

**МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БОЙКО ЄВГЕН МИХАЙЛОВИЧ

УДК 616-001.18:616.12-008.6:576.31:616-091-092.9

ДИСЕРТАЦІЯ

**Морфофункціональні зміни кінцівок щурів за умов різного ступеня
ушкоджень периферичних нервів**

галузь знань – 22 «Охорона здоров'я»

спеціальність – 222 «Медицина»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Євген БОЙКО

Науковий керівник: Кошарний Володимир Віталійович, доктор медичних
наук, професор.

Дніпро - 2025

АНОТАЦІЯ

Бойко Є. М. Морфофункціональні зміни кінцівок щурів за умов різного ступеня ушкоджень периферичних нервів. — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 22 – Охорона здоров'я, за спеціальністю 222 – Медицина. – Дніпровський державний медичний університет, Дніпро, 2025.

У роки бойових дій, які відбуваються на сьогодні в Україні, особистий характер поранень, посттравматичний період після ураження ускладнюється ураженням спинномозкових нервів, які потребують досконалого вивчення та аналізу у зв'язку розумінням можливих реабілітаційних заходів, які залежать від ступеню та часу посттравматичного періоду. Основним засобом профілактики травматичних уражень залишається бронежилет, проте необхідні додаткові заходи для захисту кінцівок і зменшення тяжкості поранень, які становлять серйозну проблему у військовій медицині та травматології, оскільки можуть призводити до значної втрати функції кінцівок, хронічного болю та тривалого періоду реабілітації. В умовах бойових дій пошкодження периферичних нервів часто є наслідком вибухових та вогнепальних поранень, що супроводжуються великими ушкодженнями м'яких тканин та кістковими травмами. Аналіз поранень серед українських військовослужбовців демонструє високу поширеність політравм, зокрема вибухових поранень кінцівок. Вони супроводжуються травмами периферичних нервів, що є одним із частих і важких видів травми, хоча й у більшості випадків не загрожують життю в ізольованій формі, але здатні призводити до тривалої втрати працездатності з високою частотою інвалідизації постраждалого.

Далеко не завжди ушкодження спинномозкового нерва є ізольованими, в 12 % — 15 % випадків ушкодження периферичних нервів поєднуються з пораненнями магістральних судин, у 20 % — 29 % — сухожилля, 14 — 25 % — трубчастих кісток, інших органів та систем, що ускладнює оцінку ступеня пошкодження нервів на момент надходження хворого у відділення невідкладної допомоги та визначення тяжкості його стану. Це змушує лікарів невідкладної допомоги акцентувати увагу на лікуванні небезпечних для життя ушкоджень, залишаючи питання про діагностику та втрачені функції верхніх чи нижніх кінцівок, стабілізації стану пацієнта та загрозливих ускладнень.

Діагноз пошкодження нерва встановлюються через три-чотири тижні з моменту травми, коли виявляються вторинні ознаки порушення іннервації — денервації кінцівки. Для розуміння термінів відновлення ушкоджених нервів рекомендують проводити первинну хірургічну обробку з ревізією і раннім відновленням усіх порушених структур. Хоча подальша реконструкція завжди можлива, рубцювання нерва і м'яких тканин ускладнюють повторні оперативні втручання, які ведуть до відділення нервового волокна — невролізу й реконструкції, втрати часу й переродженню м'язів. Дослідження на тваринних моделях показали, що мінно-вибухові поранення нижніх кінцівок супроводжуються значним пошкодженням нервових структур та мікроциркуляторних розладів, що ускладнює регенерацію. Відновлення нервової функції в структурах та складових периферичною системи є складним і довготривалим процесом, що потребує інноваційних підходів у лікуванні, розробки нових підходів до регенерації нервових волокон, особливо після травматичного періоду, включаючи застосування біоінженерних трансплантатів, електростимуляційної та регенеративної терапії.

Такі травми нервової системи ускладнюються порушенням моторних та сенсорних функцій, що суттєво погіршує якість життя постраждалих. Актуальність проблеми посттравматичного періоду визначається як частотою

таких випадків, так і складністю їх лікування. Так, клінічні дані свідчать, що в пацієнтів із пошкодженнями периферичних нервів нижніх кінцівок відновлення часто є неповним, навіть після хірургічного втручання. Дослідження, які проведені після військових травм, нервової системи показують, що лише приблизно 30–50 % пацієнтів досягають функціонального відновлення після способів реконструктивної хірургії.

Нам не вдалося знайти результати комплексних досліджень із використанням морфологічних, гістологічних та нейрофізіологічних методів ушкодження периферичної нервової системи та особливості судин мікроциркуляторного русла в таких експериментальних умовах, тому ця робота є актуальною та обґрунтовує дослідження і доцільність його проведення. Результати роботи можуть бути використані для подальшого вивчення нервів периферичної системи в посттравматичному періоді в контексті морфологічних та локальних змін у нервово-м'язовому комплексі й судин мікроциркуляторного русла, особливо з урахуванням терміну дії — гострий період (перша доба), підгострий (третя доба), ранній період (сьома доба) та пізній період (чотирнадцята доба).

Метою нашої наукової роботи стало встановлення морфологічних особливостей судин мікроциркуляторного русла литкового м'яза задніх кінцівок щурів за умов різного ступеня ушкоджень периферичних нервів у гострий — на першу добу, підгострий — на третю добу, ранній — на сьому добу та пізній періоди — на чотирнадцяту добу за допомогою загальноморфологічних, гістологічних та нейрофізіологічних методів дослідження.

Об'єктом дослідження стали 178 лабораторних статевозрілих щурів, які були розділені на 8 дослідних груп і групу контролю: контрольна група — зразки нервів лабораторних щурів, що не зазнавали впливу нейротомії — 10 зразків; (1) перша експериментальна група — після перерізу сідничного нерва в гострий період — у першу добу — 21 зразок; (2) друга група — після перерізу сідничного нерва в підгострий період — на третю добу — 21 зразок;

(3) третя група — після перерізу сідничного нерва в ранній період — на сьому добу — 21 зразок; (4) четверта група — після перерізу сідничного нерва в пізній період — на чотирнадцяту добу — 21 зразок; (5) п'ята група — після перерізу сідничного та стегового нервів у гострий період — у першу добу — 21 зразок; (6) шоста група — після перерізу сідничного нерва в підгострий період — на третю добу — 21 зразок; (7) сьома група — після перерізу сідничного та стегового нервів у ранній період — на сьому добу — 21 зразок; (8) восьма група — після перерізу сідничного та стегового нервів у пізній період — на чотирнадцяту добу — 21 зразок.

Задні кінцівки щурівзнавали різного ступеню ушкодження периферичних нервів — сідничного і стегового, яких виводили з експерименту в першу, третю добу, через сім та чотирнадцять днів після ушкодження нервів — нейротомії одного або двох водночас нервів, які іннервують м'язи задньої кінцівки щура. Після оперативного втручання проводили морфологічні, анатомічні,гістологічні та нейрофізіологічні методики в дослідженні морфофункціональних змін кінцівок щурів після нейротомії.

Уперше проведено комплексне морфологічне, гістологічне та нейрофізіологічні дослідження задніх кінцівок щурів у різні терміни тривалості після нейротомії. У результаті проведених досліджень було виявлено загальні закономірності змін, які відбуваються після ушкодження нервів, які іннервують м'язи задніх кінцівок щурів — у гострий період — на першу добу, у підгострий період — на третю добу, у ранній період — на сьому добу та пізній період — на чотирнадцяту добу,за умов яких виникає ушкодження, що супроводжується, насамперед, судинними порушеннями. Найбільш виражені зміни спостерігалися за умов комбінованого пошкодження обох нервів, що супроводжувалося більш тривалим та інтенсивним розширенням судин порівняно з ізольованим пошкодженням. Електрофізіологічні дослідження виявили зниження збудливості м'язів та зміни хронаксії, що свідчить про порушення іннервації та адаптаційні

механізми м'язової тканини. Отримані результати підкреслюють важливість подальшого вивчення механізмів морфологічних змін мікроциркуляторного русла після нейротомії для розробки ефективних методів лікування пацієнтів із пошкодженнями периферичних нервів.

Результати дослідження сприяють розширенню уявлень про основні принципи та конкретні зміни в задніх кінцівках щурів за умов ушкодження нервів у гострій, підгострій, ранній та пізній періоди після нейротомії; дають змогу прогнозувати наслідки впливу порушення іннервації м'язів передньої та задньої групи стегна, що й мало відображення в змінах відновлювальних процесів після нейротомії в різні періоди часу. Отримані результати про репаративні процеси з різним терміном тривалості перерізу одного та водночас обох нервів у експериментальних тварин дають можливість скласти уявлення про зміни, які відбуваються не лише на тканинному рівні в м'язово-тканинному комплексі, а й на клітинному рівні в міозитах м'язів, які ми можемо прогнозувати та коригувати після нейротомії, особливо з урахуванням тривалості впливу — перша, третя, сьома та чотирнадцята доба.

Ключові слова: периферична нервова система, щур, стегновий та сідничний нерви, м'язи задньої кінцівки, мікроциркуляторне русло, експеримент, нейротомія, морфометрія.

SUMMARY

Boyko E.M. Morphological and functional changes in rat limbs under conditions of different degrees of peripheral nerve damage — Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. — Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy in the field 22 - Health care, in the speciality 222 - Medicine. — Dnipro State Medical University, Dnipro, 2025.

In the years of hostilities that are currently taking place in Ukraine, the personal nature of injuries and the post-traumatic period after injury are complicated by spinal nerve damage, which requires thorough study and analysis to understand possible rehabilitation measures that depend on the degree and time of the post-traumatic period. Body armour remains the main means of preventing traumatic injuries. Still, additional measures are needed to protect limbs and reduce the severity of injuries, which are a serious problem in military medicine and traumatology, as they can lead to significant loss of limb function, chronic pain and a long rehabilitation period. In hostilities, peripheral nerve damage is often the result of explosive and gunshot wounds, accompanied by extensive soft tissue damage and bone injuries. An analysis of injuries among Ukrainian servicemen shows a high prevalence of polytrauma, in particular blast wounds to the extremities. They are accompanied by peripheral nerve injuries, which are one of the most frequent and severe types of injury, although in most cases, not life-threatening in isolation, they can lead to long-term disability with a high incidence of disability.

Spinal nerve injuries are not always isolated; in 12 % to 15 % of cases, peripheral nerve injuries are combined with injuries to major vessels, in 20 % to 29 % — tendons, 14 % to 25 % — tubular bones, and other organs and systems, which makes it difficult to assess the extent of nerve damage at the time of admission to the emergency department and determine the severity of the patient's condition. This forces emergency physicians to focus on treating life-threatening injuries, leaving aside the issues of diagnosis and loss of function of the upper or lower extremities, stabilisation of the patient's condition and threatening complications.

The diagnosis of nerve damage is made three to four weeks after the injury, when secondary signs of innervation disorder — denervation of the limb — are detected. In order to understand the timeframe for the recovery of damaged nerves, it is recommended that primary surgical treatment be performed with revision and

early restoration of all affected structures. Although further reconstruction is always possible, scarring of the nerve and soft tissue complicates repeated surgical interventions, which lead to nerve fibre separation — neurolysis and reconstruction, loss of time and muscle degeneration. Studies on animal models have shown that mine-blast wounds of the lower extremities are accompanied by significant damage to nerve structures and microcirculatory disorders, which complicates regeneration. Restoration of nerve function in structures and components of the peripheral system is a complex and long-term process that requires innovative approaches to treatment, development of new approaches to nerve fibre regeneration, especially after the traumatic period, including the use of bioengineered transplants, electrical stimulation and regenerative therapy.

Such injuries to the nervous system are complicated by impaired motor and sensory functions, which significantly worsen the quality of life of the victims. The urgency of the post-traumatic period is determined by both the frequency of such cases and the complexity of their treatment. For example, clinical evidence shows that patients with peripheral nerve injuries of the lower extremities often have incomplete recovery, even after surgery. Studies conducted after military injuries to the nervous system show that only about 30–50 % of patients achieve functional recovery after reconstructive surgery.

We have not been able to find the results of comprehensive studies using morphological, histological and neurophysiological methods of peripheral nervous system damage and the characteristics of microcirculatory vessels in such experimental conditions, so this work is relevant and justifies the study and the feasibility of its implementation. The results of the work can be used for further study of the nerves of the peripheral system in the post-traumatic period in the context of morphological and local changes in the neuromuscular complex and microcirculatory vessels, especially taking into account the duration of the action — acute period (first day), subacute (third day), early period (seventh day) and late period (fourteenth day).

Our research aimed to establish the morphological features of the vessels of the microcirculatory bed of the gastrocnemius muscle of the hind limbs of rats under conditions of varying degrees of peripheral nerve damage in the acute period — on the first day, subacute — on the third day, early — on the seventh day and late period — on the fourteenth day using general morphological, histological and neurophysiological methods of research.

The object of the study was 178 laboratory mature rats, which were divided into 8 experimental groups and a control group: control group — nerve samples from laboratory rats that were not exposed to neurotomy — 10 samples; (1) the first experimental group — after sciatic nerve transection in the acute period — on the first day — 21 samples; (2) the second group — after sciatic nerve transection in the subacute period — on the third day — 21 samples; (3) the third group — after sciatic nerve transection in the early period — on the seventh day — 21 samples; (4) the fourth group — after sciatic nerve transection in the late period — on the fourteenth day — 21 samples; (5) group five — after cutting the sciatic and femoral nerves in the acute period — on the first day — 21 samples; (6) group six — after cutting the sciatic nerve in the subacute period — on the third day — 21 samples; (7) group seven — after cutting the sciatic and femoral nerves in the early period — on the seventh day — 21 samples; (8) group eight — after cutting the sciatic and femoral nerves in the late period — on the fourteenth day — 21 samples.

The hind limbs of rats were subjected to varying degrees of peripheral nerve damage — sciatic and femoral nerves, which were withdrawn from the experiment on the first, third day, seventh and fourteenth days after nerve damage — neurotomy of one or two nerves simultaneously innervating the muscles of the rat's hind limb. After the surgical intervention, morphological, anatomical, histological and neurophysiological techniques were used to study morphological and functional changes in the rat limbs after neurotomy.

For the first time, a comprehensive morphological, histological and neurophysiological study of the hind limbs of rats at different time points after

neurotomy was carried out. As a result of the studies, general patterns of changes occurring after damage to the nerves innervating the muscles of the hind limbs of rats were revealed — in the acute period — on the first day, in the subacute period — on the third day, in the early period — on the seventh day and in the late period — on the fourteenth day, under which the damage occurs, accompanied primarily by vascular disorders. The most pronounced changes were observed in conditions of combined damage to both nerves, which was accompanied by a longer and more intense vasodilation compared to isolated damage. Electrophysiological studies revealed a decrease in muscle excitability and changes in chronaxia, indicating impaired innervation and adaptive mechanisms of muscle tissue. These results emphasise the importance of further studying the mechanisms of morphological changes in the microcirculatory bed after neurotomy to develop effective methods of treating patients with peripheral nerve injuries.

The results of the study contribute to the expansion of understanding of the basic principles and specific changes in the hind limbs of rats with nerve damage in the acute, subacute, early and late periods after neurotomy; allow predicting the consequences of the impact of disruption of the innervation of the muscles of the anterior and posterior thigh group, which was reflected in changes in recovery processes after neurotomy in different periods. The results obtained on the reparative processes with different duration of cutting one and both nerves in experimental animals make it possible to get an idea of the changes that occur not only at the tissue level in the muscle-tissue complex, but also at the cellular level in muscle myositis, which we can predict and correct after neurotomy, especially taking into account the duration of exposure — the first, third, seventh and fourteenth day.

Key words: peripheral nervous system, rat, femoral and sciatic nerves, hindlimb muscles, microcirculatory bed, experiment, neurotomy, morphometry.

ПРАЦІ, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремоделювання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в гострому періоді. Перспективи та інновації науки. 2024;10 (44):1348–57. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-1357](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-1357). (Здобувачем виконано дослідження судин гемомікроциркуляторного русла в експериментальному посттравматичному гострому періоді, аналіз використаних джерел, фіксація, експеримент і обробка гістологічного матеріалу. Співавтор: проф. Кошарний В.В., — надав консультативну допомогу).

2. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремоделювання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в підгострому періоді. Вісник проблем біології і медицини. 2024;4 (175):550–59. DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559). (Здобувач здійснив експеримент у посттравматичному підгострому періоді з наслідками впливу перерізу периферичних нервів на судини мікроциркуляторного русла задніх кінцівок щура в лабораторних умовах. Співавтори: проф. Кошарний В. В., — надав консультативну допомогу. Здобувач провів експеримент із впливу перерізу периферичних нервів на судини мікроциркуляторного русла задніх кінцівок щура в лабораторних умовах).

3. Кошарний В.В., Бойко Є.М. Морфологічні зміни гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в пізній період. Перспективи та інновації науки. 2025;1(47):2278–87. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1\(47\)-2278-2286](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1(47)-2278-2286) (Здобувач здійснив експеримент та фіксацію, обробку макроскопічного та мікроскопічного матеріалу, морфометричних показників,

провів дослідження, реферування та аналіз використаних джерел, сформульовано висновки та оформив статтю до друку. Співавтори: проф. Кошарний В. В. надав, консультативну допомогу).

4. Кошарний В. В., Бойко Е. М., Абдул-Огли Л. В., Ткаченко С. С., Кушнарьова К. А. Зміни нервово м'язового комплексу литкового м'язу при пошкодженні гілок поперекового та крижового сплетення. Вісник проблем біології і медицини. 2025;1(176):429–36. DOI: [10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435) (Здобувач здійснив експеримент, фіксацію та опис макро й мікроскопічних змін сідничного та обох сідничного і стегнового нервів, провів дослідження, оформив статтю до друку. Співавтори: проф. Кошарний В.В та проф. Абдул — Огли Л. В. надали консультативну допомогу, а доц. Ткаченко С. С. та доц. Кушнарьова К.А. надали допомогу в проведенні експерименту з перерізу одного та двох нервів поперекового та крижового сплетення в лабораторних умовах).

5. Кошарний В. В., Бойко Є.М., Абдул-Огли Л. В., Родинський Р.О., Яровенко С.В. Способи формування хірургічного доступу до сідничного нерва щура: переваги та недоліки. Перспективи та інновації науки. 2025;2(48):2099–07. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2\(48\)-2099-2107](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2(48)-2099-2107). (Здобувач здійснив експеримент та фіксацію і обробку гістологічного матеріалу та морфометричних показників, провів дослідження, оформив статтю до друку. Співавтори: проф. Кошарний В.В., проф. Родинський Р.О. та проф. Абдул — Огли Л. В. надали консультативну допомогу, а Яровенко С.В. надав допомогу в проведенні експерименту перерізу сідничного нерва задніх кінцівок щура).

6. Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Бойко Е.М., Ткаченко С.С., Кушнарьова К.А. Деякі варіанти фетальної топографії довгих гілок крижового сплетення. Клінічна анатомія та оперативна хірургія –Т.22, № 3 — 2023:59–63. DOI: <https://doi.org/10.24061/1727-0847.22.3.2023.30> (Здобувач здійснив аналіз та порівняв дані варіантів після проведення експерименту, оформив статтю до друку. Співавтори: проф. Кошарний В.В та проф. Абдул

— Огли Л. В. надали консультативну допомогу, а доц. Ткаченко С. С. та доц. Кушнар'ова К.А. надали допомогу в проведенні експерименту з перерізу одного та двох нервів поперекового та крижового сплетення в лабораторних умовах).

**ПРАЦІ, ЯКІ ЗАСВІДЧУЮТЬ АПРОБАЦІЮ МАТЕРІАЛІВ
ДИСЕРТАЦІЇ**

7. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Демченко О.М. Пошкодження стегового та сідничного нерва: реакція гемомікроциркуляторного русла протягом першого тижня // Медичні та біологічні науки: міждисциплінарний аспект: матеріали Міжнародної міждисциплінарної науково-практичної internet-конференції до Всесвітнього дня анатомії (17 жовтня 2024 р., м. Харків) / за ред. Д. М. Шияна. Приватний вищий навчальний заклад «Харківський міжнародний медичний університет». — Харків, СГ НТМ «Новий курс», 2024. С.57–54. (Здобувач здійснив фіксацію і обробку морфологічного, гістологічного та лабораторного матеріалу, провів дослідження, оформив тези до друку. Співавтор: проф. Кошарний В. В., — надав консультативну допомогу, а проф. Демченко О.М. — допомога в проведенні експерименту).
8. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Кушнарєва К.А. Пошкодження стегового та сідничного нерва в гострому періоді // Теорія та практика сучасної морфології: матеріали Восьмої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (м. Дніпро, 6–8 листопада 2024 року) / Дніпровський державний медичний університет. — Дніпро: ДДМУ, 2024. С.80–81. (Здобувач здійснив експеримент та фіксацію і обробку морфологічного та гістологічного матеріалу, провів дослідження, оформив тези до друку. Співавтори: проф. Кошарний В. В., проф. Абдул — Огли Л.В. — надали консультативну допомогу; доц. Рутгайжер В. Г. та доц. Козловська О. Г. — допомога в проведенні експерименту).
9. Бойко Е.М., Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Губаренко О.В., Козловська Г.О. Ремоделювання мікроциркуляторного русла кінцівок

за умов ушкодження периферичних нервів // Перший міжнародний морфологічний симпозіум. Перспективи використання морфологічних досліджень у розвитку сучасної медицини і стоматології. Полтава 16–17 червня 2022, Вісник проблем біології і медицини. 2022; 2 (164) (додаток): [С.11.DOI:10.29254/2077-4214-2022-2-164/addition-11](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2022-2-164/addition-11). (Здобувач зробив фіксацію, експеримент з ушкодженням периферичних нервів та аналізу судин мікроциркуляторного русла кінцівок щурів у таких усовах, провів дослідження, оформив тези до друку. Співавтори: проф. Кошарний В.В. та проф. Абдул — Огли Л.В. надали консультативну допомогу, а доц. Козловська Г.О. та Губаренко О.В. допомогли в проведенні експерименту та в обробці даних).

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	16
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	20
ВСТУП.	21
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНЕ УЯВЛЕННЯ ТА РОЗУМІННЯ ВПЛИВУ УРАЖЕННЯ НЕРВІВ ПОПЕРЕКОВОГО ІА КРИЖОВОГО СПЛЕТЕННЯ НА МЯЗИ СТЕШГНА І ГОМІЛКИ (АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)	28
1.1.Ретроспективний аналіз травми нервів периферичної системи, її наслідки та способи лікування	28
1.2.Діагностування та аналіз змін за умов різного ступеня ушкоджень структур периферичної нервової системи після ураження спинного та головного мозку	30
1.3. Аналіз порушень компонентів мікроциркуляції за умов різного ступеня ушкоджень периферичної нервової системи	38
1.4. Оцінки посттравматичних реактивних змін нерво – мязового комплексу та аналіз нових ефективних методів лікування	40
1.5. Патофізіологічні аспекти та методи реконструктивного лікування після ушкодження периферичних нервів в умовах теперішнього часу	44
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.	56
2.1. Матеріал дослідження	56
2.2. Методи дослідження	58
2.2.1. Методи моделювання	59
2.2.2 Макро-мікроскопічні методи	61

	17
2.2.3. Гістологічні методики	62
2.2.4. Електро - фізіологічні методи	64
2.2.5. Варіаційно-статистичні методи	66

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА СТАНУ СУДИННО - НЕРВОВО – М'ЯЗОВИХ КОМПОНЕНТІВ ЗАДНЬОЇ КІНЦІВКИ ЩУРІВ КОНТРОЛЬНОЇ ГРУПИ 70

3.1. Макроскопічні особливості будови судин, нервів та м'язів задніх кінцівок стегна щурів контрольної групи	70
3.2. Мікроскопічні особливості будови судин, нервів та м'язів задніх кінцівок стегна щурів контрольної групи	79
3.3. Мікроскопічні особливості будови судин, нервів та м'язів задніх кінцівок стегна щурів у посттравматичному періоді після перерізу сідничного та обох нервів: сідничного та стегового	82

РОЗДІЛ 4. МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ СУДИНО-НЕРВОВО-М'ЯЗОВИХ КОМПОНЕНТІВ ЗАДНЬОЇ КІНЦІВКИ ЩУРІВ В УМОВАХ РІЗНИХ ТЕРМІНІВ ПОСТТРАВМАТИЧНОГО ПЕРІОДУ НЕРВІВ ПЕРИФЕРИЧНОЇ СИСТЕМИ 95

4.1. Питома вага тканин задньої кінцівки у щурів в умовах посттравматичного періоду перерізу нервів периферичної системи	95
4.2. Стан судино – нервово – м'язових компонентів задньої кінцівки у щурів в умовах перерізу сідничного нерва	100
4.3. Стан судино – нервово – м'язових компонентів задньої кінцівки у щурів в умовах перерізу сідничного та стегового нервів	102
4.4. Порівняння посттравматичного стану судино – нервово – м'язових компонентів задньої кінцівки у щурів в умовах перерізу нервів периферичної системи	103

РОЗДІЛ 5. АНАЛІЗ БІОЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ЗМІН В НЕРВОВО - М'ЯЗОВОМУ КОМПЛЕКСІ ЗА УМОВ УРАЖЕННЯ ПЕРІФЕРИЧНОЇ СИСТЕМИ У ЩУРІВ	110
5.1. Біоелектричні зміни в нервово-м'язовому комплексі за умов перерізу окремого сідничного нерва та обидва водночас сідничного та стегнового нервів задніх кінцівок у щурів	110
5.2. Тензометричні показники в нервово - м'язовому комплексі за умов перерізу сідничного нерва задніх кінцівок щурів	116
АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	121
ВИСНОВКИ.....	129
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	133
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	134
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	136
ДОДАТКИ.....	159

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГМЦР – гемомікроциркуляторне русло

MPT – магнітна - резонансна терапія

TMC – транскраніальна магнітна стимуляція

ЦНС – центральна нервова система

DGS - deep gluteal syndrome - синдром глибокої сідничної ділянки

MRC - Medical Research Council - установа, яка встановлює стандарти тестування м'язової сили

TMP - tetramethylpyrazine

rMS - репетитивна магнітна стимуляція

NCSнервової провідності

EMG – електроміографія

СМАР - м'язова дія

SNAP – потенціал дії сенсорного нерва

TVS – трансваскулярний стимулятор

VAC -Vacuum - Assisted Closure - вакуум терапія

TENS - черезшкірна електрична нервова стимуляція

ПН - периферичні нерви

PEG - поліетиленгліколь

ВСТУП

Актуальність теми. Пошкодження периферичних нервів нижніх кінцівок є серйозною медичною проблемою, що часто виникає внаслідок травм, зокрема під час військових конфліктів[1]. Травма та ураження нервів периферичної нервової системи, особисто у теперішній час, приводить до порушення не тільки функції скелетної мускулатури, а і к змінам у поперечно-посмугованої скелетної мускулатурі, включно судини гемомікроциркуляторного русла[2, 3].

Дослідження травм периферичних нервів серед військових показують, що найбільш частими механізмами ушкодження є вибухові та вогнепальні поранення, що спричиняють серйозні ушкодження нервових структур[4].

У дослідженнях бойових поранень у військовослужбовців Іраку та Афганістану було встановлено, що пошкодження сідничного нерва є одним із найбільш важких, оскільки воно супроводжується значними неврологічними порушеннями, інтенсивним нейропатичним болем і тривалим відновленням[5].

Подібні результати спостерігалися і серед пацієнтів, що отримали поранення внаслідок бойових дій у Сирії. Було встановлено, що вибухові поранення є основною причиною пошкоджень периферичних нервів, і більшість пацієнтів потребували трансплантації нервових волокон або перенесення сухожиль для часткового відновлення функцій [6,7,8]. При цьому раннє хірургічне втручання сприяє зменшенню больового синдрому та покращенню функціонального прогнозу. Тобто вивчення динаміки морфологічних, гістологічних та нейрофізіологічних змін нерво-м'язового комплексу задніх кінцівок щурів, які виникають і реагують після нейротомії у різні періоди часу – гострий, підгострий, ранній та пізній є актуальним питанням, як для теоретичної так і для практичної медицини. Морфологічні

зміни, що відбуваються в задніх кінцівках щура після нейротомії мають важливе клінічне значення [9]. У деяких випадках, особливо при тривалому до ураженні двох нервів після нейротомії може розвиватися порушення активності нерво-м'язового комплексу та порушення кровообігу ураженої ділянки, що вимагає комплексного лікування та реабілітації [10]. Ця тема відкриває широкі можливості для розуміння того, як організм адаптується до екстремальних умов та як ці умови впливають на функціональний стан нерво-м'язового комплексу задніх кінцівок щурів у різні періоди після нейротомії. На сьогодні є дослідження, які присвячені питанню ураження спинномозкових нервів периферичної нервової системи, таких як сідничний нерв, наприклад здавлення. Але, як впливає на мікроциркуляцію литкового м'яза гомілки переріз окремо сідничного та обох водночас – сідничного та стегнового нервів, на сьогодні не вивчались.

Тому вивчення динаміки морфологічних змін задніх кінцівок щурів після ушкодження нервів, як одного сідничного так і обох водночас – сідничного та стегнового, які виникають після нейротомії у різні періоди впливу та відсутність даних про такі дослідження у щурів для розуміння механізмів ускладнень та розвитку порушень у периферичній нервовій системі за умов нейротомії на першу, третю, сьому та чотирнадцяту добу, потребує більш детального вивчення та є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з планом наукових досліджень і є складовою частиною науково-дослідної теми кафедри анатомії людини клінічної анатомії та оперативної хірургії Дніпровського державного медичного університету: “Дослідження морфогенезу органів і тканин у експериментальних тварин та людини під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників” (№ державної реєстрації 0124U005025).

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є встановлення морфологічних особливостей судин мікроциркуляторного русла литкового

м'яза задніх кінцівок щурів за умов різного ступеня ушкоджень периферичних нервів в гострий – на першу добу, підгострий – на третю добу, ранній – на сьому добу та пізній період – на чотирнадцяту добу.

Згідно з метою дослідження були поставлені такі завдання.

- Визначити особливості кровообігу та іннервації задніх кінцівок щурів контрольної групи.
- Дослідити морфологічні особливості мікроциркуляторного русла задньої кінцівки після перерізу сідничного нерву в першу добу – гострий період, на третю добу – у підгострий період, на сьому добу – у ранній період та на чотирнадцяту добу – у пізній посттравматичний період.
- З'ясувати морфологічні особливості мікроциркуляторного русла задньої кінцівки після перерізу стегового та сідничного нервів в першу добу – гострий період, на третю добу – у рід гострий період, на сьому добу – у ранній період та на чотирнадцяту добу – у пізній посттравматичний період.
- Проаналізувати біоелектричні та тензометричні зміни в нервово - м'язовому комплексі за умов ураження спинномозкових нервів у гострий, підгострий, ранній та пізній періоди.
- Порівняти морфометричні показники судин мікроциркуляторного русла литкового м'яза в умовах посттравматичного періоду після перерізу окремо сідничного та поєднано сідничного та стегового нервів у різні часи посттравматичного періоду.

Вирішення поставлених завдань сприятиме уточненню та систематизації наявних у літературі відомостей про морфологічні зміни задніх кінцівок щурів після ушкодження нервів - у гострому- на першу добу, у підгострому- на третю добу, у ранньому- на сьому добу та у пізньому періоді - на чотирнадцяту добу, а також закономірностей впливу цих змін, які виникають

як наслідки ураження нервово – м'язового комплексу задніх кінцівок експериментальних тварин після нейротомії.

Об'єкт дослідження: нерви задніх кінцівок експериментальних тварин (щурів).

Предмет дослідження: морфологічний стан задніх кінцівок щурів та динаміка змін під час ушкодження нервів на першу добу - у гострому періоді, на третю добу – у піл гострому періоді, на сьому добу – у ранній період та на чотирнадцяту добу - у пізній період після нейротомії.

Методи дослідження: препарування – для дослідження нервів задніх кінцівок щурів; мікроскопія гістологічних зрізів тканини нервів задніх кінцівок щурів та отримання зрізів складових нервово – м'язового комплексу з фарбуванням гематоксилін-еозином – для більш детального вивчення м'язів та нервів щура; нейрофізіологічні дослідження – для з'ясування порога та хроноксії литкового м'яза при нейротомії одного сідничного та обох водночас – сідничного та стегового нервів задніх кінцівок щурів; морфометрія, з подальшою статистичною обробкою, для вивчення динаміки змін кількісних показників складових нервово – м'язового комплексу після нейротомії, у гострий – на першу добу, підгострий – на третю добу, ранній – на сьому добу та у пізній період – на чотирнадцяту добу; методи варіаційної статистики – для встановлення об'єктивності одержаних результатів і характеристики змін у структурних компонентах складових нервово – м'язового комплексу після нейротомії у різні періоди часу - гострий, підгострий, ранній та пізній.

Наукова новизна отриманих результатів. Уперше визначено, що динаміка та характер патоморфологічних змін у судинах мікроциркуляторного русла – артеріолах і венулах литкового м'яза задніх кінцівок щурів у гострому, підгострому, ранньому так і пізньому посттравматичному періодах залежать від характеру та ступеню ураження – перерізу окремо сідничного та обох водночас – сідничного та стегового нервів. Уперше отримані та оцінені морфометричні показники діаметру судин

мікроциркуляторного русла у різні часи посттравматичного періоду в гострому, під гострому, ранньому та пізньому періодах. Встановлені особливості електрофізіологічних та тензометричних показників литкового м'яза гомілки у посттравматичному періоді, як наслідки після впливу перерізу в гострий – на першу добу, підгострий – на третю добу, ранній – на сьому добу та пізній періоди – на чотирнадцяту добу. Уперше описані взаємовідносини між структурними компонентами м'язів задніх кінцівок щурів стегна та гомілки у різні періоди часу. Доповнені відомості про структурні взаємовідносини та іннервування м'язів стегна та гомілки задніх кінцівок щурів за допомогою нервів поперекового та крижового сплетення – стегового та сідничного нервів. Уперше вивчені морфологічні зміни, простежена динаміка змін та проведена порівняльна характеристика судин мікроциркуляторного русла у щурів загалом під час гострого, підгострого, раннього та пізнього посттравматичних періодів. За допомогою анатомічних, гістологічних, нейрофізіологічних досліджень були досліджені зміни у судино - нервово – м'язовому компонентах стегна та гомілки задніх кінцівок щура, які відбуваються у посттравматичному періодах. Обґрунтоване положення про найбільш виражені наслідки в гострий та підгострий періоди після перерізу спино - мозкових нервів у судинах м'язових волокон литкового м'яза та менш – у ранній та пізній періоди посттравматичного періоду.

Практичне значення отриманих результатів. У результаті проведення досліджень були отримані кількісні параметри діаметру артеріол та вену м'язових волокон литкового м'яза гомілки задніх кінцівок щурів у зрівнянні з контрольною групою - у гострий, підгострий, ранній та пізній посттравматичний періоди.

Проведені дослідження поглиблюють і розширюють наявне уявлення про дію нейротравміна м'язові та судинні компоненти гомілки задніх кінцівок щурів. Відомості, що були отримані в процесі виконання даного експерименту, дадуть змогу лікарям для можливого лікування хворих

зпосттравматичним ураженням органів нервової системи, своєчасного діагностування ступеня ушкодження та можливих ускладнень ураження спинномозкових нервів. Описані морфологічні та нейрофізіологічні особливості судино – нерво – м'язового компонентів литкового м'яза гомілки щурів та прогнозування можливостей репаративних процесів судин мікроциркуляторного русла після перерізу окремо сідничного та водночас обох – сідничного та стегового нервів у різні терміни посттравматичних періодів – гострий – на першу добу, підгострий – на третю добу, ранній – на сьому добу та пізній період – на чотирнадцяту добу експерименту. Результати дослідження можуть бути використані для розширення можливостей у неврологічній, хірургічній, ортопедичній, судинній та реабілітаційній практиці.

Подальші дослідження в такому векторі є перспективними. Також ці відомості можуть бути використані під час розроблення нових можливих реабілітаційних заходів після ушкодження спинномозкових нервів периферичної нервової системи та судин мікроциркуляторного апарату, які іннервують та забезпечують кровопостачання м'язів задніх кінцівок щурів.

Результати експериментальних досліджень впроваджені в навчальний процес на кафедрах анатомії медичних закладів України:

- кафедри анатомії, клінічної анатомії, оперативної хірургії та оперативної хірургії Буковинського державного медичного університету;
- кафедри анатомії з клінічною анатомією та оперативною хірургією Полтавського державного медичного університету;
- кафедра анатомії, клінічної анатомії, патоморфології та судової медицини Чорноморського національного університету ім. П. Могили;
- кафедри технології медичної діагностики та лікування ННЦ «Інститут біології та медицини» КНУ ім. Т. Шевченка;
- кафедри морфології та фізіології ННІЄМШ Міжнародного Європейського університету;

- кафедри оперативної хірургії та клінічної анатомії Тернопільського національного медичного університету ім. І. Я. Горбачевського.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно проведено патентно-інформаційний пошук, проведені всі експериментальні й морфологічні дослідження, забір матеріалу, у тому числі проведення тензометричних та нейрофізіологічних методів, аналіз гістологічних препаратів судино – м'язових компонентів та судин мікроциркуляторного русла литкового м'яза гомілки задньої кінцівки щура, їх характерно послідовні морфометричні особливості після перерізу окремо сідничного та обох – сідничного та стегового нервів та проведена статистична обробка отриманих результатів, їх аналіз. У роботі був проведений аналіз результатів, сформульовані основні положення, висновки та практичні рекомендації. Основні положення дисертації, відомості про морфологічні зміни після нейротравми у першу добу – гострий період, на третю добу – у підгострий, на сьому добу -ранній та чотирнадцяту добу –пізній періоди, належать автору дисертації.

Апробація результатів дослідження. Результати досліджень і основні положення дисертації були викладені та обговорені:

- на першому міжнародному симпозіумі: «Перспективи використання морфологічних досліджень в розвитку сучасної медицини і стоматології» - Полтава, 16 -17 червня, 2022р.
- на міжнародній міждисциплінарній науково - практичній internet - конференції до Всесвітнього дня анатомії «Медичні та біологічні науки: міждисциплінарний аспект» Харків, 17 жовтня, 2024 р.
- на восьмій всеукраїнській науково - практичній конференції з міжнародною участю «Теорія та практика сучасної морфології» - Дніпро, 6 - 8 листопада, 2024 р.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 9 робіт, серед яких –бстатей та 3 тез.

Структура й обсяг дисертації. Матеріал дисертації викладений українською мовою на 168 сторінки машинописного тексту і складається з: вступу, огляду літератури, розділу “Матеріал і методи дослідження”, трьох розділів власних досліджень, розділу “Аналіз і узагальнення результатів досліджень”, заключення, висновків, практичних рекомендацій і списку літератури, що містить 182джерело, з яких 176 іноземною мовою. Робота ілюстрована і документована 31 рисунками, 5 таблицями (загальний обсяг –0 сторінок).

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНЕ УЯВЛЕННЯ ТА РОЗУМІННЯ ВПЛИВУ УРАЖЕННЯ
НЕРВІВ ПОПЕРЕКОВОГО ТА КРИЖОВОГО СПЛЕТЕННЯ НА М'ЯЗИ
СТЕГНА ТА ГОМІЛКИ
(АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Розглянуті у дійсному дослідженні питання, актуальність обумовив їхнє широке висвітлення як у вітчизняній, так і іноземній літературі. При викладанні цього розділу нами приведені тільки основні літературні зведення, що коротко відбивають найбільш суперечливі питання, що стосуються ураженню периферичної нервової системи нервів поперекового та крижового сплетення експериментальних тварин на м'язи стегна та гомілки в різні періоди часу – гострий, підгострий, ранній та пізній. Окремо будуть розглянуті питання впливу ураження спинно - мозкових нервів нижньої кінцівки людини та задніх кінцівок експериментальних тварин.

1.1. Ретроспективний аналіз травми нервів периферичної системи, її наслідки та способи лікування

Згідно з даними літератури, захворювання, які пов'язані з ураженням периферичної системи, проявляються у вигляді порушень центральної нервової, серцево - судинної системи, кісткової системи. Залежно від терміну після ураження спинномозкових нервів периферичної системи виявлені порушення можуть мати стійкий характер або пролонгований, в поодинокіх випадках з відновлювальною можливістю. До віддалених наслідків впливу нейротомії може віднести негативний вплив на судини мікроциркуляторного русла та на функціональну активність м'язів. У науці і медицині постійно відбувається пошук нових знань та розуміння складних фізіологічних та патологічних процесів, що відбуваються в організмах щурів. Одним із

цікавих напрямків досліджень є вивчення впливу ушкоджень спинномозкових нервів периферичної системи на мікроциркуляторне русло в тканинах кінцівок, тому, що периферичні нерви відіграють ключову роль у регуляції кровопостачання до тканин кінцівок. Їх ушкодження може спричиняти значні зміни в мікроциркуляторному руслі, впливаючи на процеси вазоконстрикції, розширення капілярів та пермеабільності або проникності судинних стінок, які мають потенційно важливі наслідки для здоров'я та функціонування тканин кінцівок. У зв'язку зі зростанням «побутової» травми, дорожньо-транспортних пригод, велосипедної травми, вогнепальних поранень мирного часу та особливо на сьогодні, у часи бойових дій в Україні, ятрогенних ушкоджень, відновна хірургія ушкоджень та захворювань периферичних нервів має важливе соціально-економічне значення в державному масштабі та є надією постраждалого на покращення якості життя у побутовому, професійному та юйовому середовищі.

