

DOI 10.29254/2077-4214-2025-3-178-369-377

UDC 612.84:616-001.31-007.23 -092.9:534.222.2

Abdul-Ogly L. V., Oliynyk K. A., Kosharnyi V. V.

REGULARITIES OF CHANGES IN THE ULTRASTRUCTURAL ORGANIZATION OF CELLULAR COMPONENTS OF THE VISUAL ANALYZER IN EXPERIMENTAL CONDITIONS

Dnipro State Medical University (Dnipro, Ukraine)

abdul-ogly@ukr.net

In modern conditions in Ukraine, the consequences of blast waves and shock injuries are increasingly recorded, which have a significant impact on the human body as a whole. Special attention in the scientific literature is paid to the study of the organ of vision and its membranes in the norm, as well as the analysis of structural changes under the influence of external and internal pathogenic factors. An important place is also occupied by the study of the diencephalon sections, where the subcortical centers of the visual analyzer are located. The aim of this study was to clarify the changes in the ultrastructural organization of the components of the visual analyzer based on the experimental model of shock wave exposure, which reproduces the action of the pathogenic factor in the acute period. The results showed that after the action of the shock wave in the acute period, significant differences in tissue and cellular reactions occur. A pronounced reactivity of cells of the visual area of the thalamic, metathalamic and hypothalamic sections of the diencephalon was established. Special changes were noted in mitochondria: they changed shape and size, and also underwent destruction of cristae, which indicates deep disturbances of intracellular metabolism.

We also observed a pronounced reaction of neurons of the occipital cortex, in particular edema around the vesicles, thickening of their membranes and signs of demyelination of axons in the extracellular space. These changes may serve as a morphological basis for the development of various neurological symptoms and diseases associated with the impact of blast trauma. The obtained data confirm the importance of further study of structural and functional changes of the visual analyzer under conditions of traumatic injury and may become the basis for the development of new diagnostic and therapeutic approaches.

Key words: retina, explosive wave, neurotrauma, visual analyzer, thalamus, hypothalamus, occipital cortex, experiment.

Connection of the publication with planned research works.

The research was carried out within the framework of the scientific topic of the Department of Clinical Anatomy, Anatomy and Operative Surgery "Morphofunctional state of organs and tissues under the influence of external and internal factors", state registration number 0120U105219.

Introduction.

In recent years, the experimental direction of research has been the most relevant in morphology in order to study the dynamics of changes that occur in various nosologies after the influence of various endogenous and exogenous factors, and especially at the present time, when in Ukraine, the consequences of blast waves and shock trauma on the body as a whole are increasingly common [1, 2, 3]. The literature pays great attention to the organ of vision and its membranes in the norm and the processes of changing their structural organization under the influence of internal and external environmental factors, as well as separately to the departments of the diencephalon, where the subcortical centers of the visual analyzer are located [4, 5]. The sources highlight the issues of the consequences of the impact of the shock wave on various organs and systems [6]. In particular, the issue of possible stabilization at the ultracellular and tissue level of the consequences of the negative impact of the shock wave and eye trauma on the structural components of the subcortical and cortical ends of the visual analyzer remains unclear [7, 8]. Foreign sources cover the issues of eye trauma separately

ly to the membranes of the eyeball and more often to the retina [9]. Despite these works, the problem of the impact of the shock wave on the central and peripheral parts of the visual analyzer, as well as the possible correction of these changes, remains relevant. The organ of vision and the brain react to the explosion as a heterogeneous tissue, therefore, due to the equal impact of inertia, the blast wave causes a displacement on the interface between their structures [10]. However, the issue of stabilization of pathomorphological changes at the ultramicroscopic level in the visual areas of the visual analyzer after neurotrauma remains unclear. Taking into account the above, we believe that this study is relevant, both from the point of view of experimental morphology and from the point of view of practical ophthalmology and surgery.

The aim of the study.

Establishing changes in the ultrastructural organization of the components of the visual analyzer using an experimental model of shock wave exposure to generate a pathogenic factor in the acute period.

Object and research methods.

A total of 42 rats participated in the experiment, which were divided into control and experimental groups – in the acute period (n=21). During the work, as a result of the impact of the shock wave, no animal died. In our experiment, we investigated the impact of the shock wave using a second experimental model, but with additional features, in accordance with the received patent of Ukraine (Pat. 146858 Ukraine, MPK G09B23/28). When working with experimental animals,

we adhered to the principles of the International Code of Medical Ethics (1983) and the laws of Ukraine, the "General Ethical Principles of Experiments on Animals", which were approved by the First National Congress on Bioethics (Kyiv, 2001) in accordance with the provisions of the "European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes" (Strasbourg, 1987). The animals were removed from the experiment at the end of the experiment by administering a lethal dose of sodium thiopental.

For ultrastructural analysis of the occipital lobe, thalamus, and hypothalamus of the control and experimental groups, fragments were removed from the corresponding brain areas after euthanasia and subsequent craniotomy and the samples were fixed for 2 hours at + 2°C in a 2.5% solution of glutaraldehyde prepared in 0.1 M phosphate buffer (pH 7.3). The material was transferred for post-fixation in a 1% buffered (pH 7.4) solution of osmium tetroxide ("SPI", USA) for 1 hour. The samples were dehydrated using alcohols of increasing concentration and propylene oxide. For the manufacture of epoxy blocks, the composition of eponaraldite – Epon-812 ("SPI – Pon tm 812 Epoxy Embedding Kit", USA) was used. Ultrathin sections with a thickness of 60-80 nm were made using an ultramicrotome UMTF-6M ("SELM", Ukraine) and placed on supporting copper grids (Mesh Regular Grid 200). Double Reynolds contrast was performed with a 5% aqueous solution of uranyl acetate for 10 minutes at a temperature of +37°C, followed by impregnation with a solution of lead citrate according to the Reynolds method for 15 minutes. The study was performed using a transmission electron microscope ПЕМ-100-01 ("SELM", Ukraine) at an acceleration voltage of 70-75 kV and primary magnifications from 1500 to 20000 according to the standard scheme. All fields of view were examined and significant changes were photographed using a digital system SEO-SCAN image output topics. 2 hours before brain collection, rats in the experimental group were exposed to a shock wave.

Research results and their discussion.

