

УДК 616.12–008.1:576.31:528.811:616.441–002–089.87:611–092.9

[https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-12\(30\)-1051-1060](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-12(30)-1051-1060)

Рутгайзер Вікторія Георгіївна PhD, доцент кафедри анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії, Дніпровський державний медичний університет, вул. В.Вернадського, 9, м. Дніпро, 49044, тел.: (056) 766-48-48, <https://orcid.org/0000-0001-7868-8253>

Абдул-Огли Лариса Володимирівна доктор медичних наук, професор, кафедра анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії, Дніпровський державний медичний університет, вул. В.Вернадського, 9, м. Дніпро, 49044, тел.: (056) 766-48-48, <https://orcid.org/0000-0002-6942-2397>

Квятковська Тетяна Олександрівна доктор медичних наук, професор, кафедра анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії, Дніпровський державний медичний університет, вул. В.Вернадського, 9, м. Дніпро, 49044, тел.: (056) 766-48-48, <https://orcid.org/0000-0001-8206-6203>

Придиус Ірина Олександрівна викладач кафедри анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії, Дніпровський державний медичний університет, вул. В.Вернадського, 9, м. Дніпро, 49044, тел.: (056) 766-48-48, <https://orcid.org/0000-0002-4730-3733>

Сіразетдінова Гюльсун Гайнетдинівна викладач, Європейський медичний університет, вул. академіка Дзяка Георгія 17, м. Дніпро, 49044, тел.: (068) 640-38-34, <https://orcid.org/0000-0002-2142-4959>

Родіонов Валентин Костянтинович, асистент, Європейський медичний університет, вул. академіка Дзяка Георгія 17, м. Дніпро, 49044, тел.: (068) 640-38-34, <https://orcid.org/0000-0003-4825-2517>

Власова Карина Русланівна викладач, Європейський медичний університет, вул. академіка Дзяка Георгія 17, м. Дніпро, 49044, тел.: (068) 640-38-34, <https://orcid.org/0000-0003-2430-4589>

Чобіток Лілія Олександрівна викладач, Європейський медичний університет, вул. академіка Дзяка Георгія 17, м. Дніпро, 49044, тел.: (068) 640-38-34, <https://orcid.org/0000-0002-4071-7431>

Широков Олександр Васильович кандидат медичних наук, Європейський медичний університет, вул. академіка Дзяка Георгія 17, м. Дніпро, 49044, тел.: (068) 640-38-34, <https://orcid.org/0000-0002-8029-9924>

Мархонь Наталія Олександрівна кандидат медичних наук, викладач, Європейський медичний університет, вул. академіка Дзяка Георгія 17, м. Дніпро, 49044, тел.: (068) 640-38-34, <https://orcid.org/0000-0002-2142-4959>

