

- acetaldehyde production from ethanol and glucose by oral Streptococcus and Neisseria», *Sci Rep*, 9, pp. 1-8.
19. Thomes P.G., Rasineni K., Saraswathi V., Kharbanda K.K., Clemens D.L., Sweeney S.A., Kubik J.L., Donohue T.M. Jr., Casey C.A 2021, «Natural Recovery by the Liver and Other Organs after Chronic Alcohol Use», *Alcohol Res*, 41, pp. 1-15.
20. Zhong W., Wei X., Hao L., Lin T.D., Yue R., Sun X., Guo W., Dong H., Li T., Ahmadi A.R., Sun Z., Zhang Q., Zhao J., Zhou Z. 2020, «Paneth Cell Dysfunction Mediates Alcohol-related Steatohepatitis Through Promoting Bacterial Translocation in Mice: Role of Zinc Deficiency», *Hepatology*, 71, pp. 1575-1591.
- Вперше надійшла до редакції 15.10.2023 р.
Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування

УДК: 577.352.465

DOI <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10888595>

ФАРМАКОЛОГІЧНА КОРЕКЦІЯ ПОРУШЕНЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ Na^+ - K^+ -АТФАЗИ І СИСТЕМИ АДЕНИЛОВИХ НУКЛЕОТИДІВ ЗА УМОВ КОМБІНОВАНОЇ ДІЇ ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ ТА ІНТЕНСИВНОГО ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

**Терещенко Л.О.¹, Васильєва А.Г.¹, Степанов Г.Ф.¹, Селіванська І.О.¹,
Маринюк Г.С.¹, Дубна Є.С.², Дімова А.А.¹**

¹ Одеський національний медичний університет, м. Одеса, Україна

² Ягеллонський університет, м. Краків, Польща

biochimie.ter@gmail.com

ФАРМАКОЛОГИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ НАРУШЕНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ Na^+ - K^+ -АТФАЗЫ И СИСТЕМЫ АДЕНИЛОВЫХ НУКЛЕОТИДОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

**Терещенко Л.А.¹, Васильева А.Г.¹, Степанов Г.Ф.¹, Селиванская И.А.¹,
Маринюк А.С.¹, Дубна Е.С.², Димова А.А.¹**

¹ Одесский национальный медицинский университет, г. Одесса, Украина

² Ягеллонский университет, г. Краков, Польша

biochimie.ter@gmail.com

PHARMACOLOGICAL CORRECTION OF DISORDERS OF Na^+ - K^+ -ATPASE FUNCTIONING AND ADENYLE NUCLEOTIDE SYSTEM UNDER CONDITIONS OF COMBINED EFFECT OF IONIZING RADIATION AND INTENSIVE PHYSICAL EXERTION

**Tereshchenko ¹L.O. , Vasilieva ¹A.G. , Stepanov G.F. ¹, Selyvanska I.O. ¹,
Maryniuk G.S. ¹, Dubna Y.S. ², Dimova A.A. ¹**

¹ Odesa National Medical University, Odesa , Ukraine

² Jagiellonian University, Krakow, Poland

biochimie.ter@gmail.com

Резюме/Summary

The aim of the study: development and theoretical justification of a biologically active drugs complex to normalize activity of Na^+ - K^+ -ATPase, normalize content of adenyl nucleotides and to increase physical capacity of rats subjected to combined effect of r-

radiation and intense physical exertion.

Materials and methods. The experiment was conducted on 70 sexually mature male Wistar rats, divided into 7 groups of 10 animals each. 1 group - intact, 2-7 - experimental, in which animals were exposed to ionizing radiation at a dose of 154.8 mC/kg and intense physical exertion on a treadmill. In addition, rats from groups 5, 6 and 7 received an injection of biologically active drugs (α -tocopherol acetate, retabolil, cocarboxylase, nicotinamide, ATP, and galascorbin) immediately after irradiation. Animals were subjected to intensive physical exertion 1 hour, 1 day and 3 days after the exposure. Rats were decapitated in accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes (Strasbourg, 1986). In a mitochondrial fraction of skeletal muscles activity of $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ and adenyl nucleotides content was determined, and performance of the irradiated animals was calculated.