За даними різних авторів, травми нервів спостерігаються від 1% до 10% випадків загального травматизму. Різні поранення кінцівок поєднуються з травмами нервових стовбурів у 1,5% випадків, і у 20% випадків при більш тяжких ушкодженнях, що супроводжуються переломами кісток. При цьому близько 60% постраждалих залишаються інвалідами із стійкою втратою працездатності. Тому дуже важливо зрозуміти час, після якого вже оновлення тканини практично не здійснено або навпаки зрозуміти, час оперативного втручання, коли можливо відновити тканину та нервово - м'язових структур та компонентів. За даними різних авторів, відстрочення відновної операції на нервах до дванадцяти місяців суттєво не погіршує результати лікування. Водночас відстрочення операції на дванадцять місяців і більш несприятливе для відновлення сили м'язів, а ще меншою мірою - чутливості, хоча не виключає задовільного відновлення функції в цілому. Одним з доводів на користь відстроченого шва нерва при поєднаній травмі є та обставина, що в гострому періоді травми клінічні прояви пошкодження нервів можуть і не визначатися серед більш вираженої симптоматики пошкодження

магістральних судин і сухожильних волокон. Наприклад, після раннього шва серединного і ліктьового нервів спостерігається приблизно однакове відновлення сили м'язів кисті і чутливості, після пізнього шва сила м'язів відновлюється гірше чутливості, а вегетативна функція гірша перших двох.

На основі експериментальних досліджень, проведених на тваринній моделі, зокрема щурів, було показано, що відновлювальні процеси у мікроциркуляторному руслі значно залежить від ступеня та характеру ушкодження нервів [1]. Загалом, сучасна література вказує на необхідність індивідуалізованого підходу до лікування ушкоджень периферичних нервів. Врахування анатомічних, часових, етіологічних і технічних факторів дозволяє не лише підвищити шанси на функціональне відновлення, а й уникнути вторинної інвалідизації пацієнтів.

І тому, дослідження спинно мозкових нервів периферичної нервовою системи в є важливим етапом у розумінні механізмів адаптації тканин до неврологічних ушкоджень і відкривають перспективи для подальших наукових досліджень у цьому напрямку. Усе вищесказане доводить важливість даної теми о морфофункціональних змінах мікроциркуляторного русла в контексті ушкоджень периферичних нервів, спрямовуючи читачів на важливість і актуальність подальших досліджень в цій області.

1.2. Діагностування та аналіз змін за умов різного ступеня ушкоджень периферичної нервової системи після ураження спинного та головного мозку

Ураження спинного мозку та периферичної нервової системи є однією з найбільш складних клінічних проблем сучасної неврології та нейрохірургії. Їхній вплив поширюється не лише на соматичну сферу, а й на когнітивні, психоемоційні та функціональні аспекти життя пацієнтів. Сучасні дослідження доводять, що наслідки спинальних травм не обмежуються лише рівнем механічного ушкодження, а існує тісний зв'язок між ступенем

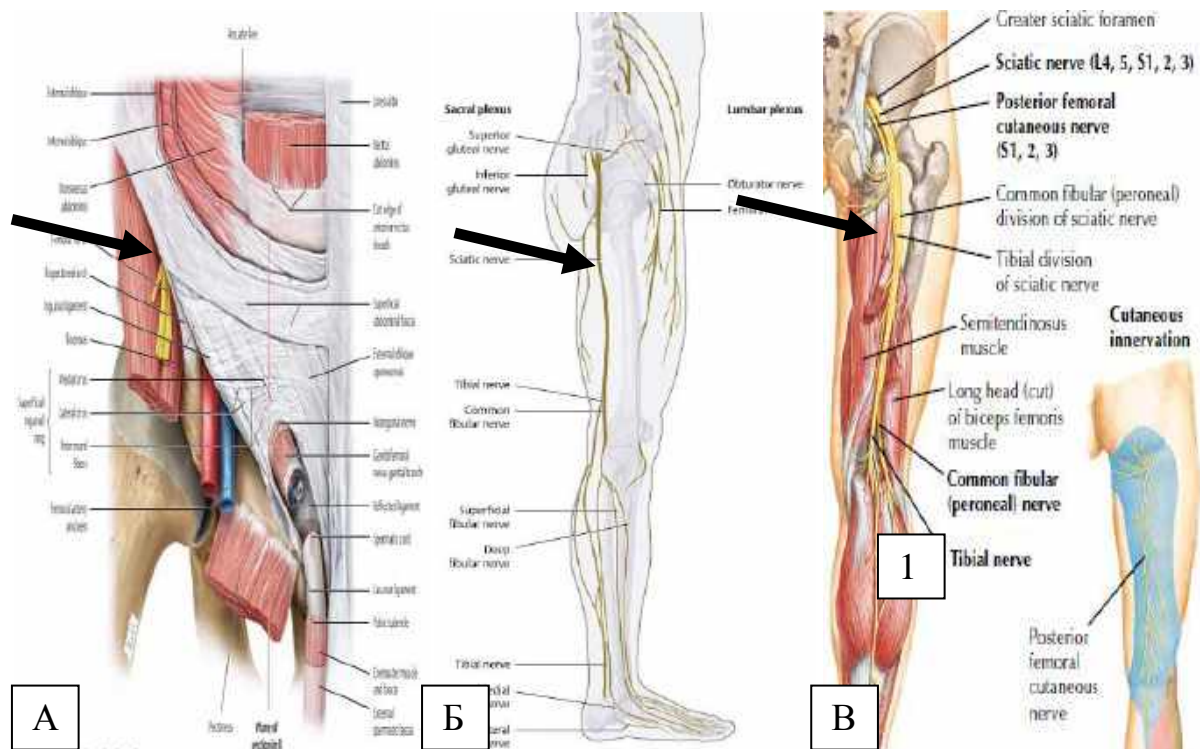
анатомічної атрофії та рівнем кортикальної реорганізації, яка, в свою чергу, визначає функціональний результат і рівень інвалідизації хворих [1].

У дослідженні науковцями, за допомогою структурної та функціональної МРТ, було встановлено, що пацієнти з шийною спинальною травмою мають зниження площі поперечного перерізу спинного мозку на 30%, зменшення об'єму білої речовини в пірамідах та мозочку, а також виражену атрофію сірої речовини моторної та сенсорної кори. Функціональна перебудова проявлялася підвищеною активацією в корі, що відповідає за рухи нижніх кінцівок, під час здійснення рухів руками, а також змінами відповідей на стимуляцію периферичних нервів [1-3]. Подібні результати отримано в іншому дослідженні цієї ж групи, де за допомогою навігаційної ТМС, яка дозволяє безболісно і неінвазивно стимулювати структури головного мозку за методом доставки швидко імпульсного магнітного поля високою інтенсивності, було показано зміщення кортикального центру збудження для м'язів передпліччя[4 - 9], підвищення моторного порогу та подовження кортикального періоду гальмування у пацієнтів із вираженою атрофією шийного відділу хребта. Виявлена негативна кореляція між ступенем атрофії та збудливістю кори доводить, що навіть структурні зміни на рівні хребта мають безпосередній вплив на функціональну архітектуру головного мозку [10 - 15].

Окрему клінічну категорію становлять компресійні невропатії, які часто мають латентний перебіг і можуть залишатися недіагностованими протягом тривалого часу. Згідно з даними Carolus та Uerschels, компресійні синдроми охоплюють як добре описані, так і рідкісні форми, що можуть проявлятися в будь-якому сегменті периферичної нервової системи. Автори детально описують синдроми, пов'язані з ураженням супракапулярного, аксиллярного, серединного, променевого та ліктьового нервів у верхніх кінцівках[16 - 22], а також сідничного, стегнового й великогомілкового нервів - у нижніх (рис.1.1).

Ці дані мають вагомe практичне значення для клініцистів, які працюють із пацієнтами з болем невідомого генезу в ділянках кінцівок та тулуба [23].

Не менш важливими є післяпологові ураження нервової системи, які часто асоціюються з компресією нервових структур у процесі пологів. Так, у роботі було окреслено основні клінічні прояви, методи диференційної діагностики та ведення жінок із неврологічними симптомами в ранньому післяпологовому періоді. Найчастіше уражаються попереково-крижові нервові корінці, сплетення та периферичні нерви нижніх кінцівок, що може симулювати або маскувати інші стани, зокрема наслідки спінальної анестезії чи інфекційні ускладнення [24].



Примітка: стрілкою вказані стегновий нерв - *nervus femoralis* (A) та сідничний нерв - *nervus ishiadicus* (Б, В). 1 – литковий м'яз – *musculus gastrocnemius*.

Рисунок 1.1 - Схематичне зображення А – *Iacuna muscularis* та вихід стегнового нерва. Б, В – *nervus ishiadicus* - сідничний нерв.

Методи знеболення теж ділянка у практичній медицині, яка дуже цікавить дослідників. Наприклад, щодо інновацій у знеболенні, то перикапсулярна блокада нервів (PENG block) розглядається як перспективний метод аналгезії при хірургії кульшового суглоба. Застосування PENG блоку поки що обмежений описами серій клінічних випадків, він демонструє хорошу ефективність і може бути альтернативою традиційній блокаді стегнового нерва, з меншим ризиком моторних ускладнень [25, 26].

Одним із найбільш обговорюваних на сьогодні недискогенних синдромів є синдром глибокої сідничної ділянки (*deep gluteal syndrome, DGS*). Його клінічне значення зростає завдяки точнішій візуалізації анатомічних структур, покращенню нейровізуалізаційних методів та підвищеній клінічній професійності. DGS охоплює пірифоміс - синдром, синдром внутрішнього затульного м'яза, ішчіофеморальний імпінджмент і компресії сідничного нерва. DGS як ширший концепт, що виходить за межі класичного пірифоміс-синдрому [27], а інші автори додають важливу роль фіброзних спайок і мікротравматичних ушкоджень як ключових факторів розвитку хронічного болю [28]. В роботі, у систематичному огляді, автори пропонують чітке визначення DGS як недискогенного ураження сідничного нерва зі стисненням у глибокому сідничному просторі. Вони також описують стандартизований діагностичний алгоритм, що включає анамнез, провокаційні тести, МРТ, електронейроміографію та відповідь на ін'єкцію [29]. Комплексний підхід до діагностики уражень центральної й периферичної нервової системи, заснований на поєднанні структурної та функціональної візуалізації, клінічних тестів і сучасних методів знеболення, забезпечує кращу диференціацію патологій і відкриває нові можливості для персоналізованого лікування пацієнтів із неврологічними ускладненнями

різного генезу. Окрема увага в сучасних дослідженнях приділяється питанням ефективного знеболення при травмах периферичних нервів. Післятравматичний біль є одним із провідних симптомів у таких пацієнтів, а мультикомпонентна аналгезія, яка включає ультразвуково-навіговані периферичні нервові блоки, вважається «золотим стандартом» у таких випадках. Серед додаткових чинників, які впливають на вибір техніки анестезії та прогноз, розглядаються можливості безперервної блокади, ризику синдромів компартменту, а також точність позиціонування пацієнта під час процедури [30].

Разом із цим, у контексті акушерської практики значну тривогу викликають периферичні нейропатії, що виникають після епідуральної анестезії під час пологів. У великому дослідженні з вибіркою понад 19 000 пацієнток було встановлено, що такі ураження виникають із частотою близько 0,96‰, а серед основних факторів ризику це затримка початку анестезії, народження дитини з великою масою тіла, застосування щипців, а також повторні анестезіологічні маніпуляції [31]. Інший клінічний випадок описує розвиток нейропатії загального малогомілкового нерва через тривале сидіння зі схрещеними ногами під час епідуральної анестезії, що заважало вчасному виявленню компресії нерва [32]. Поглиблені аналізи материнських нейропатій після пологів демонструють чіткий зв'язок між розвитком неврологічного дефіциту та тривалістю другого періоду пологів, а також використанням інструментальних методів розродження. При поєднанні обох чинників частота таких уражень зростає до 1,5%, що підкреслює необхідність обережного ведення пологів у групі ризику [33].

У клінічній практиці важливо також брати до уваги вікові зміни у периферичних нервах. За даними ультразвукових досліджень, площа поперечного перерізу нерва має тенденцію до зростання у дитячому й підлітковому віці, однак у літніх людей спостерігається зворотна динаміка, що має форму інвертованої параболи. Вага й ріст пацієнта виявилися точнішими предикторами змін, ніж вік як такий [34]. З найбільш уражуваних

нервів нижньої кінцівки у травматології виділяється загальний малогомілковий нерв. У систематичному огляді визначено, що успіх хірургічного лікування таких ушкоджень залежить від часу до операції, довжини трансплантата, типу втручання та віку пацієнта. Найкращі результати отримано після нейролізу або первинного шва нерва, тоді як використання нервових трансплантатів мало нижчі показники успішності [35]. Ці результати підтверджуються також ретроспективним дослідженням, які виявили, що оптимальним терміном для проведення хірургічного втручання є 5,5–9,5 місяців після травми. У цей період найбільш вірогідне досягнення M3–M4 за шкалою MRC щодо функції тильного згинання стопи [36]. Аналогічно, відновлення функції після ушкодження великогомілкового нерва залишається складним завданням, а найкращі функціональні результати демонстрували пацієнти, яким було проведено первинний шов або нейроліз, а предикторами успіху були короткий інтервал до операції та неперервність нерва [37].

Питання відновлення функції нижніх кінцівок після уражень периферичних нервів, зокрема сідничного, великогомілкового та малогомілкового, є надзвичайно актуальним у клінічній неврології, травматології та нейрохірургії. Анатомічні особливості, механізми травмування та відмінності в регенеративному потенціалі цих нервів зумовлюють значну варіабельність у результатах лікування. Комплексне дослідження LSU Health Sciences Center, яке проаналізувало понад 800 випадків оперативних втручань на рівні сідничного нерва, великогомілкової та малогомілкової гілок, продемонструвало перевагу великогомілкового нерва у відновленні. Автори пояснюють це кращою васкуляризацією, меншою вразливістю до ушкодження, більшою кількістю спЗолучнотканинних структур, а також меншою складністю іннервованих м'язів [18].

У клінічних випадках перевага великогомілкового нерва у відновленні підтверджується також результатами інших досліджень, які вказують на

вищу ефективність нейролізу або первинного шва саме для цієї гілки порівняно з малогомілковою [35,36]. Ретроспективні дані свідчать, що навіть при використанні трансплантатів для вторинної реконструкції великогомілковий нерв демонструє кращі сенсомоторні результати [38].

У цьому контексті варто відзначити дослідження, у якому порівнювались пізні результати раннього енд-ту-енд анастомозу при гострих ушкодженнях сідничного нерва. Пацієнти з хірургічною реконструкцією мали вищий рівень м'язової сили та сенсорного відновлення, особливо у великогомілковому домені. Хоча покращення було статистично значущим, автор наголошує, що у повсякденному функціонуванні ці ефекти залишаються обмеженими [39].

Ще одне важливе спостереження полягає в загальній гіршій прогнозованості при ушкодженнях малогомілкового нерва. Так, у статті наведено причини цього явища: більш поверхневе розташування нерва, обмежена васкуляризація, двоточкове фіксування (у порівнянні з однією фіксацією у великогомілкового), а також складність м'язових мішеней, які потребують одночасної іннервації та точного контролю [40].

Окрему категорію уражень становлять ті, що асоціюються із застосуванням турнікетів і вже на сьогодні наведено понад 200 задокументованих випадків таких ушкоджень. Попри широке варіювання часу накладання та тиску, більшість пацієнтів досягли повного відновлення, що підкреслює важливість правильного моніторингу та своєчасного зняття турнікета [41].

Важливо також зазначити зростаючу увагу до фармакологічних підходів у відновленні периферичних нервів. Tetramethylpyrazine (TMP), біоактивний компонент рослини *Ligusticum chuanxiong*, продемонстрував здатність зменшувати апоптоз, стимулювати ангиогенез та покращувати мікроциркуляцію в зоні ураження сідничного нерва у щурів. Дослідження на тваринних моделях показало значне покращення функціонального індексу сідничного нерва, зростання експресії колагену IV і ламініну, а також

зменшення кількості циркулюючих ендотеліальних клітин, що є маркером зниження ендотеліального ушкодження [42].

Сучасна література демонструє необхідність поєднання хірургічного втручання з індивідуалізованими фармакотерапевтичними підходами. Оптимальне відновлення функції нижніх кінцівок після ушкодження периферичних нервів потребує комплексного розуміння анатомо-фізіологічних особливостей кожної нервової структури, механізмів травмування, а також своєчасного й технічно правильного вибору тактики лікування. Спиномозкові нерви периферичної системи не тільки забезпечують інервацію багатьох ділянок та м'язів, а і судинна мережа нервів впливає на регенерацію, включаючи перфузію для метаболічних потреб, відповідну передачу сигналів і фактори росту, а також структурну основу для клітин Шванна та міграції аксонів. Тому їх пошкодження, класифікацію яких, запропонував Сіднеєм Сандерлендом у 1951 році і які базуються виключно на ієрархічних порушеннях грубих анатомічних нервових структур і не містить додаткової інформації щодо стану клітинних, метаболічних або запальних процесів, які є критичними для визначення регенеративних результатів, потребують детальнішого аналізу. Цей огляд охоплює анатомічну структуру нервово - асоційованої судинної мережі та описує біологічні процеси, які роблять ці судини критично важливими для успішної реіннервації кінцевих органів після серйозних пошкоджень нервів. Пошкодження периферичних нервів дуже поширене захворювання, особисте у теперішній час та супроводжується низьким відсотком одужання. Краще розуміння молекулярних змін, що лежать у основі пошкодження та регенерації периферичних нервів, може сприяти розробці нових методів лікування пошкоджень периферичних нервів [43-46]. За даними авторів, травми нервів спостерігаються від 1% до 10% випадків загального травматизму. Поранення кінцівок поєднуються з травмами нервових стовбурів у 1,5% випадків і у 20% випадків при більш тяжких ушкодженнях, що супроводжуються переломами кісток. При цьому близько 60%

постраждалих залишаються інвалідами із стійкою втратою працездатності. Далеко не завжди ушкодження нерва є ізольованими, у 12% - 15% випадків ушкодження периферичних нервів поєднуються з пораненнями магістральних судин, у 20%-29% – сухожилля, 14-25% – трубчастих кісток, інших органів та систем, що ускладнює оцінку ступеня пошкодження нервів на момент надходження хворого у відділення невідкладної допомоги та визначення тяжкості його стану. Це змушує лікарів екстреної служби акцентувати увагу на завданнях, пов'язаних з лікуванням небезпечних для життя ушкоджень, залишаючи питання про діагностику та поповнення втрачених функцій верхніх чи нижніх кінцівок до стабілізації стану пацієнта та усунення життєзагрозних ускладнень [47 - 50]. Дослідження в цій галузі також розглядають молекулярні та клітинні механізми, що лежать в основі цих змін, які допомагають зрозуміти, яким чином нервова система регулює мікроциркуляторний тонус і як ці механізми відреагують на ушкодження. Усвідомлення цих процесів є ключовим для розробки нових підходів до лікування та реабілітації пацієнтів з порушеннями мікроциркуляції в умовах неврологічних ушкоджень. Спостереження та дослідження у цьому напрямку продовжуються з метою вдосконалення клінічних підходів та покращення результатів лікування в практичній медицині. Як з'ясувалось, велика частина травм мала повні перерізи, часто супроводжувалися супутніми пошкодженнями судин, особливо при травмах, розташованих дистально, що підкреслює важливість раннього хірургічного дослідження. Пошкодження променевого, ліктьового нерва та нерва нижніх кінцівок часто супроводжувалися переломами. Раннє хірургічне відновлення нерва є ключовим для покращення моторних і сенсорних результатів. Знання про механізми та супутні ушкодження полегшує своєчасну діагностику і що важливо - лікування, тим самим, потенційно, запобігаючи довічним порушенням [51].

1.3. Аналіз порушень компонентів мікроциркуляції за умов різного ступеня ушкоджень периферичної нервової системи

У даному процесі ушкодження периферичних нервів залучаються всі компоненти мікроциркуляторного русла та ендотеліального покриву: артеріоли, прекапіляри крові, капіляри, посткапіляри, венули, лімфатичні капіляри, системи інтерстиціальної тканини. каналів, а також сполучної тканини, багатої гіалуроновою кислотою та протеогліканами. Виникнення усіх основних ознак пов'язане з ураженням різних компонентів мікроциркуляторного русла. Як наслідок, спостерігалось інтенсивне перекисне окислення ліпідів у вигляді «оксидативного стресу». Порухення мікроциркуляції у вогнищі запалення завжди синхронно супроводжується активацією білкових систем плазми крові: коагуляційної, антикоагуляційної, кінінової, комплементарної тому, що судинна система це, у першу чергу, транспортна система, основною функцією якої є постачання кисню тканинам, в яких відбувається метаболізм. Макроциркуляторна функція суворо контролюється, щоб гарантувати, що доставка основного кисню відповідає метаболічним потребам всього організму. Системний перфузійний тиск є ключовим елементом макроциркуляторної системи, але на нього сильно впливає тонус судин у мікроциркуляції. Окремі органи регулюють мікроциркуляторну перфузію, щоб регулювати місцеве постачання кисню з метою задоволення своїх метаболічних потреб, але при патологічному та фізіологічному стресі - мікроциркуляція, ймовірно, є ключовим етіологічним фактором у розвитку багатьох тяжких захворювань. Судини мікроциркуляторного русла життєво важливі для нормальної доставки кисню, функція якого пов'язана з потребами підлеглих тканин, незалежно від коливань артеріального тиску і серцевого викиду. Поза певними межами при патологічних станах, незважаючи на гомеостатичні механізми, мікроциркуляція перестає нормально кровообігатися і розвивається клінічна форма шоку. Якщо відновлювання судин мікроциркуляторного русла є швидкою та повною, перфузію можна нормалізувати та уникнути несприятливих наслідків, але, якщо ні, то мікроциркуляція залишається гіперперфузійною, тобто роз'єднаною, незважаючи на нормалізацію

параметрів макроциркуляції і після цього моменту виникнення поліорганної недостатності більш імовірно з відповідним збільшенням смертності. Якщо постійне спостереження мікроциркуляції можна додати до стандартних гемодинамічних заходів, то відновлення нормальної перфузії може служити кращим маркером адекватності реанімації. Це може дозволити більш зважену реанімацію, яка, враховуючи занепокоєння щодо шкідливого впливу катехоламінів, рідини або продуктів крові, буде виглядати розумно, а роль мікроциркуляції при встановленому шоку або поліорганній недостатності менш певна. Є надійні докази того, що клітинний метаболізм знижується при поліорганній недостатності таким чином, що постачання кисню на фізіологічних рівнях може бути в кращому випадку марним або навіть потенційно шкідливим, як це було зроблено на основі моделей ішемічно-реперфузійного ушкодження. При встановленій органній недостатності порушення мікроциркуляції може відображати адаптивну реакцію для обмеження пошкодження, спричиненого інфекцією, запаленням або окисним стресом. Тобто, ступінь необхідного відновлювання судин мікроциркуляторного русла може змінюватися залежно від типу та фази важкого захворювання, а гемодинамічні та кисневі показники відносно нечутливі на рівні тканин [52, 53]. У разі значного пошкодження периферичних нервів виникає гостра ішемія кінцівки виникає унаслідок obturaції просвіту великих артерій при гострому тромбозі чи емболії, а також порушенні прохідності судин, спричинене їх травмами чи стисненням (включаючи накладання кровоспинних турнікетів). У випадку ліквідації гострої ішемії і відновленні артеріального кровопостачання ураженої кінцівки виникає мультифакторне ураження ішемізованих та віддалених від місця ушкодження тканин, що носить назву реперфузійно - ішемічного синдрому [54, 55].

1.4. Оцінки посттравматичних реактивних змін нервово – м'язового комплексу та аналіз нових ефективних методів лікування

Відомо, що посттравматичний процес супроводжується низкою структурного-реактивних, патологічних подій, до яких належить розвиток запальної реакції, порушення в системі кровопостачання та відтоку, що призводить до гіпоксічно-ішемічних наслідків та необоротних змін із боку клітини, тканини, органу. Для оцінки реактивних процесів у різні терміни після травми і для підвищення об'єктивності дослідження реактивних та репаративних змін у тканинах. Оцінка нейротравми, як відомо, проводиться з урахуванням реактивних змін, а саме: некротичних змін, порушень кровообігу, запалення та регенерації. На сьогоднішній день приділяється велика увага питанням морфології нервово – м'язового комплексу через зростання неврологічної патології у всьому світі, що робить її значимою медико-соціальною проблемою. Комплексний аналіз наукової літератури підтверджує, що ефективне лікування ушкоджень периферичних нервів нижніх кінцівок вимагає послідовного підходу. Важливими є рання діагностика, правильна вибірка хірургічної тактики, моніторинг факторів ризику та інноваційні методи фармакологічної підтримки, зокрема застосування тетраметилпіразину.

Сучасна стратегія лікування периферичних нервових ушкоджень охоплює багатовекторні підходи, що поєднують хірургію, електрофізіологічну стимуляцію, медикаментозну терапію та регенеративні методики. Одним із найбільш перспективних напрямів є електрична стимуляція, яка продемонструвала позитивний вплив на прискорення аксонального росту. Завдяки активації генів, асоційованих із регенерацією, зменшенню затримки Валлерової дегенерації та кращому транспорту білків до переднього кінця аксона, така стимуляція стала новим етапом у лікуванні [56]. Валерова дегенерація, яка була уперше описана у 1850 році британським нейрофізіологом Августом Валером при дослідженні розсічених нервів лягушки, - це процес руйнування ділянки аксона, відокремленого від основної частини нейрона при розриві. Цей метод уже показав ефективність

у випадках компресійних, тракційних і травматичних ушкоджень, а передопераційна стимуляція забезпечує підвищену швидкість росту волокон.

Іншим проривним підходом є репетитивна магнітна стимуляція (rMS), яка, як доведено в експериментах на моделях з аутографтами сідничного нерва у щурів, запобігає апоптозу нейронів дорзального корінцевого ганглія та стимулює утворення мієлінових волокон. Результати включають суттєве покращення таких параметрів, як щільність волокон, кут стопи при навантаженні та час відповіді [57].

У клінічній практиці значення електродіагностичних методів стрімко зростає. Вони дозволяють не лише встановити точну локалізацію та ступінь ураження, але й оцінити перспективу реіннервації. У випадках, де проводиться нервовий або сухожилковий трансфер, електрофізіологічна оцінка може виявити донора збереженої функції, наприклад, гілку до *m. supinator* — як потенційне джерело для відновлення функції глибокої гілки променевого нерва [58].

Не менш важливою є роль електроакупунктури, яка не тільки зменшує аутофагію в уражених волокнах, але й стимулює ремієлінізацію, підвищення товщини мієлінової оболонки та активує нейротрофічні сигнальні шляхи. Відомо, що електростимуляція у точках GB30 та ST36 покращує показники індексу функції сідничного нерва (SFI). Її позитивний вплив доповнюється даними щодо інгібування апоптозу та відновлення судинної архітекtonіки [59].

У сфері передклінічних досліджень використання моделей з гризунами надає змогу оцінити ефективність нових методів — від застосування такролімусу до ацелюлярних алотрансплантатів. Проте автори наголошують на обмеженнях таких моделей через анатомічні й молекулярні відмінності між щурами та людьми [60]. Технології майбутнього у лікуванні нейропатій включають електропровідні гідрогелі, наноструктуровані кондуїти, оптогенетику та жирові трансплантати. Вони відкривають нові горизонти в керуванні нейрогенезом та реіннервацією [61].

Проведено багато досліджень з вивчення пошкодження периферичних нервів, які є вторинними по відношенню до різних причин, як правило, включаючи автомобільні аварії, падіння, нещасні випадки на виробництві, побутові нещасні випадки та проникаючі травми. Седдоном і Сандерлендом була надана класифікація пошкоджень нервів, яка актуальна до теперішнього часу і широко використовується. Нейропраксія, аксонотмезис і нейротмезис є трьома основними типами пошкоджень нервів. Електрофізіологічні дослідження, включаючи дослідження нервової провідності (NCS) і електроміографію (EMG), відіграють ключову роль і зараз вважаються розширенням клінічного обстеження пацієнтів з ушкодженнями периферичних нервів. Електрофізіологічні результати слід інтерпретувати у світлі клінічного обстеження. Ці дослідження допомагають локалізувати місце ураження, визначити тип і тяжкість ураження, а також допомагають зробити прогноз. При нейропраксії складний потенціал м'язової дії (CMAP) і потенціал дії сенсорного нерва (SNAP) викликаються при стимуляції нерва дистально від місця ураження, але демонструють блокування провідності при проксимальній стимуляції. Електродіагностичні дані при аксонотмезисі та нейротмезисі подібні. Через кілька днів після травми починається валлерівська дегенерація з нездатністю записувати CMAP і SNAP, а інтраопераційна техніка передбачає запис периферичних нервів під час інтраопераційного періоду та виявилася корисною при хірургічному лікуванні пошкоджень нерва та допомагає ідентифікувати пошкоджений нерв, визначити, чи є нерв безперервним, і локалізувати місце ураження. Інтраопераційний моніторинг також допомагає визначити нерв поблизу поточної операції, щоб можна було запобігти хірургічному пошкодженню нерва [62]. Особливий інтерес становлять питання, що пов'язані з дослідженням нейротомії на можливі відновно-пристосувальні процеси у структурах нервово – м'язового комплексу за умов розвитку патологічних процесів після нейротомії.

1.5. Патофізіологічні аспекти та методи реконструктивного лікування після ушкодження периферичних нервів в умовах теперішнього часу

В умовах сучасної війни поранення нижніх кінцівок стали однією з найпоширеніших і складніших бойових травм. Це обумовлено високою частотою вибухових ушкоджень, ураженням опорно рухової, судинної та нервової систем, а також потребою в негайного спеціалізованого хірургічного втручання. Останні дослідження висвітлюють як патофізіологічні аспекти, так і ефективні методи реконструктивного лікування.

В дослідженнях, які зосереджується на аналізі бойових ампутацій, отриманих унаслідок вибухових травм нижніх кінцівок, застосувавши дані з UK Joint Theatre Trauma Registry, автори виявили, що навіть під кінець бойових дій в Афганістані рівень смертності при травматичних ампутаціях залишався високим. Найбільшу загрозу життю становили проксимальні ампутації, супутні переломи тазу та ушкодження органів черевної порожнини, що вказує на потребу у вдосконаленні як засобів захисту, так і алгоритмів надання допомоги [63 - 66]. Травми нижніх кінцівок супроводжуються порушенням у судинній системі як артеріальної так і у венозній. Травма венозної системи має історію, яка представлена у оглядовій роботі, де проаналізували еволюцію методів лікування ушкоджень вен від XIX століття до сучасності. Автори підкреслюють, що рішення про венозну реконструкцію або лігування часто залишається індивідуальним і значною мірою залежить від клінічного досвіду хірурга, а в умовах воєнної медицини це може призводити до варіабельності результатів, оскільки стандартизовані протоколи часто відсутні [67]. У практичній медицині існують різні підходи до реконструкції великих дефектів нижніх кінцівок, наприклад, випадки в яких успішно застосували вільні фібулярні клапти у 15 пацієнтів із бойовими пораненнями. Їх результати підтвердили ефективність такого методу, навіть попри складність комбінованих кістково - м'якотканинних дефектів.

Важливим висновком є потреба в точному плануванні реконструкції з урахуванням обсягів уражених тканин [68]. В інших роботах після аналізу 515 випадків було з'ясовано, що рання фасціотомія хоча й не впливала суттєво на рівень ампутацій, значно знижувала ризик ускладнень, пов'язаних із синдромом компартменту або стиснення м'язів на основі підвищення тиску. Водночас автори відзначали високу частоту інфекційних та функціональних ускладнень, що супроводжують цю процедуру, підкреслюючи необхідність балансування між агресивністю лікування та його ефективністю. Окремі автори визначають реконструктивні методи про застосування тимчасового судинного шунтування як етапу до основної реконструкції [69]. Автори продемонстрували, що використання TVS значно зменшило рівень ампутацій у пацієнтів із пораненнями під час конфлікту в Сирії. Це підтверджує доцільність тактичної хірургії на догоспітальному або первинному рівні як засобу збереження життєздатності кінцівки [70].

На даний час військова медицина не лише зосереджується на збереженні життя, але активно розвиває функціональне відновлення кінцівки. На сьогодні оптсані вдосконалені підходи до реконструкції після поранень, включаючи застосування мікрохірургії, регіональних клаптів та турнікетів. Наголос робиться на системному підході до евакуації, інфузійної терапії та профілактики інфекційних ускладнень [71].

Окремої уваги заслуговує українські дослідження, в яких продемонстрували результативність поєднання пластичної хірургії з VAC-терапією лікування ран за допомогою негативного тиску для прискорення загоєння та очищення ранової поверхні, у випадках уламкових поранень нижніх кінцівок. Метод дозволив суттєво знизити частоту інфекційних ускладнень, пришвидшити загоєння ран і зменшити біль. Досвід є надзвичайно важливим для умов, наближених до сучасної війни в Україні, де аналогічні травми мають високу поширеність та супроводжуються ускладненнями [72].

Серед ускладнень бойових поранень нижніх кінцівок важливу роль відіграють ушкодження периферичних нервів. Так при аналізі наслідків таких ушкоджень серед військовослужбовців США було встановлено, що хоча терміни первинної оцінки впливають на моторні й сенсорні функції, основним предиктором результату залишається тяжкість початкової травми. Це підтверджує необхідність ранньої діагностики й багатопрофільного підходу до ведення нервових ушкоджень [73]. При ґрунтовному дослідженні, що охоплювало бойові травми кінцівок, які не призвели до ампутації, у період з 2001 до 2018 року. Значна частина поранень виявилася легкими або середньої тяжкості, однак велика кількість відкритих ран і переломів свідчила про складність лікування. Автори звертають увагу на молодий вік та активну військову службу поранених, що накладає додаткову відповідальність на військово-медичну систему щодо їхньої реабілітації [74].

Perkins з співавторами проаналізували, результати, 579 травмованих кінцівок серед яких – 91,5% зазнали спроби реконструкції, однак у 15,2% випадків згодом усе ж довелося вдаватися до ампутації, а рівень можливого відновлювання кінцівок на десятирічному етапі був високим, функціональні обмеження та біль залишалися проблемою. Цей досвід підкреслив потребу для пацієнта, враховувати не лише хірургічний результат, а й якість життя [75].

У дослідженнях французьких дослідників по досвіду веденні бойових поранень нижніх кінцівок відмічали стратегію “Damage Control Surgery” із подальшою евакуацією та реконструктивним лікуванням у військових шпиталях. Вона дозволила стабілізувати стан пацієнтів до надання високоспеціалізованої допомоги. Між пластичними та ортопедичними хірургами, септичний несправжній суглоб залишається одним з найсерйозніших ускладнень, що іноді потребує ампутації. Цей підхід демонструє приклад комплексної організації медичної допомоги на рівні держави [76]. Також існує проблема прогнозування результатів після судинної травми, що було вивчено після застосування Mangled Extremity

Severity Score (MESS) у військовому контексті. Автори дійшли висновку, що навіть високі показники за шкалою MESS – mangled extremity severity score – тяжкості розтрощеної кінцівки, не завжди дозволяють точно передбачити ампутацію. Таким чином, існуючі системи оцінки мають обмежене значення і не повинні бути єдиним інструментом прийняття рішень [77].

Після аналізу вивчення ефективності програми вправ із профілактики м'язово-скелетних травм, вивчали профілактичний аспект травмування, хоча загальне зниження ризику травм було зафіксоване - 43% проти 54%, статистичної значущості не виявлено. Ці дані свідчили про необхідність подальших досліджень щодо впливу таких програм, хоча напрям превентивної медицини в армії безперечно були актуальні [78]. У травматичних пошкодженнях, особливо бойових та вогнепальних поранень, раннє хірургічне втручання є критично важливим. Балістичні поранення часто супроводжуються складними ушкодженнями з перериванням нервової провідності, і очікування може призвести до втрати регенеративного потенціалу [79 - 84].

Також були досліджені у педіатричній практиці переломи середньої третини передпліччя, ущемлення ліктьового нерва, які можуть бути непоміченими на ранніх етапах. Затримка з лікуванням призводить до фіброзу та формування рубцевої тканини навколо нерва, що знижує ефективність навіть пізнього оперативного втручання [85-90].

В окремих роботах було визначено, що травматичні ушкодження нервової системи коней мають схожі механізми ураження мозку, спинного мозку та периферичних нервів, але різняться за етіологією, патофізіологією та підходами до лікування. Найпоширеніші клінічні ознаки включають змінений рівень свідомості, аномальну поведінку, судоми, дефіцити черепних нервів, вестибулярні порушення, тетра- або парапарез, параплегію, синдром кінського хвоста, специфічні порушення ходи та атрофію м'язів. Лікування спрямоване на зменшення запалення та набряку, запобігання вторинним ушкодженням і стимуляцію нейрорегенерації та пластичності.

Прогноз залежить від тяжкості первинного ушкодження, нейроанатомічного розташування та ступеня пошкодження нервової тканини не тільки у дорослих, але і у дітей [91-96].

Травми сідничного нерва, отримані в бойових умовах, зазвичай є тяжкими, супроводжуються значними ушкодженнями м'яких тканин і кісток, вираженим неврологічним дефіцитом і сильним нейропатичним болем, що потребує тривалого відновлення. Було проаналізовано 13 пацієнтів із війн в Іраку та Афганістані, яким провели хірургічне дослідження та відновлення сідничного нерва, причому дев'ятьом застосували довгі алотрансплантати з кадаверних тканин. Операцію в межах тридцяти днів після травми провели п'ятьом пацієнтам, тоді як у восьми вона була відтермінована. Результати показали значне зменшення болю, електродіагностичні ознаки реіннервації у восьми пацієнтів, але функціональне відновлення було обмеженим, із моторною активністю нижче коліна лише у трьох із десяти. Серйозних ускладнень, таких як інфекція чи відторгнення трансплантата, зафіксовано не було [97-103]. Було встановлено, що черезшкірна електрична нервова стимуляція (TENS) є ефективним неінвазивним методом для зменшення гострого післяопераційного болю після хірургічного втручання з приводу перелому стегна. У дослідженні 41 пацієнт отримав активний або плацебо TENS разом зі стандартною реабілітацією, розпочатою через двадцять чотири години після операції. Активний TENS значно зменшив біль під час ходьби, покращив відстань ходьби та рухливість до п'ятого дня порівняно з групою плацебо. Значного впливу на біль у спокої, вночі чи під час завдань сидячи-встаючи не спостерігалось. TENS рекомендують як додаток для контролю болю та функціонального відновлення на ранній післяопераційній фазі [104-109]. Також було проаналізовано 1004 пацієнти в Швеції з хірургічно відновленими травмами цифрових нервів за 2012–2018 роки, із частотою 8,3 на 100 000 людей. Травми частіше траплялися у чоловіків у віці 37 років, а основним механізмом були різані рани. Травми розподілялися рівномірно за днями тижня та порами року, але операції найчастіше

проводили в понеділок. Реабілітація значно варіювала: третина пацієнтів не отримувала сенсорного перенавчання, а сенсорне оцінювання проводилося лише у 7% випадків, що свідчить про нерівномірне використання медичних ресурсів. Жінки частіше оперувалися протягом трьох днів після травми порівняно з чоловіками [110- 115].

В спостереженнях дослідників було встановлено, що професійні травми нервів охоплюють широкий спектр патологій, які призводять до функціональних обмежень та економічних втрат. Діагностика потребує аналізу біомеханіки робочого місця, враховуючи компресію, розтягнення, вібрацію або повторювані рухи як механізми травм, а ушкодження часто виникають у місцях нервів із високим тиском або фіксацією. Лікування включає модифікацію активності, використання захисного обладнання та довгострокове спостереження для оцінки ефективності втручань і повернення до роботи [116 -121].

В інших працях було виявлено, що травми передньої хрестоподібної зв'язки спричиняють атрофію та слабкість чотириголового м'яза, які зберігаються після реконструкції. У дослідженні оцінювали ефект нервово-м'язової електростимуляції (NMES) порівняно з плацебо у 25 пацієнтів, починаючи незабаром після травми та продовжуючи три тижні після операції. NMES зменшила атрофію м'язових волокон у швидких волокнах і зберегла скоротливість у повільних волокнах, підвищуючи максимальну швидкість скорочення та вихідну потужність. Через шість місяців значних відмінностей у загальній м'язовій силі не виявлено [122 -124].

Було встановлено, що синдром зап'ясткового каналу є поширеним станом ураження нерва. У подвійному сліпому рандомізованому дослідженні оцінювали ефект самоіофасціального розтягнення зап'ясткового каналу порівняно з плацебо у 83 пацієнтів протягом шести тижнів. Розтягнення призвело до значного покращення оніміння, поколювання, сили стискання та зменшення тяжкості симптомів, що свідчить про ефективність цього методу [125].