ВПЛИВИ НА МІОКАРД РІЗНИХ ТЕРМІНІВ ЕКСПОЗИЦІЇ НАДВИСОКОЧАСТОТНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Анотація. Актуальність та важливість розроблення в Україні заходів, які забезпечують адаптацію серцево-судинної системи в умовах дії електромагнітного випромінювання зростає в умовах воєнного стану та терористичної загрози. До сучасного періоду питання щодо характеристик електромагнітного випромінювання, використання різних варіантів його експозиції та морфологічних змін під цими впливами на рівні міокарда залишаються не остаточно дослідженими. Метою дослідження є спостереження за морфологічними змінами міокарда та його структурних елементів після впливів різних термінів експозиції надвисокочастотного електромагнітного випромінювання. Об'єктом дослідження були серця лабораторних статевозрілих щурів. В ході експерименту досліджувався міокард щурів під впливом надвисоких частот електромагнітного випромінювання різного терміну дії - 45 та 120 хвилин. Для визначення змін у структурних компонентах міокарду використовували морфометричні та гістологічні дослідження, які дозволили на органному та тканинному рівнях кількісно оцінювати процеси морфологічних перетворень. Міокард експериментальних тварин після опромінення експозицією 45 та 120 хвилин зазнав різних змін у досліджених експериментальних групах. Короткочасна експозиція 45 хвилин надвисоких частот електромагнітного випромінювання не призвела до істотних змін у міокарді експериментальних тварин, але були помічені процеси покращення кровопостачання на мікроциркуляторному рівні. Інших процесів зазнав міокард щурів після довготривалого впливу надвисоких частот електромагнітного випромінювання з експозицією 120 хвилин: спостерігалися декомпенсуючі та дегенеративні процеси. Під час експериментального дослідження за умов впливу на міокард щурів різних термінів надвисокочастотного електромагнітного випромінювання ми спостерігали позитивний вплив короткострокової 45-хвилинної експозиції у вигляді помірного потовщення міокарду обох шлуночків за рахунок покращення кровопостачання на мікроциркуляторному рівні як стимульного ефекту до активації адаптивно-пристосувальних механізмів; вплив довготривалої експозиції НВЧ-випромінювання показав негативний результат у вигляді пригнічення компенсаторних механізмів, погіршення кровопостачання на мікроциркуляторному рівні та відповідним набряком інтерстиціальних просторів, зменшенням кількості анастомотичних з'єднань між м'язовими волокнами та їх розволокненням.

Ключові слова: серце, міокард, кардіоміоцити, опромінення, НВЧ - електромагнітне випромінювання.

Rutgeiser Viktoriya Georgiivna PhD, associate professor of the Department of Human Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery, Dnipro State Medical University, V. Vernadskyi St., 9, Dnipro, 49044, tel.: (056) 766-48-48, <https://orcid.org/0000-0001-7868-8253>

Abdul-Ogly Larisa Volodymyrivna Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Human Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery, Dnipro State Medical University, V. Vernadskyi St., 9, Dnipro, 49044, tel.: (056) 766-48-48, <https://orcid.org/0000-0002-6942-2397>

Kvyatkovska Tetyana Oleksandrivna Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Human Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery, Dnipro State Medical University, V. Vernadskyi St., 9, Dnipro, 49044, tel.: (056) 766-48-48, <https://orcid.org/0000-0001-8206-6203>

Prydyus Iryna Oleksandrivna Teacher of the Department of Human Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery, Dnipro State Medical University, V. Vernadskyi St., 9, Dnipro, 49044, tel.: (056) 766-48-48, <https://orcid.org/0000-0002-4730-3733>

Sirazetdinova Gyulsun Gaynetdynovna Teacher, European Medical University, Academician Dzyak Giorhiy St., 17, Dnipro, 49044, tel.: (068) 640-38-34, <https://orcid.org/0000-0002-2142-4959>

Rodionov Valentin Kostiantynovich Assistant professor, European Medical University, Academician Dzyak Giorhiy St., 17, Dnipro, 49044, tel.: (068) 640-38-34, <https://orcid.org/0000-0003-4825-2517>

Vlasova Karina Ruslanivna Teacher, European Medical University, Academician Dzyak Giorhiy St., 17, Dnipro, 49044, tel.: (068) 640-38-34, <https://orcid.org/0000-0003-2430-4589>

Chobitok Lilia Oleksandrivna Teacher, European Medical University, Academician Dzyak Giorhiy St., 17, Dnipro, 49044, tel.: (068) 640-38-34, <https://orcid.org/0000-0002-4071-7431>

Shirokov Oleksandr Vasylovich Candidate of Medical Sciences, European Medical University, Academician Dzyak Giorhiy St., 17, Dnipro, 49044, tel.: (068) 640-38-34, <https://orcid.org/0000-0002-8029-9924>

Markhon Nataliya Oleksandrivna Candidate of medical sciences, lecturer, European Medical University, Academician Dzyak Giorhiy St., 17, Dnipro, 49044, tel.: (068) 640-38-34, <https://orcid.org/0000-0002-2142-4959>