Conducted studies of the visual area of the thalamus, metathalamus, hypothalamus of the diencephalon and occipital lobe of the cortex of rats using electron microscopy showed that the use of this method makes it possible to assess the restructuring of the ultrastructural components of the visual analyzer after shock wave exposure on the first day of the experiment, when the effects have an acute degree of manifestation. Special changes occurred in mitochondria, the so-called "cellular power plants". In rats in the control group, no damage was observed in the structure of the outer mitochondrial membrane, the mitochondria had a small size and a rounded shape with ordered cristae, i.e. membranes formed by folds of the inner membrane, which increase the surface of the inner membrane and a matrix that was uniform. In the occipital cortex, thalamus and hypothalamus of rats, the neuropil surrounding the bodies of neurons in the gray matter consisted of densely intertwined thin axons and dendrites and glial processes that contacted each other and formed synapses, i.e., places of transmission of nerve impulses between neurons. Endothelial cells did not show signs of activation. The thickness of the basement membrane of hemocapillaries was evenly distributed along its length and did not have significant differences in comparison with the hemocapillaries of

the occipital cortex and the hypothalamic, metathalamic and thalamic areas of the diencephalon in rats of the control group; it had clear contours. Also, ultrastructural study of cells of the visual area of the thalamus, metathalamus, and hypothalamus of rats in the control group showed the absence of edema, clear visualization of mitochondria with preserved structure, and well-visualized cristae and organelles that had no signs of damage: cellular architecture and membrane integrity were preserved, indicating the absence of oxidative stress and preservation of energy production (fig. 1).

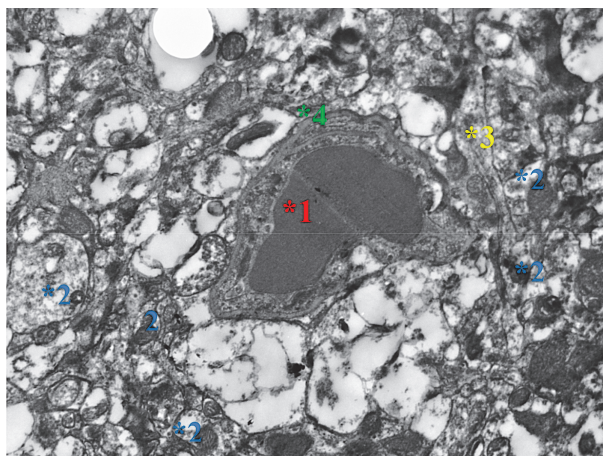


Figure 1 – Neuropil of the hypothalamic area of the brain of a rat of the control group. Electron micrograph. Scale bar = 500 nm. Designations: 1* – hemocapillary, 2* – mitochondria, 3* – microvesicular bodies, 4* – basement membrane.

During the study of the structures of the subcortical centers of the visual analyzer after the impact of a shock wave in rats of the experimental group, it was noted that the neurons of the subcortical region contained numerous mitochondria, which were damaged under overload conditions. In the change in the structure of mitochondria under the conditions of their compensatory hyperfunction after neurotrauma, homogenization, vacuolization and matrix leaching were observed. That is, mitochondria with signs of structural and functional overvoltage prevailed: small in size with areas of uneven sharp clarification of the matrix and disordered cristae with phenomena of their destruction with elements of crystallolysis. A small number of intermitochondrial contacts were found between such mitochondria, cracks and microruptures were observed in the outer membrane of some of them (fig. 2).

Thus, the experimental impact of a shock wave in rats in the acute period is accompanied by an increase in mitochondrial heteromorphism, crystallolysis of intermyofibrillar mitochondria, the appearance of organelles with a sharp swelling of the matrix. That is, the mitochondrial apparatus underwent acute reactive transformations in the form of polymorphic swollen mitochondria, mosaic structural disorders of cristae and the transformation of these organelles from a rounded to a giant shape.

Compared to the control group, significant changes were found on the electron micrographs of the occipital cortex of the experimental animals: perivascular, perineuronal edema and edema of neuronal organelles, especially mitochondria with partial destruction of cristae, as well as edema of the neuropil as a whole (fig. 3).

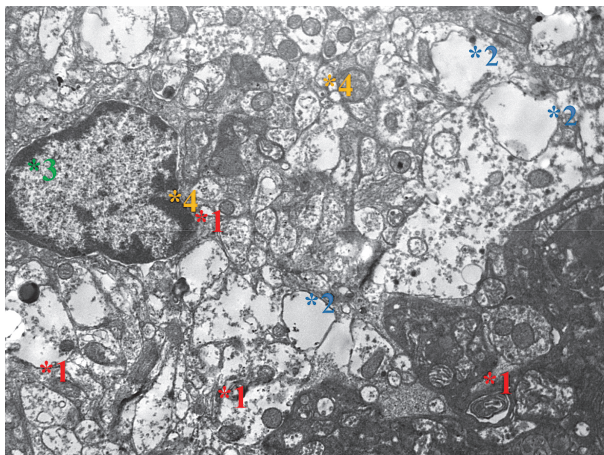


Figure 2 – Neuropil of the hypothalamic area of the rat brain of the experimental group. Electron micrograph. Scale bar = 500 nm. Designations: 1* – mitochondria, 2* – edema, 3* – astrocyte nucleus, 4* – microvesicular bodies.

Special changes occurred in endothelial cells of the subcortical and cortical centers of the visual analyzer after exposure to a shock wave in the acute period. The electron micrograph of the occipital cortex of rats of the experimental group showed signs of endothelial cell activation – the number of gaps increased, which led to increased permeability, the content of vesicles and vacuoles and the content of fluid were suspended, which led to the formation of edema, which was clearly visualized around the vessels. Thickening of vascular membranes due to edema was observed, and concentrations of myelinated axons were determined in the extracellular space, and an important feature of the reactive consequences of the injury was the delamination of myelin, i.e. demyelination – a fatty substance that surrounds and insulates nerve fibers and ensures rapid and efficient transmission of nerve impulses (fig. 4).

But in the hypothalamic, metathalamic area and thalamus in the neuropil, pericellular, i.e. around the cells, edema, the appearance of microvesicular corpuscles, thickening of axonal synaptic connections, a decrease in the number of synaptic vesicles, thickening of the post-synaptic membrane and an increase in the intersynaptic gap were observed. Ultrastructural changes in structural components also occurred at the level of hemocapillaries in the visual areas of the experimental group rats.

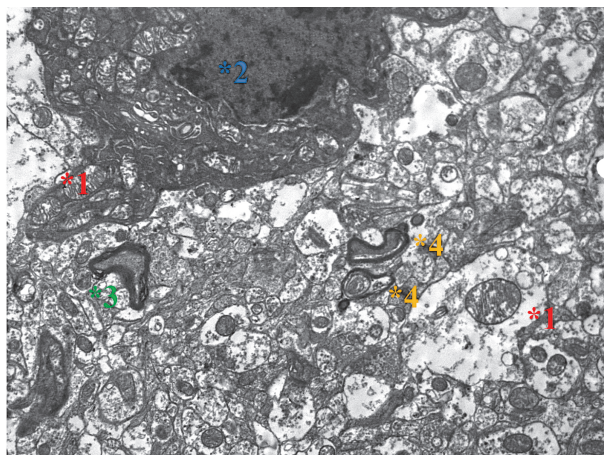


Figure 4 – Myelin delamination of the visual area of the occipital cortex of the experimental group rat. Electron micrograph. Scale bar = 500 nm. Designations: 1* – mitochondria, 2* – endotheliocyte nucleus, 3* – myelin delamination, 4* – myelin corpuscles.