У дослідженнях Meulenkamp та співавторів було зазначено, що розриви ахіллового сухожилля зростають за частотою, і для них існує кілька стратегій лікування, кожна з яких має свої ризики та переваги. Плановий систематичний огляд із мережевим мета-аналізом має на меті порівняти всі варіанти лікування, зосередившись на функціональних результатах через рік за шкалами, такими як AOFAS і Leppilahti, а також на вторинних результатах, як-от ускладнення та якість життя [126].

Було встановлено, що фізіотерапія та спортивна терапія пропонують неінвазивне лікування синдрому зап'ясткового каналу з мінімальними побічними ефектами. Систематичний огляд 26 досліджень показав, що мануальна терапія є так само ефективною, як хірургія, для зменшення болю та покращення функції в довгостроковій перспективі, а мобілізаційні техніки, масаж, кінезіотейпування та йога сприяли полегшенню симптомів. Ці методи показали результати вже через два тижні, що можна порівняти з хірургією після трьох місяців [127]. У дослідженнях de Santana Chagas та співавторів було виявлено, що травматичні ушкодження плечового сплетення є вкрай інвалідизуючими та потребують тривалої реабілітації. Скопінг-огляд 49 досліджень визначив кінезіотерапію, електротермо- та фототерапію, мануальну терапію та стратегії сенсорного перенавчання як основні фізіотерапевтичні методи. Низький рівень доказовості та нечіткі параметри лікування ускладнюють відтворюваність, що вимагає подальших контрольованих досліджень [128]. Регенерація периферичних нервів (ПН) після травматичних ушкоджень залишається надзвичайно складною клінічною проблемою. Втрата провідності внаслідок ушкодження викликає не лише сенсомоторні порушення, але й вторинні процеси — атрофію м'язів, фіброз та хронічні болі. За останнє десятиліття сформувався потужний науковий інтерес до біоактивних матеріалів, фізичних впливів і клітинної терапії як альтернативи класичній нейрорафії. Науковці розробили високотрансляційну свинячу модель ушкодження лицевого нерва — одну з найскладніших зон хірургічного втручання. Дослідники дослідили

ефективність нейрорафії у поєднанні з поліетиленгліколем (PEG), який діє як фузоген, сприяючи швидкому злиттю аксонів. Результати засвідчили наявність негайної електропровідності у 100% випадків у PEG-групі, на відміну від контролів. Важливо, що морфологічний аналіз підтвердив структурну безперервність аксонів у зоні зшивання. Це свідчить не лише про функціональну, але й анатомічну цілісність при застосуванні PEG. Такий підхід є перспективним для впровадження у клінічну практику при лікуванні тяжких ушкоджень ПН, зокрема в лицевій ділянці [129].

У роботі Roballo автори [56] представили вівцю як релевантну велику модель для довготривалого вивчення регенерації ПН. Порівняльне дослідження секції малогомілкового нерва та автотрансплантата показало, що просте зшивання має переваги у СМАР-індикаторах та збереженні м'язової маси. Дослід тривав 14 місяців, що дозволило оцінити довгострокову ефективність регенерації. Така модель надзвичайно корисна для до-клінічного тестування біоактивних втручань або відтермінованих стратегій [130 -135].

Після стиснення нерва автори зосередилися на впливі ін'єкцій PRGF та фібринових матриць у вівцях. PRGF містить значну кількість факторів росту, які активізують відновлення нервових волокон і зменшують м'язову атрофію. Група PRGF показала позитивні результати як в електрофізіології (70% СМАР+), так і в морфометрії аксонів та м'язових волокон. Важливою є також відсутність суттєвих відмінностей між PRGF-групою та контролем — це підкреслює наближення експериментального підходу до фізіологічної норми [136 -140].

Комбінована терапія з PRP і ультракороткохвильовими впливами (USW) у дослідженні показала ще вищий регенеративний ефект, ніж окреме використання PRP або USW. У групі PRP+USW було зафіксовано найраніше відновлення СМАР, а гістологічні показники відповідали рівню інтактних тварин. Суттєве збільшення товщини мієліну та кількості мієлінізованих волокон свідчить про структурну ефективність комбінації. Це дослідження

підкреслює потенціал мультифакторної терапії у регенеративній медицині [141-143].

Не всі фізичні впливи мають однозначно позитивний ефект. Так, було досліджено дію LLLT з довжинами хвиль 660 та 830 нм після компресії сідничного нерва у щурів. Морфологічні та функціональні результати не продемонстрували достовірного покращення порівняно з ушкодженою контрольною групою. Це дослідження піднімає питання про доцільність використання LLLT без чітко встановлених параметрів [144]. Але є роботи у контексті м'язової хірургії, особливо на оці, які надають важливі морфометричні дані нижнього косоного м'яза. Хоча вона не є безпосередньо пов'язаною з регенерацією ПН, ці результати мають значення для уникнення травм ПН під час оперативних втручань, що підтверджує тісний зв'язок між анатомією та функціональним відновленням [145]. Існують герметики DuraSeal та Tisseel у поєднанні з епіневральними швами у щурів, які уповільнюють розвиток м'язової атрофії та фіброзу до тридцятої доби. Особливо цікаво, що до шести десятої доби у DuraSeal-групі з'являлись ознаки гіпертрофії, що може свідчити про активацію компенсаторних механізмів. Ці дані є особливо цінними для практичної нейрохірургії [146]. Lysak et al. [147] дослідили вплив клітин кісткового мозку на відновлення м'язів після ушкодження сідничного нерва. Вони виявили, що відстрочене введення аспірату на сьомому тижні більш ефективно стримує атрофію та покращує біохімічні маркери окисного стресу порівняно з негайним введенням, яке навпаки стимулювало фіброз, що відкриває перспективи часової модуляції клітинної терапії [147].

Hernández-Jasso та інші. [148] вивчили ефект агоніста GnRH — лейпроліду ацетату — після повного перетину сідничного нерва. У групі лікування було зафіксовано вищі показники NCV, СМАР та морфологічну цілісність нейронів. Ці результати доводять нейротрофічний потенціал гормональних препаратів, що раніше не застосовувалися у невідкладній нейрохірургії [149].

У роботах було досліджено вплив прегабаліну на регенерацію при моделі м'язової дистрофії у мишей. Унікальність підходу полягає в одночасному впливі на нервові й м'язові волокна, що дозволяє синхронізувати їх відновлення та значно покращити функціональні показники ходи. Такий комбінований нейропротекторний ефект є важливою темою для досліджень у сфері лікування спадкових неврологічних захворювань [150].

Підсумовуючи вищесказане, слід зауважити, що в доступній літературі нам не вдалось знайти результати комплексних досліджень з використанням морфологічних, загально гістологічних, нейрофізіологічних методик по дослідженню м'язів та спинномозкових нервів периферичної системи щурів після їх ураження. Отже, саме тому дослідження морфологічних змін у литковому м'язі після ушкодження нервів поперекового та крижового відділу спинного мозку, які забезпечують іннервацію м'язів стегна задніх кінцівок щура є важливим та актуальним питанням сучасної медицини. Також, можна сказати, що сучасний підхід до лікування бойових поранень нижніх кінцівок потребує інтеграції кількох напрямів медицини: екстреного втручання, судинного фактору, реконструктивної хірургії та подальшої реабілітації. Актуальні дослідження підтверджують ефективність як новітніх технологій, так і переосмислених класичних стратегій, адаптованих до умов сучасних збройних конфліктів.

Результати розділу опубліковані в наукових працях:

1. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегового та сідничного нерва в гострому періоді. Перспективи та інновації науки. 2024;10 (44):1348-57. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-1357](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-1357).
2. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегового та сідничного нерва в

підгострому періоді. Вісник проблем біології і медицини. 2024;4 (175):550-59. DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559).

3. Кошарний В.В., Бойко Є.М. Морфологічні зміни гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в пізній період. Перспективи та інновації науки. 2025;1(47):2278-87. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1\(47\)-2278-2286](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1(47)-2278-2286).

4. Кошарний В. В., Бойко Е. М., Абдул-Огли Л. В., Ткаченко С. С., Кушнарьова К. А. Зміни нервово м'язового комплексу литкового м'язу при пошкодженні гілок поперекового та крижового сплетення. Вісник проблем біології і медицини. 2025;1(176):429-36. DOI: [10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435).

5. Кошарний В. В., Бойко Є.М., Абдул-Огли Л. В., Родинський Р.О., Яровенко С.В. Способи формування хірургічного доступу до сідничного нерва щура: переваги та недоліки . Перспективи та інновації науки. 2025;2 (48):2099-07. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2\(48\)-2099-2107](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2(48)-2099-2107).

6. Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Бойко Е.М., Ткаченко С.С., Кушнарьова К.А. Деякі варіанти фетальної топографії довгих гілок крижового сплетення. Клінічна анатомія та оперативна хірургія –Т.22, № 3 – 2023:59-63. DOI: <https://doi.org/10.24061/1727-0847.22.3.2023.30>.

7. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Демченко О.М. Пошкодження стегнового та сідничного нерва: реакція гемомікроциркуляторного русла протягом першого тижня // Медичні та біологічні науки: міждисциплінарний аспект: матеріали Міжнародної міждисциплінарної науково-практичної internet-конференції до Всесвітнього дня анатомії (17 жовтня 2024 р., м. Харків) / за ред. Д. М. Шияна. Приватний вищий навчальний заклад «Харківський міжнародний медичний університет». – Харків, СГ НТМ «Новий курс», 2024. С.57-54.

8. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Кушнарьова К.А. Пошкодження стегнового та сідничного нерва в гострому періоді // Теорія та практика сучасної морфології : матеріали Восьмої Всеукраїнської науково-практичної

конференції з міжнародною участю (м. Дніпро, 6-8 листопада 2024 року) / Дніпровський державний медичний університет. – Дніпро: ДДМУ, 2024. С.80-81.

9. Бойко Е.М., Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Губаренко О.В., Козловська Г.О. Ремодельовання мікроциркуляторного русла кінцівок за умов ушкодження периферичних нервів // Перший міжнародний морфологічний симпозіум. Перспективи використання морфологічних досліджень в розвитку сучасної медицини і стоматології. Полтава 16-17 червня 2022, Вісник проблем біології і медицини. 2022; 2 (164) (додаток): С.11. DOI: 10.29254/2077-4214-2022-2-164/addition-11.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Матеріал дослідження

Об'єктом дослідження стали кінцівки лабораторних статевозрілих щурів. У дослідженні було залучено 178 тварин. Комісією з етичних питань та біоетики Дніпропетровського державного медичного університету (протокол № 26 від 19 березня 2025 року) встановлено, що проведені дослідження відповідають етичним вимогам, відповідно наказу МОЗ України № 231, від 01.11.2005 року. Під час роботи з експериментальними тваринами дотримувалися принципів Гельсінської декларації, прийнятою Генеральною асамблеєю Всесвітньої медичної асоціації (1964 - 2000 р.), Конвенцією Ради Європи про права людини та біомедицину (1997 р.), відповідно положенням ВООЗ, Міжнародної ради медичних наукових товариств, Міжнародного кодексу медичної етики (1983 р.) та законам України, «Загальним етичним принципам експериментів над тваринами», які затверджені I 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) [161,162].

Забір біоматеріалу для анатомічного дослідження проводили у віварії Дніпропетровського медичного університету. До початку експерименту всі щури були оглянуті, зважені, враховуючи їхню рухову активність та стан шкіри, проявляли належну рухливу активність та перебували під постійним наглядом. Показником адекватного харчування слугувала відсутність проявів канібалізму. Після зовнішнього огляду та відбраковування починали експеримент паралельно контрольній групі. Увесь період підготовки до експерименту та під час його проведення щури розташовувались у віварії ДДМУ, при температурі $22 \pm 2^\circ\text{C}$, вологості не менш 50%, у добре

провітрюваному приміщенні та світовому режимі день / ніч - 12/12 годин, у стандартних пластикових клітках із розмірами, не більш п'яти особин у кожній при стандартному раціоні харчування: добова потреба дорослої тварини становить у середньому 30-32 г (25 г корма та додатково 5-7 г овочів). Усі щури, які взяли участь в експерименті, мали здоровий вигляд і були активні. Щури традиційно використовуються як моделі в описовій та експериментальній біомедичній науці. Показником адекватного харчування слугувала відсутність проявів канібалізму.

Лабораторні тварини були розподілені на контрольну групу та сім експериментальних груп, у яких щури підлягали перерізці сідничного окремо та водночас обох нервів – сідничного та стегнового задньої кінцівки та одна – контрольна група:

перша експериментальна група - після перерізки сідничного нерва у гострий період – у першу добу; друга група - після перерізки сідничного нерва у підгострий період - на третю добу; третя група - після перерізки сідничного нерва у ранній період - на сьому добу; четверта група – після перерізки сідничного нерва у пізній період - на чотирнадцяту добу; п'ята група – після перерізки сідничного та стегнового нервів у гострий період - у першу добу; шоста група - після перерізки сідничного нерва у підгострий період - на третю добу; сьома група - після перерізки сідничного та стегнового нервів у ранній період - на сьому добу; восьма група – після перерізки сідничного та стегнового нервів у пізній період - на чотирнадцяту добу.

Розподіл досліджуваного матеріалу контрольної та восьми експериментальних груп представлений у таблиці 2.1.

За весь період дослідження, включаючи операції, летальних випадків серед піддослідних тварин зафіксовано не було.

Таблиця 2.1 - Розподіл матеріалу контрольної та восьми експериментальних груп дослідження за періодами спостереження

Строки	Контроль	1 доба	3 доба	7 доба	14 доба	Усього
Періоди часу		Гострий	Підгострий	Ранній	Пізній	
Перерізка сідничного нерва	5	I 21	II 21	III 21	IV 21	89
Перерізка сідничного і стегового нервів	5	V 21	VI 21	VII 21	VIII 21	89

Такий розподіл контрольної та експериментальної груп дав змогу визначити вплив перерізки нерва як окремого сідничного так і водночас обох нервів – сідничного та стегового нервів задніх кінцівок і як наслідок скопсування та дослідження рухливості м'яза задньої кінцівки щурів. Після фіксації рідиною Буена проводилося макроскопічне дослідження нервів та після тотального забарвлення гематоксиліном та еозином, проводили мікроскопічне дослідження при світлі, яке падає та при світлі, яке проходить.

2.2. Методи дослідження

Згідно з поставленою метою та завданнями дослідження було застосовано комплекс експериментальних, гістологічних, морфометричних, фізіологічних і біостатистичних методів. Усі використані підходи можна об'єднати в систему морфологічних, гістологічних та фізіологічних методик.

2.2.1. Методи моделювання

Щури є об'єктом морфологічних досліджень, яких було прооперовано за період 2021 – 2024 років. При дослідженні нервів проводили наступні морфометричні вимірювання: товщина м'язових волокон; діаметр артеріол; діаметр капілярів; діаметр венул; артеріоло - венулярний коефіцієнт.

Оперативне втручання здійснювалося після підготовки операційного поля — депіляції передньо-медіальної ділянки стегна та обробки шкіри 5–10% спиртовим розчином йоду — проводилося загальне знеболення (внутрішньоперитональне введення тіопенталу натрію - 5 мг/кг маси тіла щура), після чого розпочиналась сама операція. Щурів оперували на першу, третю, сьому та чотирнадцяту добу після перерізки як окремосідничного нерва так і водночас сідничного та стегового нервів задньої кінцівки щура.

Хід оперативного втручання: нижче пахвинної (пупартової) зв'язки виконували послідовний поздовжній розріз тканин, розширювали краї рани за допомогою гачків, виявляли стеговий нерв, відокремлювали його від навколишніх структур, описували топографічне розташування, після чого перерізали його лезом бритви. Як контроль використовували протилежну задню кінцівку тієї ж лабораторної тварини. Але для виділення сідничного нерва у оперативному втручанні в нас було використано два доступи.

Для першого доступу робили 1–1,5 см розріз шкіри паралельно правій стеговій кістці на правій сідниці за допомогою тканинних ножиць Купера, потім за допомогою дисектору тупим методом роз'єднували підшкірну клітковину, поверхневі та глибокі фасції, а також відповідну м'язову тканину (*m. gluteus medius*), формуючи доступ до *n. ischiadicus*. Після створення успішного хірургічного доступу, обережно ізолювали сідничний нерв та перерізали скальпелем (рис. 2.1- А), як контроль знову ж таки використовували задню кінцівку з протилежного боку.

Для другого доступу робили 2,5-3 см розріз шкіри між двоголовим та півсухожилковим м'язами за допомогою тканинних ножиць Купера, потім за допомогою дисектору тупим методом роз'єднували підшкірну клітковину та фасції, формуючи доступ до *n. ischiadicus* (рис. 2.1- Б). Після створення

успішного хірургічного доступу, обережно ізолювали сідничний нерв та перерізали скальпелем. Після виконання нейротомії та дезінфекційних заходів, у двох випадках розрізані тканини зашивалися шовним матеріалом та додатково дезінфікувалися.

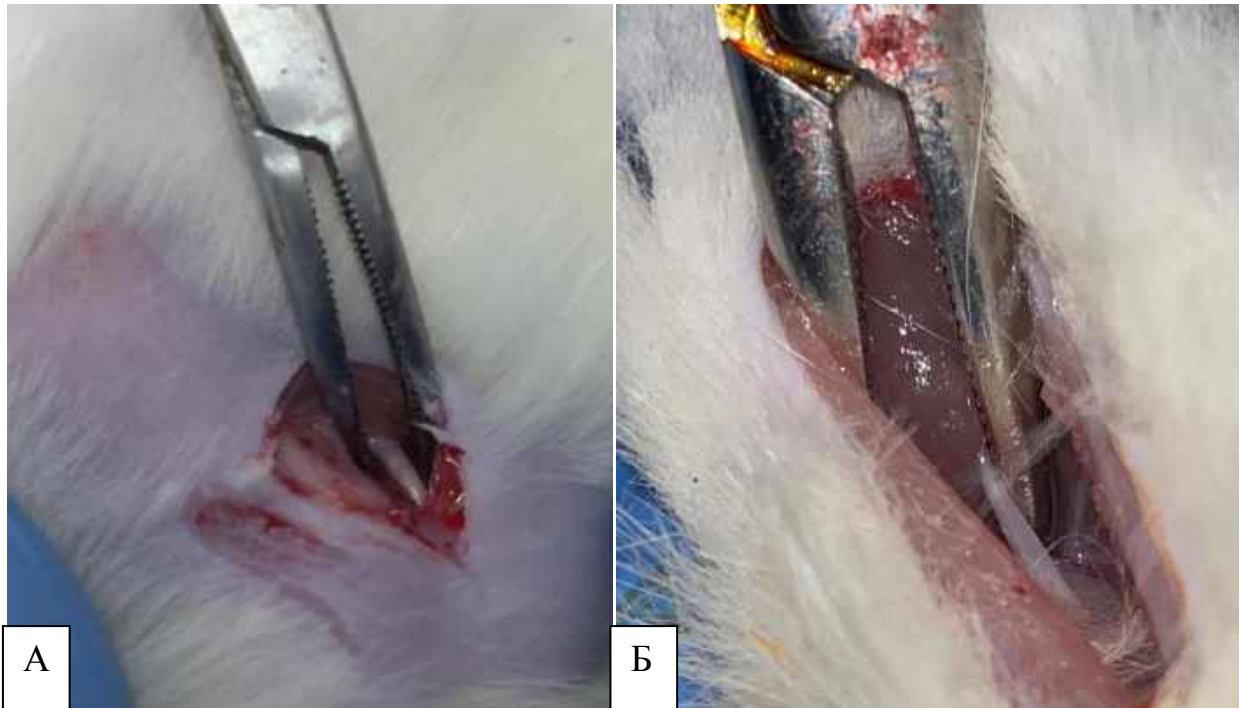


Рисунок 2. 1 - А — сформований доступ до *n. ischiadicus* через сідничну ділянку; Б - через задню стегнову ділянку.

Усі щури залишалися живими після проведення експериментів. Виведення тварин з досліду здійснювалося шляхом введення летальної дози гексеналу (втричі більшої за наркозну; стандартна наркозна доза — 250 мг/кг), із дотриманням усіх вимог і етичних стандартів використання лабораторних тварин.

Після евтаназії описували макроскопічні зміни, а тіла щурів фіксували у 10% розчині формаліну або у фіксуючій рідині Буена. Для мікроскопічного аналізу відбирали зразки з різних ділянок чотириголового м'яза із передньої групи м'язів стегна, який іннервує стегновий нерв і двоголового м'яза стегна із задньої групи м'язів стегна, який іннервує сідничний

нерв. Світлооптичне дослідження мікропрепаратів проводили під мікроскопом «LeicaDM 1000 LED». Отримані цифрові дані обробляли з використанням непараметричних методів (критерій Kruskal - wallis і тест Mann – whitnew)[163].

2.2.2. Макро- та мікроскопічні методи

З метою вивчення голотопії та синтопії нервів у щурів застосовували метод препарування. На десяту добу після фіксації в розчині формаліну тварин розміщували на лабораторному столі та проводили пошарове препарування з подальшою фотофіксацією. Цей метод дозволив детально описати хід нервових стовбурів, особливості їх розгалуження, а також топографічні взаємовідносини з навколишніми структурами у різні періоди часу – гострий, підгострий, ранній та пізній. У процесі препарування враховували анатомічне розташування нервів, які іннервують м'язи стегна та гомілки задніх кінцівок щурів. Після завершення процедури лоскут шкіри повертали на місце, позначаючи на ньому проекцію нервів на поверхню тіла. Такий підхід дав змогу деталізувати синтопічні зв'язки основних нервових стовбурів нервів, які іннервують м'язи задніх кінцівок лабораторних тварин.

Мікроскопічні зрізи нервів та м'язів виготовляли з парафінових блоків, куди попередньо заливали фіксований матеріал, а потім, за допомогою стандартних гістологічних методик фарбували цей матеріал. Основною метою було отримання ізольованих нервів щура, які вилучали та фіксували окремо. Також здійснювали зважування та морфометричний аналіз окремих нервів, м'язів і судин задніх кінцівок щурів у різні періоди часу.

2.2.3. Гістологічні методи

Для дослідження структурної організації нервових волокон та взаємозв'язків між їх компонентами використовували серії гістологічних зрізів, забарвлених за класичними методиками: гематоксиліном та еозинома

залізним гематоксиліном Гейденгайна. Аналіз здійснювали за допомогою світлової мікроскопії з метою виявлення структурних змін у нервових, м'язових волокнах задніх кінцівок щурів, а також у судинах мікроциркуляторного русла після проведених оперативних втручань.

Для гістологічного дослідження нервові тканини фіксували в рідині Буена, після чого зневоднювали та заливали в парафін. На мікротомі МС-2 виготовляли зрізи товщиною 5–7 мкм. Зрізи забарвлювали гематоксиліном і еозином, а також залізним гематоксиліном Гейденгайна. Для останнього попередньо депарафінізовані зрізи обробляли 2,5% розчином залізо-аміачних галунів при температурі +70 °С упродовж 6 хв, після чого фарбували розчином Гейденгайна (0,5 г гематоксиліну на 10 мл етанолу та 90 мл дистильованої води) протягом 4 хв при +80 °С. Після зневоднення зрізи заключали в бальзам.

Для вивчення тонкої будови нервових та м'язових волокон, а також елементів судинного русла застосовували напівтонкі зрізи товщиною 1–2 мкм, отримані з використанням епон-аралдиту або ловикрилу. Тканину об'ємом приблизно 1 мм³ фіксували в 2,5% розчині глутаровальдегіду на 0,1 М фосфатному буфері (рН 7,4) протягом 2 годин при кімнатній температурі. Додаткову фіксацію проводили 1% розчином тетрооксиду осмію (OsO₄) на тому ж буфері ще протягом 2 годин. Після зневоднення зразки заливали в епон-аралдитову суміш згідно з відповідними методичними рекомендаціями [163,164].

Напівтонкі зрізи товщиною 1 мкм виготовляли на ультрамікротомі УМТП - 5-М. Зрізи фарбували метиленовим синім, азуром II та основним фуксином. На зріз наносили 1 мл барвника (рН 6,9), що містив 0,13% метиленового синього, 0,02% азурю II, 10% гліцерину та 10% метанолу, при температурі +65 °С упродовж 5 - 6 хвилин. Після ретельного промивання зрізи на 1 хвилину поміщали в 0,05% розчин основного фуксину при кімнатній температурі. Після завершального промивання і висушування на зріз наносили імерсійне масло та накривали покривним склом.

Враховуючи характер дослідження, була проведена кількісна оцінка таких параметрів:

- маса щура до та після експерименту (мг), за допомогою лабораторних торсіонних терезів ВЛР-200, $M \pm m$;
- товщина м'язових волокон у контрольній групі та після перерізки окремого нерва – сідничного та обох нервів водночас сідничного та стегнового задніх кінцівок щура (мкм), $M \pm m$;
- діаметр артеріол у контрольній групі та після перерізки окремого нерва – сідничного та обох нервів водночас сідничного та стегнового задніх кінцівок щура;
- діаметр капілярів у контрольній групі та після перерізки окремого нерва – сідничного та обох нервів водночас сідничного та стегнового задніх кінцівок щура;
- діаметр венулу контрольній групі та після перерізки окремого нерва – сідничного та обох нервів водночас сідничного та стегнового задніх кінцівок щура;
- артеріоло-венулярний коефіцієнт у контрольній групі та після перерізки окремого нерва – сідничного та обох нервів водночас сідничного та стегнового задніх кінцівок щура(%), $M \pm m$.

Вивчення морфологічної структури нервово-м'язових волокон і судин мікроциркуляторного русла здійснювали на напівтонких препаратах. При визначенні товщини м'язових волокон оцінювали їх максимальні значення у контрольній групі та після перерізки окремого нерва – сідничного та обох нервів водночас сідничного та стегнового задніх кінцівок щура, з подальшим проведенням кореляційного аналізу.

Артеріоло-венулярний коефіцієнт обчислювали за формулою:

$$ABK = D_a / D_v,$$

де D_a – діаметр артеріоли, D_v – діаметр вени.

Відносні об'єми судин і м'язової тканини визначали методом точкового рахунку [163,164] із використанням окулярних вставок за формулою:

$$V_v = P_i / P_t,$$

де V_v – відносний об'єм досліджуваної структури;
 P_i – кількість точок, що припадають на структуру;
 P_t – загальна кількість точок перетину тест-сітки.

Таким чином, наведені в даному розділі методики дослідження становлять собою послідовну систему етапів, що забезпечують комплексний підхід до аналізу змін, які відбуваються у нервово-м'язових структурах задніх кінцівок щура після ураження периферичної нервової системи.

2.2.4. Електро-фізіологічні методи

Експеримент по дослідженню змін збудливості литкового м'язу проводили під загальною анестезією - тіопенталом натрію в дозі 5 мг/кг маси тіла щура, введеного інтраперітонеально. Подразнення електричними імпульсами прямокутної форми здійснювали через біполярні електроди, що вводили в середню частину литкового м'яза на відстані 5 мм; відведення викликаної відповіді здійснювали біполярно електродами, введеними в сухожильні ділянки м'язу. Аналізували такі показники збудливості, як поріг (П) та хронаксія. Використовувалась стандартна електрофізіологічна апаратура (електростимулятор ЕСУ-2, підсилювач УБП 2-03, аналого-цифровий пристрій з реєстрацією та обробкою даних на комп'ютері).

У роботі були використані тензометричні методи, які дали змогу кількісно оцінити силу скорочень м'язів розгиначів задніх кінцівок і згиначів передніх кінцівок щурів з метаболічним синдромом. Принцип дії ґрунтується на природному інстинкті: під час спроби витягнути тварину за хвіст із

камери, вона намагалася впертися кінцівками в Т-подібні упори або хапалася за сітчасті пластини на вході камери, які були з'єднані з тензодатчиками. З використанням відомостей тарування показники максимальних зусиль перераховували в Ньютони ($1000 \text{ г} = 9,8 \text{ Н}$) (рис. 2.1). Вимірювання проводили тричі.

Також нами розраховувався відносна сила м'язових зусиль, що обчислюється за формулою – сила м'яза в Ньютонах поділена на масу щура. Описаний розрахунок є відносною силою або відносною продуктивністю м'язів. У цьому випадку максимальна сила, яку виробляє м'яз, ділиться на масу тварини.

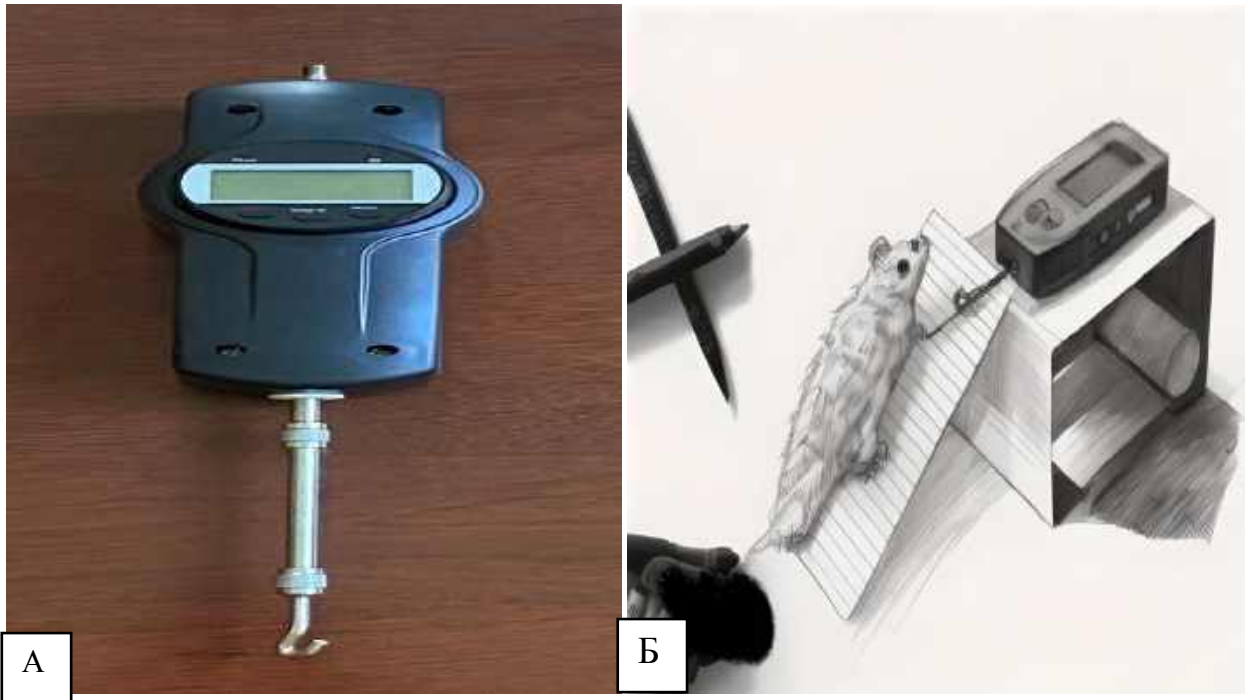


Рисунок 2.2 - Тензометрія кінцівок щурів. А – тензометр, Б – тензометричне дослідження кінцівок щурів.

Це уможливорює оцінку ефективності використання м'язової маси тварини.

Формула виглядає так: $R=F/M$,

де: R— відносна сила,

F—сила м'яза (Н),

M— маса тварини(кг).

2.2.5. Варіаційно-статистичні методи

На думку Г.Г.Автандилова[164],морфолого-математичний аналіз виявлених структурно-функціональних зрушень є складовою частиною комплексного морфологічного дослідження. Цей аналіз складається з певних етапів, кожний із яких виконує специфічні завдання.

Планування морфологічної роботи з визначенням необхідного обсягу вибірки є необхідним і найбільш важливим етапом під час виконання будь-якого наукового дослідження, тому що від цього залежить вірогідність отриманих результатів. Попереднє обчислення наближених значень середньої арифметичної й середнього квадратичного відхилення для досліджуваної ознаки визначало необхідний обсяг вибірки[164]:

$$x = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}; \quad (2.1)$$

$$s_x = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{K}, \quad (2.2)$$

де x – середнє арифметичне;

x_{\min} и x_{\max} – ліміти значень параметру;

s_x – середнє квадратичне відхилення;

K – коефіцієнт, щовстановлюється залежно від об'єму вибірки.

Визначення необхідного обсягу вибірки встановлювали за формулою:

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{\Delta^2}, \quad (2.3)$$

де n – чисельність вибірки;

t – нормоване відхилення, з яким зв'язаний той чи інший рівень вірогідності;

s_x – вибіркова дисперсія;

Δ - величина, що визначає границі довірчого інтервалу.

У тому випадку, якщо отримане в роботі статистичного розподілу відповідає нормальному розподілу Гауса, стереологічні показники піддаються статистичній обробці, що включає визначення таких параметрів: \bar{x} - середнє арифметичне; s_x^2 - дисперсія; s_x - середнє квадратичне відхилення; C_v - коефіцієнт варіації; s_s - помилка середнього квадратичного відхилення. Для обчислення вищевказаних значень використовували стандартні формули:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; (2.4)$$

$$s_x^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} ; (2.5)$$

$$s_x = \sqrt{s_x^2} ; (2.6)$$

$$C_v = \frac{s_x}{\bar{x}} \cdot 100 ; (2.7)$$

$$s_s = \frac{s_x}{\sqrt{2n}} , (2.8)$$

де n – чисельність вибірки;

x_i – варіанти вибірки.

Визначення достовірних розходжень між вибірками проводили з урахуванням критерію Стьюдента (t), що обчислюється за формулою [164,165]:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{s_{s1}^2 + s_{s2}^2}}, \quad (2.9)$$

де \bar{x}_1 і \bar{x}_2 – середні порівнюваних вибірок;

s_{s1} і s_{s2} – помилки відповідних середніх квадратичних відхилень.

Нульову гіпотезу відкидали, якщо критерій t Стьюдента перевищував табличні значення для відповідних ступенів волі і 5%-го рівня вірогідності.

У процесі проведення математичного аналізу отриманих результатів усі отримані цифрові показники та розрахунки виконували та обробляли за допомогою IBM PC «Pentium» та Microsoft Office Excel 2010 IBM Statistics Spss 22 програм з використанням методів біостатистики, професійного статистичного пакета та відповідних прикладних програм ліцензійної програми STATISTIKA v.6.1 (Statsoft Inc., США) (ліцензійний № AGAR909E415822FA). Для порівняння нормально розподілених даних використовували критерій Стьюдента, за невідповідності закону нормального розподілу застосовували непараметричний (U – критерій) Манна-Уїтні. Кореляційний зв'язок визначали за методами Пірсона та Спірмена залежно від розподілу показників [165].

Отже, викладені в цьому розділі матеріали та методи дослідження становлять собою послідовні етапи реалізації поставлених наукових завдань, що дає змогу забезпечити системний підхід до вивчення впливу змін у кінцівках при пошкодженні стегового та сідничного нервів у щурів в різні періоди часу – гострий, підгострий, ранній та пізній.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА СТАНУ СУДИННО - НЕРВОВО – М'ЯЗОВИХ КОМПОНЕНТІВ ЗАДНЬОЇ КІНЦІВКИ ЩУРІВ КОНТРОЛЬНОЇ ГРУПИ

3.1. Макроскопічні особливості будови судин, нервів та м'язів задніх кінцівок стегна щурів контрольної групи

Препарування та анатомічні дослідження є основними у макроскопічному дослідженні на системному рівні судин, нервів та м'язів задніх кінцівок щурів за допомогою якого проводилося комплексне дослідження цієї ділянки у щурів контрольної групи (рис. 3.1.1 –А, Б).

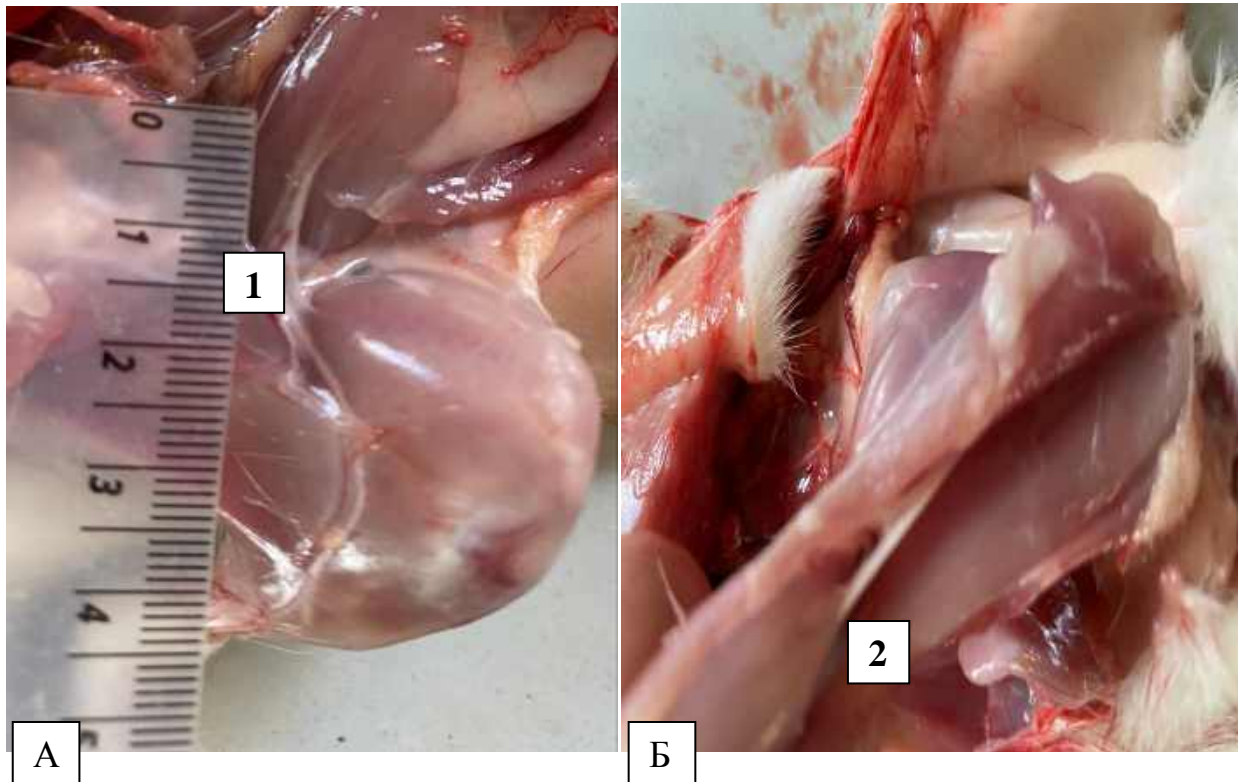
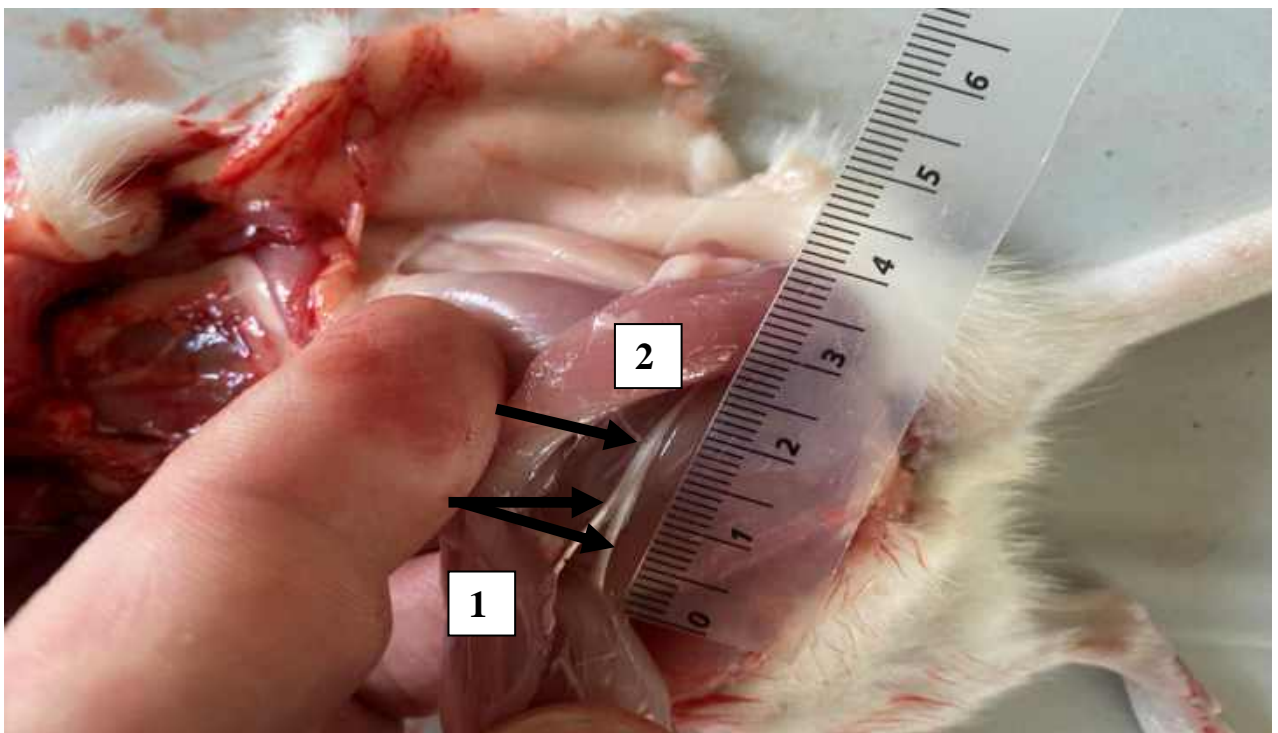


Рисунок 3.1.1 -Макропрепаратстегового та сідничного нервів задньої кінцівки щура, контрольної групи, де 1 – стеговий нерв, 2 – сідничний нерв.