EFFECTS ON THE MYOCARDIUM OF DIFFERENT TERMS OF EXPOSURE TO HIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION

Abstract. The relevance and importance of the development of measures in Ukraine that ensure the adaptation of the cardiovascular system in the conditions of electromagnetic radiation is increasing in the conditions of martial law and terrorist threats. Until the modern period, questions regarding the characteristics of electromagnetic radiation, the use of various options for its exposure, and morphological changes under these influences at the level of the myocardium remain incompletely investigated. The purpose of the study is to observe the morphological changes of the myocardium and its structural elements after the effects of different periods of exposure to ultra-high-frequency electromagnetic radiation. The object of the study was the hearts of sexually mature laboratory rats. In the course of the experiment, the myocardium of rats was studied under the influence of ultra-high frequencies of electromagnetic radiation of different durations - 45 and 120 minutes. To determine the changes in the structural components of the myocardium, morphometric and histological studies were used, which made it possible to quantitatively evaluate the processes of morphological transformations at the organ and tissue levels. The myocardium of experimental animals after exposure for 45 and 120 minutes underwent different changes in the investigated experimental groups. Short-term exposure of 45 minutes to ultra-high frequencies of electromagnetic radiation did not lead to significant changes in the myocardium of experimental animals, but the processes of improving blood supply at the microcirculatory level were observed. The myocardium of rats underwent other processes after long-term exposure to ultrahigh frequencies of electromagnetic radiation with an exposure of 120 minutes: decompensatory and degenerative processes were observed. During an experimental study under the conditions of exposure to the myocardium of rats of various terms of ultra-high-frequency electromagnetic radiation, we observed a positive effect of a short-term 45-minute exposure in the form of a moderate thickening of the myocardium of both ventricles due to the improvement of blood supply at the microcirculatory level as a stimulating effect to the activation of adaptive-adaptive mechanisms; the effect of long-term exposure to microwave radiation showed a negative result in the form of suppression of compensatory mechanisms, deterioration of blood supply at the microcirculatory level and corresponding swelling of interstitial spaces, a decrease in the number of anastomotic connections between muscle fibers and their defibrillation.

Keywords: heart, myocardium, cardiomyocytes, irradiation, microwave - electromagnetic radiation.

Постановка проблеми. Сучасна реальність із зростаючим темпом життя неодмінно пов'язана із використанням надмірної кількості технічних приладів, які є джерелом електромагнітного випромінювання: пристроїв офісного та побутового призначення, засобів зв'язку, смарт-телебачення із використанням роутерів та супутникових телевізійних антен, засобів радіоелектронної боротьби для захисту від терористичних загроз під час воєнного стану [1, 2, 3]. Літературні дані свідчать про наслідки впливу спектру надвисокочастотного (НВЧ) електромагнітного випромінювання на тканини, органи, системи органів та організм в цілому. Дані впливи в першу чергу відчутні у вигляді реакцій найбільш мінливих серцево-судинної, нервової та ендокринної систем [4, 5]. Серцево-судинна система одна з перших підпадає під впливи електромагнітного випромінювання, потребуючи розробки заходів, які зможуть забезпечити для неї профілактику, захист та адаптацію [6]. Важливими моментами при вивченні даного питання залишаються характеристики електромагнітного випромінювання та можливість використання різних варіантів його експозиції [7].

Використання індукованих експериментальних моделей дає можливість проаналізувати морфологічні зміни серця після впливу електромагнітного випромінювання [8, 9]. Визначення термінів опромінення, причин та механізму утворення порушень у будові стінки серця та її структурних компонентів допоможе визначити в перспективі можливі коригуючі заходи при впливі електромагнітного випромінювання [10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даних попередніх досліджень необхідним та сучасним напрямком морфологічних експериментальних досліджень є виявлення спектру змін структурних компонентів стінки серця за умов електромагнітного опромінення, прогнозування серцево-судинних патологічних станів та можливий коригуючий вплив електромагнітного випромінювання з різним терміном експозиції.