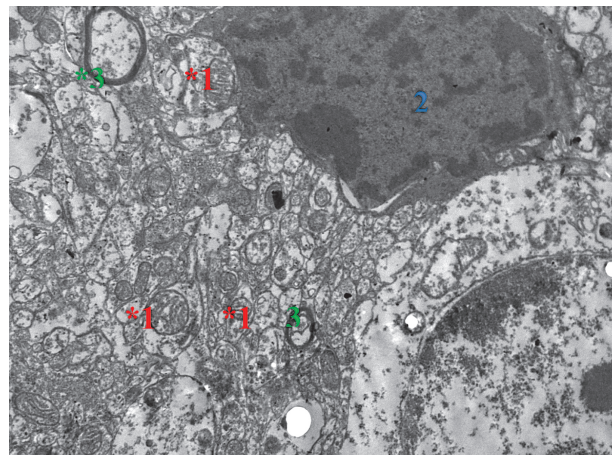


Figure 3 – Occipital cortex of the rat brain of the experimental group. Electron micrograph. Scale bar = 500 nm. Designations: 1* – mitochondria, 2* – neuron, 3* – myelin delamination.

An increase in the size of hemocapillaries was observed, in which the basement membrane was uneven throughout compared to the cortical vessels of the occipital lobe (fig. 5).

Thus, the ultrastructural changes detected after the shock wave in neurons and neuropil of the occipital cortex, thalamus, hypothalamus and metathalamus are characterized by reactive manifestations of damage: in the form of myelin delamination, damage to organelle membranes, their transformation, especially mitochondria with destruction of cristae and uneven matrix illumination, changes in the walls of hemocapillaries and swelling of the neuropil as a whole.

In our study to establish the patterns of changes in the ultrastructural organization of cellular components of the visual analyzer under experimental conditions, we examined the visual areas of the thalamus, metathalamus and hypothalamus of the diencephalon and the occipital lobe of the cortex of rats in the acute period. To achieve the goal and to further study the effects of shock-wave effects on the structures of the visual analyzer of its subcortical and cortical centers at the ultra-microscopic level and the possible restoration of structures in the post-traumatic period after the experiment, we used electron microscopic research. The use of this method made it possible to assess the restructuring of the ultrastructural components of the visual analyzer

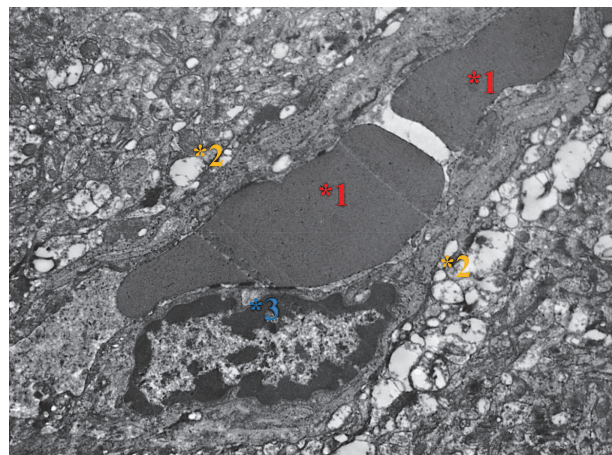


Figure 5 – Hemocapillaries of the hypothalamic area of rats of the experimental group. Electron micrograph. Scale bar = 500 nm. Designations: 1* – erythrocytes in the lumen of the capillary, 2* – endotheliocyte nucleus, 3* – basement membrane.

after shock-wave effects on the first day of the experiment, when the effects have an acute degree of manifestations, which we observed in neurons and neuropil of the subcortex and the cortical end of the visual analyzer – in the occipital lobe. During the study of the structures of the visual analyzer in rats of the experimental group, it was noted that after the impact of the shock wave, ultrastructural changes were observed with signs of overload of neurons and neuropil of the occipital cortex, thalamus, hypothalamus and metathalamus, which were characterized by reactive manifestations of damage in the form of myelin delamination, mitochondrial damage with destruction of cristae and uneven matrix lightening. Individual morphologists, histologists and pathomorphologists studied the effect of the blast wave on the structures of the visual analyzer in experimental studies, but this concerned more the organ of vision and in remote periods after the impact. Thus, the works assessed the effect of the primary blast wave on the initial neurons in the afferent visual system on photoreceptors and associated retinal cells and the visual tract of the brain. Histopathological results of the right and left retina and both visual tracts were assessed fourteen days after the explosion [11]. Other works were devoted to diseases of the visual analyzer departments, such as glaucoma. The authors presented in the work an analysis of changes in the functional state of the visual analyzer when using multipotent stem cells – neural crest derivatives in the treatment of glaucoma induced by adrenaline stress using visual evoked potentials on a flash [12].

It is these results of our study and the data of other scientists that make it possible to correct the damage to the structures of the visual analyzer, especially after

the impact of a shock wave, its consequences that arise at the level of the subcortical and cortical centers of the conductive path of the visual analyzer and after the evidence at the ultramicroscopic level make it possible to consider and further assist in the restoration of the structures of the visual sensory system in the post-traumatic period and influence the restorative processes and develop measures to reduce the level of disability in cases of damage of varying severity of these parts of the brain.

Conclusions.

1. Under the conditions of experimental shock wave exposure, significant differences in tissue and cellular reactions were determined in the acute period after neurotrauma.

2. The presence of a pronounced reactive reaction of cells of the visual area of the thalamic, metathalamic and hypothalamic sections of the diencephalon to the impact of the shock wave with a special reaction among organelles – mitochondria, which not only changed the size and shape, but also the structure of the cristae in which destruction occurred.

3. A pronounced reaction of neurons of the occipital cortex: visualization of edema around the vessels, thickening of their membranes, and in the extracellular space demyelination of axons, which is the cause of various neurological symptoms and diseases.

Prospects for further research.

In the future, it is necessary to identify and thoroughly investigate post-traumatic structural changes in the visual areas of the visual analyzer after the shock wave at different periods of time using immunohistochemical research methods.