Results. The most significant stabilization of the investigated indicators in the mitochondrial fraction of skeletal muscles and physical capacity of irradiated exhausted rats after the introduction of biologically active drugs is noted starting from the end of the first day of observation. On the 3rd day, there was a normalization of ATP, ADP, AMP content, energy charge of cells and activity of $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ of skeletal muscles, which was 2 times higher than in rats that did not receive the drug. At the same time, the performance of the animals almost reaches the control level, exceeding this indicator by 35% in animals that didn't receive drugs ($p < 0.05$).

The authors concluded that the injection of the proposed biologically active drugs to experimentally irradiated rats leads to the normalization of active transport of ions through biological membranes, energy supply of skeletal muscle cells and performance of animals and can be recommended for the complex treatment of radiation sickness of moderate severity.

Key words: rats, ionizing radiation, physical exertion, skeletal muscles, $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$, adenyl nucleotides.

Мета дослідження: розробка та теоретичне обґрунтування комплексу біологічно активних препаратів для нормалізації активності $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-АТФази}$, вмісту аденілових нуклеотидів і збільшення працездатності щурів, що зазнали поєднаної дії г-опромінення й інтенсивного фізичного навантаження.

Матеріали і методи. Експеримент проведено на 70 статевозрілих щурах-самцях лінії Вістар, поділених на 7 груп по 10 тварин у кожній. 1 група - інтактна, 2-7-дослідні, в яких тварин піддавали дії іонізуючого випромінювання у дозі 154,8 мКл/кг та інтенсивному фізичному навантаженню на тредбані. Крім того, щурам з 5, 6 і 7 груп вводили біологічно активні препарати (б-токоферола ацетат, ретаболіл, кокарбоксілазу, нікотинамід, АТФ та галаскорбін), починаючи одразу після опромінення. Інтенсивного фізичного навантаження тварини зазнавали через 1 годину, 1 добу та 3 доби після опромінення. Щурів забивали шляхом декапітації з дотриманням Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних та інших наукових цілей (Страсбург, 1986). У мітохондріальній фракції скелетних м'язів визначали активність $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-АТФази}$, вміст аденілових нуклеотидів та розраховували працездатність опромінених тварин.

Результати. Найбільш суттєва стабілізація досліджених показників в мітохондріальній фракції скелетних м'язів та працездатності опромінених виснажених щурів після введення біологічно активних препаратів відзначається з кінця першої доби спостереження. На 3 добу нормалізуються вміст АТФ, АДФ, АМФ, енергетичний заряд клітин, активність $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-АТФази}$ скелетних м'язів, яка у 2 рази вища, ніж у щурів,

що не отримували лікування. При цьому працездатність майже сягає рівня контролю, на 35% відсотків перевищуючи даний показник у тварин, яким препарати не вводили ($p < 0,05$).

Автори дійшли висновку, що введення запропонованих біологічно активних препаратів піддослідним опроміненням щурів призводить до нормалізації процесів активного транспорту іонів через біологічні мембрани, енергозабезпечення клітин скелетних м'язів та працездатності тварин і може бути рекомендоване для комплексного лікування променевої хвороби середньої важкості.

Ключові слова: щури, іонізуюче опромінення, фізичне навантаження, скелетні м'язи, Na^+, K^+ -АТФаза, аденилові нуклеотиди.

Цель исследования: разработка и теоретическое обоснование комплекса биологически активных препаратов для нормализации активности $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ -АТФазы, содержания адениловых нуклеотидов и увеличения работоспособности крыс, подвергшихся сочетанному действию г-облучения и интенсивной физической нагрузки.