Мета статті - встановити макро- та мікроскопічні зміни у міокарді серця експериментальних тварин під впливом надвисокочастотного електромагнітного випромінювання. Дослідити морфологічні зміни міокарда щурів при різних термінах впливу електромагнітного випромінювання.

Об'єкт і методи дослідження. Об'єктом дослідження стали серця лабораторних статевозрілих щурів, масою 180 - 200 г віком 4-6 місяців. У дослідженні були задіяні 63 тварини, розподілені на контрольну та дві експериментальні групи (після дії НВЧ-випромінювання 45 хв.; після дії НВЧ-випромінювання 120 хв.).

Вплив електромагнітного випромінювання вивчали після опромінення генератором сигналів височастотним - Г4 - 83 (7,5 - 10,5 ГГц) з частотою 10 ГГц, з довжиною хвилі 3 см, експозицією 45 та 120 хвилин, щоденно протягом 10 днів на все тіло загальному рупором пірамідальним – тип П 6 - 23А з щільністю потоку потужності $1,1 \cdot 10^{-3}$ Вт/м². Цей експеримент проводився на кафедрі прикладної і комп'ютерної радіофізики Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара, згідно з укладеним договором про науково-творче співробітництво.

Виведення тварин з експерименту проводилося на 11 добу з дотриманням вимог гуманного ставлення до піддослідних тварин.

Препарування використовувалося після посмертної торакотомії, вивчення топографії серця та виділення сердець щурів з грудної порожнини. Було зроблено вимірювання і зняття вагових показників сердець щурів.

В процесі роботи були використані: експериментальне моделювання, морфометричний та гістологічний методи дослідження, статистична обробка матеріалів дослідження з використанням методів біостатистики, реалізованих у програмі STATISTICA v.6.1 (Statsoft Inc., США) (ліцензійний № AGAR909E415822FA) та програми Microsoft Excel (Microsoft Office 2016 Professional Plus, Open License 67528927).

Експериментальні дослідження були проведені з дотриманням вимог гуманного ставлення до піддослідних тварин, регламентованих Законом України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (№ 3447-IV від 21.02.2006 р.) та Європейською конвенцією про захист хребетних тварин, які використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 18.03.1986 р.).

Дослідження проведені в рамках наукової теми кафедри клінічної анатомії, анатомії та оперативної хірургії ДЗ ДМА «Морфофункціональний стан органів і тканин експериментальних тварин та людини в онтогенезі в нормі та під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників», № державної реєстрації 0117U003181.

Виклад основного матеріалу.

Результати досліджень та їх обговорення. В ході експериментального дослідження безпосередня увага була прикута до параметрів товщини серцевої стінки камер серця, а саме правого й лівого шлуночків. Дослідження та наступний аналіз стосувався вимірів товщини серцевої стінки на трьох рівнях поперечного розрізу шлуночків – на рівні основи, середньої третини та нижньої третини. В нашому дослідженні були призведені вимірювання товщини стінок лівого шлуночка (передньої, бічної та задньої стінок) та правого шлуночка (передня та задня стінки). Ці морфометричні показники були досліджені у трьох групах щурів, що взяли участь у експерименті: у контрольній групі, у групі після короткочасного впливу 45-хвилинної

експозиції НВЧ електромагнітного випромінювання та у групі після довготривалого 120-хвилинного опромінення.

На всіх рівнях поперечного розрізу як правого так і лівого шлуночків після впливу надвисоких частот електромагнітного випромінювання з різним терміном експозиції в експериментальних групах відзначалися зміни. Найбільш показними та інформативними були результати вимірювань товщини стінок шлуночків експериментальних щурів на рівні середньої третини правого та лівого шлуночків. Товщина передньої стінки правого шлуночка після впливу надвисоких частот електромагнітного випромінювання з терміном тривалості 45 хвилин на середньому рівні поперечного розрізу дорівнювала $0,94 \pm 0,05$ мм, задньої стінки - $1,32 \pm 0,04$ мм; після впливу терміну експозиції 120 хвилин товщина передньої стінки правого шлуночка на середньому рівні поперечного розрізу дорівнювала $0,96 \pm 0,05$ мм, а задньої стінки відповідно $1,34 \pm 0,05$ мм.