DOI 10.29254/2077-4214-2025-3-178-369-377

УДК 612.84:616-001.31-007.23 -092.9:534.222.2

Абдул–Огли Л. В., Олійник К. А., Кошарний В. В.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІН УЛЬТРАСТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ КЛІТИННИХ КОМПОНЕНТІВ ЗОРОВОГО АНАЛІЗАТОРУ В УМОВАХ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Дніпровський державний медичний університет (м. Дніпро, Україна)

abdul-ogly@ukr.net

У сучасних умовах в Україні дедалі частіше фіксуються наслідки вибухових хвиль та ударних травм, що справляють суттєвий вплив на організм людини в цілому. Особливу увагу у науковій літературі приділяють дослідженню органу зору та його оболонок у нормі, а також аналізу структурних змін під дією зовнішніх і внутрішніх патогенних чинників. Важливе місце посідає й вивчення відділів проміжного мозку, де розташовані підкоркові центри зорового аналізатора. Метою даного дослідження було з'ясування змін ультраструктурної організації компонентів зорового аналізатора на основі експериментальної моделі ударно-хвильового впливу, що відтворює дію патогенного фактора у гострий період. Результати показали, що після дії ударної хвилі у гострий період виникають істотні відмінності в тканинно-клітинних реакціях. Встановлено виражену реактивність клітин зорової ділянки таламічного, метаталамічного та гіпоталамічного відділів проміжного мозку. Особливі зміни відзначено в мітохондріях: вони змінювали форму та розміри, а також зазнавали деструкції крист, що вказує на глибокі порушення внутрішньоклітинного метаболізму.

Також спостерігали виражену реакцію нейронів потиличної кори, зокрема набряк навколо судин, потовщення їх мембран та ознаки демієлінізації аксонів у позаклітинному просторі. Ці зміни можуть виступати морфологічним підґрунтям розвитку різноманітних неврологічних симптомів та захворювань, пов'язаних із впливом вибухової травми. Отримані дані підтверджують важливість подальшого вивчення структурних і функціональних змін зорового аналізатора за умов травматичного ураження та можуть стати підґрунтям для розробки нових діагностичних і терапевтичних підходів.

Ключові слова: сітківка, ударна хвиля, нейротравма, зоровий аналізатор, таламус, гіпоталамус, потилична кора, експеримент.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Дослідження проведені в рамках наукової теми кафедри клінічної анатомії, анатомії та оперативної хірургії «Морфофункціональний стан органів та тканин під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників», номер державної реєстрації 0120U105219.

Вступ.

Упродовж останніх років експериментальний напрямок дослідження є найбільш актуальним в морфології з метою вивчення динаміки змін, які відбуваються у різних нозологіях після впливу різних ендогенних та екзогенних чинників, а особливо у теперішній час, коли в Україні, все частіше зустрічаються наслідки вибухових хвиль та ударної травми на організм у цілому [1, 2, 3]. У літературі приділяється велике значення органу зору та його оболонкам у нормі та процесам зміни їх структурної організації за умов впливу чинників внутрішнього та зовнішнього середовища, а також окремо відділам проміжного мозку, де розташовані підкоркові центри зорового аналізатору [4, 5]. У джерелах висвітлюються питання наслідків впливу ударної хвилі на різні органи та системи [6]. Зокрема нез'ясованим лишається питання можливої стабілізації на ультраклітинному та тканинному рівні наслідків негативного впливу ударної хвилі та очної травми на структурні компоненти підкіркового та кіркового кінців зорового аналізатору [7, 8]. У зарубіжних джерелах висвітлюються питання очної травми окремо оболонок очного яблука і частіше сітківки [9]. Незважаючи на ці праці і надалі залишається актуальним проблема впливу ударної хвилі на центральний та периферичний відділи зорового аналізатора, а також можливої корекції цих змін. Орган зору та головний мозок реагує на вибух як неоднорідна тканина, тому внаслідок рівного впливу інерції, вибухова хвиля спричиняє зміщення на поверхні розділу між їх структурами [10]. Але, нез'ясованим лишається питання стабілізації патоморфологічних змін на ультрамікроскопічному рівні в зорових ділянках зорового аналізатору після нейротравми. Враховуючи вищезазначене, вважаємо, що дане дослідження є актуальним, як з точки зору експериментальної морфології, так і з точки зору практичної офтальмології і хірургії.

Мета дослідження.

Встановлення змін ультраструктурної організації компонентів зорового аналізатору за допомогою експериментальної моделі ударно хвильового впливу для генерації патогенного фактору в гострий період.

Об'єкт і методи дослідження.

Всього в експерименті брало участь 42 щура, які були розподілені на контрольну та експериментальну групу – у гострий період (n=21). За час проведення роботи, внаслідок впливу ударної хвилі, ні одна тварина не загинула. В нашому експерименті ми дослідили вплив ударної хвилі за допомогою другої експериментальної моделі, але з доповненими особливостями, відповідно отриманому патенту України (Пат. 146858 Україна, МПК G09B23/28). Під час роботи з експериментальними тваринами дотримувалися принципів Міжнародного кодексу медичної етики (1983 р.) та законам України, «Загальним етичним принципам експериментів над тваринами», які затверджені І Національним конгресом з біоетики

(Київ, 2001р.) згідно з положенням «Європейської конвенції із захисту хребетних тварин, які використовуються в експериментальних та інших наукових цілях» (Страсбург, 1987). Виведення тварин з експерименту по його закінченню проводили введенням летальної дози тіопенталу натрію.

Для ультраструктурного аналізу потиличної долі кори, таламуса, гіпоталамуса контрольної та експериментальної групи після евтаназії та подальшої краніотомії вилучали з відповідних ділянок головного мозку фрагменти та фіксували зразки протягом 2 годин фіксували при + 2°C в 2,5% – ному розчині глютарового альдегіду, виготовленому на 0,1 М фосфатному буфері (pH 7,3). Матеріал переносили для постфіксації в 1% – ний забуферений (pH 7,4) розчин тетроксиду осмію ("SPI", США) на 1 годину. Зневоднювали зразки за допомогою спиртів висхідної зростаючої концентрації та пропілен оксиду. Для виготовлення епоксидних блоків використовували композицію епонаралдіт – Епон-812 («SPI – Pon tm 812 Epoxy Embedding Kit», США). Ультратонкі зрізи завтовшки 60 – 80 нм виготовляли за допомогою ультрамікромому УМТП – 6М ("SELM", Україна) та розміщували на опорних мідних сіточках (Mesh Regular Grid 200). Подвійне контрастування за Рейнольдсом проводили 5% - вим водним розчином уранілу ацетату протягом 10 хвилин при температурі + 37 градусів з наступною імпрегнацією розчином цитрату свинцю по методу Рейнольдса протягом 15 хвилин. Дослідження проводили за допомогою трансмісійного електронного мікроскопа ПЕМ-100-01 ("SELM", Україна) при напрузі прискорення 70-75 кВ і первинних збільшеннях від 1500 до 20000 за стандартною схемою. Досліджено усі поля зору та проведено фотофіксацію значущих змін за допомогою цифрової системи виводу зображень SEO – SCAN. За 2 години до забору головного мозку, щурів експериментальної групи піддавали впливу ударної хвилі.