Іннервація поперечносмугастої мускулатури задніх кінцівок щурів забезпечується вентральними гілками поперекового та крижового сплетень спинномозкових нервів, а мускулатури гомілки у щурів забезпечується гілками крижового сплетення, які є продовженням сідничного нерва. Цей нерв формується вентральними гілками спинномозкових нервів, що виходять із крижового відділу спинного мозку, та розташований у тазовій порожнині, на її передній поверхні, перед розгалуженням на гомілці (рис.3.1.2).

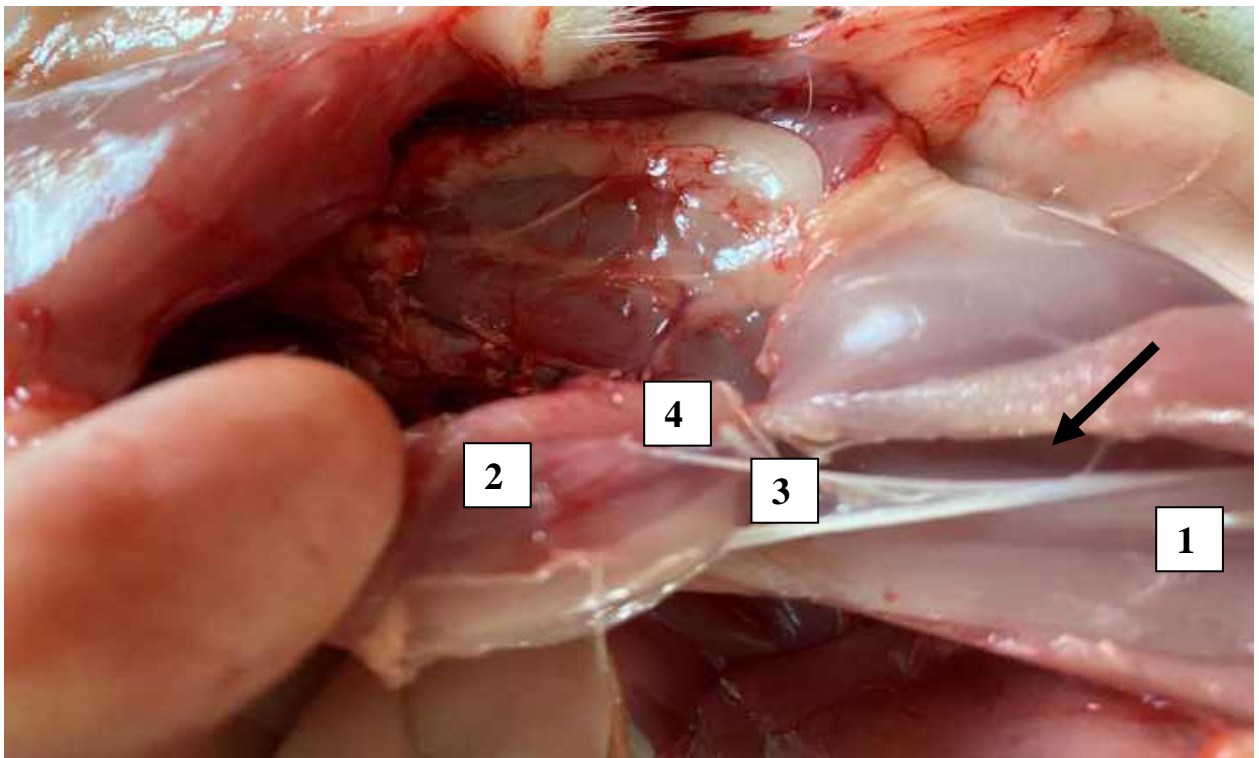


Примітка: стрілкою - самостійною, вказаний сідничний нерв контрольної групи до поділення та стрілками - об'єднаними основні дві гілочки – великогомілковий та малоомілковий нерви.

Рисунок 3.1.2 - Макропрепарат сідничного нерва та великогомілкового і малоомілкового нервів лівої задньої кінцівки щура контрольної групи, де 1 – задня поверхня гомілки, 2 – задня поверхня стегна.

Сідничний нерв переходить на тильну поверхню стегна, де поділяється на два основні нерви гомілки – великогомілковий і малоомілковий, які

відповідають за рухову та чутливу іннервацію м'язів і шкіри цієї ділянки. Після розгалуження сідничного нерва на тильній поверхні стегна ці нерви спрямовуються до гомілки, забезпечуючи чутливу та рухову іннервацію її м'язів і шкіри. Великогомілковий нерв, який є більш потужним, проходить вздовж задньої поверхні гомілки, тоді як малогомілковий нерв прямує до передньої та бічної поверхонь (рис. 3.1.3).



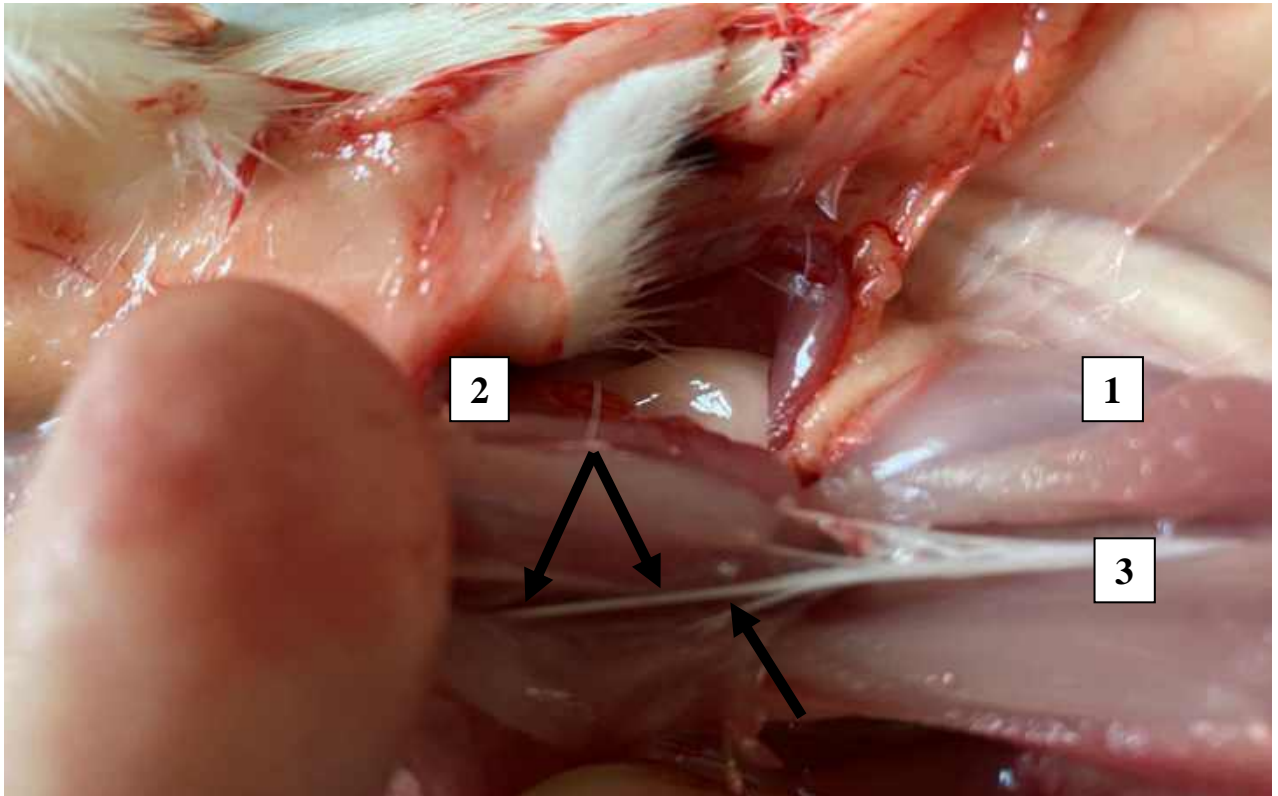
Примітка: стрілкою вказаний сідничний нерв контрольної групи до поділення.

Рисунок 3.1.3 - Макропрепарат сідничного нерва та великогомілкового і малогомілкового нервів задньої кінцівки щура контрольної групи, де 1 – задня поверхня стегна, 2 – задня поверхня гомілки, 3 – великогомілковий нерв, 4 - малогомілковий нерв.

Довжина великогомілкового нерва до його кінцевого розгалуження становить у середньому $3,8 \pm 0,4$ см, а діаметр варіює від 0,5 до 0,9 мм. Він

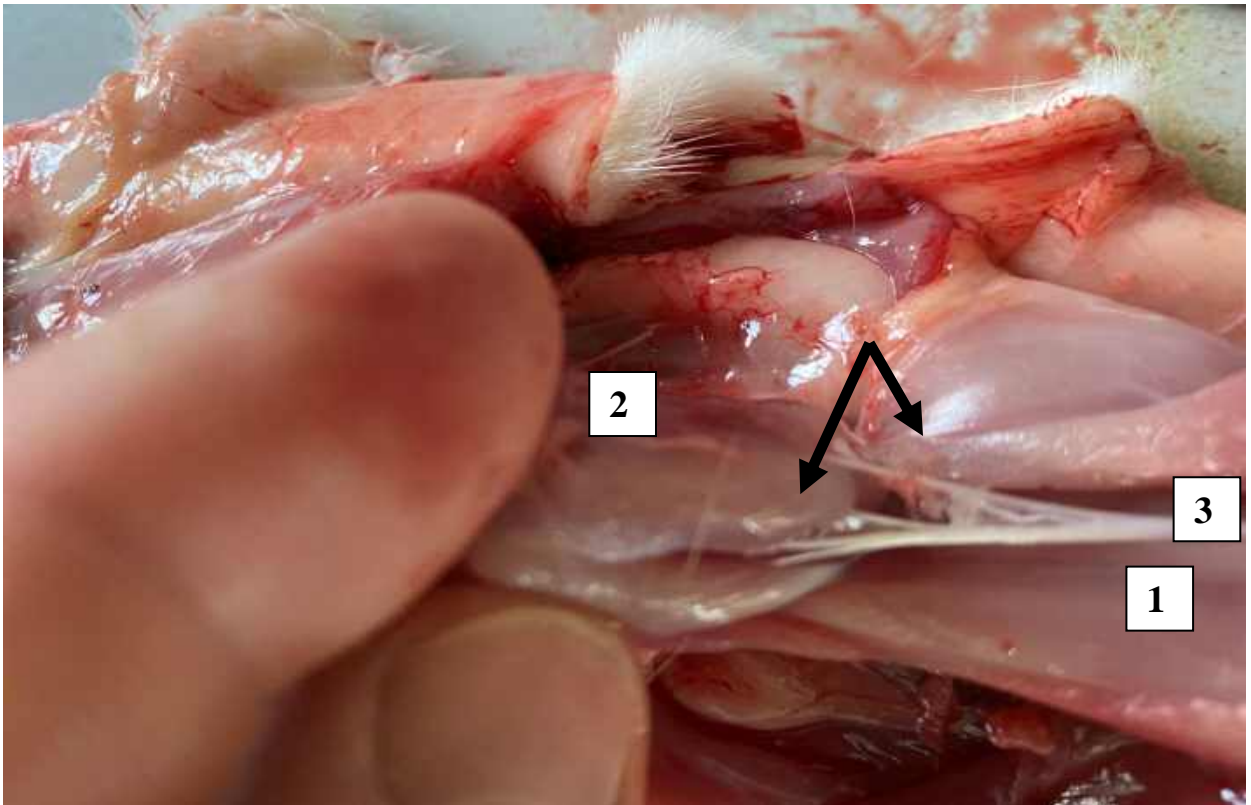
характеризується розсипним типом розгалуження у 72% випадків, коли дрібні гілки відходять від основного стовбура на відстані до 1,5 см. Великогомільковий нерв поділяється на кілька гілок, зокрема:

- 1) м'язову гілку до литкового та камбалоподібного м'язів;
- 2) шкірну гілку, що іннервує тильну поверхню стопи;
- 3) гілку до задньої групи м'язів гомілки (рис. 3.1.4, 3.1.5).



Примітка: стрілкою вказаний великогомілковий нерв та його гілки щурів контрольної групи.

Рисунок 3.1.4 - Макропрепарат великогомілкового нерва та його гілок задньої кінцівки щура контрольної групи, де 1 – задня поверхня стегна, 2 – задня поверхня гомілки, 3 – сідничний нерв до поділення на гілки.



Примітка: стрілками вказані великогомілковий і загальний малоомілковий нерви щурів контрольної групи

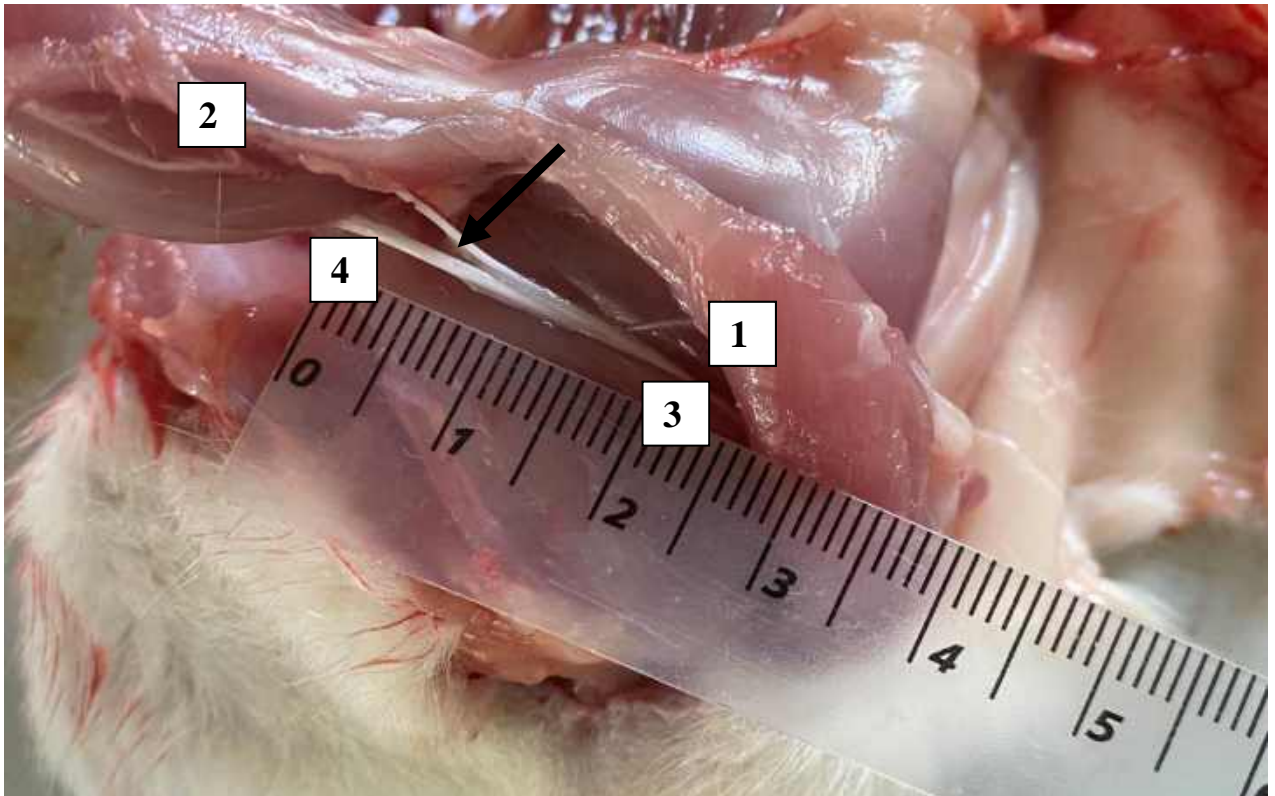
Рисунок 3.1.5 - Макропрепарат великогомілкового та малоомілкового гілоксідничного нерва задньої кінцівки щура контрольної групи, де 1 – задня поверхня стегна, 2 – задня поверхня гомілки, 3 – сідничний нерв .

Проекція великогомілкового нерва на задню поверхню гомілки є зручною для його виділення, оскільки нерв розташований відносно поверхнево в ділянці між литковим м'язом і Ахілловим сухожиллям.

Малоомілковий нерв є меншим за розміром, із діаметром 0,4–0,7 мм і довжиною $3,5 \pm 0,3$ см (рис. 3.1.6). Він проходить уздовж бічної поверхні гомілки та розгалужується на дві основні гілки:

- 1) поверхневу, що забезпечує чутливу іннервацію шкіри передньої поверхні гомілки та стопи;

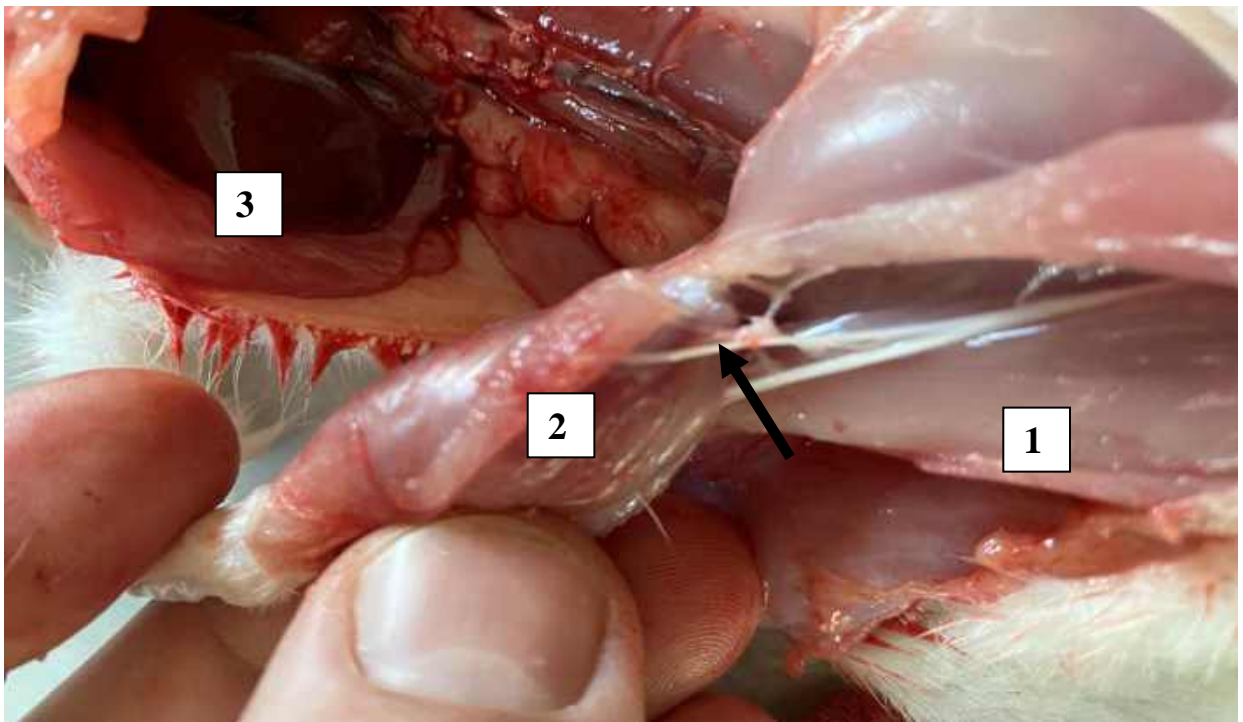
2) глибоку, яка іннервує передню групу м'язів гомілки, зокрема передній великогомілковий м'яз і м'язи-розгиначі пальців.



Примітка: стрілкою вказаний малогомілковий нерв задньої кінцівки щура контрольної групи.

Рисунок 3.1.6 - Макропрепарат сідничного нерва та його гілок задньої кінцівки щура контрольної групи, де 1 – задня поверхня стегна, 2 – задня поверхня гомілки, 3 – сідничний нерв до поділення, 4- великогомілковий нерв задньої кінцівки щура.

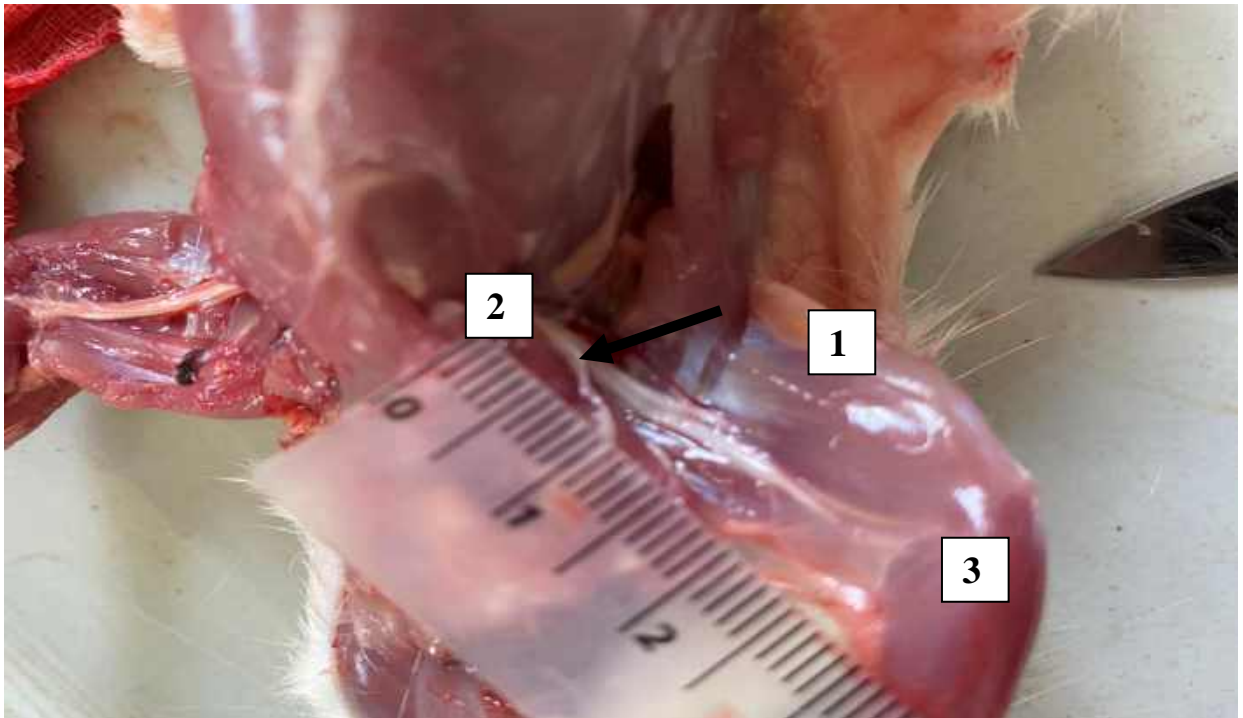
Тип розгалуження малогомілкового нерва частіше є магістральним (у 80% випадків), коли кінцеві гілки формуються на відстані 1,8–2,2 см. Проекція малогомілкового нерва на бічну поверхню гомілки полегшує його ідентифікацію, хоча глибше розташування в деяких ділянках ускладнює препарування (рис.3.1.7).



Примітка: стрілкою вказаний малогомілковий нерв щурів контрольної групи.
 Рисунок 3.1.7 - Макропрепаратсідничного нерва та його гілок задньої кінцівки щура контрольної групи, де 1 – задня поверхня стегна, 2 – задня поверхня гомілки, 3 - права нирка.

Стегновий нерв у щурів є найбільшим за розміром, із середнім діаметром $1,2 \pm 0,09$ мм і довжиною $4,1 \pm 0,5$ см. На рівні гребінцевої та чотириголової м'язів стегновий нерв поділяється на три кінцеві гілки: 1) шкірну (n. saphenus) ; 2) м'язову гілку до чотириголової м'язи стегна; 3) м'язову гілку до тонкої, гребінцевої та привідних м'язів стегна. Характер розгалуження стегового нерва є досить різноманітним. Виділяють розсипний тип, за якого кінцеві гілки відходять від основного стовбура на відстані близько 1 см, але частіше (у 86% випадків) спостерігається магістральний тип, коли кінцеві гілки формуються на ділянці 2–2,5 см. Стегновий нерв проектується на медіальну поверхню стегна в ділянці переходу до гомілки, де він розташований поверхнево, що полегшує його виділення. Інші ділянки

стегнового нерва є менш доступними для препарування через глибше розташування (рис. 3.1.8).



Примітка: стрілкою вказаний стегновий нерв задньої кінцівки щура контрольної групи.

Рисунок 3.1.8 - Макропрепарат стегнового нерва задньої кінцівки щура контрольної групи, де 1 – передня поверхня стегна, 2 – м'язова лакуна, 3 – передня поверхня гомілки.

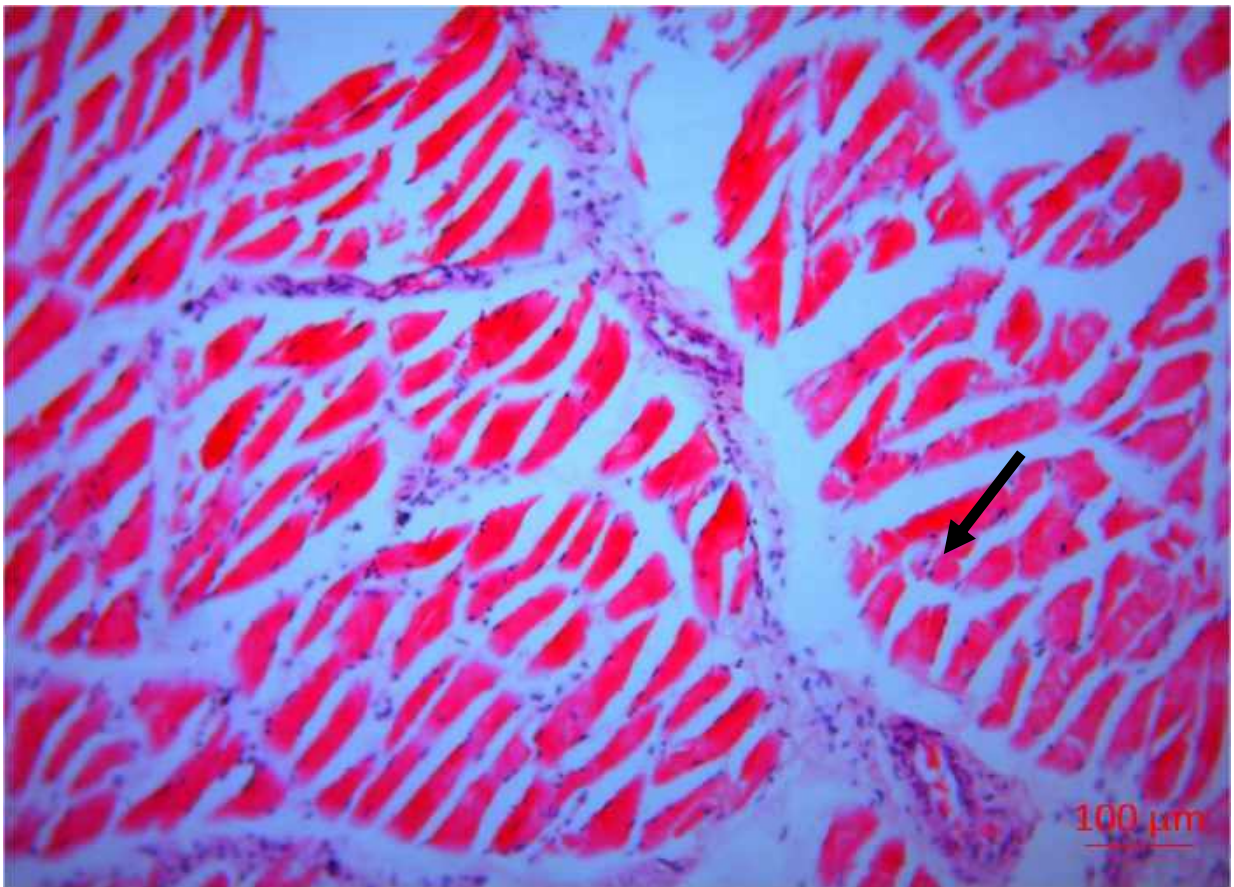
Це найтовщий нерв, що утворює частину поперекового сплетення, який іннервує передні м'язи стегна і деяку частину шкіри під пупартовою зв'язкою в контрольній групі щурів. Він розташований в тазовій порожнині і знаходиться між *m. psoa major* et *m. Iliacus*. Виходить з порожнини тазу - крізь *lacuna musculorum*, розташованою під пупартовою зв'язкою, латеральніше від *lacuna vasorum*. На передній поверхні стегна стегновий нерв йде вниз у межах трикутника Скарпа або стегнового трикутника, який розташований у межі – пупартової зв'язки – зверху, *m. sartorius* – латерально та *m. adductor longus* – медіально і заходить у првідний канал в

нижньомедіальної частині стегна під назвою – підшкірний нерв – *nervus saphenus* - підшкірний нерв. М'язові гілки стегового нерва іннервують *m. pectineus* et *m. quadriceps femoris* et *m. sartorius*, а чутливі передні гілки перфорують широку фасцію стегна та іннервують його передню поверхню. Підшкірний нерв є найдовшою чутливою гілкою і безпосереднім продовженням стегового нерва. Він іннервує шкіру медіальної поверхні гомілки та медіального краю стопи до великого пальця стопи включно. Але не тільки макроскопічні відмічаються зміни. Важливіші зміни відбуваються на мікроскопічному рівні.

3.2. Мікроскопічні особливості будови судин, нервів та м'язів задніх кінцівок стегна щурів контрольної групи

На мікроскопічному рівні литковий м'яз задньої кінцівки щура контрольної групи представлений міофібрилами, які розташовані послідовно, паралельно та прямолінійно з відсутністю хаотичних, фрагментарних та селективних розривів. Скелетна мускулатура гомілки щурів контрольної групи складається з груп м'язів, кожна з яких формується пучками м'язових волокон, об'єднаних сполучною тканиною. Між м'язовими волокнами спостерігаються тонкі прошарки сполучної тканини з більш сильно забарвленими ядрами – ендомізій. На поздовжньому розрізі м'язове волокно литкового м'яза циліндричної форми вкрите сарколемою, під якою на периферії волокна містяться ядра овальної форми. Саркоплазма волокон має поздовжню (наявність міофібрил) та поперечну (неоднорідність міофібрил) посмугованість. Внутрішньом'язові артеріальні гілки розташовані в сполучнотканинних прошарках і зменшуються в діаметрі в міру проникнення в м'яз. Особливості розподілу судин у м'язах гомілки залежать від орієнтації м'язових пучків, кількості сполучної тканини та діаметра судин. На поперечних гістологічних зрізах м'язи гомілки представлені пучками м'язових волокон різної форми, де розташовані сполучнотканинні елементи у прошарках яких розташовані кровоносні судини. Кожна м'язова група кровопостачається 1–2 артеріями, які проходять паралельно м'язовим пучкам. Артерії входять у м'яз і розгалужуються в сполучнотканинних прошарках, поступово зменшуючи свій діаметр, а артеріоли 5–6-го порядку формуються в перимізії, а в ендомізії розташовані капіляри проходять уздовж м'язових волокон і з'єднуються анастомозами, а вени, венули та лімфатичні судини розташовані поруч із артеріями (рис.3.2.1). У щурів контрольної групи біля судин спостерігається значна кількість тканинних базофілів, які беруть участь у регуляції проникності судинної стінки. Артеріальні гілки, які забезпечують трофічну функцію для м'язів задньої

кінцівки щурів розташовані в сполучнотканинних прошарках і зменшуються в діаметрі по мірі проникнення у глибину м'язів. Особливості розподілу судин у м'язах гомілки залежать від орієнтації м'язових пучків, кількості сполучної тканини та діаметра судин. На поперечних гістологічних зрізах м'язи гомілки представлені пучками м'язових волокон різної форми, між якими розташовані сполучнотканинні елементи та судини. Судини на поперечних зрізах мають форму від округлої до видовженої.



Примітка: забарвлення гематоксилином та еозином; scale bar = 200μm.

Стрілкою вказана судина мікроциркуляторного русла – артеріола.

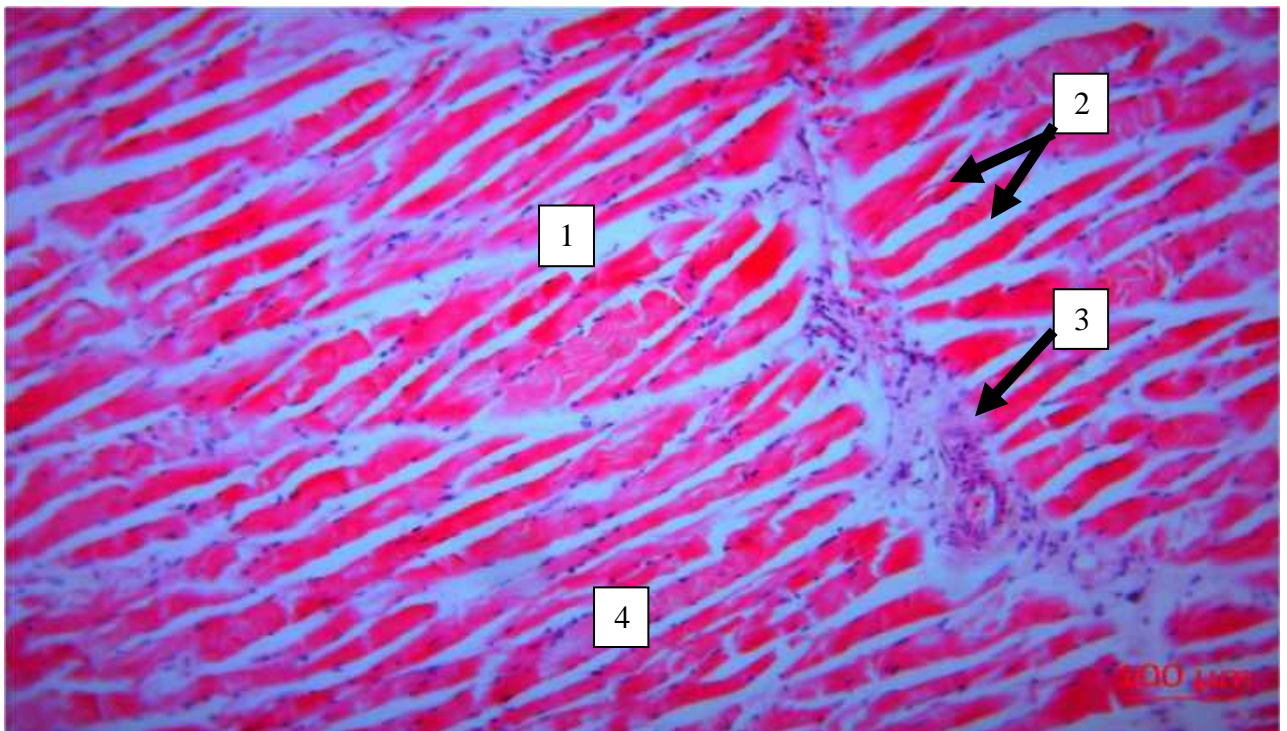
Рисунок 3.2.1 - Зріз м'язових волокон литкового м'яза щурів контрольної групи. 1- інтерстиціальний простір (ендомізій); 2 – міофібрили, 3 - артеріола.

На поздовжніх зрізах чітко видно паралельну орієнтацію капілярів і м'язових волокон, тоді як венуларне звено розташоване під гострим кутом до м'язових пучків, а саркоплазма між кожними фібрилами розташована

рівномірно, як і міофібрили без ознак порушення та фрагментації, а поперечна посмугованість дуже ясно візуалізується. Судини мікроциркуляторного русла - капіляри та посткапілярні венули з'єднуються поперечними анастомозами, діаметр яких іноді перевищує діаметр поздовжніх судин. Великі артерії та вени розташовані в міжпучкових просторах, формуючи судинні комплекси, які повторюються вздовж м'яза.

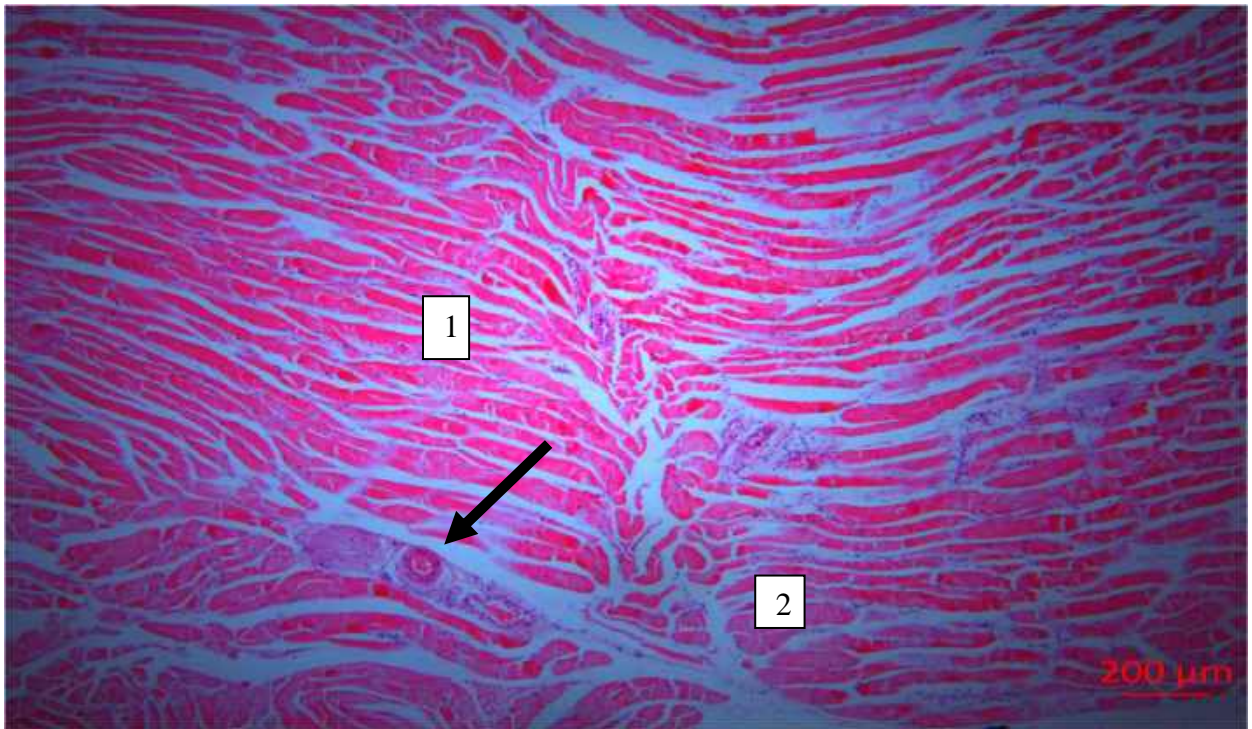
3.3. Мікроскопічні особливості будови судин, нервів та м'язів задніх кінцівок стегна щурів у посттравматичному періоді після перерізу сідничного та обох нервів: сідничного та стегнового

При гістологічному дослідженні м'язових литкового м'яза відносно перерізу обох водночас – сідничного та стегнового нервів зміни були наступні. У першу добу посттравматичного періоду спостерігались міофібрили з неоднорідною еозинофільною саркоплазмою, в ділянках якої зустрічались фрагментації м'язових волокон та поперечна посмугованість була слабо виражена, а клітинних елементів було мало і вони були представлені фібробластами, гістіоцитами та лімфоцитами (рис.3.3.1, 3.3.2).



Примітка: забарвлення гематоксиліном та еозином; scale bar = 100µm.

Рисунок 3.3.1 – Поздовжній зріз литкового м'яза після перерізу сідничного та стегнового нерва у першу добу від початку експерименту. 1 - ендомізій; 2 – міофібрили, 3- артеріола, 4 – ділянка з фрагментованими міофібрилами.