Таблиця 1

Товщина стінок шлуночків серця при поперечному розрізі на рівні середньої третини після впливу НВЧ електромагнітного випромінювання ($M \pm m$), мм

Стінки шлуночків	Контрольна група (21)	Опромінення 45 хв. (21)	Опромінення 120 хв. (21)
Правий шлуночок, передня стінка	$0,93 \pm 0,04$	$0,94 \pm 0,05$	$0,96 \pm 0,05$
Правий шлуночок, задня стінка	$1,32 \pm 0,03$	$1,32 \pm 0,04$	$1,34 \pm 0,05$
Лівий шлуночок, передня стінка	$2,82 \pm 0,05$	$2,82 \pm 0,05$	$2,84 \pm 0,07$
Лівий шлуночок, бічна стінка	$2,33 \pm 0,05$	$2,34 \pm 0,05$	$2,35 \pm 0,07$
Лівий шлуночок, задня стінка	$2,82 \pm 0,12$	$2,83 \pm 0,12$	$2,84 \pm 0,12$

Примітки: відмінності були достовірні у порівнянні з контрольною групою при $p \leq 0,05$.

Аналіз змін морфометричних показників на рівні органу, тобто серця, показав, що товщина стінок правого та лівого шлуночків при короточасному 45-хвилинному впливі НВЧ електромагнітного випромінювання змінюється незначно, майже непомітно, що свідчить про відсутність негативного впливу даного терміну опромінення. Довготривале 120-хвилинне опромінення призводить до значного збільшення товщини стінок обох шлуночків: $0,96 \pm 0,05$ мм передньої та $1,34 \pm 0,05$ мм задньої стінки правого шлуночка; $2,84 \pm$

0,07мм передньої, $2,35 \pm 0,07$ мм бічної, $2,84 \pm 0,12$ мм задньої стінки лівого шлуночка. Ці зміни при тривалому 120-хвилинному опроміненні є ознакою гіпертрофічних або набрякових процесів у міокарді, підтверджуючи негативний вплив випромінювання даного терміну.

При морфологічному дослідженні на мікроскопічному рівні за умов впливу надвисоких частот електромагнітного випромінювання з короткостроковою експозицією 45 хвилин спостерігали збереження структурної організації міокарду як середнього шару у складі стінки серця з чітким розподіленням м'язових волокон у всіх трьох шарах та збереженням їх пошарової орієнтації, а саме: косо-подовжньої – циркулярної – подовжньої (як й у тварин контрольної групи). Важливою тенденцією з боку міокарду було покращення кровопостачання на рівні мікроциркуляторного русла, яке трактувалося як стимулюючий та компенсаторний вплив даного терміну опромінення (рис. 1).

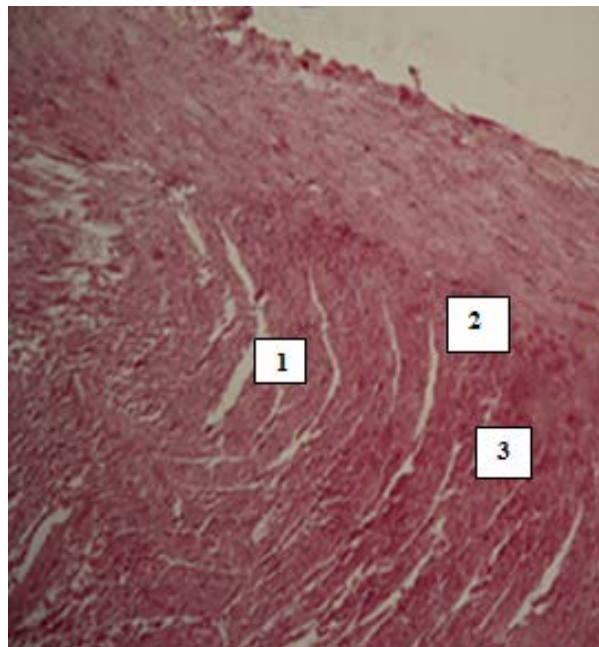


Рис. 1 - Міокард лівого шлуночка серця щура після 45 хвилин НВЧ – випромінювання. Забарвлення: гематоксилін - еозин. Збільшення: $\times 40$. Позначення: 1 – інтерстиціальний простір; 2 – м'язове волокно; 3 – міжм'язовий анастомоз.