Результат дослідження та їх обговорення.

Проведені дослідження зорової ділянки таламуса, мета таламуса, гіпоталамуса проміжного мозку та потиличної долі кори щурів із використанням електронної мікроскопії, показали, що застосування цього методу дає змогу оцінити перебудову ультраструктурних компонентів зорового аналізатору після ударно - хвильового впливу на першу добу експерименту, коли наслідки мають гостру ступінь проявів. Особливі зміни відбувалися у мітохондріях, так названих «клітинних електростанціях». У щурів контрольної групи у структурі зовнішньої мітохондріальної мембрани пошкоджень не спостерігалось, мітохондрії мали великий розмір та округлу форму з упорядкованими кристами, тобто перетинками, які сформовані складками внутрішньої мембрани, що збільшують поверхню внутрішньої мембрани і матрикс, який був рівномірним. В потиличній корі, таламусі та гіпоталамусі щурів нейропіль, який оточує тіла нейронів в сірій речовині, складався з густо переплетених тонких аксонів та дендритів та гліальних відростків, які між собою контактували та утворювали синапси, тобто місця передачі нервових імпульсів між нейронами. Клітини ендотелію не мали ознаки активації. Товщина базальної мембрани гемокапілярів була рівномірно розподілена упродовж своєї довжини та не мала суттєвих відмінностей у порівнянні між собою гемо-

капілярів потилочної кори та гіпоталамічної, метаталамічної і таламічної ділянки проміжного мозку у щурів контрольної групи, вона мала чіткі контури. Також, ультраструктурне дослідження клітин зорової ділянки таламуса, метаталамуса та гіпоталамуса щурів контрольної групи показало відсутність набряку, чітку візуалізацію мітохондрій зі збереженням структури та добре візуалізовані кристи і органели, які не мали ознак ураження: клітинна архітектура, цілісність мембран була збережена, що свідчило про відсутність оксидативного стресу та збереження продукції енергії (рис. 1).

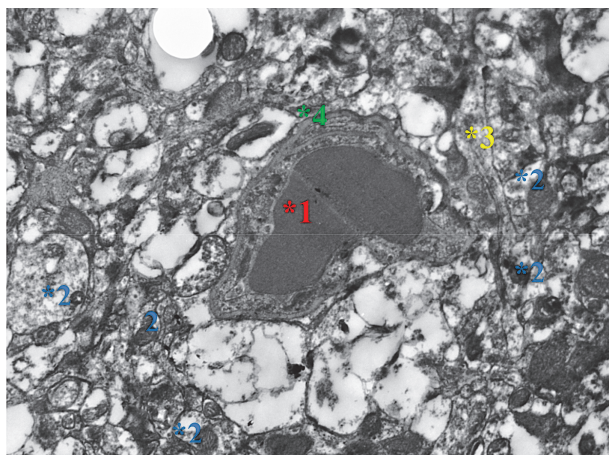


Рисунок 1 – Нейропіль гіпоталамічної ділянки головного мозку щура контрольної групи. Електронна мікрофотографія. Масштабна лінійка = 500 нм. Позначення: 1* - гемокapіляр, 2* - мітохондрії, 3* - мікроезівкулярні тільця, 4* - базальна мембрана.

Під час дослідження структур підкіркових центрів зорового аналізатору після впливу ударної хвилі у щурів експериментальної групи було відзначено, що нейрони підкірки містили численні мітохондрії, які були пошкоджені в умовах перевантаження. В зміні структури мітохондрій в умовах їх компенсаторної гіперфункції після нейротравми спостерігалась - гомогенізація, вакуолізація та вимивання матриксу. Тобто переважали мітохондрії з ознаками структурно-функціональної перенапруги: невеликого розміру з ділянками нерівномірного різкого просвітлення матриксу і неупорядкованими кристами з явищами їх руйнуван-

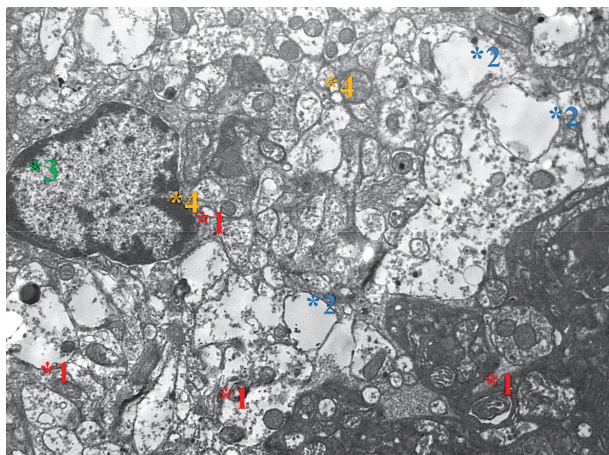


Рисунок 2 – Нейропіль гіпоталамічної ділянки головного мозку щура експериментальної групи. Електронна мікрофотографія. Масштабна лінійка = 500 нм. Позначення: 1* - мітохондрії, 2* - набряк, 3* - ядро астроциту, 4* - мікроезівкулярні тільця.

ня з елементами кристалізації. Між такими мітохондріями виявилася незначна кількість міжмітохондріальних контактів, в зовнішній мембрані деяких з них спостерігалися тріщини й мікророзриви (рис. 2).

Отже, експериментальний вплив ударної хвилі у щурів у гострий період супроводжується посиленням гетероморфії мітохондрій, кристалізацією міжміофібрилярних мітохондрій, появою органел із різким набряком матриксу. Тобто мітохондріальних апарат зазнавав гострих реактивних перетворень у вигляді поліморфних набряклих мітохондрій, мозаїчних структурних порушень крист та трансформації цих органел з округлою до гігантською форми.

В порівнянні з контрольною групою, на електронограмах головного мозку потилочної кори експериментальних тварин виявили значні зміни: периваскулярний, перинейрональний набряк та набряк органел нейронів, особливо мітохондрій з частковою деструкцією крист, а також набряк нейропілю в цілому (рис. 3).

Особливі зміни відбувались у клітинах ендотелію підкоркових та кіркових центрів зорового аналізатору після впливу ударної хвилі у гострий період. На електронограмі потилочної кори щурів експериментальної групи мали прояви активації клітини ендотелію – зростало кількість проміжків, що вело до підвищення проникності, підвищувався вміст везикул та вакуолей та вміст рідини, чому і формувалася набряк, який чітко візуалізувався навколо судин. Спостерігалось потовщення мембран судин через набряк, а в позаклітинному просторі визначались концентрації мієлінізованих аксонів та важливою особливістю реактивних наслідків травми було розшарування мієліну, тобто демієлінізації – жироподібної речовини, яка оточує та ізолює нервові волокна та забезпечує швидку та ефективну передачу нервових імпульсів (рис. 4).