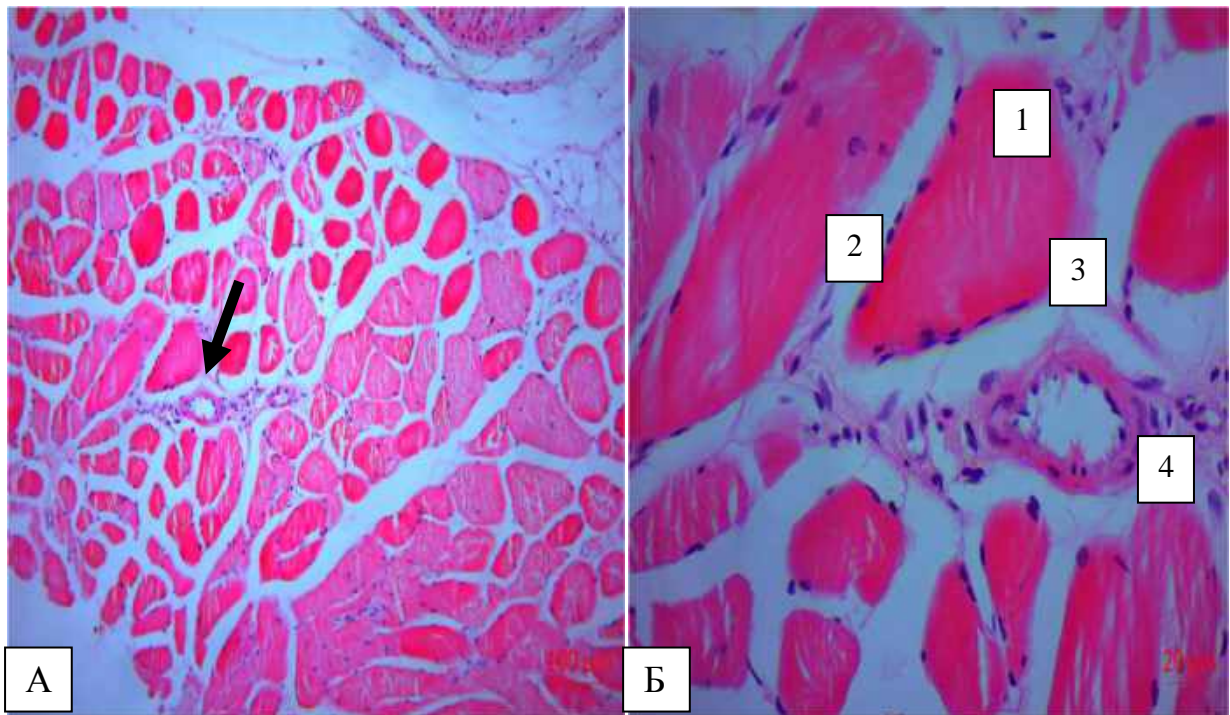
Примітка: забарвлення гематоксилином та еозином; scale bar = 200μm.

Стрілкою вказана судина мікроциркуляторного русла – артеріола.

Рисунок 3.3.2 - Поздовжній зріз м'язових волокон литкового м'яза після перерізу сідничного та стегового нерва. 1 - інтерстиціальний простір (ендомізій); 2 - міофібрили.

У першу добу після поєднаного перерізу в п'ятій групі поперечні розрізи м'язових волокон литкового м'яза мають багатокутну форму: їх ядра округлої форми і розташовані на периферії. Особливістю поперечних розрізів міофібрил є те, що вони мають вигляд крапок (рис.3.3.3 – А; Б). Капіляри та посткапілярні венули з'єднуються поперечними анастомозами, діаметр яких іноді перевищує діаметр поздовжніх судин. Великі артерії та вени розташовані в міжпучкових просторах, формуючи судинні комплекси, які повторюються вздовж м'яза, але вони були вже розташовані більш хаотично, відносно контрольної групи. На третю добу посттравматичного періоду, тобто в шостій групі ми спостерігали ще більш прогресування патоморфологічних змін у литковому м'язі – набряк, розпад та зникнення

поперечної посмугованості, характерною для м'язових волокон контрольної групи і більш вираженою у першу добу після нейротравми (рис. 3.3.5 - А).

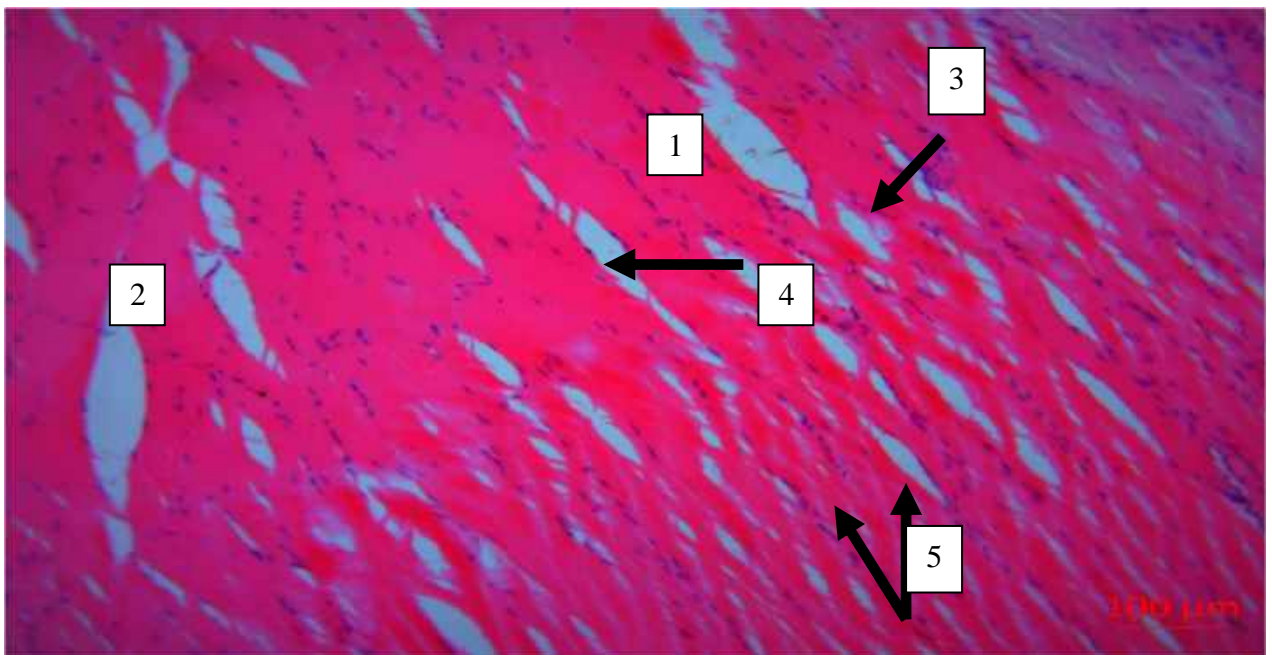


Примітка: забарвлення гематоксиліном та еозином; scale bar А = 100μm; scale bar Б = 20μm. Стрілкою вказаний збільшений фрагмент рисунка А.

Рисунок 3.3.3 - Поперековий зріз м'язових волокон литкового м'яза після перерізу сідничного та стегового нерва у першу добу від початку експерименту. 1 – міофібрили, 2 – ендомізій, 3 – ядра, 4 – артеріола.

Окремі м'язові волокна ставали більш однорідними, втрачали звичну структуру і гомогенізувались, що було непрямою ознакою початкових проявів дегенеративних та атрофічних процесів. Між фрагментами зруйнованих волокон спостерігалась клітинна інфільтрація, яка концентрувалась біля накопичення клітин більш перифокально, що було зв'язано з посттравматичним порушенням кровообігу у даний період часу після поєднаної нейротравми. В складі клітинних інфільтратів спостерігались скупчення лімфоцитів, макрофагів, гістіоцитів, які є блукаючими клітинами у спокої, різновидом макрофагів пухкої сполучної тканини. На

поздовжних зрізах м'язові волокна литкового м'яза мають різну товщину, вони ніби перфоровані та розволокненні у зв'язку з тим, що щілини саркоплазми між ними різні по довжині та ширині. Ядра, які у контрольної групі розташовані у межах волокна, на даний час після перерізу, виходять за його межу. Ділянки деформації, фрагментації, розпаду у цей період збільшуються. На третю добу після поєднаної нейротравми спостерігаються крововиливи в ділянки руйнування міозитів, тобто міолізу, як характерна тканинна особливість у цей час (рис. 3.3.4).



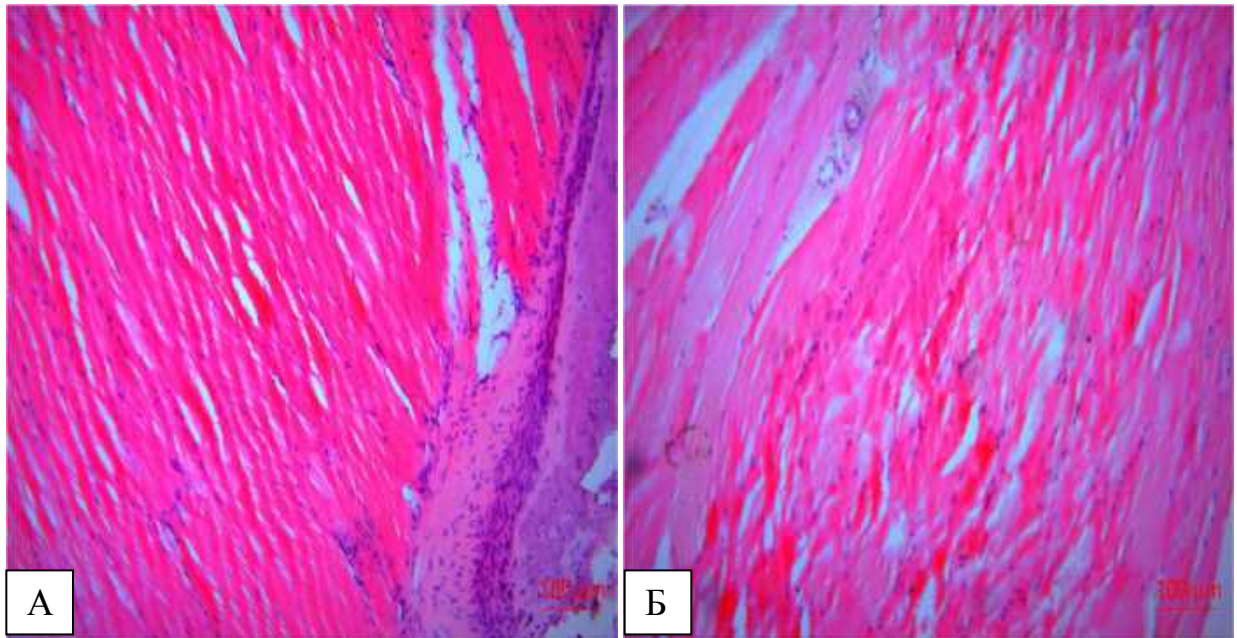
Примітка: забарвлення гематоксиліном та еозином; scale bar = 100 μm .

Стрілкою вказані м'язові волокна зменшені у товщині.

Рисунок 3.3.4 - Поздовжній зріз м'язових волокон литкового м'яза після перерізу сідничного та стегнового нервів на третю добу посттравматичного періоду. 1 - ендомізій, 2 - м'язове волокно потовщено, 3 - ядра, 4 - саркоплазма, 5 - м'язове волокно зменшення товщини м'язового волокна.

Характерною особливістю м'язових волокон литкового м'яза на цьому добу після перерізу сідничного та стегнового нервів була відносно стабілізація, тобто відсутність погіршення у зрівнянні з третьою добою, але

периваскулярна інфільтрація колагенових волокон та окремі периваскулярні крововиливи зберігались і у цей час (рис. 3.3. 5 –А), а на чотирнадцяту добу спостерігалась та прогресувала проліферація сполучнотканинних волокон у ділянках зруйнованих м'язових волокон (рис.3.3.5 - Б).

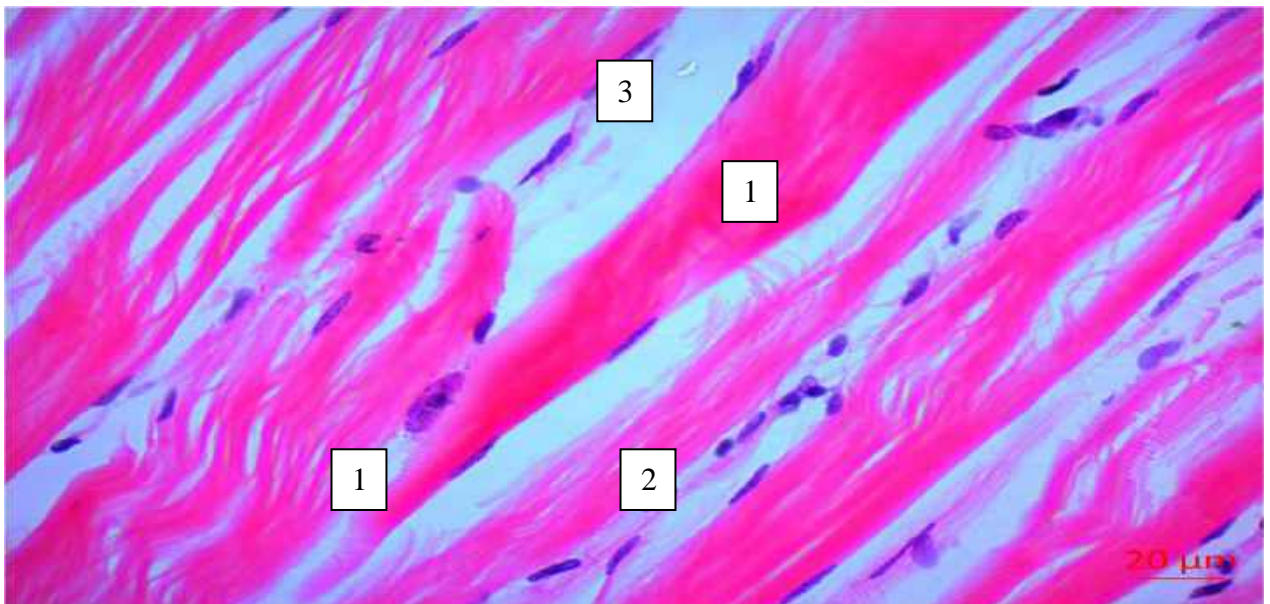


Примітка: забарвлення гематоксиліном та еозином; scale bar = 100 μ m. А – на третю добу посттравматичного періоду. Б - на чотирнадцяту добу посттравматичного періоду.

Рисунок 3.3.5 - Поздовжній зріз м'язових волокон литкового м'яза після перерізу сідничного та стегового нервів на сьому та чотирнадцяту добу.

Після поєднаної травми не тільки відбувались патологічні зміни на рівні структури, а і на рівні судин мікроциркуляторного русла. На першу добу, у гострий посттравматичний період спостерігалось розширення артеріол та нерівномірно розташування ендотеліальних клітин на базальній мембрані та порушення цілостності клітинних мембран, що супроводжувалось набряком. Поблизу та навколо судин спостерігались інфільтрати, які мали тенденцію до поширення на перимізій та ендомізій. Ці патоморфологічні зміни наростали к третьої добі посттравматичного періоду. Також мали тенденцію стабілізування к сьомої добі і до чотирнадцятої.

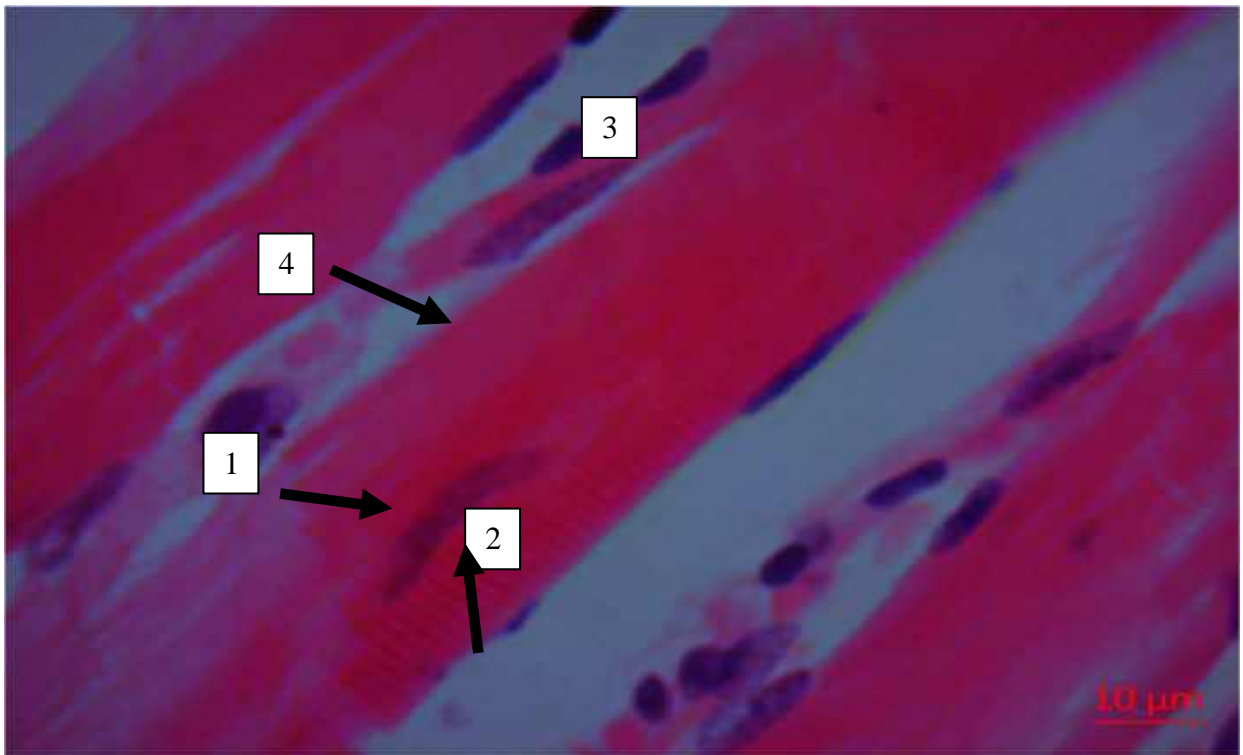
Після перерізу окремо сідничного нерва патоморфологічні зміни у посттравматичному періоді теж мали ознаки структурних м'язових змін та судин гемомікроциркуляторного русла, проте вони були менш інтенсивні і мали більш локальний характер. Так на першу добу після перерізу одного сідничного нерва спостерігались наступні зміни: збільшення інтерстиціального простору, зменшенням товщини м'язових волокон з тиском мікроциркуляторних судин, що супроводжується зниженням проліферативної активності клітин. Спостерігалось розширення венул у цей час, що свідчило про порушення венозного відтоку, яке і призводило до утворення набряку у гострій період. Внаслідок пошкодження відбувалась запальна реакція, що призводила до набряку в міжклітинному просторі та в перимізіумі (оболонці, що оточує м'язові волокна). Самі м'язові волокна не набрякали, але могли втрачати воду та поживні речовини через порушення кровопостачання та іннервації, що більш приводило до їх деградації та атрофії, але не набряку (рис. 3.3.6; рис. 3.3.8 - А).



Примітка: забарвлення гематоксиліном та еозином; scale bar = 20 μm .

Рисунок 3.3.6 - Поздовжній зріз м'язових волокон литкового м'яза після перерізу сідничного м'яза у першу добу від початку експерименту. 1 – міофібрили, 2 – ядра, 3 - ендомізій.

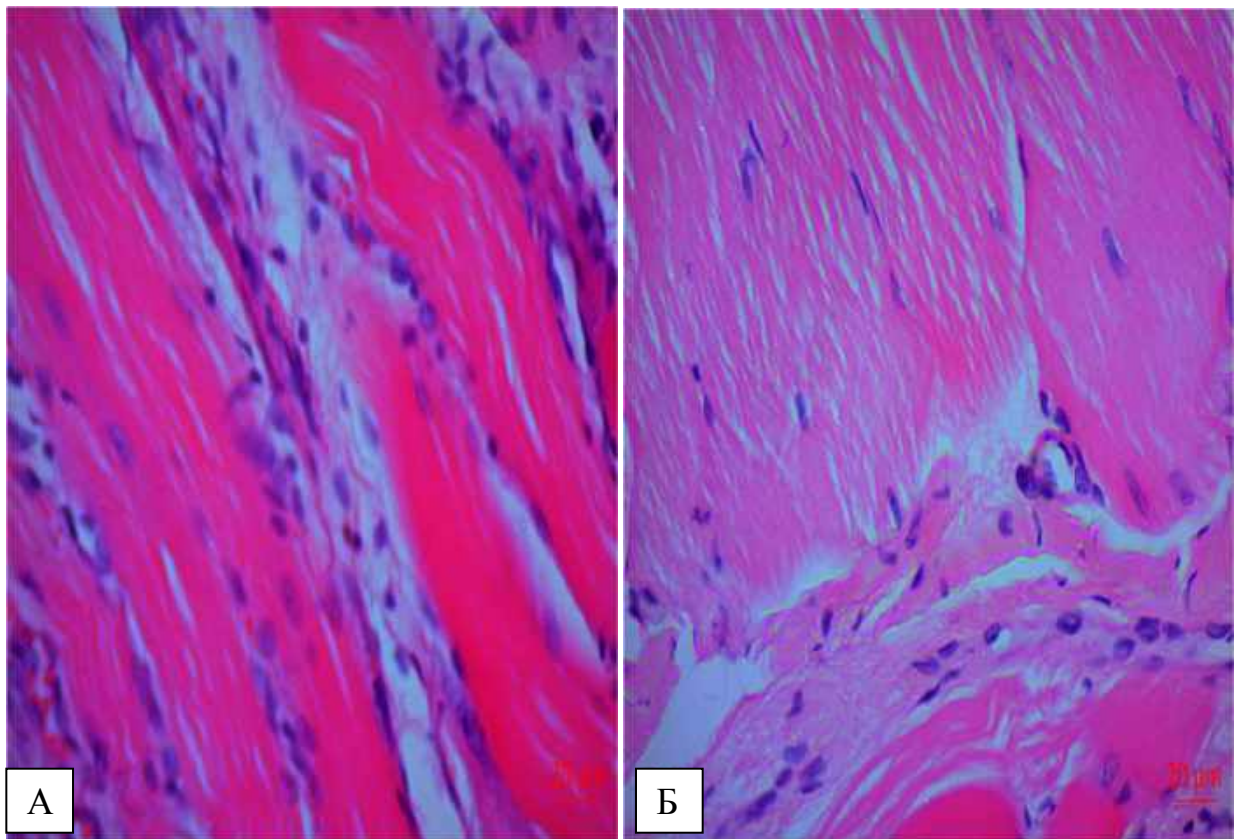
На третю добу після травми спостерігалась яскраво виражена судинна реакція, яка характеризувалась значним розширенням артеріол і венул. Ці зміни були типовою відповіддю на травму, що сприяло посиленню кровотоку до уражених тканин для забезпечення їх відновлення. У цей період артеріоли і венули розширювались майже вдвічі, що свідчить про активізацію запальних процесів і покращення доставки кисню та поживних речовин. На поздовжньому розрізі м'язове волокно литкового м'яза на сьому добу не мало чітку циліндричну форму, під сарколемою на периферії м'язового волокна містились ядра різної форми – округлі, овальні, які були витягнуті впродовж м'язового волокна. Саркоплазма волокон були різного розміру між м'язовими волокнами, але посмугованість була збережена та і спостерігалось наявність темних А – дисків та світлих І – дисків (рис. 3.3.7; рис.3.3.8 - Б).



Примітка: забарвлення гематоксиліном та еозином; scale bar = 10μm.

Рисунок 3.3.7 - Поздовжній зріз литкового м'язових волокон литкового м'яза після перерізу сідничного м'яза у третю добу від початку експерименту.

1 – диск - І, 2 – диск - А, 3 – ядра, 4- саркоплазма.

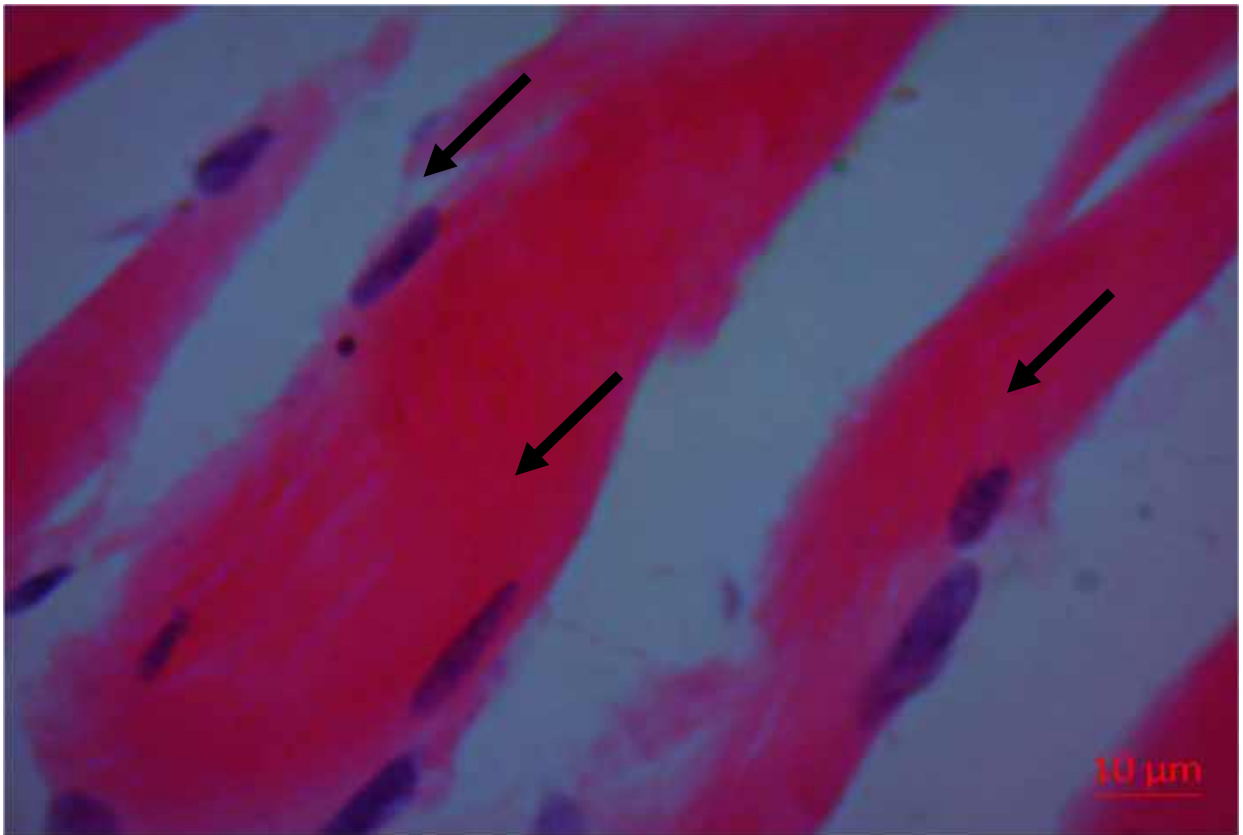


Примітка: забарвлення гематоксиліном та еозином; scale bar А, Б - 20 μm . А – перша доба посттравматичного періоду. Б - третя доба підгострого посттравматичного періоду.

Рисунок 3.3.8 - Зріз литкового м'яза після перерізу сідничного нерва на першу та третю добу посттравматичного періоду. Зменшення питомої маси м'язового волокна.

На сьомий день після травми в м'язових волокнах литкового м'яза задніх кінцівок щура спостерігалось певне зменшення діаметра судин порівняно з початковою реакцією, однак вони залишались розширеними в порівнянні з контрольними показниками. Це вказувало на поступову стабілізацію судинної системи, проте процеси відновлення ще не завершались. Артеріоли й венули все ще забезпечували посилений кровообіг для підтримки тканинної регенерації, але інтенсивність набряку поступово зменшувалась. Зменшення діаметрів судин на сьомий день підтверджує

початок зворотного розвитку набряку, хоча венозний відтік залишається порушеним (рис. 3.3.9; рис. 3.3.10 – А; рис. 3.3.11 -А).

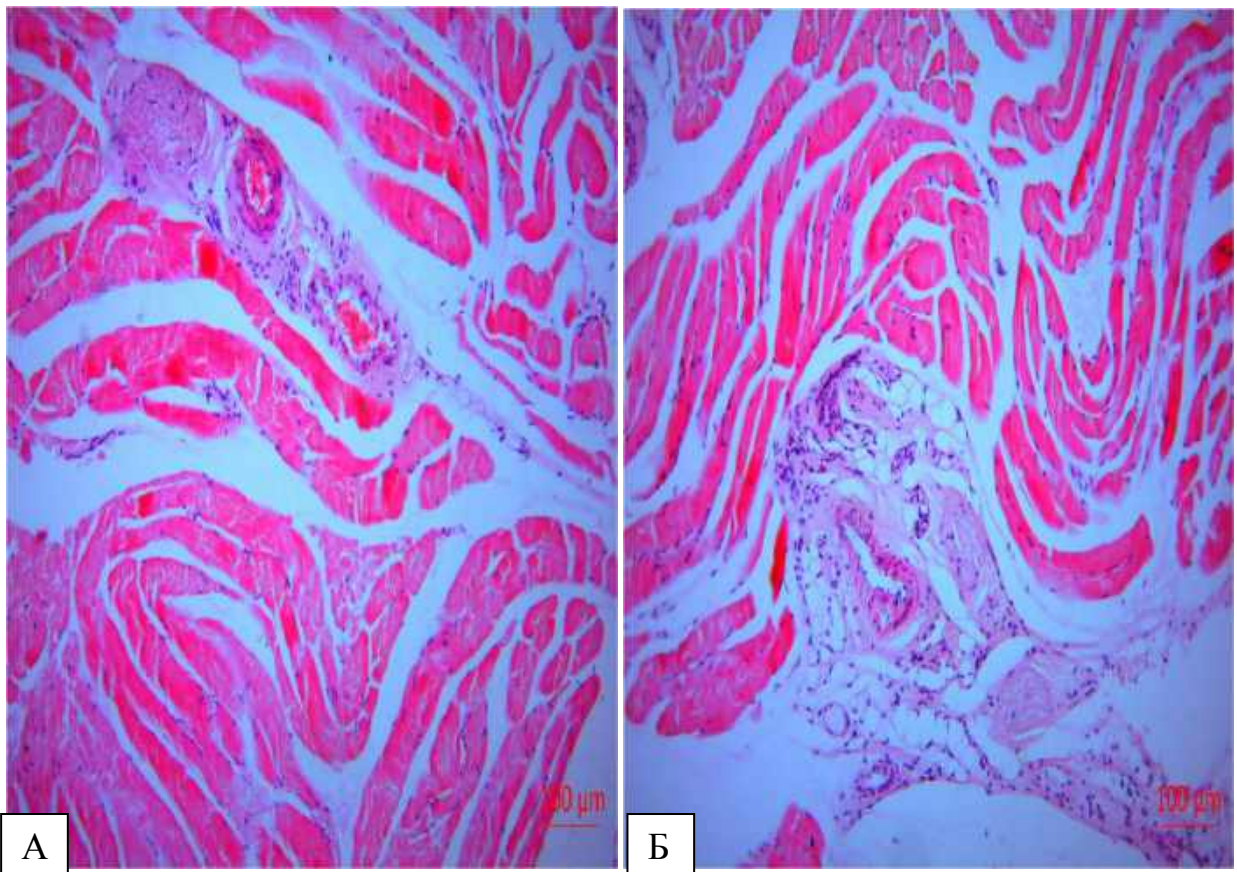


Примітка: забарвлення гематоксиліном та еозином; scale bar = 10 μm .
Стрілкою вказані ядра.

Рисунок 3.3.9 - Поздовжній зріз литкового м'язових волокон литкового м'яза після перерізу сідничного м'яза на сьому добу посттравматичного періоду.

За даними наших досліджень, на чотирнадцяту добу у м'язовій тканині утворювались рубцеві елементи, які порушували нормальну структуру м'яза. Хоча набряк зменшувався порівняно з початковими стадіями, він все ще залишався, особливо у перимізії. Залишковий набряк і порушення венозного відтоку можуть спричинити недостатнє постачання кисню та поживних речовин до м'язових клітин. На чотирнадцяту добу у пізній посттравматичний період виявлялись локальні потовщення судин

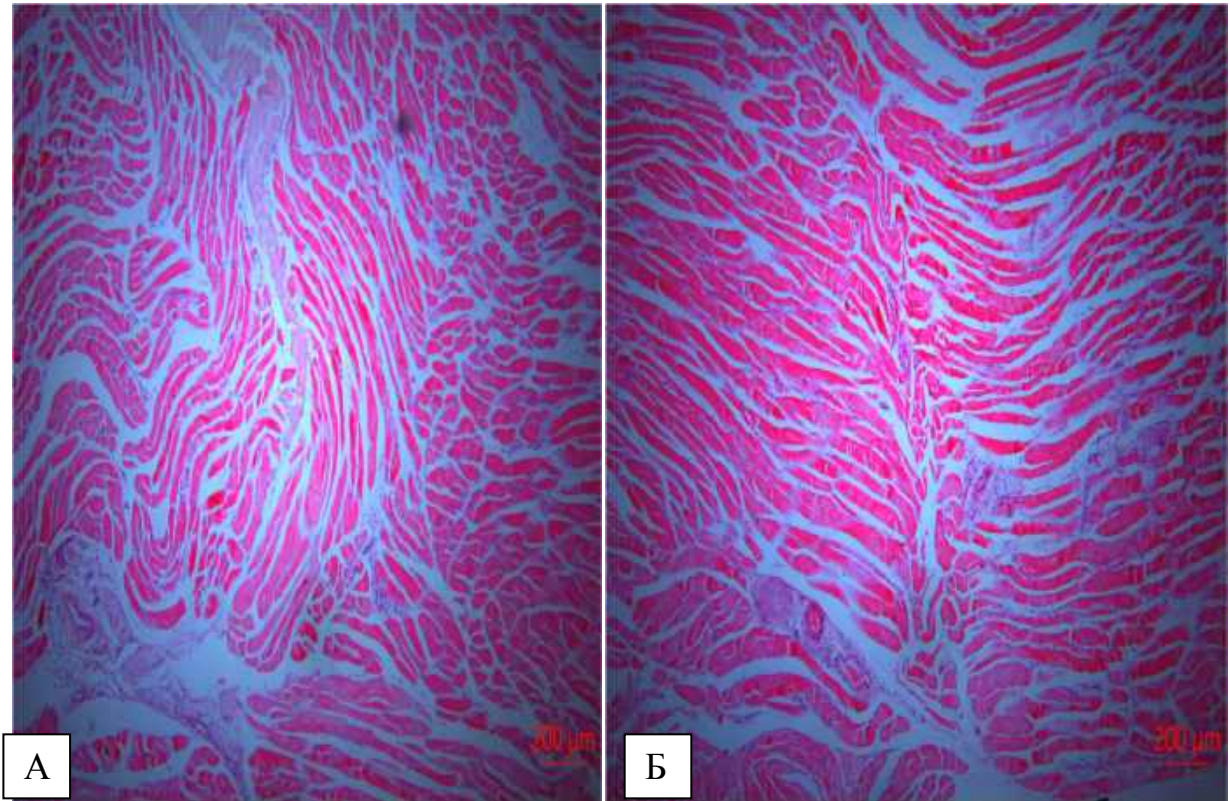
гемомікроциркуляторного русла з проліферацією сполучнотканинних елементів та незначною навколо зруйнованих клітин інфільтрацією (рис. 3.3.10 - Б; 3.3.11 - Б). Тобто було встановлено, що переріз окремо як одного сідничного так і двох поєднано - сідничного і стегового нервів визиває патоморфологічні порушення не тільки структурних елементів, а і судин мікроциркуляторного русла, які більш активно реагують у першу та на третю добу, більш стабільно - на сьому та чотирнадцяту добу. Але, що дуже цікаво з'ясовано у нашої роботі, що поєднана нейротравма визиває більш потужні наслідки у структурних елементах та судинах мікроциркуляторного русла у литковому м'язі гомілки задніх кінцівок щура, не зважаючи на то, що стеговий нерв не забезпечує його іннервацію.



Примітка: забарвлення гематоксиліном та еозином; scale bar A, Б = 100 μm.

A – на сьому добу – у ранній період. Б – на чотирнадцяту добу посттравматичного періоду.

Рисунок 3.3.10 - Поздовжній зріз литкового м'язу після перерізу сідничного нерва на сьому та чотирнадцяту добу посттравматичного періоду.



Примітка: забарвлення гематоксиліном та еозином; scale bar = 200 μm . А – на сьому добу. Б – на чотирнадцяту добу посттравматичного періоду.

Рисунок 3.3.11 - Зріз литкового м'язу після перерізу сідничного нерва. перша доба від початку експерименту. Зменшення питомої маси м'язового волокна.

Результати розділу опубліковані в наукових працях:

1. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в гострому періоді. Перспективи та інновації науки. 2024;10 (44):1348-57. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-1357](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-1357).
2. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в підгострому періоді. Вісник проблем біології і медицини. 2024;4 (175):550-59. DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559).

3. Кошарний В.В., Бойко Є.М. Морфологічні зміни гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в пізній період. Перспективи та інновації науки. 2025;1(47):2278-87. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1\(47\)-2278-2286](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1(47)-2278-2286).
4. Кошарний В. В., Бойко Е. М., Абдул-Огли Л. В., Ткаченко С. С., Кушнарєва К. А. Зміни нервово м'язового комплексу литкового м'язу при пошкодженні гілок поперекового та крижового сплетення. Вісник проблем біології і медицини. 2025;1(176):429-36. DOI: [10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435).
5. Кошарний В. В., Бойко Є.М., Абдул-Огли Л. В., Родинський Р.О., Яровенко С.В. Способи формування хірургічного доступу до сідничного нерва щура: переваги та недоліки . Перспективи та інновації науки. 2025;2(48):2099-07. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2\(48\)-2099-2107](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2(48)-2099-2107).
6. Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Бойко Е.М., Ткаченко С.С., Кушнарєва К.А. Деякі варіанти фетальної топографії довгих гілок крижового сплетення. Клінічна анатомія та оперативна хірургія –Т.22, № 3 – 2023:59-63. DOI: <https://doi.org/10.24061/1727-0847.22.3.2023.30>.
7. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Демченко О.М. Пошкодження стегнового та сідничного нерва: реакція гемомікроциркуляторного русла протягом першого тижня // Медичні та біологічні науки: міждисциплінарний аспект: матеріали Міжнародної міждисциплінарної науково-практичної internet-конференції до Всесвітнього дня анатомії (17 жовтня 2024 р., м. Харків) / за ред. Д. М. Шияна. Приватний вищий навчальний заклад «Харківський міжнародний медичний університет». – Харків, СГ НТМ «Новий курс», 2024. С.57-54.
8. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Кушнарєва К.А. Пошкодження стегнового та сідничного нерва в гострому періоді // Теорія та практика сучасної морфології : матеріали Восьмої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (м. Дніпро, 6-8 листопада 2024 року) /

Дніпровський державний медичний університет. – Дніпро: ДДМУ, 2024. С.80-81.

9. Бойко Е.М., Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Губаренко О.В., Козловська Г.О. Ремоделювання мікроциркуляторного русла кінцівок за умов ушкодження периферичних нервів // Перший міжнародний морфологічний симпозіум. Перспективи використання морфологічних досліджень в розвитку сучасної медицини і стоматології. Полтава 16-17 червня 2022, Вісник проблем біології і медицини. 2022; 2 (164) (додаток): С.11. DOI: 10.29254/2077-4214-2022-2-164/addition-11.

РОЗДІЛ 4

МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ СУДИННО - НЕРВОВО - М'ЯЗОВИХ КОМПОНЕНТІВ ЗАДНЬОЇ КІНЦІВКИ ЩУРІВ В УМОВАХ ПОСТТРАВМАТИЧНОГО ПЕРІОДУ НЕРВІВ ПЕРИФЕРИЧНОЇ СИСТЕМИ

4.1. Питома вага тканин задньої кінцівки у щурів в умовах посттравматичного періоду перерізу нервів периферичної системи

Травми периферичної нервової системи завжди супроводжуються змінами на рівні тих ділянок, які іннервуються за допомогою нервів, а у нашому випадку, це нерви поперекового та крижового сплетення, які мають центробіжні волокна у своєму складі, тому і іннервують м'язи окремих груп задніх кінцівок у щурів. У зв'язку з тим, що порушення іннервації, викликає зниження або відсутність можливості функціональної активності м'язового волокна, а у цілому і порушення кровопостачання на рівні судин мікроциркуляторного русла, тому ми дослідили гістометричні показники, які були непрямыми ознаками цього порушення та дали можливість проаналізувати наслідки цих порушень в артеріолах і венулах ділянок задньої кінцівки у щурів.

Питома вага тканин у контрольній групі становила $1,06 \text{ г/см}^3$. На 1-шу добу вона знизилася до $0,96 \text{ г/см}^3$, що на $0,10 \text{ г/см}^3$ менше, або на 9,43%. На 3-тю добу вона становила $1,00 \text{ г/см}^3$, зменшившись на $0,06 \text{ г/см}^3$, або на 5,66%. До 7-ї доби показник зріс до $1,02 \text{ г/см}^3$, що на $0,04 \text{ г/см}^3$ менше за контроль, або на 3,77%. На 14-у добу питома вага знизилася до $0,98 \text{ г/см}^3$, на $0,08 \text{ г/см}^3$ менше за контроль, або на 7,55%. Зниження питомої ваги на першу та третю доби зумовлене набряком через підвищену проникність капілярів і накопичення рідини (рис. 4.1.1).