Материалы и методы. Эксперимент проведен на 70 половозрелых крысах- самцах линии Вистар, разделенных на 7 групп по 10 животных в каждой. 1 группа - интактная, 2-7- экспериментальные, в которых животных подвергали действию ионизирующего облучения в дозе 154,8 мКл/кг и интенсивной физической нагрузке на тредбане. Кроме того, крысам из 5, 6 и 7 групп вводили биологически активные препараты (α -токоферола ацетат, ретаболил, кокарбоксилазу, никотинамид, АТФ и галаскорбин), начиная сразу после облучения. Интенсивной физической нагрузке животных подвергали через 1 час, 1 сутки и 3 суток после облучения. Крыс забивали путем декапитации, придерживаясь Европейской конвенции о защите позвоночных животных, которые используются в экспериментальных и других научных целях (Страсбург, 1986). В митохондриальной фракции скелетных мышц определяли активность Na^+, K^+ -АТФазы, содержание адениловых нуклеотидов и рассчитывали работоспособность облученных животных.

Результаты. Наиболее существенная стабилизация исследуемых показателей в митохондриальной фракции скелетных мышц и работоспособности облученных утомленных крыс после введения биологически активных препаратов отмечается с конца первых суток наблюдения. На 3 сутки нормализуется содержание АТФ, АДФ, АМФ, энергетический заряд клеток, активность $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ -АТФазы скелетных мышц, которая в 2 раза выше, чем у крыс, не получавших лечение. При этом работоспособность почти достигает уровня контроля, на 35% превышая данный показатель у животных, которым препараты не вводили ($p < 0,05$).

Авторы сделали вывод о том, что введение предложенных биологически активных препаратов подопытным облученным крысам приводит к нормализации процессов активного транспорта ионов через биологические мембраны, энергообеспечения клеток скелетных мышц и работоспособности животных и может быть рекомендовано для комплексного лечения лучевой болезни средней тяжести.

Ключевые слова: крысы, ионизирующее облучение, физическая нагрузка, скелетные мышцы, Na^+, K^+ -АТФаза, адениловые нуклеотиды.

Вступ

Проблема радіаційного захисту у сучасному світі залишається дуже актуальною [1]. Через природні та техногенні фактори населення багатьох країн зазнає

перманентного радіаційного впливу [2]. Радіоактивне забруднення супроводжує всі ланки ядерної енергетики [3]. Особливо гостро питання протирадіаційного

захисту постало в умовах повномасштабного вторгнення, коли в нашій країні були окуповані певні цивільні ядерні об'єкти, в процесі звільнення яких військовослужбовцям, можливо, доведеться діяти в умовах високого радіаційного ризику [4]. В цьому випадку вплив іонізуючого опромінення буде поєднаний з інтенсивним фізичним навантаженням, а це, як було з'ясовано рядом авторів, посилює променеве ураження через індукцію окислювального стресу та збільшення енерговитрат [5, 6]. Доведено, що однією з мішеней дії радіації на організм є біологічні мембрани, що мають численні функціональні та регуляторні взаємовідносини з клітинним метаболізмом [7]. В свою чергу, порушення регуляторних функцій плазматичних мембран реалізується через натрій-калієвий насос, його взаємозв'язок з іншими транспортними системами клітин. Відомо, що гамма-опромінення здатне викликати зміни фізико-хімічних і структурних характеристик мембран мітохондрій, властивостей АТФ-синтази, призводить до втрати цитохромів. Дефіцит АТФ, енергетичний голод, які при цьому виникають, роблять суттєвий внесок у пострадіаційне порушення систем трансмембранного переносу іонів [8, 9, 10]

Мета дослідження

Розробка та теоретичне обґрунтування комплексу біологічно активних препаратів для нормалізації активності Na^+ - K^+ -АТФази, вмісту аденілових нуклеотидів і збільшення працездатності щурів, що зазнали поєднаної дії іонізуючого опромінення й інтенсивного фізичного навантаження.

Матеріали та методи

Дослідження проведені на 70 статевозрілих щурах-самцях лінії Вістар, поділених на 7 груп по 10 тварин у кожній. 1 група-інтактна; 2 група-щури, які зазнали інтенсивного фізичного навантаження через 1 годину після опромінення; 3 група-щури, які зазнали інтенсивного фізичного навантаження через

24 години після опромінення; 4 група-щури, які зазнали інтенсивного фізичного навантаження через 3 доби після опромінення; 5 група-щури, які зазнали інтенсивного фізичного навантаження через 1 годину після опромінення та початку введення біологічно активних препаратів; 6 група-щури, які зазнали інтенсивного фізичного навантаження через 24 години після опромінення та початку введення біологічно активних препаратів; 7 група-щури, які зазнали інтенсивного фізичного навантаження через 3 доби після опромінення та початку введення біологічно активних препаратів.