Але у гіпоталамічній, метаталамічній ділянці та таламусі у нейропілі спостерігався перичелюлярний, тобто навколо клітин, набряк, поява мікроезівкулярних тілець, потовщення аксональних синаптичних з'єднань, зменшення кількості синаптичних пухирців, потовщення постсинаптичної мембрани та збільшення міжсинаптичної щілини. Ультраструктурні зміни структурних компонентів відбувались і на рівні ге-

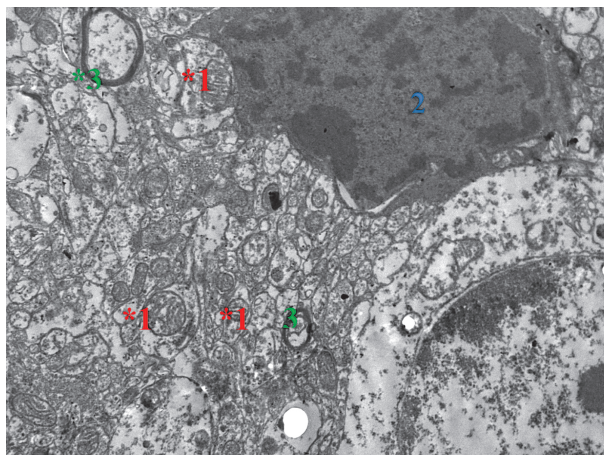


Рисунок 3 – Потилочна кора головного мозку щура експериментальної групи. Електронна мікрофотографія. Масштабна лінійка = 500 нм. Позначення: 1* - мітохондрії, 2* - нейрон, 3* - розшарування мієліну.

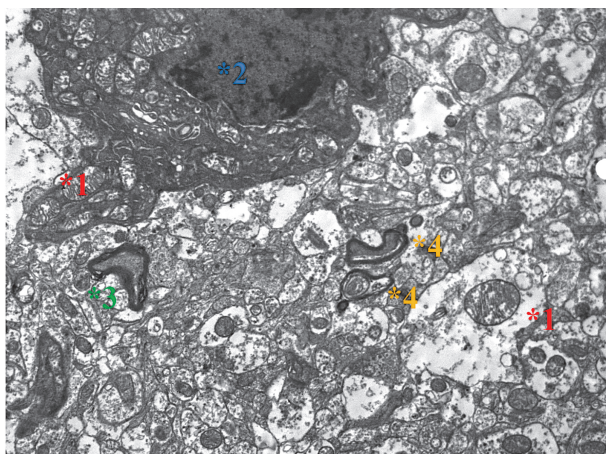


Рисунок 4 – Розшарування мієліну зорової ділянки потиличної кори щурів експериментальної групи. Електронна мікрофотографія. Масштабна лінійка = 500 нм. Позначення: 1* – мітохондрій, 2* – ядро ендотеліоцита, 3* – розшарування мієліну, 4* – мієлінові тільця.

мокапілярів у зорових ділянках щурів експериментальної групи. Спостерігалось збільшення розмірів гемокапілярів, в яких базальна мембрана була нерівномірною на всьому протязі у порівнянні з кортикальними судинами потиличної долі (рис. 5).

Таким чином, виявлені після дії ударної хвилі ультраструктурні зміни в нейронах і нейропілі потиличної кори головного мозку, таламусу, гіпоталамусу та мета таламусу характеризуються реактивними проявами ушкодження: у вигляді розшарування мієліну, пошкодження мембран органел, їх трансформацією, особливо мітохондрій з деструкцією крист та нерівномірного просвітлення матриксу, зміною стінок гемокапілярів та набряку нейропілі в цілому.

У нашому дослідженні по встановленню закономірностей змін ультраструктурної організації клітинних компонентів зорового аналізатору в умовах експерименту ми дослідили зорові ділянки таламуса, метаталамуса та гіпоталамуса проміжного мозку і потиличної долі кори щурів у гострий період. Для досягнення мети і для подальшого вивчення наслідків ударно – хвильового впливу на структури зорового аналізатору підкіркових та кіркових його центрів на ультрамікроскопічному рівні періоди та можливого відновлення структур у посттравматичному періоді після проведення експерименту ми застосовували електронномікроскопічне дослідження. Застосування цього методу дало змогу оцінити перебудову ультраструктурних компонентів зорового аналізатору після ударно - хвильового впливу на першу добу експерименту, коли наслідки мають гостру ступінь проявів, які ми спостерігали у нейронах та нейропілі підкірки та кіркового кінця зорового аналізатору – в потиличної долі. Під час дослідження структур зорового аналізатору у щурів експериментальної групи було відзначено, що після впливу ударної хвилі спостерігаються ультраструктурні зміни з ознаками перевантаження нейронів і нейропілі потиличної кори головного мозку, таламусу, гіпоталамусу та метаталамусу, які характеризувались реактивними проявами ушкодження у вигляді розшарування мієліну, пошкодження мітохондрій є деструкцією крист та нерівномірним просвітленням матриксу. Окремі морфологи, гістологи та патоморфологи вивчали в експериментальних дослідженнях вплив вибухової хвилі на структури зор-

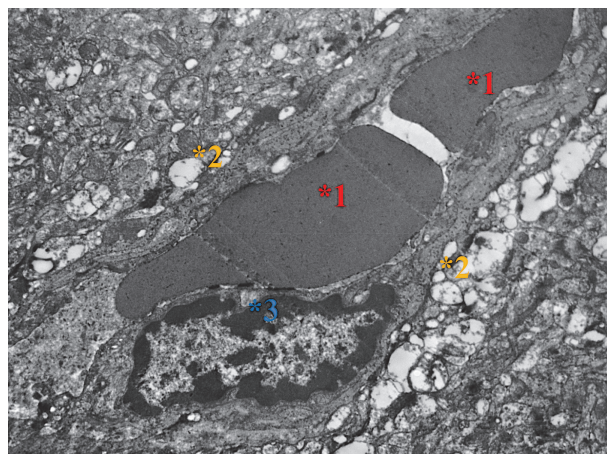


Рисунок 5 – Гемокапіляр гіпоталамічної ділянки щурів експериментальної групи. Електронна мікрофотографія. Масштабна лінійка = 500 нм. Позначення: 1* - еритроцити в просвіті капіляра, 2* – ядро ендотеліоцита, 3* – базальна мембрана.

