функция самцов крыс при длительном комбинированном (внешнем и внутреннем) облучении в малых дозах. В кн.: Отдаленные медицинские последствия Чернобыльской катастрофы. Материалы 2-й Междунар. конф., 1–6 июня 1998 г., Киев, с. 250.

[*Karpenko N.A., Alesina M.Yu., Bryzgalova G.A.* Reproductive function of male rats under prolonged combined (external and internal) irradiation in low doses. In: Long-term health consequences of the Chernobyl disaster. Proceedings of the 2nd Int. Conf., 1–6 June, 1998, Kyiv, p. 250]

Кенигсберг Я.Э. Хроническое облучение малыми дозами: радиобиологические эффекты и проблемы риска для здоровья населения. В кн.: Отдаленные медицинские последствия Чернобыльской катастрофы. Материалы 2-й Междунар. конф., 1–6 июня 1998 г., Киев, с. 56.

[*Kenigsberg J.E.* Chronic irradiation in small doses: radiobiological effects and problem of risk for the health of population. In: Long-term health consequences of the Chernobyl disaster. Proceedings of the 2nd Int. Conf., 1–6 June, 1998, Kyiv, p. 57]

Ляско Л.И., Сушкевич Г.Н., Цыб А.Ф. и др. Динамика содержания гормонов гипофиза, нейромедиаторов у ликвидаторов последствий Чернобыльской катастрофы. Попытка коррекции хлореллой E-25. Мед. радиология и радиацион. безопасность, 1994, 39 (4): 22–25.

[*Lyasko L.I., Susbkevitsh G.N., Tsyb A.F. et al.* Pituitary hormones and neurotransmitters content dynamics in Chernobyl disaster cleaning up participants. Correction endeavour with chlorella E-25. Med. Radiol. Radiat. Safety, 1994, 39 (4): 22–25]

Мишунина Т.М., Алесина М.Ю., Архитов Н.П. Нейрохимические механизмы центральной регуляции процессов адаптации к длительному воздействию ионизирующего излучения. В кн.: Отдаленные медицинские последствия Чернобыльской катастрофы. Материалы 2-й Междунар. конф., 1–6 июня 1998 г., Киев, с. 308.

[*Mishunina T.M., Alesina M.Yu., Arkhipov N.P.* Neuromediator mechanisms of central regulation in processes of adaptation under condition by chronic irradiation in low doses. In: Long-term health consequences of the Chernobyl disaster. Proceedings of the 2nd Int. Conf., 1–6 June, 1998, Kyiv, p. 309]

Митряева Н.А. Адаптаційні реакції організму та їх нейрогуморальна регуляція під впливом радіаційного випромінювання в низьких дозах. Автореф. дис. ... д-ра біол. наук, 1995, Київ, 42 с.

[*Mitriayeva N.A.* Organism adaptation reactions and its neurohumoral regulation under low radiation doses impact. Dissertation

for Scientific Degree of Doctor in Biology, 1995, Kyiv, 42 p.]

Носов А.Т., Сутковой Д.А., Барабой В.А., Шамаяев М.И. Влияние малых доз длительного внутреннего радиационного воздействия на ультраструктуру и интенсивность перекисного окисления липидов в головном мозге и крови крыс. Радиацион. биология. Радиоэкология, 1994, 34 (4–5): 631–638. [Nosov A.T., Sutkovoï D.A., Baraboy V.A., Shamayev M.I. Long-term internal low doses radiation impact on ultrastructure and lipid peroxidation intensity in rat brain and blood. Radiat. Biology. Radioecology, 1994, 34 (4–5): 631–638]

Нягу А.И., Плачинда Ю.И. Исследование критериев адаптации и радиорезистентности организма у лиц, работающих в зоне отчуждения. В кн.: Итоги 8 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. Сб. докл. V Междунар. науч.-техн. конф. “Чернобыль-94”, 1994, Зеленый Мыс. Чернобыль, 1996, т. 2, с. 24–31.

[Nyagu A.I., Plachinda Yu.I. Adaptation criteria and organism radioresistance study in persons working within estrangement zone. In: Results of 8 year-long works for ChNPP accident consequences cleaning up. Proceedings of the V Int. Conf. “Chernobyl-94”, 1994, Zeliony Mys. Chernobyl, 1996, Vol. 2, pp. 24–31]

Пелевина И.И., Афанасьев Г.Г., Готлиб В.Я., Саенко А.С. Изменение чувствительности к облучению после пребывания в зоне контроля аварии на ЧАЭС. В кн.: Тез. докл. радиобиол. съезда, 1993, Пущино, с. 781–782.

[Pelevina I.I., Afanasyev G.G., Gotlyb V.Ya., Sayenko A.S. Radiation sensitivity changes after stay in CNPP accident control zone. In: Proceedings of Radiobiol. Congr., 1993, Puschino, pp. 781–782]

Пирогова Е.А., Бузунов В.А., Стратко Н.П., Прикащикова Е.Е., Кортушин Г.И. Результаты и задачи эпидемиологического исследования здоровья населения, проживающего на радиационно загрязненных территориях. В кн.: Отдаленные медицинские последствия Чернобыльской ката-

строфы. Материалы 2-й Междунар. конф., 1–6 июня 1998 г., Киев, с. 116.

[Pirogova E.A., Buzunov V.A., Strapko N.P., Prikaschikova E.E., Kortushin G.I. Results and aims of epidemiological analysis of health of population residing the contaminated territories. In: Long-term health consequences of the Chernobyl disaster. Proceedings of the 2nd Int. Conf., 1–6 June, 1998, Kyiv, p. 117]

Раевский К.С., Георгиев В.П. Медиаторные аминокислоты: нейрофармакологические и нейрохимические аспекты. Медицина, Москва, 1986, 240 с.

[Rayevsky K.S., Georgiyev V.P. Messenger amino-acids: neuropharmacological and neurochemical aspects. Moscow: Medicine, 1986, 240 p.]

Розанов В.А. Метаболическая роль ГАМК-шунта в центральной нервной системе при экстремальных состояниях. Успехи соврем. биологии, 1989, 107 (3): 373–390.

[Rozanov V.A. GABA-shunt metabolic role in the central nervous system in extreme conditions. Progress of Modern Biology, 1989, 107 (3): 373–390]

Руднев М.И., Атаманюк Н.П. Распределение Cs-137 в организме и структурах головного мозга в условиях хронического эксперимента. В кн.: Тез. докл. 3-го съезда по радиацион. исследованиям, 1997, Москва, Пущино, 1997, т. 1, с. 451–452.

[Rudnev M.I., Atamanyuk N.P. Cs-137 distribution in organism and cerebral structures under chronic experiment. In: Proceedings of 3rd Congr. for Radiat. Research, 1997, Moscow, Puschino, 1997, Vol.1, pp. 451–452]

Чебан А.К., Ливкутник А.Е., Игнатовская И.А., Чикалова И.Г. Состояние эндокринной системы у лиц, длительно работающих в 30-км зоне отчуждения. В кн.: Итоги 8 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. Сб. докл. V Междунар. науч.-техн. конф. “Чернобыль-94”, 1994, Зеленый Мыс. Чернобыль, 1996, т. 2, с. 32–45.

[Cheban A.K., Livkutnik A.Ye., Ignatovskaya I.A., Chikalova I.G. Endocrine system status in persons for long time working in the 30-km exclusion zone. In: Results of 8 year-long works for ChNPP accident consequences cleaning up. Proceedings of the V Int. Conf. “Chernobyl-94”, 1994, Zeliony Mys. Chernobyl, 1996, Vol.2, pp. 32–45]