Спостереження за довгостроковим впливом НВЧ – випромінювання виявило нечіткість тришарового розподілу волокон міокарду на гістологічному рівні. Було помічено зниження кількості анастомотичних з'єднань між м'язовими волокнами та збільшення розмірів інтерстиціальних просторів внаслідок набряку як результату негативно-декомпенсаторної дії надвисокочастотного електромагнітного опромінення з експозицією 120 хвилин (рис. 2).

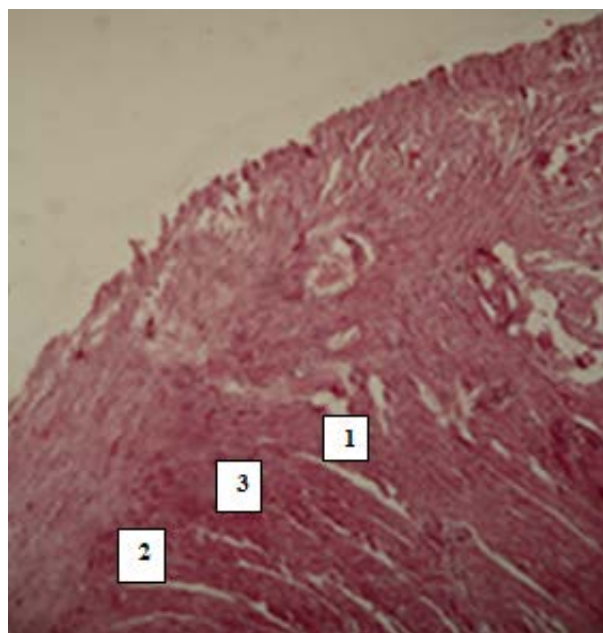


Рис. 2 - Міокард лівого шлуночка серця щура після 120 хвилин НВЧ – випромінювання. Забарвлення: гематоксилін - еозин. Збільшення: $\times 40$. Позначення: 1 – інтерстиціальний простір; 2 – м'язове волокно; 3 – міжм'язовий анастомоз.

Висновки. Під час експериментального дослідження за умов впливу на міокард щурів різних термінів надвисокочастотного електромагнітного випромінювання ми спостерігали позитивний вплив короткострокової 45-хвилинної експозиції у вигляді помірного потовщення міокарду обох шлуночків за рахунок покращення кровопостачання на мікроциркуляторному рівні як стимульного ефекту до активації адаптивно-приспосувальних механізмів; вплив довготривалої експозиції НВЧ-випромінювання показав негативний результат у вигляді пригнічення компенсаторних механізмів, погіршення кровопостачання на мікроциркуляторному рівні та відповідним набряком інтерстиціальних просторів, зменшенням кількості анастомотичних з'єднань між м'язовими волокнами та їх розволокненням.

Література:

1. Вовк ЮМ, Вовк ОЮ. Індивідуальна анатомічна мінливість та її клініко-морфологічне значення. Харків: ПП "Стиль-іздат"; 2019. 187 с.
2. Григорєва ОА, Чернявський АВ, Особливості вмісту волокон сполучної тканини у міокарді шлуночків щурів в нормі та після внутрішньоплодного введення анатоксину. Вісник проблем біології і медицини. 2018; 4(147):262-264.
3. Kiray A, Tayefi H, Kiray M, Bagriyanik HA, Pekcetin C, Ergur BU, Ozogul C. The effects of exposure to electromagnetic field on rat myocardium. Toxicology and Industrial Health. 2013; 29(5):418–25.
4. Шаторна ВФ, Нефьодова ОО, Гарець ВІ. Експериментальне визначення спільного впливу ацетату срібла та цитрату срібла на кардіогенез у щурів. Актуальні проблеми сучасної медицини. 2016; 4(56):294-298.