рового аналізатору, але це стосувалось більш органу зору і у віддалені періоди після впливу. Так, в роботах було оцінено вплив первинно вибухової хвилі на початкові нейрони в аферентній зоровій системі на фоторецептори та пов'язані з ними клітини сітківки та зоровий тракт мозку. Гістопатологічні результати правої та лівої сітківки та обох зорових трактів були оцінені через чотирнадцять днів після вибуху [11]. Інші роботи були присвячені захворюванням відділів зорового аналізатору, таких як глаукома. Автори в роботі представили аналіз змін функціонального стану зорового аналізатора при використанні мультипотентних стовбурових клітин – похідних нервового гребня в лікуванні індукованої адреналіновим стресом глаукоми за допомогою зорових викликаних потенціалів на спалах [12].

Саме ці результати нашого дослідження та дані інших вчених дають можливість коректувати ураження структур зорового аналізатору, особливо після впливу ударної хвилі, її наслідки, які виникають на рівні підкоркових та кіркових центрів провідного шляху зорового аналізатору і після доказових даних на ультрамікроскопічному рівні дають можливість розглядати та надалі допомагати у відновленні структур зорової сенсорної системи у посттравматичному періоді та впливати на відновлюючи процеси і розробляти заходи для зменшення рівня ступеня інвалідації при ураженні різного ступеню тяжкості цих відділів головного мозку.

Висновки.

1. За умов експериментального впливу ударної хвилі визначили істотні відмінності тканино – клітинних реакцій в гострий період після нейротравми.

2. Доведено присутність вираженої реактивної реакції клітин зорової ділянки таламічного, метаталамічного та гіпоталамічного відділів проміжного мозку на вплив ударної хвилі з особливою реакцією серед органел – мітохондрій, які не тільки змінювали розмір і форму, а також будову крист, в яких відбувалась деструкція.

3. Виражену реакцію нейронів потиличної кори: візуалізація набряку навколо судин, потовщення їх мембран, а в позаклітинному просторі демієлінізацію аксонів, що є причиною різних неврологічних симптомів та захворювань.

Перспективи подальших досліджень.

У подальшому належить виявити та досконало дослідити посттравматичні структурні зміни у зорових

ділянках зорового аналізатору після ударної хвилі у різні періоди часу за допомогою імуногістохімічних методів дослідження.

References / Література

1. Redko OS, Dovhaliuk AI. Ultrastrukturni zminy pechinky shchuriv zi zmodelovanyim hostryim respiratornym distress-syndromom ta pislia korektsii mezenkhimalnykh stovburovymy klitynamy u ranni termyny eksperymentu. *Klin Anat Oper Khir.* 2023;22(3):32-47. [in Ukrainian].
2. Barten DG, Tin D, Granholm F, Rusnak D, van Osch F, Ciotto G. Attacks on Ukrainian healthcare facilities during the first year of the full-scale Russian invasion of Ukraine. *Confl Health.* 2023;17(1):57. DOI: [10.1186/s13031-023-00557-2](https://doi.org/10.1186/s13031-023-00557-2).
3. Zhang JK, Botterbush KS, Bagdady K, Lei CH, Mercier P, Mattei TA. Blast-related traumatic brain injuries secondary to thermobaric explosives: implications for the war in Ukraine. *World Neurosurg.* 2022;167:176-183. DOI: [10.1016/j.wneu.2022.08.073](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.08.073).
4. Paltov YeV, Masna ZZ, Chelpanova IV, Voitsenko KI. Zminy strukturnoi orhanizatsii klitynnnykh komponentiv u sharakh sitkivky ta lankakh yii hemomikrotsyrkuliatornoho rusla u khronichnyi period eksperymentalnoho opioidnoho vplyvu ta pid chas korektsii tsykh zmin na ultrastrukturnomu rivni. *Klin Anat Oper Khir.* 2023;22(3):32-47. [in Ukrainian].
5. Bulyk RE, Yosypenko VR, Vlasova KV. Vikovi osoblyvosti morfometrychnoho stanu bichnoho peredzorovoho yadra hipotalamusa shchuriv na tli riznoi tryvalosti fotoperiody. *Visn Probl Biol Med.* 2021;2(160):197-200. [in Ukrainian].
6. Kytova IV, Karatieieva SYu. Dynamika zmin tenzometrychnykh pokaznykiv kintsivok shchuriv pislia dii udarno-khvylovoho vplyvu. *Klin Anat Oper Khir.* 2024;23(3):68-73. [in Ukrainian].
7. Allen RS, Motz CT, Feola A, Chesler KC, Haider R, Ramachandra Rao S, et al. Long-term functional and structural consequences of primary blast overpressure to the eye. *J Neurotrauma.* 2018;35(17):2104-2116. [in Ukrainian].
8. Choi JH, Greene WA, Jonson AJ, Chavko M, Cleland JM, McCarron RM, et al. Pathophysiology of blast-induced ocular trauma in rats after repeated exposure to low-level blast overpressure. *Clin Exp Ophthalmol.* 2015;43(3):239-46.
9. Thomas CN, Bernardo-Colon A, Courtie E, Essex G, Rex TS, Blanch RJ, et al. Effects of intravitreal injection of siRNA against caspase-2 on retinal and optic nerve degeneration in air blast induced ocular trauma. *Sci Rep.* 2021;11(1):16839.
10. Sirko AH, Dziak LA. Bojovi vohnepalni cherepno-mozkovi poranennia. Kyiv: TOV «Perham»; 2017. 280 s. [in Ukrainian].
11. DeMar J, Sharrow K, Hill M, Berman J, Olsvet T, Long J. Effects of Primary Blast Overpressure on Retina and Optic Tract in Rats. *Front Neurol.* 2016;7:59. DOI: [10.3389/fneur.2016.00059](https://doi.org/10.3389/fneur.2016.00059).
12. Petrenko OV, Yakovets AI. Assessment of the functional state of the visual analyzer after cell therapy for glaucoma in an experiment. *Bulletin of problems of biology and medicine.* 2020;2(156):143-48.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІН УЛЬТРАСТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ КЛІТИННИХ КОМПОНЕНТІВ ЗОРОВОГО АНАЛІЗАТОРУ В УМОВАХ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Абдул-Огли Л. В., Олійник К. А., Кошарний В. В.