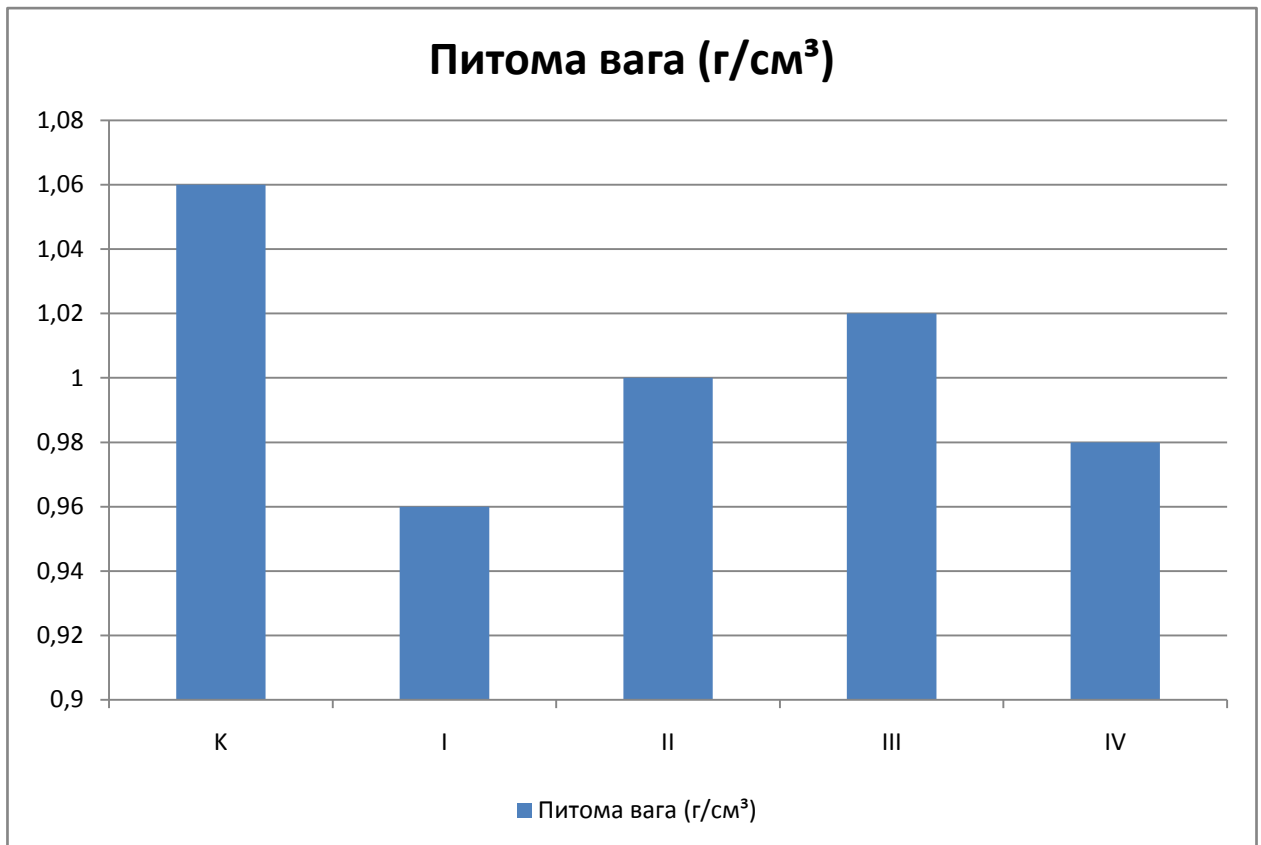


Рисунок 4.1.1 - Зміни питомої ваги м'язів після перерізу сідничного нерва

Часткове відновлення до 7-ї доби вказує на зменшення набряку, тоді як зниження на 14-у добу може бути пов'язане з дегенеративними змінами, такими як атрофія м'язових волокон або заміщення їх сполучною тканиною.

Зниження питомої ваги на першу та третю добу є результатом набряку, спричиненого підвищеною проникністю капілярів і накопиченням рідини в міжклітинному просторі. Часткове відновлення питомої ваги до сьомої доби свідчить про нормалізацію судинної проникності та відтік рідини через лімфатичну систему. Однак повторне зниження на чотирнадцяту добу може вказувати на дегенеративні зміни, такі як атрофія м'язових волокон або формування сполучної тканини, що знижує щільність тканин.

Зниження питомої ваги на 1-шу та 3-тю добу є результатом набряку, спричиненого підвищеною проникністю капілярів і накопиченням рідини в міжклітинному просторі. Часткове відновлення питомої ваги до 7-ї доби свідчить про нормалізацію судинної проникності та відтік рідини через

лімфатичну систему. Однак повторне зниження на 14-у добу, більш виражене, ніж при перерізі лише сідничного нерва, може вказувати на дегенеративні зміни, такі як атрофія м'язових волокон або заміщення їх сполучною чи жирною тканиною, що підтверджується літературними даними про довгострокові зміни в денероаних м'язах. Довгострокова доля денероаних м'язів.

Питома вага тканин у контрольній групі становила $1,06 \text{ г/см}^3$. На 1-шу добу вона знизилася до $0,96 \text{ г/см}^3$, що на $0,10 \text{ г/см}^3$ менше, або на $9,43\%$. На 3-тю добу вона становила $1,00 \text{ г/см}^3$, зменшившись на $0,06 \text{ г/см}^3$, або на $5,66\%$. До 7-ї доби показник зріс до $1,01 \text{ г/см}^3$, що на $0,05 \text{ г/см}^3$ менше за контроль, або на $4,72\%$. На 14-у добу питома вага знизилася до $0,96 \text{ г/см}^3$, на $0,10 \text{ г/см}^3$ менше за контроль, або на $9,43\%$ (рис. 4.1.2).

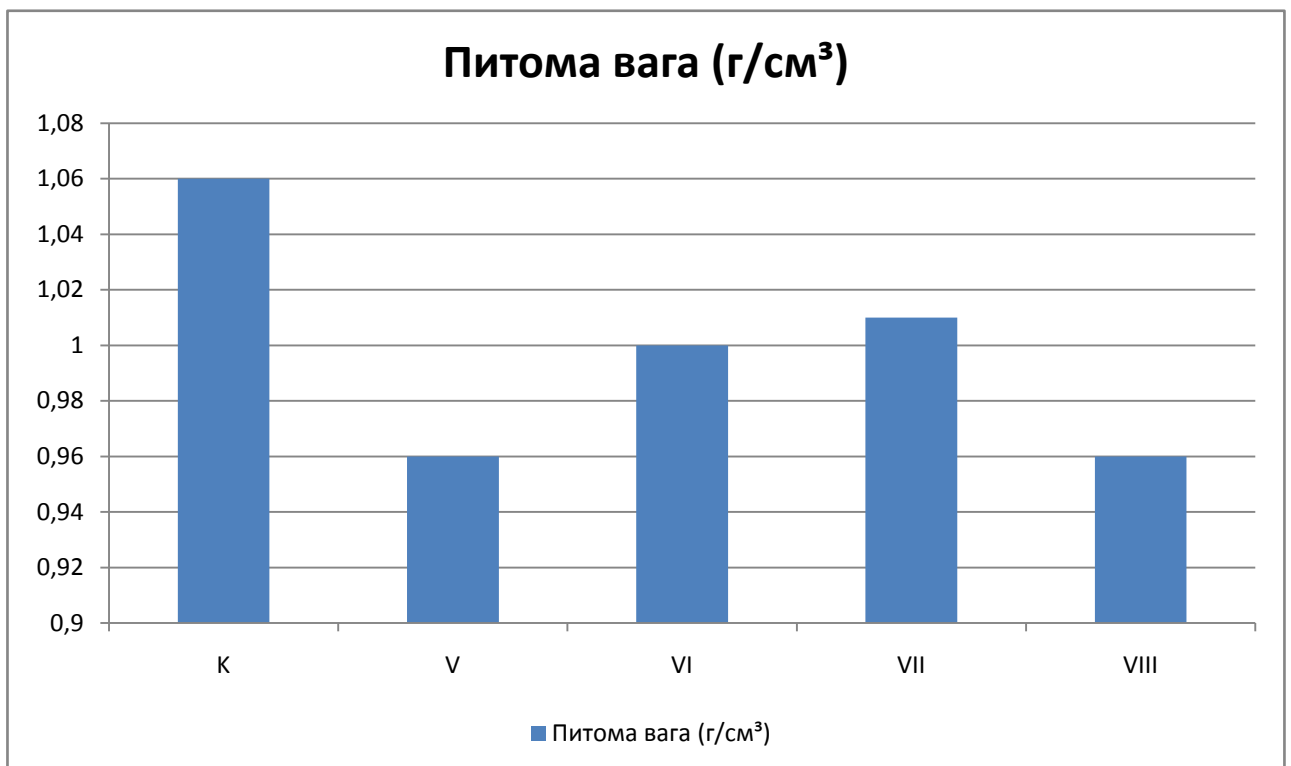


Рисунок 4.1.2 - Зміни питомої ваги м'язів при перерізі сідничного та стегнового нервів

Зниження питомої ваги на 1-шу та 3-тю добу зумовлене набряком через підвищену проникність капілярів і накопичення рідини в міжклітинному просторі. Часткове відновлення до 7-ї доби вказує на зменшення набряку внаслідок нормалізації судинної проникності та відтоку рідини через лімфатичну систему. Повторне зниження на 14-у добу може бути пов'язане з дегенеративними змінами, такими як атрофія м'язових волокон або заміщення їх сполучною чи жировою тканиною.

Питома вага тканин знижується через набряк на ранніх етапах, частково відновлюється до 7-ї доби, але на 14-у добу знижується ще більше, що свідчить про тривалі дегенеративні зміни, такі як м'язова атрофія або жирове просочення. Ці спостереження підкреслюють важливість часового фактору в реакції тканин на множинні травми нервів і мають значення для розробки стратегій відновлення після периферичних нейротравм. Майбутні дослідження повинні зосередитися на молекулярних механізмах цих змін і пошуку способів модуляції мікросудинної функції для покращення регенерації нервів.

4.2. Стан судино – нервово – м'язових компонентів задньої кінцівки у щурів в умовах перерізу сідничного нерва

Так, діаметр артеріол ділянки литкового м'яза контрольної групи становить 12,52 мкм. На першу добу після перерізу сідничного нерва зріс до 19,62 мкм, що на 7,10 мкм більше, або на 56,71%. На третю добу діаметр досяг 19,71 мкм, збільшившись на 7,19 мкм, або на 57,43%. До 7-ї доби він знизився до 16,34 мкм, що на 3,82 мкм більше за контроль, або на 30,51%. На 14-у добу діаметр становив 13,50 мкм, лише на 0,98 мкм більше за контроль, або на 7,83%. Ці зміни свідчать про виражену вазодилатацію на ранніх етапах, ймовірно, через вивільнення запальних медіаторів, таких як гістамін, простагландини та оксид азоту, які розслаблюють гладкі м'язи судин, забезпечуючи посилений кровотік до ушкодженої ділянки. Поступове зменшення діаметра до 14-ї доби вказує на згасання запалення та відновлення судинного тонусу.

Діаметр венул у контрольній групі становив 18,25 мкм. На 1-шу добу він зріс до 24,51 мкм, що на 6,26 мкм більше, або на 34,30%. На 3-тю добу діаметр досяг піку в 28,62 мкм, збільшившись на 10,37 мкм, або на 56,82%. До 7-ї доби він знизився до 19,43 мкм, що на 1,18 мкм більше за контроль, або на 6,47%. На 14-у добу діаметр становив 19,50 мкм, на 1,25 мкм більше за контроль, або на 6,85%. Збільшення діаметра венул на ранніх етапах відображає венозний застій і підвищену проникність капілярів, що сприяє набряку. Зменшення до 7-ї та 14-ї діб свідчить про відновлення венозного відтоку та зменшення набряку, хоча незначне розширення зберігається, можливо, через триваючу регенерацію тканин.

Порівняння між 1-ю та 3-ю добами показало, що діаметр артеріол зріс з 19,62 мкм до 19,71 мкм, що становить абсолютне збільшення на 0,09 мкм, або на 0,46%. Незначне зростання свідчить про стабільність вазодилатації, характерної для піку запальної реакції. Діаметр венул зріс з 24,51 мкм до

28,62 мкм, що становить збільшення на 4,11 мкм, або на 16,77%. Це відображає посилення венозного застою та максимальний набряк. Питома вага зросла з 0,96 г/см³ до 1,00 г/см³, що становить збільшення на 0,04 г/см³, або на 4,17%, вказуючи на початок зменшення набряку через відновлення балансу рідини в тканинах.

Між 3-ю та 7-ю добами діаметр артеріол знизився з 19,71 мкм до 16,34 мкм, що становить зменшення на 3,37 мкм, або на 17,10%. Діаметр венул знизився з 28,62 мкм до 19,43 мкм, що становить зменшення на 9,19 мкм, або на 32,11%. Ці зміни свідчать про згасання запального процесу, зменшення концентрації вазодилататорів і нормалізацію судинного тону. Питома вага зросла з 1,00 г/см³ до 1,02 г/см³, що становить збільшення на 0,02 г/см³, або на 2,00%, відображаючи подальше зменшення набряку та відновлення тканинної щільності.

Між 7-ю та 14-ю добами діаметр артеріол знизився з 16,34 мкм до 13,50 мкм, що становить зменшення на 2,84 мкм, або на 17,38%. Діаметр венул незначно зріс з 19,43 мкм до 19,50 мкм, що становить збільшення на 0,07 мкм, або на 0,36%. Питома вага знизилася з 1,02 г/см³ до 0,98 г/см³, що становить зменшення на 0,04 г/см³, або на 3,92%. Зменшення діаметра артеріол і стабільність венул вказують на завершення активної регенерації та стабілізацію кровотоку, тоді як зниження питомої ваги може свідчити про тривалі дегенеративні зміни, такі як втрата м'язової маси або рубцювання.

Зміни, які спостерігались в діаметрі мікросудин і питомій вазі тканин відображають динамічну відповідь тканин на пошкодження нерва. Гостра запальна реакція, що супроводжується вазодилатацією артеріол і венул, є типовою для ранньої фази травми. Медіатори запалення, такі як гістамін, простагландини та оксид азоту, викликають розслаблення гладких м'язів судин, забезпечуючи посилений кровотік для доставки імунних клітин і поживних речовин до ушкодженої ділянки. Пік вазодилатації на 3-тю добу відповідає максимальній інтенсивності запального процесу, що узгоджується з літературними даними про імунну відповідь після травми сідничного нерва.

Порівняння між послідовними групами підкреслює етапи відповіді тканин. Стабільність діаметра артеріол між першою та третьою добами відображає тривалість гострої запальної фази, тоді як значне розширення венул у цей період пов'язане з венозним застоєм і набряком. Зменшення діаметра судин між 3-ю та 7-ю добами вказує на перехід до репаративної фази, де запальні медіатори зменшуються, а судинний тонус відновлюється. Незначні зміни діаметра венул між сьомою та чотирнадцятою добами та зниження питомої ваги свідчать про стабілізацію кровотоку, але триваючі структурні зміни в тканинах. Ці результати узгоджуються з літературними даними про роль мікроциркуляції в регенерації нерва. Дослідження показали, що після перерізу сідничного нерва спостерігається початкове збільшення кровотоку та проникності судин, що сприяє набряку, з подальшим поверненням до базового рівня в міру загоєння. Моделі перерізу сідничного нерва також демонструють подібні патерни набряку та судинних змін, що підтверджує наші спостереження. Однак збереження деяких змін, таких як зниження питомої ваги на чотирнадцяту добу, вказує на те, що повне відновлення може не відбуватися протягом двох тижнів, що може мати значення для довгострокових наслідків травми.

У результаті дослідження показало, що після перерізу сідничного нерва викликає значні, але тимчасові зміни в мікросудинах і густині тканин. Вазодилатація артеріол і венул досягає піку на третю добу, відображаючи гостру запальну реакцію, і поступово зменшується до чотирнадцятої доби. Питома вага тканин знижується через набряк на ранніх етапах, частково відновлюється до сьомої доби, але знову знижується на чотирнадцяту добу, що може вказувати на тривалі дегенеративні зміни. Ці спостереження підкреслюють важливість часового фактору в реакції тканин на травму нерва та мають значення для розробки стратегій відновлення після периферичних нейротравм. Майбутні дослідження повинні зосередитися на молекулярних механізмах цих змін і пошуку способів модуляції мікросудинної функції для покращення регенерації нервів.

4.3. Стан судино – нервово – м'язових компонентів задньої кінцівки у щурів в умовах перерізу сідничного та стегнового нервів

На першу добу після перерізу обох сідничного та стегнового нервів водночас діаметр артеріол зріс до 21,62 мкм, що на 9,10 мкм більше, або на 72,75% у зрівнянні з контрольною групою, де діаметр артеріол становив 12,52 мкм. На третю добу діаметр досяг 23,54 мкм, збільшившись на 11,02 мкм, або на 88,01%, а до сьомої доби він знизився до 20,62 мкм, що на 8,10 мкм, тобто на 64,70% більше відносно контрольних показників. На чотирнадцяту добу діаметр артеріол становив 14,30 мкм - це на 1,78 мкм або на 14,22 % більше відносно контрольної групи. Ці зміни свідчать про виражену вазодилатацію на ранніх етапах, ймовірно, через вивільнення запальних медіаторів, таких як гістамін, простагландини та оксид азоту, які розслаблюють гладкі м'язи судин, забезпечуючи посилений кровообіг до ушкодженої ділянки. Поступове зменшення діаметра до чотирнадцятої доби вказує на згасання запалення та часткове відновлення судинного тону, хоча повне повернення до контрольного рівня не відбувається. В інших судинах мікроциркуляторного русла - венулах, теж змінювались гістометричні показники після перерізу сідничного та стегнового нервів. Так, на першу добу діаметр зріс до 29,51 мкм, що на 11,26 мкм більше, або на 61,73% відносно діаметру венул у контрольній групі, що становив 18,25 мкм. На третю добу діаметр досяг піку в 32,43 мкм, збільшившись на 14,18 мкм, або на 77,69%, а до сьомої доби він знизився до 21,51 мкм, що на 3,26 мкм більше, або на 17,86%, відносно показників діаметру венул у контрольній групі щурів. На чотирнадцяту добу діаметр становив 20,40 мкм, що на 2,15 мкм або на 11,78% більше за показники у контрольній групі. Збільшення діаметра венул теж відображає венозний застій і підвищену проникність капілярів, а зменшення до сьомої та чотирнадцятої доби свідчить про відновлення венозного відтоку, хоча незначне розширення зберігається через компенсаторні зміни в мікросудинному ложі.

4.4. Порівняння посттравматичного стану судино – нервово – м'язових компонентів задньої кінцівки у щурів в умовах перерізу нервів периферичної системи

Порівняно з перерізом лише сідничного нерва, де діаметр артеріол на 3-тю добу зріс на 57,43%, а венул — на 56,82%, поєднаний переріз спричиняє більш виражену вазодилатацію (88,01% для артеріол і 77,69% для венул). На 14-у добу діаметр артеріол (14,22% проти 7,83%) і венул (11,78% проти 6,85%) залишається більш підвищеним, а питома вага знижується сильніше (9,43% проти 7,55%). Це свідчить про більш інтенсивну запальну реакцію та триваліші тканинні зміни при поєднаній травмі.

Порівняння між 1-ю та 3-ю добами показало, що діаметр артеріол зріс з 21,62 мкм до 23,54 мкм, що становить абсолютне збільшення на 1,92 мкм, або на 8,88% (кратність 1,09). Це свідчить про стабільність вазодилатації, характерної для піку запальної реакції, коли медіатори запалення підтримують розширення судин для забезпечення кровотоку до ушкодженої ділянки. Діаметр венул зріс з 29,51 мкм до 32,43 мкм, що становить збільшення на 2,92 мкм, або на 9,90% (кратність 1,10).

Це відображає посилення венозного застою та максимальний набряк, спричинений підвищеною проникністю капілярів. Питома вага зросла з 0,96 г/см³ до 1,00 г/см³, що становить збільшення на 0,04 г/см³, або на 4,17% (кратність 1,04), вказуючи на початок зменшення набряку через часткове відновлення балансу рідини в тканинах (табл. 4. 1, 4.2, рис. 4.4.1, 4.4.2).

Між 3-ю та 7-ю добами діаметр артеріол знизився з 23,54 мкм до 20,62 мкм, що становить зменшення на 2,92 мкм, або на 12,40% (кратність 0,88). Діаметр венул знизився з 32,43 мкм до 21,51 мкм, що становить зменшення на 10,92 мкм, або на 33,67% (кратність 0,66). Ці зміни свідчать про згасання запального процесу, зменшення концентрації вазодилаторів і нормалізацію

судинного тонусу, що сприяє зменшенню набряку та відновленню венозного відтоку.

Таблиця 4.1 - Динаміка морфометричних показників литкового м'яза щура при перерізці сідничного нерва (n = 21)

Група	Контроль (M±SD)	I	II	III	IV	Значення р (p - value)
Діаметр артеріол (мкм)	12,52 ± 1,48	19,62 ± 3,15	19,71 ± 2,26	16,34 ± 2,13	13,5 ± 1,53	0,045
Діаметр венул (мкм)	18,25 ± 2,46	24,51 ± 4,3	28,62 ± 2,37	19,43 ± 2,34	19,5 ± 2,89	0,030
Питома вага (г/см ³)	1,06 ± 0,15	0,96 ± 0,09	1,0 ± 0,09	1,02 ± 0,09	0,98 ± 0,12	0,065

Таблиця 4.2 - Динаміка морфометричних показників литкового м'яза щура після перерізу сідничного та стегнового нервів (n = 21)

Група	Контроль (M±SD)	V	VI	VII	VIII	Значення р (p - value)
Діаметр артеріол (мкм)	12,52 ± 1,48	21,62 ± 3,15	23,54 ± 2,12	20,62 ± 2,34	14,3 ± 1,60	0,038
Діаметр венул (мкм)	18,25 ± 2,46	29,51 ± 4,3	32,43 ± 3,5	21,51 ± 2,6	20,4 ± 2,75	0,029
Питома вага (г/см ³)	1,06 ± 0,15	0,96 ± 0,05	1,0 ± 0,05	1,01 ± 0,05	0,96 ± 0,07	0,072

Питома вага зросла з $1,00 \text{ г/см}^3$ до $1,01 \text{ г/см}^3$, що становить збільшення на $0,01 \text{ г/см}^3$, або на $1,00\%$ (кратність $1,01$), відображаючи подальше зменшення набряку та часткове відновлення тканинної щільності.

Між 7-ю та 14-ю добами діаметр артеріол знизився з $20,62 \text{ мкм}$ до $14,30 \text{ мкм}$, що становить зменшення на $6,32 \text{ мкм}$, або на $30,65\%$ (кратність $0,69$). Діаметр венул знизився з $21,51 \text{ мкм}$ до $20,40 \text{ мкм}$, що становить зменшення на $1,11 \text{ мкм}$, або на $5,16\%$ (кратність $0,95$).

Питома вага знизилася з $1,01 \text{ г/см}^3$ до $0,96 \text{ г/см}^3$, що становить зменшення на $0,05 \text{ г/см}^3$, або на $4,95\%$ (кратність $0,95$). Значне зменшення діаметра артеріол і незначне зменшення венул вказують на завершення активної регенерації та стабілізацію кровотоку, тоді як зниження питомої ваги може свідчити про тривалі дегенеративні зміни, такі як втрата м'язової маси або жирове просочення.

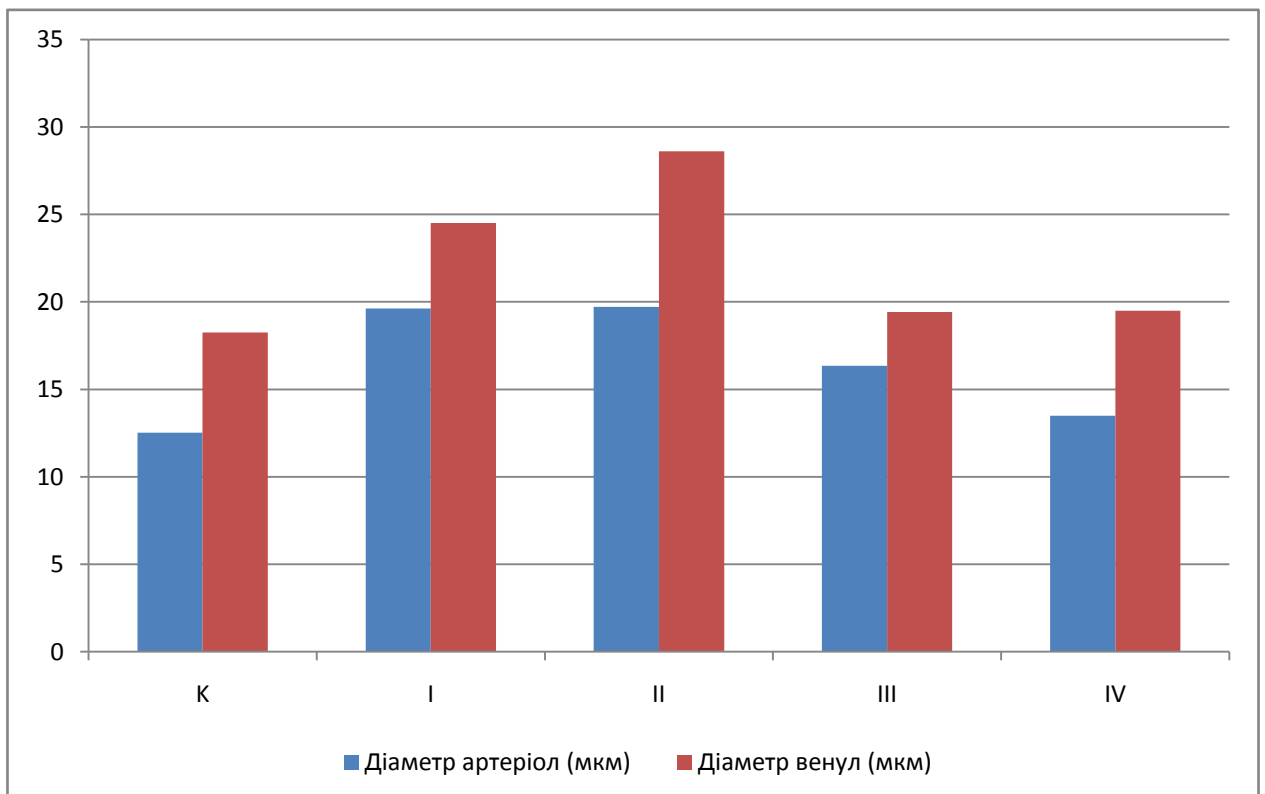


Рисунок 4.1.1 - Зміни показників гемомікроциркуляторного русла литкового м'яза при ушкодженні сідничного нерва

Спостерігали зміни в діаметрі мікросудин і питомій вазі тканин відображають динамічну відповідь тканин на поєднану травму сідничного і стегнового нервів. Гостра запальна реакція, що супроводжується вазодилатацією артеріол і венул, є типовою для ранньої фази травми. Медіатори запалення, такі як гістамін, простагландини та оксид азоту, викликають розслаблення гладких м'язів судин, забезпечуючи посилений кровотік для доставки імунних клітин і поживних речовин до ушкодженої ділянки, що є ключовими змінами в денервованих м'язах. Пік вазодилатації на 3-тю добу відповідає максимальній інтенсивності запального процесу, що є більш вираженим порівняно з перерізом лише сідничного нерва через більшу площу денергації.

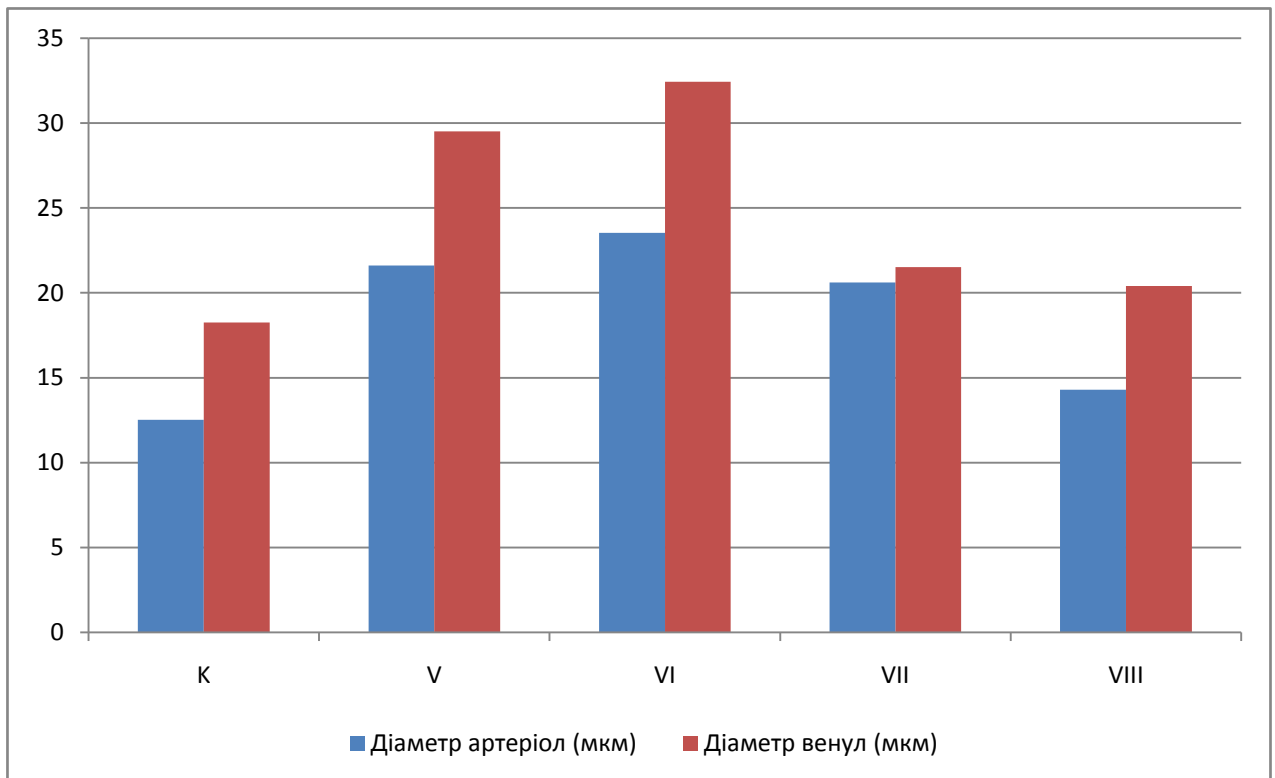


Рисунок 4.1.2 - Зміни показників гемомікроциркуляторного русла литкового м'яза при ушкодженні сідничного і стегнового нервів

Порівняння між послідовними групами підкреслює етапи відповіді тканин. Стабільність діаметра артеріол і зростання венул між 1-ю та 3-ю

добами відображають тривалість гострої запальної фази, тоді як значне зменшення діаметра судин між 3-ю та 7-ю добями вказує на перехід до репаративної фази, де запальні медіатори зменшуються, а судинний тонус відновлюється. Незначні зміни діаметра венул між 7-ю та 14-ю добями та зниження питомої ваги свідчать про стабілізацію кровотоку, але триваючі структурні зміни в тканинах, такі як ремоделювання мікросудинного ложа ремоделювання судин опору.

Ці результати узгоджуються з літературними даними про роль мікроциркуляції в регенерації нерва. Дослідження показали, що після перерізу обох периферичних нервів спостерігається початкове збільшення кровотоку та проникності судин, що сприяє набряку, з подальшим поверненням до базового рівня загоєння. Поєднаний переріз сідничного і стегнового нервів викликає більш виражені та тривалі зміни в мікросудинах і густині тканин порівняно з перерізом лише сідничного нерва. Вазодилатація артеріол і венул досягає піку на третю добу, відображаючи гостру запальну реакцію, і поступово зменшується до чотирнадцятої доби, але залишається підвищеною порівняно з нормою. Однак при поєднаній травмі сідничного і стегнового нервів більша площа денерації призводить до більш виражених і тривалих змін, що може ускладнювати регенерацію. Збереження підвищеного діаметра судин і зниженої питомої ваги на чотирнадцяту добу вказує на те, що повне відновлення не відбувається протягом двох тижнів, що має значення для оцінки довгострокових наслідків травми.

Результати розділу опубліковані в наукових працях:

1. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремоделювання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в гострому періоді. Перспективи та інновації науки. 2024;10 (44):1348-57. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-1357](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-1357).

2. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в підгострому періоді. Вісник проблем біології і медицини. 2024;4 (175):550-59. DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559).
3. Кошарний В.В., Бойко Є.М. Морфологічні зміни гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в пізній період. Перспективи та інновації науки. 2025;1(47):2278-87. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1\(47\)-2278-2286](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1(47)-2278-2286).
4. Кошарний В. В., Бойко Е. М., Абдул-Огли Л. В., Ткаченко С. С., Кушнарџова К. А. Зміни нервово м'язового комплексу литкового м'язу при пошкодженні гілок поперекового та крижового сплетення. Вісник проблем біології і медицини. 2025;1(176):429-36. DOI: [10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435).
5. Кошарний В. В., Бойко Є.М., Абдул-Огли Л. В., Родинський Р.О., Яровенко С.В. Способи формування хірургічного доступу до сідничного нерва щура: переваги та недоліки . Перспективи та інновації науки. 2025;2 (48):2099-07. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2\(48\)-2099-2107](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2(48)-2099-2107).
6. Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Бойко Е.М., Ткаченко С.С., Кушнарџова К.А. Деякі варіанти фетальної топографії довгих гілок крижового сплетення. Клінічна анатомія та оперативна хірургія –Т.22, № 3 – 2023:59-63. DOI: <https://doi.org/10.24061/1727-0847.22.3.2023.30>.
7. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Демченко О.М. Пошкодження стегнового та сідничного нерва: реакція гемомікроциркуляторного русла протягом першого тижня // Медичні та біологічні науки: міждисциплінарний аспект: матеріали Міжнародної міждисциплінарної науково-практичної internet-конференції до Всесвітнього дня анатомії (17 жовтня 2024 р., м. Харків) / за ред. Д. М. Шияна. Приватний вищий навчальний заклад «Харківський міжнародний медичний університет». – Харків, СГ НТМ «Новий курс», 2024. С.57-54.

8. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Кушнарѡва К.А. Пошкодження стегового та сідничного нерва в гострому періоді // Теорія та практика сучасної морфології : матеріали Восьмої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (м. Дніпро, 6-8 листопада 2024 року) / Дніпровський державний медичний університет. – Дніпро: ДДМУ, 2024. С.80-81.
9. Бойко Е.М., Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Губаренко О.В., Козловська Г.О. Ремодельовання мікроциркуляторного русла кінцівок за умов ушкодження периферичних нервів // Перший міжнародний морфологічний симпозіум. Перспективи використання морфологічних досліджень в розвитку сучасної медицини і стоматології. Полтава 16-17 червня 2022, Вісник проблем біології і медицини. 2022; 2 (164) (додаток): С.11. DOI: 10.29254/2077-4214-2022-2-164/addition-11.

РОЗДІЛ 5

АНАЛІЗ БІОЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ЗМІН В НЕРВОВО - М'ЯЗОВОМУ КОМПЛЕКСІ ЗА УМОВ УРАЖЕННЯ ПЕРІФЕРИЧНОЇ СИСТЕМИ У ЩУРІВ

5.1. Біоелектричні зміни в нервово-м'язовому комплексі за умов перерізу окремого сідничного нерва та обидва водночас сідничного та стегнового нервів задніх кінцівок у щурів

У нашому дослідженні експериментальним шляхом було досконало проаналізовано зміни біоелектричних характеристик нервно - м'язового комплексу, а саме: поріг збудження, хронаксія, за умов перерізки стегнового та сідничного нервів.

У контрольній групі середній поріг збудження складав $0,12 \pm 0,001$ мА, а хронаксія – $70,6 \pm 3,1$ мкс. Після перерізки сідничного нерва (на 3-тю добу після нейротомії) спостерігалось незначне підвищення порогу збудження до $0,13 \pm 0,001$ мА, що може вказувати на компенсаторні механізми іннервації. Водночас хронаксія зменшилася до $60,6 \pm 3,1$ мкс, що може свідчити про зміни в електрофізіологічних властивостях м'яза (таб. 5.1).

При перетині сідничного та стегнового нервів через 3 доби поріг збудження зріс у 3,2 рази до $0,38 \pm 0,001$ мА, що вказує на суттєве зниження збудливості м'яза. Втрата обох нервів позбавляє м'яз звичайної електричної стимуляції, що спричиняє зменшення функціональної активності мембранних іонних каналів, відповідальних за генерацію потенціалу дії.

Це підтверджує класичну концепцію денервації, за якою при втраті нервового впливу м'яз втрачає здатність відповідати на нормальні стимули, а його збудливість значно знижується.

Таблиця 5.1 – Показники електричної збудливості литкового м'яза

	1 нерв - сідничний		2 нерва – сідничний та стегновий	
	Поріг, мА	Хронаксія, мкс	Поріг, мА	Хронаксія, мкс
Контроль	$0,12 \pm 0,001$	$70,6 \pm 3,1$	$0,12 \pm 0,001$	$70,6 \pm 3,1$
Нейротомія 3 доба (підгострий період)	$0,13 \pm 0,002$	$60 \pm 3,2 *$	$0,15 \pm 0,002$	$58,0 \pm 3,0 *$
Нейротомія 7 доба (ранній період)	$0,38 \pm 0,002 *$	$70 \pm 3,2$	$0,50 \pm 0,003 *$	$75,0 \pm 3,2 *$

Примітка: * - достовірність різниці відносно групи контролю $p < 0,05$

Таке зниження хронаксії на тлі мінімального зростання порогу збудження вказує на часткову збереженість нервово - м'язової передачі завдяки залишковій функціональній активності аксоплазматичних потоків та локальних змін у чутливості постсинаптичних мембран. Відомо, що у перші дні після травматичної нейротомії відбувається активація внутрішньоклітинних сигнальних каскадів (наприклад, PI3K/Akt і MAPK), що можуть зумовлювати тимчасову стабілізацію збудливості тканин.

Хронаксія на сьому добу у ранній період залишилася майже на рівні контрольної групи ($70 \pm 3,1$ мкс), що може відображати особливості адаптаційних механізмів м'язової тканини до глибшої нейротомії. Уперше поняття «хронаксія» введено французьким фізіологом Л. Лапіком в 1909 році. До кінця дев'ятнадцятого століття збудливість визначали по порогу роздратування.

Цей феномен може бути пояснений активізацією супресованих внутрішньом'язових механізмів — зокрема, рекрутуванням латентних сателітних клітин, що здатні диференціюватися у м'язові волокна з підвищеною електрофізіологічною стабільністю. Крім того, вважається, що в умовах повної денервації зростає експресія нейрональних ацетилхолінових рецепторів по всій довжині сарколеми, що створює передумови для часткового збереження чутливості м'яза до неприродних несинаптичних стимулів. На 7-й день після нейротомії було встановлено значне зростання порогових значень інтенсивності подразнення (0,38 мА для 1 нерва та 0,50 мА для 2 нервів), що вказує на прогресування дистрофічних змін через втрату соматичної іннервації та разом з цим – нейротрофічних впливів з боку мотонейронів спинного мозку (рис. 5.1).

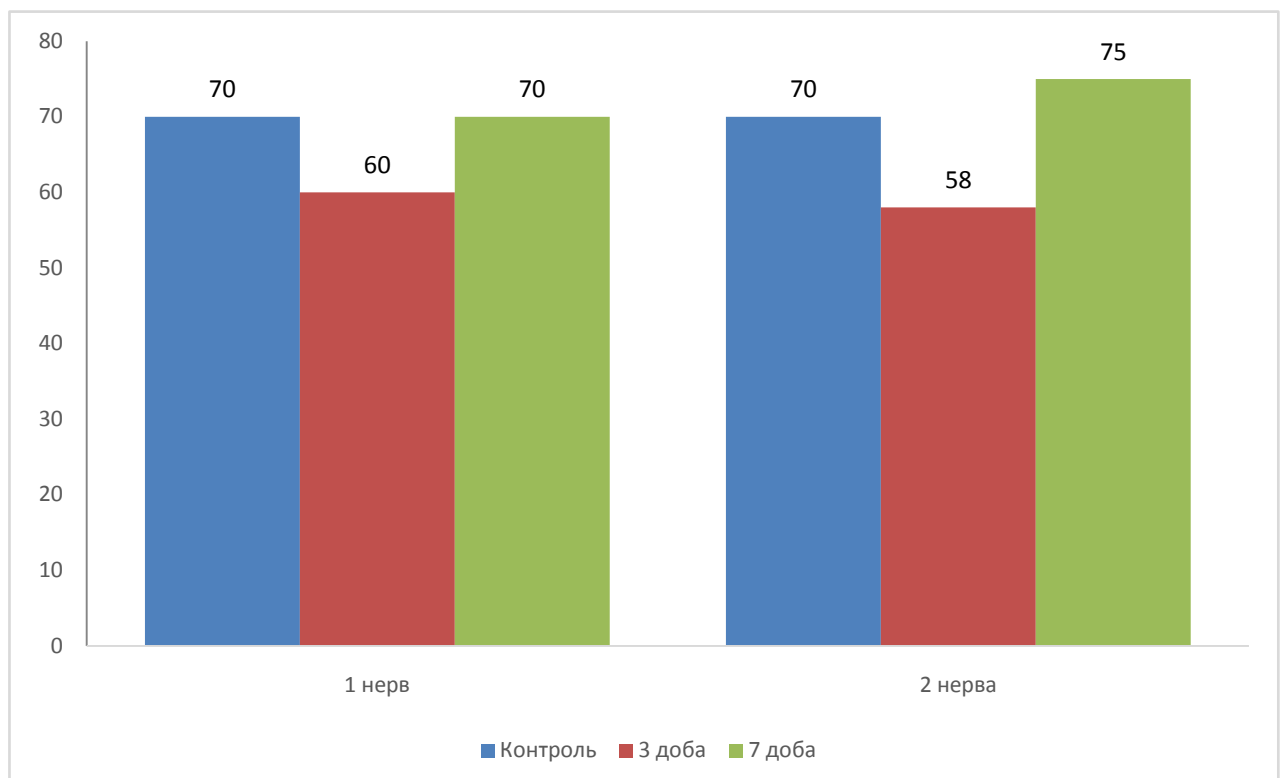


Рисунок 5.1 - Хронаксія литкового м'язу при перерізі сідничного та стегнового нервів.