Тварин піддавали тотальному гамма-опроміненню ^{60}Co у дозі 154,8 мКл/кг на гамма-терапевтичному пристрої АГАТ-Р № 83 за наступних технічних умов: відстань джерело-поле- 75 см, потужність дози 0,385 мА/кг. Через 1 годину, 1 добу та 3 доби після опромінення щури зазнавали важкого фізичного навантаження, для моделювання якого використовували тредбан. Довжина робочої частини стрічки 80 см. У кінці рухомої частини стрічки встановлено пристрій для електростимуляції 24В перемінного току. Швидкість обертання стрічки 0,5 м/с, кут нахилу 10° . Критерієм настання втоми вважався момент, коли тварина відмовлялася від бігу, не звертаючи увагу на електростимуляцію. Роботу, виконану на тредбані, розраховували за формулою $A(\text{кДж}) = \text{маса тіла (г)} \cdot \text{Ч дистанція (м)} \cdot \text{Ч синус кута нахилу} \cdot 9,81 \text{ м/с}^2$ [11]. Також визначали загальний стан опромінених виснажених тварин, тривалість життя, смертність.

На основі експериментальних досліджень, з урахуванням метаболічних порушень нами був розроблений комплекс біологічно активних препаратів для збільшення працездатності опроміненого організму, що містить: α -токоферола ацетат, ретаболіл, кокарбоксілазу, нікотинамід, АТФ та галаскорбін.

Препарати вводили за наступною схемою: одразу після опромінення токоферола ацетат внутрішньом'язово по 51

мг/кг, через 3 години кокарбоксілазу по 2,6 мг/кг, нікотинамід по 5,1 мг/кг підшкірно та АТФ по 36 мг/кг внутрішньом'язово. Ретаболіл внутрішньом'язово по 2,6 мг/кг через 6 та 12 годин. Через 24 години повторно вводили токоферол ацетат. Кокарбоксілазу, нікотинамід та АТФ в тих же дозах повторно вводили через 24, 48 та 72 години. Схема також включала введення пиття галаскорбіну по 10 мл на 20 мл води на протязі 3 діб, що складало 50 мг/кг маси тіла.

Щурів забивали шляхом декапітації з дотриманням Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних та інших наукових цілей (Страсбург, 1986). Визначення активності Na^+, K^+ -АТФази проводили у мітохондріальній фракції скелетних м'язів [12], вміст аденілових нуклеотидів у м'язовій тканині – за допомогою наборів Test-Combination фірми Boehringer. Активність ферментів виражали у мкмольх неорганічного фосфату на мг білка у пробі за 1 хвилину інкубації. Отримані дані піддавалися статистичній

обробці способом оцінки середньої за допомогою “таблиць Т” з використанням програм “Primer Biostatistics” та “Excel”.

Обговорення результатів дослідження

Проведена нами раніше серія експериментів [13], присвячена комбінованій дії іонізуючого опромінення у дозі 154,8 мКл/кг та інтенсивного фізичного навантаження на організм щурів, продемонструвала виникнення суттєвих порушень в системі енергозабезпечення та активного транспорту іонів через біологічні мембрани клітин скелетних м'язів, що в свою чергу, викликало значну дезінтеграцію біокаталітичних процесів і, як наслідок, зниження працездатності.