Резюме. Проведені дослідження зорової ділянки таламуса, метаталамуса та гіпоталамуса проміжного мозку і потиличної долі кори щурів із використанням електронної мікроскопії, показали, що застосування цього методу дає змогу оцінити перебудову ультраструктурних компонентів зорового аналізатору після ударно – хвильового впливу на першу добу експерименту, коли наслідки мають гостру ступінь проявів. Під час дослідження структур підкіркових центрів зорового аналізатору у щурів експериментальної групи було відзначено, що нейрони підкірки містили численні мітохондрії, які були пошкоджені в умовах перевантаження: невеликого розміру з ділянками нерівномірного різкого просвітлення матриксу і неупорядкованими кристами з явищами їх руйнування з елементами кристалізації, між ними виявлялась незначна кількість міжмітохондріальних контактів, а в зовнішній мембрані деяких з них спостерігались тріщини й мікророзриви. Отже, експериментальний вплив ударної хвилі у щурів у гострий період супроводжується посиленням гетероморфії мітохондрій, кристалізацією міжміофібрилярних мітохондрій, появою органел із різким набряком матриксу. В порівнянні з контрольною групою, на електронограмах потиличної кори експериментальних тварин виявлялись значні зміни: периваскулярний, перинейрональний набряк та набряк органел нейронів, особливо мітохондрій з частковою деструкцією крист, а також набряк нейропілю в цілому. Спостерігалось потовщення мембран судин через набряк, а в позаклітинному просторі визначались концентрації мієлінізованих аксонів та важливою особливістю реактивних наслідків травми було розшарування мієліну, тобто демієлінізації. Таким чином, виявлені після дії ударної хвилі ультраструктурні зміни в нейронах і нейропілі потиличної кори головного мозку, таламуса, гіпоталамуса та метаталамуса характеризуються реактивними проявами ушкодження: у вигляді розшарування мієліну, пошкодження мембран органел, їх трансформацією, особливо мітохондрій з деструкцією крист та нерівномірного просвітлення матриксу, зміною стінок гемокапілярів та набряку нейропілю в цілому.

Ключові слова: сітківка, ударна хвиля, нейротравма, зоровий аналізатор, таламус, гіпоталамус, потилична кора, експеримент.

REGULARITIES OF CHANGES IN THE ULTRASTRUCTURAL ORGANIZATION OF CELLULAR COMPONENTS OF THE VISUAL ANALYZER IN EXPERIMENTAL CONDITIONS

Abdul-Ogly L. V., Oliynyk K. A., Kosharnyi V. V.

Abstract. Conducted studies of the visual area of the thalamus, metathalamus and hypothalamus of the diencephalon and the occipital lobe of the cortex of rats using electron microscopy showed that the use of this method makes it possible to assess the restructuring of the ultrastructural components of the visual analyzer after shock-wave exposure on the first day of the experiment, when the effects have an acute degree of manifestation. During the study of the structures of the subcortical centers of the visual analyzer in rats of the experimental group, it was noted that the neurons of the subcortical region contained numerous mitochondria that were damaged in overload conditions: small in size with areas of uneven sharp matrix lightening and disordered cristae with phenomena of their destruction with elements of crystallization, a small number of intermitochondrial contacts were detected between them, and cracks and microruptures were observed in the outer membrane of some of them. Thus, the experimental impact of a shock wave in rats in the acute period is accompanied by increased heteromorphism of

mitochondria, crystallolysis of intermyofibrillar mitochondria, the appearance of organelles with sharp swelling of the matrix. Compared with the control group, significant changes were detected on the electron micrographs of the occipital cortex of experimental animals: perivascular, perineuronal edema and edema of neuronal organelles, especially mitochondria with partial destruction of cristae, as well as edema of the neuropil as a whole. Thickening of vascular membranes due to edema was observed, and in the extracellular space concentrations of myelinated axons and an important feature reactive consequences of the injury was myelin delamination, i.e. demyelination. Thus, the ultrastructural changes in neurons and neuropil of the occipital cortex, thalamus, hypothalamus and metathalamus detected after the action of the shock wave are characterized by reactive manifestations of damage: in the form of myelin delamination, damage to organelle membranes, their transformation, especially mitochondria with destruction of cristae and uneven illumination of the matrix, changes in the walls of hemocapillaries and swelling of the neuropil as a whole.

Key words: retina, explosive wave, neurotrauma, visual analyzer, thalamus, hypothalamus, occipital cortex, experiment.

ORCID and contributionship / ORCID автора та його внесок до статті:

Abdul-Ogly L. V.: <https://orcid.org/0000-0002-6942-2397>^{ADEF}

Oliinyk K. A.: <https://orcid.org/0009-0002-4874-5741>^{BCDF}

Kosharnyi V. V.: <https://orcid.org/0000-0002-7815-3950>^{AB}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Abdul-Ogly Larysa Volodymyrivna / Абдул-Огли Лариса Володимирівна

Dnipro State Medical University / Дніпровський державний медичний університет

Ukraine, 49000, Dnipro, 9 Volodymyr Vernadsky str. / Адреса: Україна, 49000, м. Дніпро, вул. Володимира Великого 9

Tel.: +380673382495 / Тел.: +380673382495

E-mail: abdul-ogly@ukr.net

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Received 22.04.2025 / Стаття надійшла 22.04.2025 року

Accepted 15.08.2025 / Стаття прийнята до друку 15.08.2025 року

DOI 10.29254/2077-4214-2025-3-178-377-384

UDC 611.12-08:612.6-092

Hnatyuk M. S., Tatarchuk L. V., Stets N. Ya.

MORPHOMETRIC ASPECTS OF THE STUDY OF THE DIAPHRAGM IN THE CONDITIONS OF POSTOPERATIVE HYPERTENSION IN THE PULMONARY ARTERY SYSTEM

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine
(Ternopil, Ukraine)

hnatjuk@tdmu.edu.ua

The diaphragm is considered the primary muscle responsible for breathing. This organ often undergoes structural and functional changes during various pathological processes. Most researchers believe that blood flow disorders in the large and small circulatory systems, as well as the portal system, also affect the morphological and functional changes and dysfunction of the diaphragm. Today, there are controversial and unclear issues in the pathogenesis of diaphragmatic dysfunction, among which its remodelling in conditions of post-resection arterial pulmonary hypertension and pulmonary heart disease remains unexplored. Thus, a detailed and comprehensive study of the patterns of diaphragmatic remodelling in various haemodynamic disorders is essential.

The costal part of the diaphragm of 62 white male rats was morphologically studied. The rats were divided into three groups: 15 animals were controls, 35 rats with arterial post-resection pulmonary hypertension and compensated pulmonary heart disease were included in the second group, and the third group consisted of 12 animals with post-resection pulmonary hypertension and decompensated pulmonary heart. The rats were euthanised by bloodletting under thiopental anaesthesia. Massometry and planimetry of the heart chambers were performed. On histological sections of the diaphragm, the cross-sectional area of the muscle fibre, the area of its nuclei, the nuclear-cytoplasmic index, the volume of muscle fibres, stroma, damaged muscle fibres, and stromal-myocyte ratios were determined. The obtained digital data were statistically processed. It was established that right-sided pneumonectomy led to post-resection pulmonary hypertension, development of pulmonary heart and its decompensation, and pronounced remodelling of the diaphragm. The examined organ showed disorders of lymphatic circulation, hypertrophy, dystrophy, necrosis of muscle fibres, cellular infiltration, and stromal proliferation. The volume of damaged muscle fibres in pulmonary hypertension with compensated pulmonary heart disease increased statistically signifi-