На 7-й день після нейротомії було встановлено значне зростання порогових значень інтенсивності подразнення (0,38 мА для 1 нерва та 0,50 мА для 2 нервів), що вказує на прогресування дистрофічних змін через втрату соматичної іннервації та разом з цим – нейротрофічних впливів з боку мотонейронів спинного мозку.

Зменшення провідності також пов'язане з аксональними дегенеративними змінами за типом Валлеріанської дегенерації, що супроводжуються поступовою фрагментацією мієлінових оболонки і загибеллю Шваннових клітин, які забезпечують електроізоляцію та метаболічну підтримку аксонів. Паралельно активується мікроглія та макрофаги, що сприяють резорбції уламків, але можуть підсилювати запалення й уповільнювати регенерацію.

Можливо, це прояв дегенеративних змін найбільш чутливої ділянки нервових волокон – кінцевих пластинок, що супроводжує порушення зв'язку скелетного м'язу з іннервуючим його нейроном, а також збільшенням кількості холінорецепторів сарколеми денервованих м'язових клітин. Одночасно показник хронаксії повертався до рівня контрольної групи або навіть збільшувався (70 мкс та 75 мкс відповідно), що може бути наслідком компенсаторної перебудови з боку мембрани (рис. 2).

Зростання хронаксії вказує на зниження швидкості деполяризації мембрани, що типово для м'язової тканини з переважанням повільних тонічних волокон. Це може бути ознакою ремоделювання фенотипу м'язових клітин у напрямку менш енерговитратних, але більш витривалих структур, що характерно для стану адаптації до тривалої денервації.

Таким чином, отримані результати свідчать про те, що у перші дні після нейротомії спостерігається часткове збереження провідності за рахунок залишкових нервових зв'язків та компенсаторних процесів. Водночас через тиждень розвиваються більш виражені дегенеративні зміни, що проявляється прогресуючою модифікацією параметрів збудливості скелетного м'язу, що

може вказувати на активацію регенеративних або компенсаторних механізмів, зокрема з боку вегетативної нервової системи.

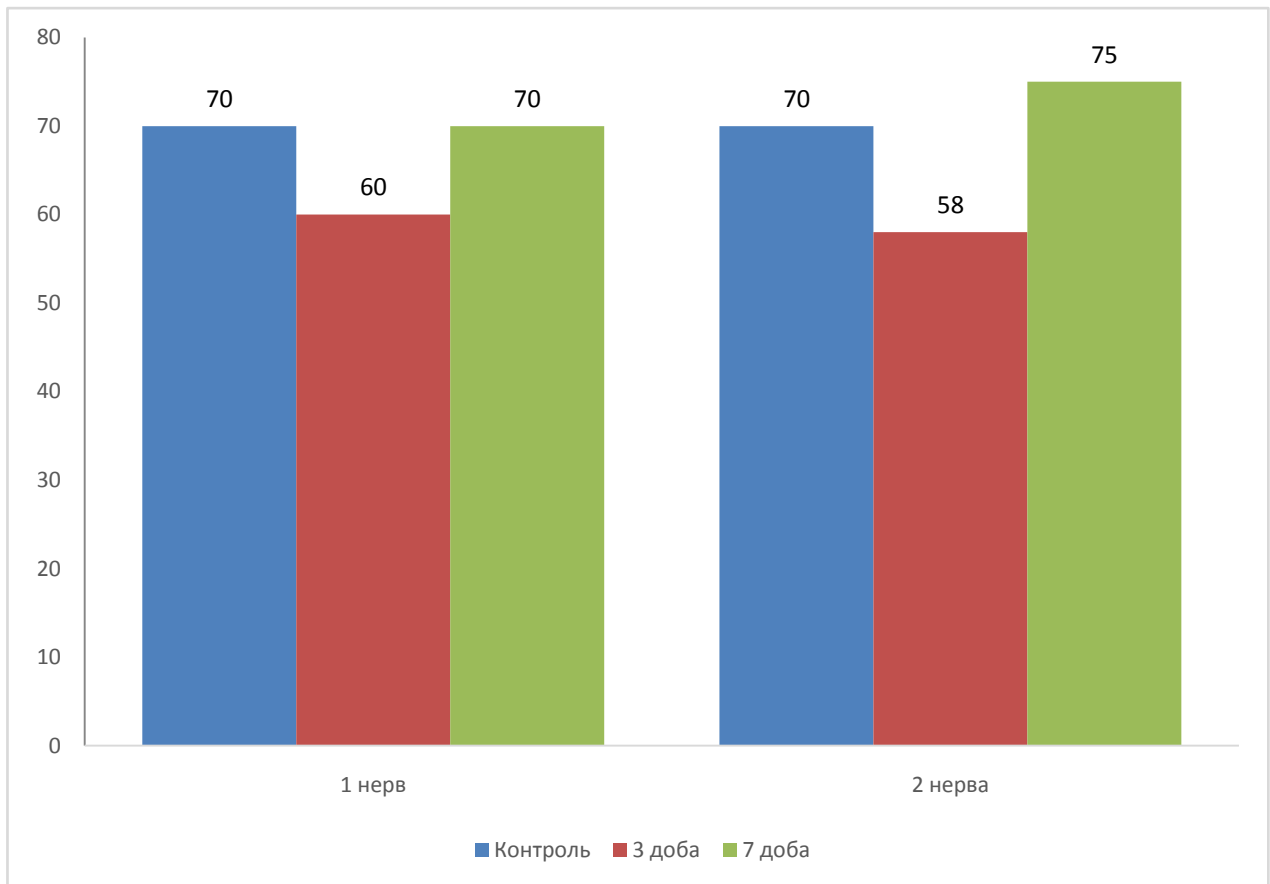


Рисунок 5.2 - Хронаксія литкового м'язу при перерізі сідничного та стегнового нервів.

Важливу роль можуть відігравати симпатичні нервові волокна, які частково іннервують скелетну мускулатуру і здатні підтримувати трофічну стимуляцію тканин. Зокрема, відомо, що при втраті соматичної іннервації активуються симпатичні впливи як механізм компенсації, що проявляється підвищенням експресії β - адренорецепторів у м'язовій тканині.

Отримані результати свідчать про різні ступені компенсації нервово-м'язової провідності. У разі часткової нейротомії (перерізка одного нерва) спостерігається активна компенсація за рахунок залишкового нерва. При повній денервації (перерізка двох нервів) процеси компенсації порушуються,

що призводить до різкого зниження збудливості м'яза. Це підкреслює важливість двосторонньої іннервації м'язів для їхньої функціональної стабільності та пояснює причини важкої атрофії після повної втрати іннервації.

Дослідження підтверджує, що при частковій нейротомії м'яз зберігає значний рівень функціональної активності завдяки залишковій іннервації. Повна втрата іннервації на ранніх строках веде до значного зниження збудливості, але при цьому спостерігаються певні адаптаційні процеси, що підтримують базовий рівень хронаксії.

Це вказує на доцільність раннього втручання, спрямованого на збереження або стимуляцію нейром'язових контактів, зокрема, шляхом застосування методів електростимуляції, фармакологічної активації іонних каналів або стовбурових клітин. Подібні стратегії можуть сприяти не лише збереженню функції, але й пришвидшенню регенеративних процесів у денервованій м'язовій тканині.

5.2. Тензометричні показники в нервово - м'язовому комплексі за умов перерізу сідничного нерва задніх кінцівок щурів

У ході дослідження були проаналізовані зміни сили м'язових скорочень за допомогою тензометричних методів у щурів після перерізки сідничного нерва з одного боку. Визначення сили скорочення базувалося на вимірюванні зусилля, яке тварина створює при спробі вирватися з фіксації — як при поступовому навантаженні, так і при короткочасному ривку. У тварин контрольної групи щур тягне чотирма кінцівками, однак після нейротомії однієї задньої лапи навантаження розподіляється на три залишкові. Ця зміна спричиняє помітні коливання сили, які залежать від часу після операції — у гострий, підгострий, ранній та пізній періоди у зрівнянні з контрольною групою. Вже на першу добу після нейротомії фіксується не зниження, а навпаки — короткочасне підвищення сили тяги порівняно з контрольною групою. Показник сили поступового навантаження зріс з $6,8 \pm 0,25$ Н у контролі до $7,2 \pm 0,30$ Н, а сила ривка з $7,5 \pm 0,45$ Н до $8,1 \pm 0,42$ Н, що становить приблизно 5,9 % та 8 % зростання відповідно, або в 1,06 – 1,08 разів вище (табл. 5.2). Такий приріст зумовлений гострою стресовою реакцією: тварина інстинктивно мобілізує всі доступні компенсаторні ресурси, намагаючись утримати опору трьома кінцівками. Найбільше навантаження в цій ситуації приймають на себе передні лапи, м'язи яких активуються інтенсивніше, ніж у нормі. Це дозволяє частково, а іноді, й повністю компенсувати втрату функції однієї кінцівки. На третю добу сила м'язових скорочень помітно знижується. Показники поступового навантаження зменшуються до $5,9 \pm 0,35$ Н, а ривкової тяги — до $6,2 \pm 0,38$ Н. У порівнянні з контролем, це зниження на 13% і 17% відповідно, або приблизно в 0,87 – 0,83 разів. Така тенденція пояснюється втратою компенсаторних м'язів, особливо передніх лап, які протягом кількох днів зазнають перевантаження. Водночас у ділянці перерізаного нерва вже починають формуватися дегенеративні зміни, що призводить до послаблення

трофіки м'яза, зниження збудливості та зменшення рефлекторного залучення пошкодженої кінцівки у рух.

Таблиця 5.2 - Результати тензометрії після нейротомії сідничного нерва у щурів

Тип навантаження	Контроль	1 доба	3 доба	7 доба	14 доба
Поступове (Н)	$6,8 \pm 0,25$	$7,1 \pm 0,3$	$6,0 \pm 0,3$	$6,3 \pm 0,35$	$6,5 \pm 0,4$
Ривок (Н)	$7,5 \pm 0,45$	$7,9 \pm 0,4$	$6,5 \pm 0,5$	$7,1 \pm 0,5$	$7,3 \pm 0,4$

На сьому добу спостерігається стабілізація та часткове зростання сили, що свідчить про включення адаптаційних механізмів. Сила поступового скорочення підвищується до $6,4 \pm 0,28$ Н – це на 9% менше за контроль, але вже на 8,5 % більше, ніж на 3 добу – у підгострий період, а ривок досягає $6,9 \pm 0,31$ Н, що на 8% менше за контроль і на 11% більше, ніж на 3 добу. Це свідчить про початок «тренувального ефекту»: залишкові м'язи адаптуються до підвищеного навантаження, активується нейром'язова перебудова, зростає тонус та витривалість функціонуючих волокон.

На чотирнадцяту добу - у пізній період відзначено майже повне відновлення сили, що проявляється у зростанні показників майже до контрольного рівня: сила поступової тяги становила $6,7 \pm 0,30$ Н - це тільки на 1,5 % нижче контролю, а ривкової – $7,3 \pm 0,35$ Н – це лише на 2,7% нижче. У порівнянні з 3 добою це вже зростання на 13–18%, або в 1,15–1,2 разів, що підтверджує гіпотезу про адаптацію м'язів до тривалого навантаження (рис. 5.3). Ймовірно, в цей період активуються не лише периферичні, але й центральні компенсаторні механізми, включаючи посилену імпульсацію з

боку інших ділянок ЦНС, перерозподіл моторних одиниць та перебудову внутрішньо м'язової структури.

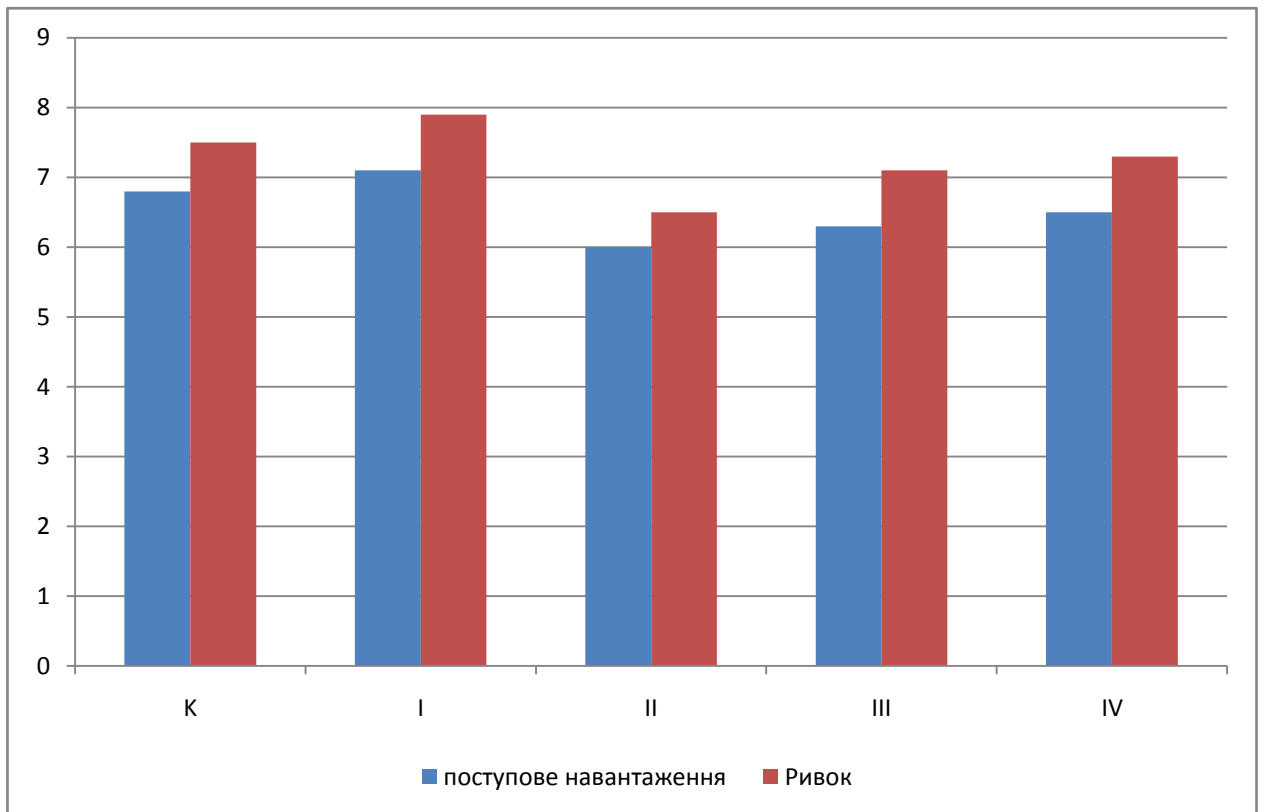


Рисунок 5.2 - Хронаксія литкового м'язу при перерізі сідничного та стегнового нервів.

Таким чином, денервація однієї кінцівки не призводить до прямолінійного ослаблення тягової сили, а запускає послідовні фази фізіологічної відповіді: стрес–втома–адаптація–відновлення. Цей процес свідчить про високу пластичність нервово-м'язової системи щурів та її здатність до часткової компенсації втрати функції навіть у короткі терміни.

Результати розділу опубліковані в наукових працях:

1. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в гострому періоді. Перспективи та інновації науки. 2024;10 (44):1348-57. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-1357](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-1357).
2. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в підгострому періоді. Вісник проблем біології і медицини. 2024;4 (175):550-59. DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559).
3. Кошарний В.В., Бойко Є.М. Морфологічні зміни гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в пізній період. Перспективи та інновації науки. 2025;1(47):2278-87. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1\(47\)-2278-2286](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1(47)-2278-2286).
4. Кошарний В. В., Бойко Е. М., Абдул-Огли Л. В., Ткаченко С. С., Кушнар'ова К. А. Зміни нервово м'язового комплексу литкового м'язу при пошкодженні гілок поперекового та крижового сплетення. Вісник проблем біології і медицини. 2025;1(176):429-36. DOI: [10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435).
5. Кошарний В. В., Бойко Є.М., Абдул-Огли Л. В., Родинський Р.О., Яровенко С.В. Способи формування хірургічного доступу до сідничного нерва щура: переваги та недоліки . Перспективи та інновації науки. 2025;2 (48):2099-07. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2\(48\)-2099-2107](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2(48)-2099-2107).
6. Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Бойко Е.М., Ткаченко С.С., Кушнар'ова К.А. Деякі варіанти фетальної топографії довгих гілок крижового сплетення. Клінічна анатомія та оперативна хірургія –Т.22, № 3 – 2023:59-63. DOI: <https://doi.org/10.24061/1727-0847.22.3.2023.30>.
7. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Демченко О.М. Пошкодження стегнового та сідничного нерва: реакція гемомікроциркуляторного русла протягом першого тижня // Медичні та біологічні науки: міждисциплінарний аспект: матеріали

Міжнародної міждисциплінарної науково-практичної internet-конференції до Всесвітнього дня анатомії (17 жовтня 2024 р., м. Харків) / за ред. Д. М. Шияна. Приватний вищий навчальний заклад «Харківський міжнародний медичний університет». – Харків, СГ НТМ «Новий курс», 2024. С.57-54.

8. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Кушнар'ова К.А. Пошкодження стегового та сідничного нерва в гострому періоді // Теорія та практика сучасної морфології : матеріали Восьмої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (м. Дніпро, 6-8 листопада 2024 року) / Дніпровський державний медичний університет. – Дніпро: ДДМУ, 2024. С.80-81.

9. Бойко Е.М., Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Губаренко О.В., Козловська Г.О. Ремодельовання мікроциркуляторного русла кінцівок за умов ушкодження периферичних нервів // Перший міжнародний морфологічний симпозиум. Перспективи використання морфологічних досліджень в розвитку сучасної медицини і стоматології. Полтава 16-17 червня 2022, Вісник проблем біології і медицини. 2022; 2 (164) (додаток): С.11. DOI: 10.29254/2077-4214-2022-2-164/addition-11.

АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

В останні роки в неврологічній практиці все більшого значення набувають ураження периферичної системи, зокрема спинно – мозкові нерви. Неврологічні ушкодження супроводжуються порушенням кровопостачання та моторної дисфункції м'язів із - за ураження ділянок іннервації. Вивчення морфологічних аспектів змін задніх кінцівок щурів після нейротомії є важливим напрямом сучасної медичної науки та периферичної нервової системи. У теперішній час, за науковими даними, саме нервові хвороби, особливо ураженні одного або двох спинномозкових нервів впливає на нервово - м'язовий комплекс ураженої ділянки і може викликати або є тим фактором, який у першу чергу впливає на структурні складові мікроциркуляторного русла кінцівок [166]. В нашій роботі було визначено, що вплив нейротомії у різні періоди часу призвело до змін не тільки на макроскопічному, але і на мікроскопічному рівні, на рівні міоцитів та судин мікроциркуляторного русла - артеріол і венул. У наявній та доступній літературі немає переконливих відомостей про стійкі кореляційні залежності наведених порушень механічної функції нервово – м'язового комплексу, тому проведення комплексного морфологічного дослідження, яке оцінює морфофункціональні зміни в кінцівках щурів після ушкодження є важливим і актуальним [166]. Отже, актуальним напрямком морфологічних експериментальних досліджень є виявлення спектру змін, які відбуваються в кінцівках при ушкодженні одного або обох спінно мозкових нервів ураженої ділянки в умовах нейротомії. Саме ці результати нашого дослідження та дані інших вчених дають можливість коректувати ураження нервів периферичної нервової системи, особливо сідничного та стегнового нервів, їх наслідки впливу на нейрофізіологічні показники литкового м'яза при ураженні тільки сідничного нерва та обох – сідничного та стегнового нервів, які виникають

після нейротомії, і після доказових даних по показникам на клітинному та тканинному рівні дають можливість впливати на відновлюючі процеси та розробляти заходи для зменшення рівня ступеня інвалідизації при ураженні різного ступеню тяжкості нерво – м'язового апарату та судин мікроциркуляторного русла відносно різних періодів нейротомії – гострого, під гострого, раннього та пізнього. Окремі дослідники оцінили вплив теж ушкодження структур та відділів периферичної нервової системи, але на задні кінцівки щурів і що дуже цікаво, наслідки впливу нейротомії відносно результату були з першого погляду позитивними. Так, задні кінцівки дорослих щурів Sprague-Dawley були піддані фокальним ізольованим первинним ударним хвилям різного надлишкового тиску (1,8–3,65 кПа) і тривалості (3,0–11,5 мс), використовуючи ударну трубу та спеціально сконструйовану експериментальну установку. За щурами спостерігали під час і після ударної хвилі. Через 6 і 24 години після експозиції кров, легені, печінку, нирки та м'язові тканини збирали та готували для гістології та проточної цитометрії. Через 6 годин спостерігалось збільшення циркулюючих нейтрофілів і моноцитів CD43Lo/His48Hi у щурів, які піддавалися більш тривалим ударним хвилям. Це супроводжувалося збільшенням циркулюючих прозапальних хіміо-цитокінів КС та ІЛ-6. Жодних змін не спостерігалось при впливі ударної хвилі меншої тривалості, незалежно від надлишкового тиску. У всіх випадках гістологічного пошкодження м'язів, легенів, нирок або печінки не спостерігалось. Через 24 години після вибуху всі запальні параметри нормалізувалися [167, 168]. Метою нашої роботи було з'ясувати особливості морфологічних змін задніх кінцівок щура після ушкодження окремо сідничного та поєднано сідничного та стегового нервів після нейротомії.

Інші морфологи теж вивчали спинномозкові нерви периферичної нервової системи. Так, окремо в роботах було вивчено внутрішньопучкової будови сідничного нерва та особливості після травматичної регенерації сідничного нерва білого щура під впливом екзогенної гіпертермії +35-37

градусів в експерименті. Було встановлено, що сідничні нерви білого щура і людини за принципом внутрішньої будови є ізоморфними формаціями периферичної нервової системи. Екзогенна гіпертермія впливає стимулюючи на проліферацію сполучнотканинних елементів і кровоносних мікросудин регенераційної невроми. Ці умови забезпечують більш інтенсивну регенерацію новоутворених аксонів у ранні - (3-7 діб після невротомії) терміни, а також, упорядкований їх ріст, прискорення дозрівання аксонів та їх мієлінізації в більш пізні терміни [169,170,171].

Дослідники в інших роботах проаналізували відновлення сідничного нерва. Відновлення периферичних нервів після травматичних пошкоджень є складним процесом, який залежить від багатьох факторів, включаючи клітинні та біохімічні зміни в тканинах. У цьому дослідженні за допомогою морфологічних, гістохімічних та електрофізіологічних методів було проведено порівняльний аналіз стану сідничного нерва у щурів у різні проміжки часу після його здавлювання. Особлива увага приділялася активності Ca^{2+} залежної кислій фосфатази (КФ) як важливого показника відновлення нервових волокон, а також ролі паратиреоїдного гормону (ПТГ) у прискоренні регенерації. Аналіз показав, що проліферація клітин ендоневрію та шваннівських клітин починається вже на третю добу, з подальшим повним відновленням активності КФ на 7-9 день. Введення ПТГ значно прискорювало регенерацію, забезпечуючи більш упорядковану морфологію волокон і ранню функціональну активність згинаючого нерва, що підтверджено кореляцією морфологістохімічних і електрофізіологічних даних [172,173,174].

Важливим аспектом відновлення є правильний напрямок росту регенеруючих аксонів, порушення якого може перешкоджати оптимальній реіннервації. У попередніх дослідженнях було показано, що в зонах дистальніше ушкодження збільшується кількість тонких мієлінізованих аксонів, а процеси проліферації шваннівських клітин відіграють ключову роль у відновленні. Ця робота спрямована на вивчення динаміки відновлення

пошкодженого периферичного нерва з урахуванням морфологічних і гістохімічних змін, а також на виявлення факторів, що впливають на ефективність реабілітації, включаючи часові та фармакологічні інтервенції [175].

Вивчення нейродегенеративних процесів і механізмів відновлення периферичних нервів після травматичних ушкоджень відіграє важливу роль у розвитку методів реабілітації нервової тканини. У науковій роботі дослідниками було проведено морфогістохімічний аналіз змін у сідничному нерві щурів на різних етапах після його роздавлювання. Як індикатор динаміки проліферації клітин ендоневрію та шваннівських клітин використовувалася активність Са²⁺ залежної кислої фосфатази (КФ) у зрізах нервових волокон. Для прискорення відновлення використовували системне введення збагаченого проліном пептиду (PRP-1), який, як було показано, сприяє ефективній регенерації. Уже через п'ять діб після травми спостерігалися структурні порушення та зміни напрямку волокон, проте в подальший період відзначалась активна проліферація клітин, що забезпечувала відновлення нервової тканини. Через 17 днів регенерація нервових волокон призвела до відновлення їхньої структури, що підтвердило нейропротекторні властивості PRP-1 [176].

Після різних етіологічних факторів, які приводять до ушкодження периферійних нервів – відновлення, залишається важливим завданням сучасної нейробіології, оскільки успішна регенерація аксонів і відновлення їх функцій суттєво залежить від багатьох факторів. Дослідження показують, що після травматичного впливу спостерігаються як позитивні процеси, так і такі, що ускладнюють регенерацію, наприклад, збільшення числа мієлінізованих аксонів на віддалених ділянках і порушення їх правильної орієнтації. При цьому активація ендоневральних клітин і клітин Шванна відіграє значну роль у відновленні нервової тканини, однак оптимізація цих процесів вимагає застосування нових терапевтичних стратегій. У даній роботі проведено морфо гістохімічний аналіз динаміки регенерації периферійних нервів з

використанням пептидів і обговорюються перспективи застосування різних протекторних засобів для поліпшення нейрогенерації [177]. Інші морфологи вивчали периферичну нервову систему черепно – мозкових нервів, характеристику м'язів в умовах експериментальної нейропатії лицевого нерва [178]. Експериментальні дослідження були проведені за допомогою гістологічних, гістохімічних та електронно-мікроскопічних методів, демонструють зміни в морфометричних характеристиках м'язових волокон при різних порушеннях моторики, таких як іммобілізація кінцівок, нейропатії, міастенія та міодистрофії. Обмеження функціональної активності призводить до морфо-функціональних змін у більшості структурних компонентів м'язів. Інформація про стан м'язів за умов нейропатії лицевого нерва викликає особливий інтерес для нейростоматологічної практики, оскільки пов'язана з первинним паралічем, вираженими ознаками контрактури та подальшою міодистрофією, які розриваються в обмежених межах організму, утруднюючи корекцію, незважаючи на широкий спектр терапевтичних підходів [179, 180, 181]. В роботах працівників кафедри патологічної анатомії Тернопільського національного медичного університету були проаналізовані тяж судинимікроциркуляторного русла в задніх кінцівках щурів, але при гострій ішемії - реперфузії за умов гострої кровопотері на першу добу – через дві години, сьому та чотирнадцяту доби від початку експерименту. Також були з'ясовані зміни біохімічних показників у сироватці крові білих щурів у різні періоди постішемичного періоду за умов гострої крововтрати. Встановлено, що при моделюванні ішемії та реперфузії виникали системні порушення, що проявлялись зміною біохімічних показників сироватки крові – підвищення рівнів лужної фосфатази, АсАт, АлАт [182]. В нашій роботі ми використовували морфометричний метод, як показник впливу ушкодження нервів, які іннервують м'язи стегна та гомілки у різні періоди – гострий, підгострий, ранній та пізній на мікроскопічні показники судин мікроциркуляторного русла. Всі ці гістологічні зміни мали прояви і наслідки відносно змін

морфометричних показників, які і відображали структурні зміни на рівні литкового м'яза гомілки, динаміку яких ми прослідкували. Так морфометричні показники контрольної та експериментальних груп мають характерні відмінності діаметру судин мікроциркуляторного русла литкового м'яза гомілки, як відображення цих процесів, які відбуваються на рівні судино – нервово - м'язового комплексу в умовах травми нервової системи, як окремо сідничного, так і поєднано – сідничного і стегнового нервів стегна і гомілки задніх кінцівок щурів (рис.5.1). На першу та третю доби посттравматичного періоду діаметри артеріол і венул збільшувались, на сьому добу – зменшувались, а на чотирнадцяту добу діаметри судин частково нормалізувались та стабілізувались, але ознаки порушення венозного відтоку зберігались у всіх експериментальних групах у зрівнянні з контрольною.

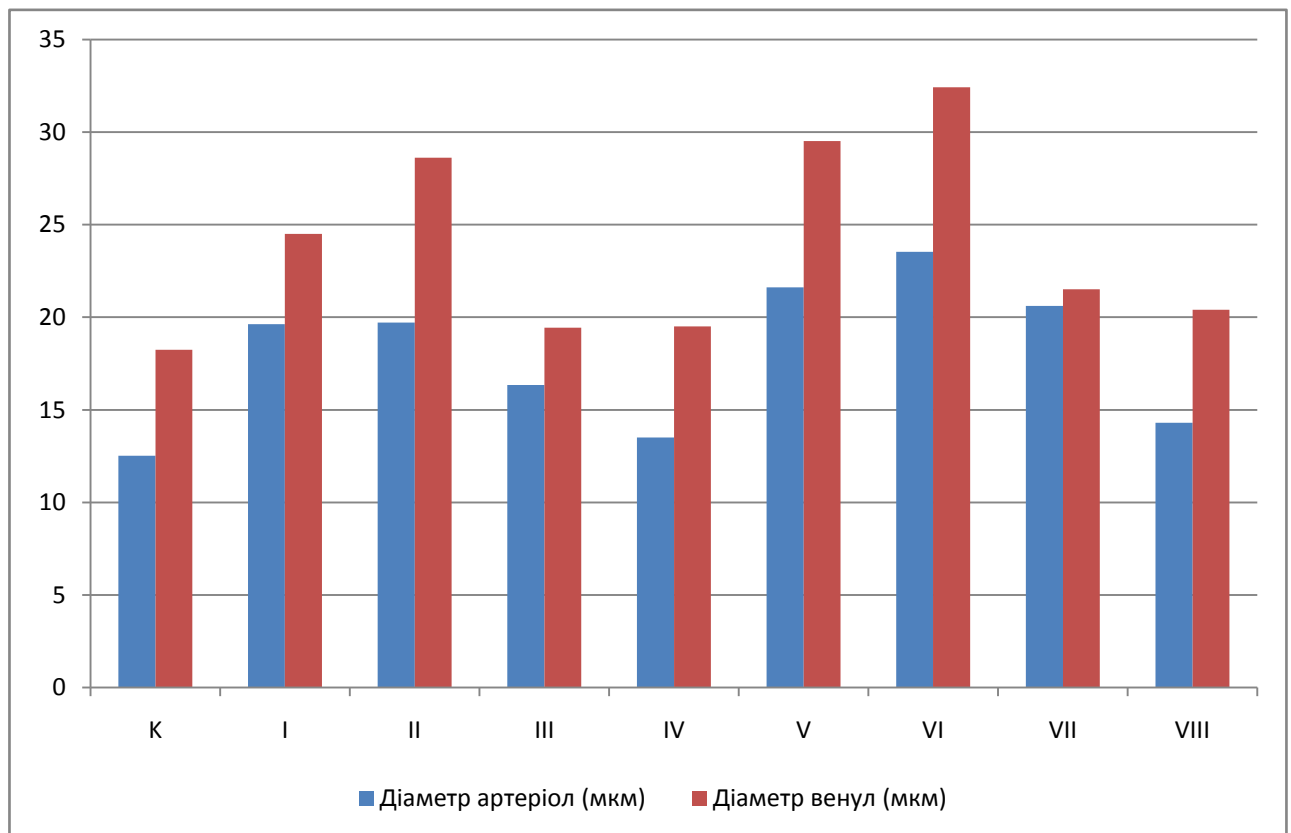


Рисунок 5.1 - Зміни показників гемомікроциркуляторного русла литкового м'яза при ушкодженні сідничного і стегнового нервів по всім восьми групам у зрівнянні з контрольною групою (К), $p < 0,05$.

У результаті наших досліджень, ми констатуємо, що за умови нейротомії виникають набряк та порушення гемоциркуляції у литковому м'язу стегна та спостерігаються зміни, характерні та специфічні для кожного періоду, який відрізняється часом, який пройшов після ураження нервів задньої кінцівки щурів.

Результати розділу опубліковані в наукових працях:

1. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в гострому періоді. Перспективи та інновації науки. 2024;10 (44):1348-57. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-1357](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-1357).
2. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в підгострому періоді. Вісник проблем біології і медицини. 2024;4 (175):550-59. DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559).
3. Кошарний В.В., Бойко Є.М. Морфологічні зміни гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в пізній період. Перспективи та інновації науки. 2025;1(47):2278-87. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1\(47\)-2278-2286](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1(47)-2278-2286).
4. Кошарний В. В., Бойко Е. М., Абдул-Огли Л. В., Ткаченко С. С., Кушнар'ова К. А. Зміни нервово м'язового комплексу литкового м'язу при пошкодженні гілок поперекового та крижового сплетення. Вісник проблем біології і медицини. 2025;1(176):429-36. DOI: [10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435).

5. Кошарний В. В., Бойко Є.М., Абдул-Огли Л. В., Родинський Р.О., Яровенко С.В. Способи формування хірургічного доступу до сідничного нерва щура: переваги та недоліки . Перспективи та інновації науки. 2025;2 (48):2099-07. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2\(48\)-2099-2107](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2(48)-2099-2107).
6. Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Бойко Е.М., Ткаченко С.С., Кушнарєва К.А. Деякі варіанти фетальної топографії довгих гілок крижового сплетення. Клінічна анатомія та оперативна хірургія –Т.22, № 3 – 2023:59-63. DOI: <https://doi.org/10.24061/1727-0847.22.3.2023.30>.
7. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Демченко О.М. Пошкодження стегнового та сідничного нерва: реакція гемомікроциркуляторного русла протягом першого тижня // Медичні та біологічні науки: міждисциплінарний аспект: матеріали Міжнародної міждисциплінарної науково-практичної internet-конференції до Всесвітнього дня анатомії (17 жовтня 2024 р., м. Харків) / за ред. Д. М. Шияна. Приватний вищий навчальний заклад «Харківський міжнародний медичний університет». – Харків, СГ НТМ «Новий курс», 2024. С.57-54.
8. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Кушнарєва К.А. Пошкодження стегнового та сідничного нерва в гострому періоді // Теорія та практика сучасної морфології : матеріали Восьмої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (м. Дніпро, 6-8 листопада 2024 року) / Дніпровський державний медичний університет. – Дніпро: ДДМУ, 2024. С.80-81.
9. Бойко Е.М., Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Губаренко О.В., Козловська Г.О. Ремодельовання мікроциркуляторного русла кінцівок за умов ушкодження периферичних нервів // Перший міжнародний морфологічний симпозіум. Перспективи використання морфологічних досліджень в розвитку сучасної медицини і стоматології. Полтава 16-17 червня 2022, Вісник проблем біології і медицини. 2022; 2 (164) (додаток): С.11. DOI: 10.29254/2077-4214-2022-2-164/addition-11.

ВИСНОВКИ

У науковій роботі викладено вирішення актуального, як для теоретичної, так і практичної медицини, науково – практичного завдання, яке полягає у визначенні впливу пошкодження периферичних нервів задніх кінцівок щурів у гострий, підгострий, ранній та пізній періоди на морфофункціональний стан литкового м'яза гомілки. З'ясовані наслідки впливу ураження як окремо сідничного, так і поєднано - сідничного і стегнового нервів на судини мікроциркуляторного русла литкового м'яза щура в різні періоди часу. Визначені строки репаративних можливостей відновлення судин мікроциркуляторного русла та функції литкового м'яза після нейротравми. Після пошкодження нервів у першу, третю, сьому та чотирнадцяту добу досліджені електрофізіологічні показники, які відображають ступень порушенні нейром'язової передачі.

1. Іннервація м'язів стегна і гомілки відбувається стегновим та сідничним нервами. Стегновий нерв у щурів є найбільшим за розміром, із середнім діаметром $1,2 \pm 0,09$ мм і довжиною $4,1 \pm 0,5$ см. Довжина великогомілкового нерва до його кінцевого розгалуження становить у середньому $3,8 \pm 0,4$ см, а діаметр варіює від 0,5 до 0,9 мм. Малоомілковий нерв є меншим за розміром, із діаметром 0,4–0,7 мм і довжиною $3,5 \pm 0,3$ см.

2. На мікроскопічному рівні після травми перерізу одного та обох нервів у зрівнянні з контрольною групою, на першу та третю доби спостерігалась яскраво виражена судинна реакція з посиленням кровотоку до уражених тканин для забезпечення їх відновлення, а на сьому та чотирнадцяту добу - реакція зменшувалась для підтримки тканинної регенерації. Гістомікроскопічні зміни в мікроциркуляторному руслі литкового м'яза після нейротравми характеризувались розширенням артеріол

і венул в гострий та підгострий періоди - у першу та третю доби. У ранній та пізній періоди - на сьому та чотирнадцяту доби спостерігалось формування рубцевих тканин з порушенням структури м'язів і судин, зменшенням товщини м'язових волокон, набряком та порушенням регенерації.

3. Гістометричний аналіз судин мікроциркуляторного русла литкового м'яза після перерізу одного сідничного нерва показав: на першу добу (I група) діаметр артеріол зріс на 56,71%, на третю добу (II група) діаметр збільшився до 57,43%, до сьомої доби (III група) діаметр знизився на 30,51%; на 14-у добу (IV група) діаметр більше на 7,83% у зрівнянні з контрольною групою. Діаметр венул на першу добу (I група) зріс на 34,30%; на 3-тю добу (II) діаметр досяг піку збільшившись на 56,82%; до 7-ї доби (III група) він знизився на 6,47%; на 14-у добу (IV група) діаметр становив за контроль на 6,85%. Збільшення діаметра венул на ранніх етапах відображає венозний застій і підвищену проникність капілярів, що сприяє набряку. Поєднаний переріз обох нервів спричиняє більш виражену вазо дилатацію: на першу добу (V група) діаметр артеріол зріс на 72,75% у зрівнянні з контрольною групою; на третю добу (VI) діаметр збільшився на 88,01%, а до сьомої доби (VII група) він знизився, але став на 64,70% більше відносно контрольних показників, а на чотирнадцяту добу (VIII) діаметр венул становив на 14,22% більше відносно контрольної групи. На першу добу (V група) діаметр венул зріс на 61,73% відносно діаметру венул у контрольній групі; на третю добу (VI) діаметр досяг піку, збільшившись на 77,69%, а до сьомої доби (VII група) він знизився, але став більше на 17,86%, відносно контрольної групи щурів; на чотирнадцяту добу (VIII) діаметр венул становив на 11,78% більше за показники у контрольної групі.

На першу добу та третю добу нейротравми діаметри артеріол і венул збільшувались, на сьому добу – зменшувались, а на чотирнадцяту добу діаметри судин частково нормалізувались, але ознаки порушення венозного відтоку зберігались у всі періоди часу.

4. Електрофізіологічне дослідження у третю та сьому доби після травми показало, що пошкодження нервів призводило до зниження збудливості литкового м'яза: на третю добу поріг збудження збільшувався, а хронаксія зменшувалась, що свідчило про порушення нервово-м'язової передачі. На сьомий день спостерігалось подальше зниження збудливості, що підтверджувало прогресування дистрофічних змін у литковому м'язі.

5. Доказово було з'ясовано, що комбіноване пошкодження сідничного та стегового нервів викликало більш виражені порушення на рівні мікроциркуляторного русла та нервово-м'язової передачі у литковому м'язі, хоча стеговий нерв не приймає участь в іннервації литкового м'яза гомілки у порівнянні з пошкодженням лише одного нерву – сідничного. Тобто це підтверджувало, що для нормального функціонування литкового м'яза гомілки потрібні не тільки відсутність порушення сідничного нерва та його гілок, а і стегового нерва, який іннервує передню групу м'язів стегна.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Отримані результати доповнюють уявлення про ураження спинномозкових нервів периферичної системи, їх особливі зміни в умовах цього ураження на м'язовий і судинний апарат стегна та гомілки задньої кінцівки щура, а також висвітлюють механізми репаративних механізмів у різні періоди після нейротомії задніх кінцівок щура. Отримані результати можуть бути використані як у теоретичний матеріал у навчальному процесі на кафедрах анатомії, патологічної анатомії, гістології, фізіології, неврології, нейрохірургії, ортопедії та реабілітології, так і в процесі подальших морфологічних та нейрофізіологічних досліджень.