Згідно результатам даного дослідження (Рис. 1), введення комплексу біологічно активних препаратів опроміненим виснаженим щурам вже через 1 годину призводить до збільшення активності Na^+, K^+ -АТФази в мітохондріальній фракції скелетних м'язів на 49% у порівнянні з тваринами, які не отримували лікування, та в 1,1 рази по відношенню до показ-

Таблиця 1

Вміст аденілових нуклеотидів у мітохондріальній фракції клітин скелетних м'язів щурів після γ -опромінення у дозі 154,8 мКл/кг, інтенсивного фізичного навантаження та введення комплексу біологічно активних препаратів

Нуклеотиди	Інтактні тварини	Термін впливу фізичного навантаження після γ -опромінення			Термін впливу фізичного навантаження після опромінення та введення препаратів		
		1 година	1 доба	3 доби	1 година	1 доба	3 доби
Сума аденілових нуклеотидів	5,843 $\pm$ 0,500	4,444 $\pm$ 0,200 $p < 0,02$	5,852 $\pm$ 0,070 $p > 0,05$	2,935 $\pm$ 0,030 $p < 0,001$	4,751 $\pm$ 0,200 $p < 0,05$ $p' > 0,05$	5,619 $\pm$ 0,040 $p > 0,05$ $p' > 0,05$ $p'' < 0,001$	5,418 $\pm$ 0,050 $p > 0,05$ $p' > 0,05$ $p'' < 0,01$ $p''' < 0,01$
Енергетичний заряд	0,913 $\pm$ 0,040	0,898 $\pm$ 0,006 $p > 0,05$	0,915 $\pm$ 0,003 $p > 0,05$	0,842 $\pm$ 0,001 $p < 0,001$	0,904 $\pm$ 0,005 $p > 0,05$ $p' < 0,001$	0,923 $\pm$ 0,002 $p > 0,05$ $p' > 0,05$ $p'' < 0,001$	0,925 $\pm$ 0,006 $p > 0,05$ $p' > 0,05$ $p'' < 0,001$ $p''' > 0,05$
АТФ/АДФ	9,130 $\pm$ 1,400	6,132 $\pm$ 0,300 $p < 0,05$	7,601 $\pm$ 0,200 $p > 0,05$	3,540 $\pm$ 0,060 $p < 0,001$	6,195 $\pm$ 0,300 $p < 0,05$ $p' > 0,05$	7,955 $\pm$ 0,100 $p > 0,05$ $p' > 0,05$ $p'' < 0,001$	8,524 $\pm$ 0,800 $p > 0,05$ $p' > 0,05$ $p'' < 0,001$ $p''' < 0,01$
АТФ/АМФ	40,965 $\pm$ 2,000	24,745 $\pm$ 1,00 $p < 0,001$	30,393 $\pm$ 1,00 $p < 0,001$	13,753 $\pm$ 0,20 $p < 0,001$	30,261 $\pm$ 3,000 $p < 0,01$ $p' > 0,05$	37,840 $\pm$ 3,00 $p > 0,05$ $p' < 0,001$ $p'' < 0,05$	30,049 $\pm$ 2,00 $p > 0,05$ $p' < 0,001$ $p'' < 0,01$ $p''' > 0,05$

Примітка: p – ступінь вірогідності різниці показників у порівнянні з інтактною групою тварин; p' – в порівнянні з групою, що не отримувала лікування, p'' – в порівнянні з 1 годиною експерименту, p''' – в порівнянні з 1 добою експерименту.