5. Jarup L, Akesson A. Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2018;238(3):201-8.
6. Zhi WJ, Wang LF, Hu XJ. Recent advances in the effects of microwave radiation on brains. *Military Medical Research*. 2017;4:29.
7. Ekici B, Tanındı A, Ekici G, Diker E. The effects of the duration of mobile phone use on heart rate variability parameters in healthy subjects. *The Anatolian Journal of Cardiology*. 2016;16(11):833-8.
8. Ling Zh, Baoquan W, Xingfa L, Yemao Zh, Jinsheng L, Guoran R, Mengying H, Chen Ch, Dao WW. The effects of a 50-Hz magnetic field on the cardiovascular system in rats. *Journal of Radiation Research*. 2016; 57(6):627–63.
9. Dayan L, Xinping X, Yabing G, Juan W, Yue Y, Binwei Y, Li Zh, Haoyu W, Hui W, Ji D, Jing Zh, Ruiyun P. Hsp72-based effect and mechanism of microwave radiation-induced cardiac injury in rats. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2022; 2022:1-15.
10. Sohail M, Juie NR, Eun HC, Andlhn H. Microwave radiation and the brain: mechanisms, current status, and future prospects. *International Journal Molecular Sciences*. 2022; 23(16):1-26.

References:

1. Vovk Yu.M, Vovk OYU. Individual anatomical variability and its clinical and morphological significance. Kharkov: PP "Style-izdat". 2019; 187 p. [in Ukrainian].
2. Grigoreva OA, Chernyavskiy AV, Features of the content of connective tissue fibers in the myocardium of the ventricles of rats in normal conditions and after intrauterine administration of toxoid. *Herald of problems of biology and medicine*. 2018; 4(147):262-264. [in Ukrainian].
3. Kiray A, Tayefi H, Kiray M, Bagriyanik HA, Pekcetin C, Ergur BU, Ozogul C. The effects of exposure to electromagnetic field on rat myocardium. *Toxicology and Industrial Health*. 2013;29(5):418–25. [in English]
4. Shatorna VF, Nefodova OO, Harets VI. Experimental determination of the combined effect of silver acetate and silver citrate on cardiogenesis in rats. *Actual problems of modern medicine*. 2016;4(56):294-298. [in Ukrainian].
5. Jarup L, Akesson A. Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2018;238(3):201-8. [in English]
6. Zhi WJ, Wang LF, Hu XJ. Recent advances in the effects of microwave radiation on brains. *Military Medical Research*. 2017;4:29. [in English]
7. Ekici B, Tanındı A, Ekici G, Diker E. The effects of the duration of mobile phone use on heart rate variability parameters in healthy subjects. *The Anatolian Journal of Cardiology*. 2016;16(11):833-8. [in English]
8. Ling Zh, Baoquan W, Xingfa L, Yemao Zh, Jinsheng L, Guoran R, Mengying H, Chen Ch, Dao WW. The effects of a 50-Hz magnetic field on the cardiovascular system in rats. *Journal of Radiation Research*. 2016; 57(6):627–63. [in English]
9. Dayan L, Xinping X, Yabing G, Juan W, Yue Y, Binwei Y, Li Zh, Haoyu W, Hui W, Ji D, Jing Zh, Ruiyun P. Hsp72-based effect and mechanism of microwave radiation-induced cardiac injury in rats. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2022; 2022:1-15. [in English]
10. Sohail M, Juie NR, Eun HC, Andlhn H. Microwave radiation and the brain: mechanisms, current status, and future prospects. *International Journal Molecular Sciences*. 2022; 23(16):1-26. [in English]