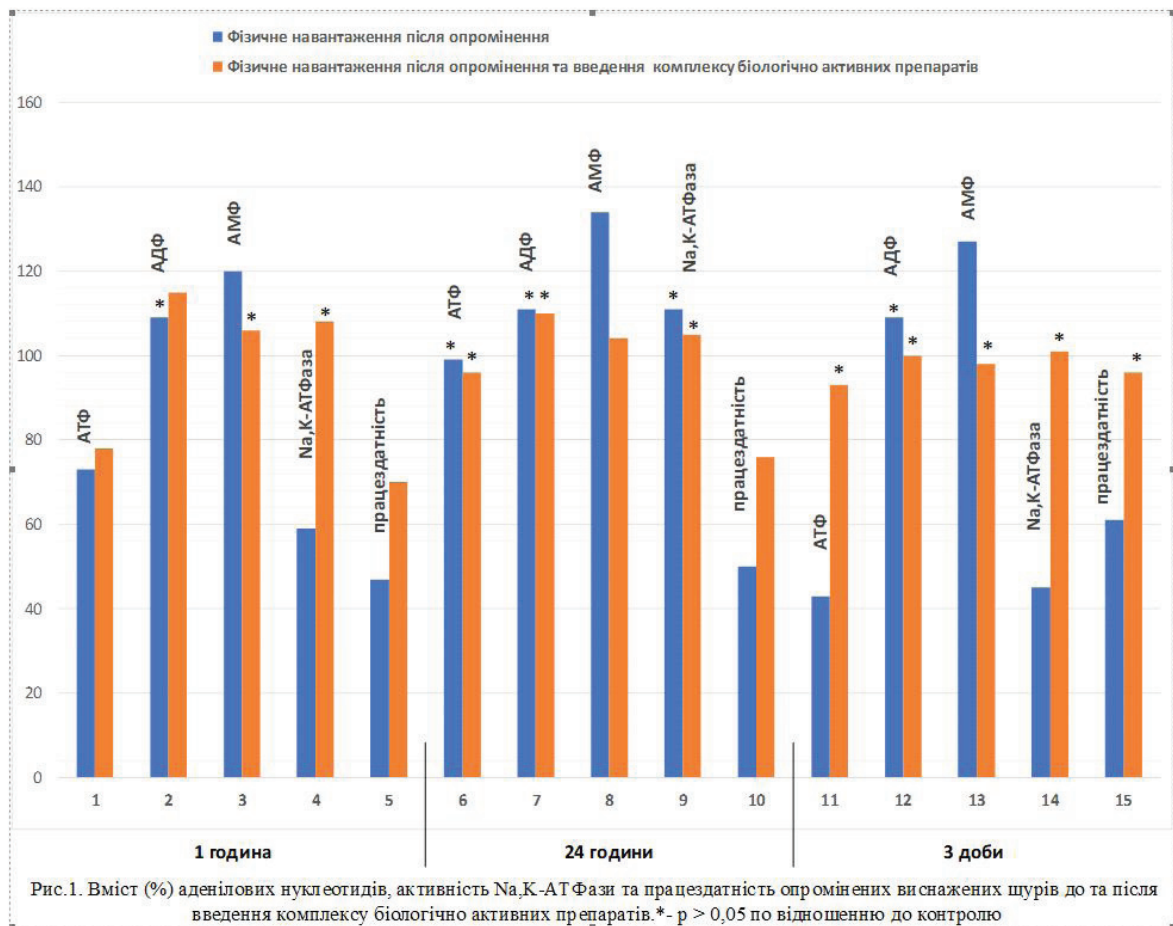


Рис.1. Вміст (%) аденілових нуклеотидів, активність Na,K-АТФази та працездатність опромінених виснажених щурів до та після введення комплексу біологічно активних препаратів. * - $p < 0,05$ по відношенню до контролю

ників контролю. При цьому відзначається (Табл. 1) вірогідне зниження рівня АМФ, збільшення співвідношення АТФ/АМФ, а величина енергетичного заряду практично відповідає нормі.

Під кінець 1 доби активність Na^+, K^+ -АТФази суттєво не змінюється в порівнянні з попереднім терміном і групою тварин, яким не вводили препарати, концентрація АТФ збільшується на 18% по відношенню до показників на 1 годину спостереження ($p < 0,05$), майже досягаючи рівня контролю. В цей період вміст АМФ на 30% менший, ніж у щурів, які не отримували лікування, а співвідношення АТФ/АМФ збільшується на 18% ($p < 0,05$).

На 3 добу відбувається нормалізація вмісту АТФ, АДФ, АМФ, а також інших показників у м'язовій тканині, зокрема, співвідношення АТФ/АДФ та АТФ/АМФ, які наближаються до рівня інтактної групи, відносно експериментальних тварин,

що не отримували комплексну терапію вони більші на 54% та 61% відповідно ($p < 0,05$). Це свідчить про активізацію процесів ресинтезу АТФ.

Активність Na^+, K^+ -АТФази в цей період більш, ніж у 2 рази перевищує рівень у щурів, яким не вводили біологічно активні препарати ($p < 0,05$).

Стабілізація в системі аденілових нуклеотидів та покращення функціонування транспортних систем у скелетних м'язах на фоні фармакологічної корекції призводить до зниження смертності опромінених виснажених тварин у 2,87 рази, збільшення тривалості життя в 2 рази, підвищення працездатності у порівнянні з щурами, що не отримували лікування. І, якщо через 1 годину після опромінення та введення біологічно активних препаратів працездатність складала 70% від контролю, то в подальші терміни спостереження цей показник становив 76% на кінець першої доби і

96% на 3 добу дослідження ($p < 0,05$). По відношенню до групи тварин, які не отримували комплексної терапії, вона збільшувалася на 23% , 26% та 35% відповідно ($p < 0,05$). В цілому найбільш виражена стабілізація активності Na^+, K^+ -АТФази, нормалізація рівня аденілових нуклеотидів в мітохондріальній фракції скелетних м'язів та працездатності відмічалися після першої доби спостереження. Це пов'язано, мабуть, з тим, що саме у той час у клітинах досягається максимальна концентрація сполук, які використовувалися для фармакологічної корекції.

Висновки

1. Курсове введення запропонованих біологічно активних препаратів опроміненим виснаженим щурам сприяє нормалізації активного транспорту іонів через біологічні мембрани, енергозабезпечення клітин скелетних м'язів та збільшенню працездатності тварин.
2. Біологічно активні препарати, використані в експерименті, можна рекомендувати в комплексному лікуванні променевої хвороби середньої важкості.

Література

1. Бази́ка Д.А., Литвиненко О.О., Литвиненко О.О. Класифікація медичних засобів протирадіаційного захисту// Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.- 2022, вип.27.- С. 84-106.
2. Присяжнюк А.Є., Фузік М.М., Гудзенко Н.А. та ін. Захворюваність на злоякісні новоутворення мешканців малих забруднених радіонуклідами територіальних одиниць Чорнобильського регіону у віддаленому післяаварійному періоді// Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.- 2020, вип. 25.- С.265-284.
3. Прилипко В.А., Морозова М.М., Озерова Ю.Ю., Гришан А.В., Пелюх О.О. Динаміка викидів та скидів радіонуклідів у природне середовище зони спостереження Південноукраїнської АЕС// Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.- 2023, вип. 28.- С.158-175.

4. Рушак Л.В., Іванько В.А., Потапчук В.А., Рушак Д.О., Бази́ка Д.А., Сушко В.О., Чума́к А.А. Стан чинної вітчизняної нормативної бази щодо забезпечення радіаційної безпеки та протирадіаційного захисту військовослужбовців на період воєнного стану// Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.- 2023, вип. 28.- С.93-109.
5. Belviranli M., Gokbel H. Acute exercise oxidative stress and antioxidant changes / / Eur. J. Gen. Med. 2006. V. 3. № 3. P. 126–131.
6. Sureda A, Tauler P, Aguilo A et al. Relation between oxidative stress markers and antioxidant endogenous defenses during exhaustive exercise // Free Radic. Res. 2005. V. 39. № 12. P. 1317–1324.
7. Дворецкий А.И., Айрапетян С.Н., Шаинская А.М., Чеботарев Е.Е. Трансмембранный перенос ионов при действии ионизирующей радиации на организм.- Киев: Наукова думка, 1990.- 135 с.
8. Kalocayova B., Kovacicova I, Radosinska J et al. Localization dependent sensitivity of cerebral Na, K -ATPase to irradiation induced oxidative imbalance in rats// J. of Physiol. and Pharmac. 2019. V. 70. № 4. P. 573-584.
9. Kalocayova B., Kovacicova I, Radosinska J et al. Alteration of renal Na, K -ATPase in rats following the mediastinal γ -irradiation/ / Physiol. Rep. 2019. V.7. № 3, e13969.
10. Mezesova, L., Vilkovicova J., Kalocayova B. et al. Effects of γ -irradiation on Na, K -ATPase in cardiac sarcolemma Molecular and Cellular Biochemistry. 2014. V. 388. № 1-2. P. 241-247
11. Бобков Ю.Г., Виноградов В.М., Катков В.Ф., Лосев С.С. и др. Фармакологическая коррекция утомления.- М.: Медицина, 1984.- 208 с.
12. Прохорова М.И. Методы биохимических исследований.- Ленинград, 1982.- 271 с.
13. Терещенко Л.О., Васильева А.Г., Степанов Г.Ф., Костіна А.А., Дубна Є.С. Активність Na^+, K^+ -АТФази та вміст аденілових нуклеотидів в організмі щурів за умов поєднаної дії іонізуючого опромінення та фізичного навантаження// The XXXVI International Scientific and Practical Conference «The main prospects for the development of science in modern life». September 13-16, 2022. Warsaw, Poland. P.190-195.

References

1. Bazyka D.A., Lytvynenko O.O., Lytvynenko O.O. Classification of medical equipment

- for anti/radiation protection// Problems of Radiation Medicine and Radiobiology.- 2022, iss. 27. P.84-106.
2. Prysyazhnyuk AYe., Fuzik M.M., Gudzenko N.A. et al. Incidence of malignant neoplasms among residents of small radionuclide/contaminated Chornobyl districts in a post/accident period// Problems of Radiation Medicine and Radiobiology.- 2020, iss. 25. P.265-284.
 3. Prylypko V.A., Morozova M.M., Ozerova Yu.Yu., Gryshan A.V., Pelukh O.O. Time pattern of radionuclide emissions and discharges into the natural environment of the Pivdennoukrainska NPP surveillance zone// Problems of Radiation Medicine and Radiobiology.- 2023, iss. 28. P.158-175.
 4. Ruschak L.V., Ivanko O.M., Potapchuk V.A., Ruschak D.O., Bazyka D.A., Sushko V.O., Chumak A.A. Status of the current domestic regulatory base for ensuring radiation safety and anti/radiation protection of military personnel during the period of martial status// Problems of Radiation Medicine and Radiobiology.- 2023, iss. 28. P.93-109.
 5. Belviranli M., Gokbel H. Acute exercise oxidative stress and antioxidant changes / Eur. J. Gen. Med. 2006. V. 3. № 3. P. 126-131.
 6. Sureda A, Tauler P, Aguilo A et al. Relation between oxidative stress markers and antioxidant endogenous defenses during exhaustive exercise // Free Radic. Res. 2005. V. 39. № 12. P. 1317-1324.
 7. Dvoretiskii A.I., Airapentian S.N., Shainskaia A.M., Chebotariiev E.E., Transmembrane transport of ions under the influence of ionizing radiation on the organism. - Kyiv: Naukova dumka, 1990. – p. 135
 8. Kalocayova B., Kovacicova I, Radosinska J et al. Localization dependent sensitivity of cerebral Na,K-ATPase to irradiation induced oxidative imbalance in rats// J. of Physiol. and Pharmac. 2019. V. 70. № 4. P. 573-584.
 9. Kalocayova B., Kovacicova I, Radosinska J et al. Alteration of renal Na,K-ATPase in rats following the mediastinal r-irradiation/ / Physiol. Rep. 2019. V.7. № 3, e13969.
 10. Mezesova, L., Vilkovicova J., Kalocayova B. et al. Effects of r-irradiation on Na,K-ATPase in cardiac sarcolemma// Molecular and Cellular Biochemistry. 2014. V. 388. № 1-2. P. 241-247
 11. Bobkov Y.G., Vinogradov V.M., Katkov V.F., Losiev S.S. et al., Pharmacological correction of fatigue. – M.: Medicina, 1984.- 208 p.
 12. Prokhorova M.I. Methods of biochemical research.- Leningrad, 1982.- 271 p.
 13. Tereshchenko L.O., Vasilieva A.G., Stepanov G.F., Kostina A.A., Dubna Y.S. Na⁺/K⁺-ATPase activity and adenyl nucleotides content in the body of rats under the conditions of combined action of ionizing radiation and physical exertion// The XXXVI International Scientific and Practical Conference «The main prospects for the development of science in modern life». September 13-16, 2022. Warsaw, Poland. P.190-195.Конец формы

*Вперше надійшла до редакції 18.10.2023 р.
Рекомендована до друку на засіданні
редакційної колегії після рецензування*