2. Результати дослідження є узагальненням для подальшого морфологічного аналізу структурних особливостей змін у нервово – м'язового комплексу стегна та гомілки задніх кінцівок щурів на макросопічному та мікроскопічному рівнях та можуть бути використано для вивчення патологічного стану при нейротомії окремо сідничного, та обох нервів водночас – сідничного та стегового нервів задніх кінцівок щурів.

3. У клінічній практиці, особливо в неврології та мікронейрохірургії, виявлені строки репаративних особливостей структурних компонентів нервово – м'язового комплексу, що дає змогу прогнозувати ймовірність можливих ускладнень і відновлювальних процесів після нейротомії у різні періоди часу – гострий, підгострий, ранній та пізній.

4. Оперуючи результатами дослідження, стає можливим коригувати неврологічні порушення та ускладнення, які виникають в судино м'язовому комплексі в умовах нейротомії одного або двох нервів і можуть бути використаними у неврологічній, нейрохірургічній, ортопедичної та реабілітаційної практиці; для можливого лікування хвороб нервової системи, особливо зв'язаних з функціонуванням литкового м'яза, порушення в якому

виникають не тільки після травми сідничного нерва та його гілок, а і стегнового нерва.

5. Результати дослідження дають змогу прогнозувати появу порушень у периферичній системі в умовах нейротомії, особливо враховуючи проміжок часу – гострий, підгострий, ранній та пізній періоди, що зумовлюють пошкодження структурних компонентів нервово - м'язового комплексу та судин мікроциркуляторного русла на клітинному та тканинному рівнях.

6. У діагностичній практиці виявлення змін нейрофізіологічних показників після нейротомії сідничного та стегнового нервів, які іннервують м'язи передньої та задньої групи стегна та задньої групи м'язів гомілки у щурів, що дає змогу прогнозувати ступень ушкодження, враховуючи час впливу та можливу ймовірність репаративних процесів, як пояснення механізмів монофункціональних змін судино - нервово – м'язового комплексу.

Отримані результати дають змогу узагальнити методичні підходи у вивченні нервово – м'язових взаємовідносин кінцівок після нейротравми у різні періоди часу та стати основою для розробки нових підходів до лікування пацієнтів із пошкодженнями нервів, зокрема через оптимізацію хірургічних методів, застосування нейропротекторних препаратів та методів, що стимулюють регенерацію.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Згідно з поставленою метою й завданнями дослідження нами був вивчений широкий діапазон морфологічних та нейрофізіологічних характеристик змін нервово - м'язового комплексу задніх кінцівок щура після нейротомії – поодинокі та двійної задніх кінцівок щура.

Упродовж дослідження ми провели аналіз макроскопічних та мікроскопічних змін нервово – м'язового комплексу у щурів в різні періоди часу – гострий - на першу добу, підгострий - на третю добу, ранній – на сьому добу та пізній період – на чотирнадцяту добу після нейротомії. У нашому дослідженні ставили одне з основних завдань: дослідження уражень, які відбуваються після нейротомії, відмінність та особливості проявів після нейротомії одного та водночас двох нервів та можливості структурних складових нервово – м'язового комплексу та судин мікроциркуляторного русла к репаративним процесам, окремо в різні періоди часу. Процеси, що відбувалися у нервово – м'язовому комплексі та судинах мікроциркуляторного русла у ділянці стегна та гомілки задніх кінцівок щурів у гострий, підгострий, ранній та пізній періоди часу та зміни, які відбувались після нейротомії одного та двох нервів дають змогу об'єктивувати та стандартизувати отримані результати, простежити та проаналізувати дію нейротомії на структурні особливості не тільки нервово – м'язового комплексу, а і судин мікроциркуляторного русла та можливі репаративні відновлювальні процеси відносно різного періоду часу, який проходив після перерізки та ушкодження нервів.

У науковій роботі вперше, аналізуючи вивчені літературні джерела, вивчено взаємозв'язків морфологічних та нейрофізіологічних змін нервово -

м'язового комплексу стегна та гомілки щура у різні періоди часу на органному, тканинному та клітинному рівнях.

Отже, встановлені нами різноманітні морфологічні особливості перебігу структурно – реактивних змін у м'язах стегна та гомілки задніх кінцівок щура в умовах нейротомії одного або двох нервів, відображають дію змін, які відбуваються у різні періоди часу та вплив на ремоделюючи та на адаптаційні процеси, що дають змогу по - новому обирати нейрохірургічну та неврологічну тактику, залежно від впливу нейротомії на периферичну систему та структурні компоненти судинної системи на макроскопічному та мікроскопічному рівні. Крім того, аналіз результатів морфолого-експериментального дослідження допоможе більш глибоко розуміти адаптацію спинномозкових нервів периферичної системи загалом та структурно – функціональної особливості нервово – м'язового комплексу задніх кінцівок щурів та їх репаративні можливості відносно часу після нейротомії.

Дослідження підтвердило, що пошкодження периферичних нервів суттєво впливає на функціональний та морфологічний стан мікроциркуляторного русла в тканинах кінцівок. У ранній період після травми спостерігається активна судинна реакція, яка проявляється розширенням артеріол і венул, що свідчить про запальні процеси та покращення кровопостачання для регенерації. Однак на пізніх етапах відновлення формування рубцевих тканин і порушення венозного відтоку обмежують функціональність тканин. Результати дослідження підкреслюють важливість подальшого вивчення механізмів регенерації для розробки ефективних методів лікування. Тому подальші дослідження мають бути спрямовані на стандартизацію підходів до лікування, а також на дослідження нових можливостей нервової регенерації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кошарний В. В., Бойко Е. М., Абдул-Огли Л. В., Ткаченко С. С., Кушнарьова К. А. Зміни нервово м'язового комплексу литкового м'язу при пошкодженні гілок поперекового та крижового сплетення. Вісник проблем біології і медицини. 2025;1(176):429-36. DOI: [10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435).
2. Кошарний В.В., Бойко Є.М. Морфологічні зміни гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в пізній період. Перспективи та інновації науки. 2025;1(47):2278-87. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1\(47\)-2278-2286](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1(47)-2278-2286).
3. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в гострому періоді. Перспективи та інновації науки. 2024;10 (44):1348-57. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-1357](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-1357).
4. Danyljuk O, Meghoo C, Linchevskyy O, Gaievskyy S, Goy G, Vanderlan W. Causes of death among seventy-four military casualties in the Ukrainian armed conflict. Eur J Trauma Emerg Surg. 2019; 45(Suppl1): S171-2. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00068-019-01109-1>.
5. Сірко А. Г. Бойові вогнепальні черепно – мозкові поранення /А. Г. Сірко, Л. А. Дзяк //К.: ТОВ «Пергам», 2017. - 280с.
- 6 Murovic JA. Lower-extremity peripheral nerve injuries: a Louisiana State University Health Sciences Center literature review with comparison of the operative outcomes of 806 Louisiana State University Health Sciences Centers ciatic, common peroneal, and tibial nerve lesions. Neurosurgery. 2009; 65(4 Suppl):A18-23. doi: 10.1227/01.NEU.0000339123.74649.BE.

7. Thatte MR, Hiremath A, Goklani MS, Patel NR, Takwale AB. Peripheral nerve injury to the lower limb: repair and secondary reconstruction. *J Hand Microsurg.* 2019; 11(2):69-78. doi: 10.1055/s-0039-1687921.

8. Keane GC, Pan D, Roh J, et al. The effects of intraoperative electrical stimulation on regeneration and recovery after nerve isograft repair in a rat model. *Hand.* 2022;17:540-548.

9. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегового та сідничного нерва в підгострому періоді. *Вісник проблем біології і медицини.* 2024;4 (175):550-59. DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559).

10. Tufan A. Lateresults of early end-to-end repairin sciatic nerve injuries. *Cureus.* 2023; 15(10): e47101. doi: 10.7759/cureus.47101.

11. Freund P, Weiskopf N, Ward NS, Hutton C, Gall A, Ciccarelli O, et al. Disability, atrophy and cortical reorganization following spinal cord injury. *Brain.* 2011;134(Pt 6):1610–22. doi:10.1093/brain/awr093.

12. Freund P, Rothwell J, Craggs M, Thompson AJ, Bestmann S. Corticomotor representation to a human forearm muscle changes following cervical spinal cord injury. *Eur J Neurosci.* 2011; 34(11):1839–46. doi:10.1111/j.1460-9568.2011.07895.

13. Kaiser R, Waldauf P, Ullas G, Krajcová A. Epidemiology, etiology, and types of severe adult brachial plexus injuries requiring surgical repair: systematic review and meta-analysis. *Neurosurg Rev.* 2018;1:1-10. <https://doi.org/10.1007/s10143-018-1009-2>.

14. Park HR, Lee GS, Kim IS, Chang J-C. Brachial plexus injury in adults. *Nerve.* 2017;2(1):1285-1301. <https://doi.org/10.21129/nerve.2017.3.1.1>.

15. Rasulić L, Savić A, Živković B, et al. Outcome after brachial plexus injury surgery and impact on quality of life. *Acta Neurochir.* 2017;159(7):1257-1264. <https://doi.org/10.1007/s00701-017-3205-1>.

16. Munn Z, Peters MDJ, Stern C, Tufanaru C, McArthur A, Aromataris E. Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing

between a systematic or scoping review approach. *BMC Med Res Methodol.* 2018;18(1):1-7. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x>.

17. de Santana Chagas AC. Physiotherapeutic Treatment for Traumatic Brachial Plexus Injury in Adults: a Scoping Review Protocol. 2018. <https://osf.io/pr6hs>.

18. Sturma A, Hruby LA, Prahm C, Mayer JA, Aszmann OC. Rehabilitation of upper extremity nerve injuries using surface EMG biofeedback: protocols for clinical application. *Front Neurosci.* 2018;12:1-11. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00906>.

19. Sturma A, Hruby LA, Farina D, Aszmann OC. Structured motor rehabilitation after selective nerve transfers. *J Vis Exp.* 2019;150:e59840. <https://doi.org/10.3791/59840>.

20. Hruby LA, Sturma A, Aszmann OC. Surface Electromyographic biofeedback as a rehabilitation tool for patients with global brachial plexus injury receiving bionic reconstruction. *J Vis Exp.* 2019;151:e59839. <https://doi.org/10.3791/59839>.

21. Milicin C, Sîrbu E. A comparative study of rehabilitation therapy in traumatic upper limb peripheral nerve injuries. *NeuroRehabilitation.* 2018;42(1):113-119. <https://doi.org/10.3233/NRE-172220>.

22. Osumi M, Inomata K, Inoue Y, Otake Y, Morioka S, Sumitani M. Characteristics of phantom limb pain alleviated with virtual reality rehabilitation. *Pain Med.* 2019;20(5):1038-1046. <https://doi.org/10.1093/pm/pny269>.

23. Kubota S, Kadone H, Shimizu Y, et al. Robotic rehabilitation training with a newly developed upper limb single-joint hybrid assistive limb (HAL-SJ) for elbow flexor reconstruction after brachial plexus injury: a report of two cases. *J Orthop Surg.* 2018;26(2):1-7. <https://doi.org/10.1177/2309499018777887>.

24. Rich JA, Newell A, Williams T. Traumatic brachial plexus injury rehabilitation using neuromuscular electrical muscle stimulation in a polytrauma patient. *BMJ Case Rep.* 2019;12:e232107. <https://doi.org/10.1136/bcr-2019-232107>.

25. Bonifácio de Assis ED. Efeitos da neuroestimulação no tratamento da dor Neuropática por traumatismo do plexo braquial. Master's thesis. Universidade Federal da Paraíba; 2019.

<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/17097>.

26. Duret C, Goubier J, Renaudin A, et al. Intensive upper limb therapy including a robotic device after surgically repaired brachial plexus injury: a case study. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2019;55:534-536. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.19.05622-3>.

27. Kubota S, Kubo T, Kameda H, Itoh Y, Presentation C. Case report importance of the wrist extensor muscle training: two cases of elbow flexorplasty following traumatic brachial plexus injuries. *Case Rep Orthop*. 2018;2018:10-14. <https://doi.org/10.1155/2018/4691796>.

28. Monsivais JJ. Contralateral C7 transfers: an innovative approach to improving peripheral neuropathic pain after traumatic brachial plexus injury with C5 rupture and avulsion of C6, C7, C8 and T1: a case series study. *Clin Neurol Neurosurg*. 2020;191:105693. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2020.105693>.

29. Kitisomprayoonkul W. Brachial plexus injury after massage: a case report. *J Thai Rehabil Med*. 2018;28(1):21-23.

30. de Oliveira LAS, Pedron CA, Andrade FG, Horsczaruk CHR, Martins JVP. Motor recovery after bilateral brachial plexus injury using motor irradiation: a case report. *Int J Ther Rehabil*. 2019;26(4):1-13.

31. Verma C, Kini R, Yardi S, Puri V, Thosar J. Post nerve transfer neuroplastic motor retraining program in adults with traumatic brachial plexus injury: a physiotherapist's perspective. *J Soc Indian Physiother*. 2019;3(2):53-57.

32. Zhao L, Xiao B, Li Z, Zhang S, Zhou J. TCM thinking on rehabilitation of brachial plexus injury after repair. *Tradit Chin Med*. 2019;8(4):287-292. <https://doi.org/10.12677/tcm.2019.84048>.

33. Carolus A, Uerschels AK. Seltene Nervenkompressionssyndrome [Rare nerve compression neuropathies]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 2024;56(1):21–31. doi:10.1055/a-2250-8389.

34.O'Neal MA, Chang LY, Salajegheh MK. Postpartum spinal cord, root, plexus and peripheral nerve injuries involving the lower extremities: a practical approach. *Anesth Analg.* 2015;120(1):141–8.

doi:10.1213/ANE.0000000000000452

35.Morrison C, Brown B, Lin DY, Jaarsma R, Kroon H. Analgesia and anesthesia using the pericapsular nerve group block in hip surgery and hip fracture: a scoping review. *Reg Anesth Pain Med.* 2021;46(2):169–75. doi:10.1136/rapm-2020-101826.

36.Cass SP. Piriformis syndrome: a cause of nondiscogenic sciatica. *Curr Sports Med Rep.* 2015;14(1):41–4. doi:10.1249/JSR.0000000000000110.

37.Park JW, Lee YK, Lee YJ, Shin S, Kang Y, Koo KH. Deep gluteal syndrome as a cause of posterior hip pain and sciatica-like pain. *Bone Joint J.* 2020;102-B(5):556–67. doi:10.1302/0301-620X.102B5.BJJ-2019-1212.R1.

38.Hernando MF, Cerezal L, Pérez-Carro L, Abascal F, Canga A. Deep gluteal syndrome: anatomy, imaging, and management of sciatic nerve entrapments in the subgluteal space. *Skeletal Radiol.* 2015;44(7):919–34. doi:10.1007/s00256-015-2124-6.

39.Kizaki K, Uchida S, Shanmugaraj A, Aquino CC, Duong A, Simunovic N, et al. Deep gluteal syndrome is defined as a non-discogenic sciatic nerve disorder with entrapment in the deep gluteal space: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(10):3354–64. doi:10.1007/s00167-020-05966-x.

40.Saranteas T, Koliantzaki I, Savvidou O, Tsoumpa M, Eustathiou G, Kontogeorgakos V, et al. Acute pain management in trauma: anatomy, ultrasound-guided peripheral nerve blocks and special considerations. *Minerva Anesthesiol.* 2019;85(7):763–73. doi:10.23736/S0375-9393.19.13145-8.

41.Haller G, Pichon I, Gay FO, Savoldelli G. Risk factors for peripheral nerve injuries following neuraxial labour analgesia: a nested case-control study. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2017;61(9):1203–14. doi:10.1111/aas.12951.

42.Ogawa S, Kanda H, Kurosaki H, Kawamata T. Left common peroneal nerve palsy caused by cross-legged sitting during epidural labor analgesia: a case report. *JA Clin Rep*. 2024;10(1):15. doi:10.1186/s40981-024-00698-0.

43.Tournier A, Doremieux AC, Drumez E, Labreuche J, Cassim F, Gonzales M, et al. Factors associated with a maternal lower-limb neurological deficit after vaginal delivery. *Acta Obstet Gynecol Scand*. 2023;102(1):51–8. doi:10.1111/aogs.14441.

44.Philipps J, Denz R, Tahmaz M, Yusuf I, Mork H, Schellinger PD, et al. Nerve cross-sectional area from childhood to old age: A high-resolution nerve ultrasound study. *Eur J Neurol*. 2024;31(8):e16330. doi:10.1111/ene.16330.

45.Mackay MJ, Ayres JM, Harmon IP, Tarakemeh A, Brubacher J, Vopat BG. Traumatic Peroneal Nerve Injuries: A Systematic Review. *JBJS Rev*. 2022; 10(1):e20.00256. doi:10.2106/JBJS.RVW.20.00256.

46.Pang Z, Zhu S, Shen YD, Qiu YQ, Liu YQ, Xu WD, et al. Functional outcomes of different surgical treatments for common peroneal nerve injuries: a retrospective comparative study. *BMC Surg*. 2024;24(1):64. doi:10.1186/s12893-024-02354-x.

47.Garg SP, Hassan AM, Patel AA, Perez MM, Stoehr JR, Ketheeswaran S, et al. Outcomes of Tibial Nerve Repair and Transfer: A Structured Evidence-Based Systematic Review and Meta-Analysis. *J Foot Ankle Surg*. 2021;60(6):1280–9. doi:10.1053/j.jfas.2021.07.001.

48.Murovic JA. Lower-extremity peripheral nerve injuries: a Louisiana State University Health Sciences Center literature review with comparison of the operative outcomes of 806 Louisiana State University Health Sciences Center sciatic, common peroneal, and tibial nerve lesions. *Neurosurgery*. 2009;65(4 Suppl):A18–23. doi:10.1227/01.NEU.0000339123.74649.BE.

49.Tufan A. Late Results of Early End-to-End Repair in Sciatic Nerve Injuries. *Cureus*. 2023;15(10):e47101. doi:10.7759/cureus.47101.

50. Thatte MR, Hiremath A, Goklani MS, Patel NR, Takwale AB. Peripheral Nerve Injury to the Lower Limb: Repair and Secondary Reconstruction. *J Hand Microsurg*. 2019;11(2):69–78. doi:10.1055/s-0039-1687921.

51. Chang J, Bhandari L, Messana J, Alkabbaa S, Jahromi AH, Konofaos P. Management of Tourniquet-Related Nerve Injury (TRNI): A Systematic Review. *Cureus*. 2022;14(8):e27685. doi:10.7759/cureus.27685.

52. Li Y, Li Y, Wang G, Li Y, Zhuo N. Effect and mechanism of Tetramethylpyrazine in repair of sciatic nerve injury in rats. *BMC Neurosci*. 2024;25(1):71. doi:10.1186/s12868-024-00897-6.

53. Mackay MJ, Ayres JM, Harmon IP, Tarakemeh A, Brubacher J, Vopat BG. Traumatic peroneal nerve injuries: a systematic review. *JBJS Rev*. 2022;10(1):e20.00256. doi: 10.2106/JBJS.RVW.20.00256.

54. Pang Z, Zhu S, Shen YD, Qiu YQ, Liu YQ, Xu WD, et al. Functional outcomes of different surgical treatments for common peroneal nerve injuries: a retrospective comparative study. *BMC Surg*. 2024;24(1):64. doi: 10.1186/s12893-024-02354-x.

55. Hu M, Hong L, Liu C, et al. Electrical stimulation enhances neuronal cell activity mediated by Schwann cell derived exosomes. *Sci Rep*. 2019;9:4206.

56. Koo J, MacEwan MR, Kang SK, et al. Wireless bioresorbable electronic system enables sustained nonpharmacological neuroregenerative therapy. *Nat Med*. 2018;24:1830-1836.

57. Choi YS, Hsueh YY, Koo J, et al. Stretchable, dynamic covalent polymers for soft, long-lived bioresorbable electronic stimulators designed to facilitate neuromuscular regeneration. *Nat Commun*. 2020;11:5990.

58. Кошарний В. В., Бойко Є.М., Абдул-Огли Л. В., Родинський Р.О., Яровенко С.В. Способи формування хірургічного доступу до сідничного нерва щура: переваги та недоліки . Перспективи та інновації науки. 2025;2(48):2099-07. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2\(48\)-2099-2107](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2(48)-2099-2107).

59. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Демченко О.М. Пошкодження стегнового та сідничного нерва: реакція гемомікроциркуляторного русла

протягом першого тижня // Медичні та біологічні науки: міждисциплінарний аспект: матеріали Міжнародної міждисциплінарної науково-практичної internet-конференції до Всесвітнього дня анатомії (17 жовтня 2024 р., м. Харків) / за ред. Д. М. Шияна. Приватний вищий навчальний заклад «Харківський міжнародний медичний університет». – Харків, СГ НТМ «Новий курс», 2024. С.57-54.

60. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Кушнарѡва К.А. Пошкодження стегнового та сідничного нерва в гострому періоді // Теорія та практика сучасної морфології : матеріали Восьмої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (м. Дніпро, 6-8 листопада 2024 року) / Дніпровський державний медичний університет. – Дніпро: ДДМУ, 2024. С.80-81.

61. Бойко Е.М., Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Губаренко О.В., Козловська Г.О. Ремодельовання мікроциркуляторного русла кінцівок за умов ушкодження периферичних нервів // Перший міжнародний морфологічний симпозіум. Перспективи використання морфологічних досліджень в розвитку сучасної медицини і стоматології. Полтава 16-17 червня 2022, Вісник проблем біології і медицини. 2022; 2 (164) (додаток): С.11. DOI: 10.29254/2077-4214-2022-2-164/addition-11.

62.Lu, M., Cheng, Q., Fang, Z., & Yi, S. (2018). Analysis of biological functional networks during sciatic nerve repair and regeneration. *Molecular and cellular biochemistry*, 439(1-2), 141–150. <https://doi.org/10.1007/s11010-017-3143-5>.

63.Aman, M., Zimmermann, K. S., Pennekamp, A., Thielen, M., Falkner, F., Eisa, A., Boecker, A. H., & Harhaus, L. (2023). Mechanisms, interventions at risk and clinical presentation of iatrogenic nerve lesions in trauma patients. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 143(12), 7245–7253. <https://doi.org/10.1007/s00402-023-05009-3>.

64.Aman, M., Glaser, J. J., Boecker, A. H., Thielen, M., Eisa, A., Bigdeli, A. K., Gazyakan, E., Kneser, U., & Harhaus, L. (2023). Hopeless Neuroma-The

Neurotized Free Flap Tissue Augmentation as Salvage Therapy-A Concept and Clinical Demonstration. *Journal of personalized medicine*, 13(2), 313. <https://doi.org/10.3390/jpm13020313>.

65. Aman, M., Mayrhofer-Schmid, M., Schwarz, D., Bendszus, M., Daeschler, S. C., Klemm, T., Kneser, U., Harhaus, L., & Boecker, A. H. (2023). Avoiding scar tissue formation of peripheral nerves with the help of an acellular collagen matrix. *PloS one*, 18(8), e0289677. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289677>.

66. Hardy PB, Wang BY, Chan KM, Webber CA, Senger JB. The use of electrical stimulation to enhance recovery following peripheral nerve injury. *Muscle Nerve*. 2024;70(6):1151–1162. doi:10.1002/mus.28262.

67. Xu S, Ito A, Zhao Z, Nakahara R, Tai C, Miyamoto F, et al. Repetitive magnetic stimulation prevents dorsal root ganglion neuron death and enhances nerve regeneration in a sciatic nerve injury rat model. *Sci Rep*. 2024;14(1):19016. doi:10.1038/s41598-024-69251-4.

68. Bateman EA, Pripotnev S, Larocerie-Salgado J, Ross DC, Miller TA. Assessment, management, and rehabilitation of traumatic peripheral nerve injuries for non-surgeons. *Muscle Nerve*. 2025;71(5):696–714. doi:10.1002/mus.28185.

69. Chen M, Xiong HR, Hu Y, Wang S, Zhou F, Xiang C, et al. Electroacupuncture alleviates sciatic nerve injury and inhibits autophagy in rats. *Acupunct Med*. 2024;42(5):268–274. doi:10.1177/09645284241280074.

70. Sarkies MN, Testa L, Carrigan A, Roberts N, Gray R, Sherrington C, et al. Perioperative interventions to improve early mobilisation and physical function after hip fracture: a systematic review and meta-analysis. *Age Ageing*. 2023;52(8):afad154. doi:10.1093/ageing/afad154.

71. Marsh EB, Snyder-Warwick AK, Mackinnon SE, Wood MD. Interpretation of Data from Translational Rodent Nerve Injury and Repair Models. *Hand Clin*. 2024;40(3):429–440. doi:10.1016/j.hcl.2024.03.004.

72. Marsh EB, Snyder-Warwick AK, Mackinnon SE, Wood MD. Interpretation of Data from Translational Rodent Nerve Injury and Repair Models. *Hand Clin.* 2024;40(3):429–440. doi:10.1016/j.hcl.2024.03.004.

73. Capdevila C, Trifas M, Miller J, Anderson T, Sims PA, Yan KS. Cellular origins and lineage relationships of the intestinal epithelium. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol.* 2021 Oct 1;321(4):G413-25. DOI: 10.1152/ajpgi.00188.2021.

74. Cernak I. Blast-induced neurotrauma models and their requirements. *Front Neurol.* 2014;5:128. DOI: 10.3389/fneur.2014.00128.

75. Boscak AR, Bodanapally UK, Elshourbagy T, Shanmuganathan K. Segmental Bowel Hypoenhancement on CT Predicts Ischemic Mesenteric Laceration After Blunt Trauma. *AJR Am J Roentgenol.* 2021 Jul;217(1):93-9. DOI: 10.2214/AJR.20.23108.

76. Webster CE, Clasper J, Stinner DJ, Eliahoo J, Masouros SD. Characterization of Lower Extremity Blast Injury. *Military Medicine.* 2018;183(9–10):e448–e453. <https://doi.org/10.1093/milmed/usx126>.

77. Feliciano DV, Kochuba MP, Rozycki GF. Review article: History of venous trauma. *The Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* 2021; 91(3):e62–e72. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000003316>.

78. Karami RA, Ghieh FM, Chalhoub RS, Saghie SS, Lakkis SA, Ibrahim AE. Reconstruction of composite leg defects post-war injury. *International Orthopaedics.* 2019;43(12):2681–2690. <https://doi.org/10.1007/s00264-019-04423-w>.

79. Kauvar DS, Staudt AM, Arthurs ZM, Propper BW, Piper LC, Rivera JC, et al. Early Fasciotomy and Limb Salvage and Complications in Military Lower Extremity Vascular Injury. *The Journal of Surgical Research.* 2021;260:409–418. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.10.017>.

80. Hasde AI, Baran Ç, Gümüş F, Kış M, Ozcinar E, Cakici M, et al. Effect of temporary vascular shunt in gasa previous intervention on lower extremity arterial

injury:Single enter experience sin the Syrian Civil War.
Ulusal Travmave Acil Cerrahi Dergisi =
Turkish Journal of Trauma & Emergency Surgery TJTES. 2019; 25(4):389–395.
<https://doi.org/10.5505/tjtes.2018.29302>.

81. McCulloch I, Valerio I. Lower extremity reconstruction for limb salvage and functional restoration – The Combat experience. *Clinics in Plastic Surgery*. 2021; 48(2):349–361. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2021.01.005>.

82. Formanchuk AM, Shaprynskyi VO, Dmytryshin SP, Hnatiyk YP, Moskaliuk OV, Vozniuk TO, et al. Treatment of Combat Gunshot Shrapnel Trauma of Large Defects of the Soft Tissues of the Lower Extremities with Plastic Surgery in Combination with Vacuum Assisted Wound Closure (VAC). *Wiadomosci Lekarskie* (Warsaw, Poland: 1960). 2023; 76(5pt2):1167–1172. <https://doi.org/10.36740/WLek202305205>.

83. Eckhoff MD, Craft MR, Nicholson TC, Nesti LJ, Dunn JC. Lower Extremity Combat Sustained Peripheral Nerve Injury in US Military Personnel. *Plastic and Reconstructive Surgery. Global Open*. 2021; 9(3):e3447. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000003447>.

84. Perez KG, Eskridge SL, Clouser MC, McCabe CT, Galarneau MR. A Focus on Non-Amputation Combat Extremity Injury: 2001–2018. *Military Medicine*. 2022; 187(5–6):e638–e643. <https://doi.org/10.1093/milmed/usab143>.

85. Perkins ZB, Yet B, Glasgow S, Marsh DWR, Tai NRM, Rasmussen TE. Long-term, patient – center outcomes of lower extremity vascular trauma. *The Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2018; 85(1S Suppl 2):S104–S111. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001956>.

86. Baus A, Bich CS, Grosset A, deRousiers A, Duhoux A, Brachet M, et al. Medical and surgical management of lower extremity war-related injuries. Experience of the French Military Health Service (FMHS). *Annales de Chirurgie Plastique et Esthétique*. 2020; 65(5–6):447–478. <https://doi.org/10.1016/j.anplas.2020.05.008>.

87. Schechtman DW, Walters TJ, Kauvar DS. Utility of the Mangled Extremity Severity Score in Predicting Amputation in Military Lower Extremity Arterial Injury. *Annals of Vascular Surgery*. 2021;70:95–100. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2020.08.095>.
88. Vāhi I, Rips L, Varblane A, Pääsuke M. Musculoskeletal Injury Risk in a Military Cadet Population Participating in an Injury-Prevention Program. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*. 2023; 59(2):356. <https://doi.org/10.3390/medicina59020356>.
89. Kubiak CA, Kung TA, Brown DL, Cederna PS, Kemp SWP. State-of-the-Art Techniques in Treating Peripheral Nerve Injury. *Plast Reconstr Surg*. 2018; 141(3):702–710. doi:10.1097/PRS.00000000000004121.
90. Wolf GJ, Chen K, Strelzow JA, Stepan JG. Upper Extremity Ballistic Nerve Injury: A Scoping Review and Algorithm for Management. *JBJS Rev*. 2024;12(8):e24.00069. doi:10.2106/JBJS.RVW.24.00069.
91. Coleman MP, Hoke A. Programmed axon degeneration: from mouse to mechanism to medicine. *Nat Rev Neurosci*. 2020;21:183-196.
92. Ydens E, Cauwels A, Asselbergh B, et al. Acute injury in the peripheral nervous system triggers an alternative macrophage response. *J Neuroinflammation*. 2012;9:176.
93. McLean NA, Verge VM. Dynamic impact of brief electrical nerve stimulation on the neural immune axis-polarization of macrophages toward a pro-repair phenotype in demyelinated peripheral nerve. *Glia*. 2016;64:1546-1561.
94. Li X, Zhang T, Li C, et al. Electrical stimulation accelerates Wallerian degeneration and promotes nerve regeneration after sciatic nerve injury. *Glia*. 2022;17:1-17.
95. Du Z, Bondarenko O, Wang D, Rouabhia M, Zhang Z. Ex vivo assay of electrical stimulation to rat sciatic nerves: cell behaviors and growth factor expression. *J Cell Physiol*. 2016;231:1301-1312.
96. Han SM, Baig HS, Hammarlund M. Mitochondria localize to injured axons to support regeneration. *Neuron*. 2016;92:1308-1323.

97.Frendo ME, da Silva A, Phan KD, Riche S, Butler SJ. The cofilin/Limk1 pathway controls the growth rate of both developing and regenerating motor axons. *J Neurosci.* 2019;39:9316-9327.

98.Han S, Kim DH, Sung J, Yang H, Park JW, Youn I. Electrical stimulation accelerates neurite regeneration in axotomized dorsal root ganglion neurons by increasing MMP-2 expression. *Biochem Biophys Res Commun.* 2019;508:348-353.

99.Senger JL, Chan KM, Macandili H, et al. Conditioning electrical stimulation promotes functional nerve regeneration. *Exp Neurol.* 2019;315:60-71.

100.Senger JLB, Rabey KN, Morhart MJ, Chan KM, Webber CA. Conditioning electrical stimulation accelerates regeneration in nerve transfers. *Ann Neurol.* 2020;88:363-374.

101. Federer AE, Murphy JS, Calandruccio JH, Devito DP, Kozin SH, Slappey GS, et al. Ulnar Nerve Injury in Pediatric Midshaft Forearm Fractures: A Case Series. *J Orthop Trauma.* 2018;32(9):e359–e365. doi:10.1097/BOT.0000000000001238. Nout-Lomas YS. Traumatic Nervous System Injury. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 2022; 38(2):363-377. doi:10.1016/j.cveq.2022.04.005.

102.Jones PE, Meyer RM, Faillace WJ, Landau ME, Smith JK, McKay PL, Nesti LJ. Combat Injury of the Sciatic Nerve - An Institutional Experience. *Mil Med.* 2018;183(9-10):e434-e441. doi:10.1093/milmed/usy030.

103. Elboim-Gabyzon M, Andrawus Najjar S, Shtarker H. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on acute postoperative pain intensity and mobility after hip fracture: A double-blinded, randomized trial. *Clin Interv Aging.* 2019;14:1841-1850. doi:10.2147/CIA.S203658.

104.Evertsson L, Carlsson C, Turesson C, Ezer MS, Arner M, Navarro CM. Incidence, demographics and rehabilitation after digital nerve injury: A population-based study of 1004 adult patients in Sweden. *PLoS One.* 2023;18(4):e0283907. doi:10.1371/journal.pone.0283907.

105. Hearn SL, Jorgensen SP, Gabet JM, Carter GT. Occupational nerve injuries. *Muscle Nerve*. 2025;71(5):732-746. doi:10.1002/mus.28099.
106. Wilcox MB, Laranjeira SG, Eriksson TM, et al. Characterising cellular and molecular features of human peripheral nerve degeneration. *Acta Neuropathol Commun*. 2020;8(1):1-17. doi:10.1186/s40478-020-00921-w
107. Zigmund RE, Echevarria FD. Macrophage biology in the peripheral nervous system after injury. *Prog Neurobiol*. 2019;173:102-121. doi:10.1016/j.pneurobio.2018.12.001
108. Meyer zu Reckendorf S, Brand C, Pedro MT, et al. Lipid metabolism adaptations are reduced in human compared to murine Schwann cells following injury. *Nat Commun*. 2020;11(1). doi:10.1038/s41467-020-15915-4
109. Rayner MLD, Brown HL, Wilcox M, Phillips JB, Quick TJ. Quantifying regeneration in patients following peripheral nerve injury. *Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery*. 2020;73(2):201-208. doi:10.1016/j.bjps.2019.10.007
110. Power HA, Sharma K, El-Haj M, Moore AM, Patterson MM, MacKinnon SE. Compound Muscle Action Potential Amplitude Predicts the Severity of Cubital Tunnel Syndrome. *Journal of Bone and Joint Surgery - American Volume*. 2019;101(8):730-738. doi:10.2106/JBJS.18.00554
111. Kemp SWP, Cederna PS, Midha R. Comparative outcome measures in peripheral regeneration studies. *Exp Neurol*. 2017;287(Pt 3):348-357. doi:10.1016/j.expneurol.2016.04.011
112. Santosa KB, Keane AM, Jablonka-Shariff A, Vannucci B, Snyder-Warwick AK. Clinical relevance of terminal Schwann cells: An overlooked component of the neuromuscular junction. *J Neurosci Res*. 2018;96(7):1125-1135. doi:10.1002/jnr.24231.
113. Bittner GD, Sengelaub DR, Ghergherehchi CL. Conundrums and confusions regarding how polyethylene glycol-fusion produces excellent behavioral recovery after peripheral nerve injuries. *Neural Regen Res*. 2018;13(1):53-57. doi:10.4103/1673-5374.224363.

114.Ghergherehchi CL, Mikesch M, Sengelaub DR, et al. Polyethylene glycol (PEG) and other bioactive solutions with neurorrhaphy for rapid and dramatic repair of peripheral nerve lesions by PEG-fusion. *J Neurosci Methods*. 2019;314:1-12. doi:10.1016/j.jneumeth.2018.12.015.

115.Tajdaran K, Chan K, Shoichet MS, Gordon T, Borschel GH. Local delivery of FK506 to injured peripheral nerve enhances axon regeneration after surgical nerve repair in rats. *Acta Biomater*. 2019;96:211-221. doi:10.1016/j.actbio.2019.05.058

116.Jo S, Pan D, Halevi AE, et al. Comparing electrical stimulation and tacrolimus (FK506) to enhance treating nerve injuries. *Muscle Nerve*. 2019;60(5):629-636. doi:10.1002/mus.26659 .

117.Marsh EB, Schellhardt L, Hunter DA, Mackinnon SE, Snyder-Warwick AK, Wood MD. Electrical stimulation or tacrolimus (FK506) alone enhances nerve regeneration and recovery after nerve surgery, while dual use reduces variance and combines strengths of each in promoting enhanced outcomes. *Muscle Nerve*. 2023;67(1):78-87. doi:10.1002/mus.27748.

118. Pan D, Mackinnon SE, Wood MD. Advances in the repair of segmental nerve injuries and trends in reconstruction. *Muscle Nerve*. 2020;61(6):726-739. doi:10.1002/mus.26797

119.Poppler LH, Ee X, Schellhardt L, et al. Axonal Growth Arrests after an Increased Accumulation of Schwann Cells Expressing Senescence Markers and Stromal Cells in Acellular Nerve Allografts. *Tissue Eng Part A*. 2016;22(13-14):949-961. doi:10.1089/ten.tea.2016.0003

120.Farber SJ, Hoben GM, Hunter DA, et al. Vascularization is delayed in long nerve constructs compared to nerve grafts. *Muscle Nerve*. 2016;54(2):319-321. doi:10.1002/mus.25173

121.Yan Y, Hunter DA, Schellhardt L, et al. Nerve stepping stone has minimal impact in aiding regeneration across long acellular nerve allografts. *Muscle Nerve*. 2018;57(2):260-267. doi:10.1002/mus.25659

122. Pan D, Hunter DA, Schellhardt L, et al. The accumulation of T cells within acellular nerve allografts is length-dependent and critical for nerve regeneration. *Exp Neurol*. 2019;318:216-231. doi:10.1016/j.expneurol.2019.05.009

123. Pan D, Hunter DA, Schellhardt L, et al. T cells modulate IL-4 expression by eosinophil recruitment within decellularized scaffolds to repair nerve defects. *Acta Biomater*. 2020;112:149-163. doi:10.1016/j.actbio.2020.05.009

124. Pan D, Acevedo-Cintrón JA, Sayanagi J, Snyder-Warwick AK, Mackinnon SE, Wood MD. The CCL2/CCR2 axis is critical to recruiting macrophages into acellular nerve allograft bridging a nerve gap to promote angiogenesis and regeneration. *Exp Neurol*. 2020;331. doi:10.1016/j.expneurol.2020.113363

125. Hanwright PJ, Rath JL, von Guionneau N, et al. Stimulated grip strength measurement: Validation of a novel method for functional assessment. *Muscle Nerve*. 2019;60(4):437-442. doi:10.1002/mus.26646

126. Willand MP, Nguyen MA, Borschel GH, Gordon T. Electrical Stimulation to Promote Peripheral Nerve Regeneration. *Neurorehabil Neural Repair*. 2016;30(5):490-496. doi:10.1177/1545968315604399.

127. Power HA, Morhart MJ, Olson JL, Chan KM. Postsurgical Electrical Stimulation Enhances Recovery Following Surgery for Severe Cubital Tunnel Syndrome: A Double-Blind Randomized Controlled Trial. *Neurosurgery*. 2020;86(6):769-777. doi:10.1093/neuros/nyz322

128. Barber B, Seikaly H, Ming Chan K, et al. Intraoperative Brief Electrical Stimulation of the Spinal Accessory Nerve (BEST SPIN) for prevention of shoulder dysfunction after oncologic neck dissection: A double-blinded, randomized controlled trial. *Journal of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*. 2018;47(1):1-10. doi:10.1186/s40463-017-0244-9.

129. Barber B, Seikaly H, Chan KM, et al. Intraoperative brief electrical stimulation of the spinal accessory nerve (BEST SPIN) for prevention of shoulder dysfunction after oncologic neck dissection: a double-blinded, randomized controlled trial. *J Otolaryngol Head Neck Surg*. 2018;47:4-13.

130. Power HA, Morhart MJ, Olson JL, Chan KM. Postsurgical electrical stimulation enhances recovery following surgery for severe cubital tunnel syndrome: a double-blind randomized controlled trial. *Neurosurgery*. 2020;86:769-777.

131. Hafner AS, Donlin-Asp PG, Leitch B, Herzog E, Schuman EM. Local protein synthesis is a ubiquitous feature of neuronal pre- and postsynaptic compartments. *Science*. 2019;364:1-12.

132. Sun C, Nold A, Fusco CM, et al. The prevalence and specificity of local protein synthesis during neuronal synaptic plasticity. *Sci Adv*. 2021;7:eabj0790.

133. Perez JD, Fusco CM, Schuman EM. A functional dissection of the mRNA and locally synthesized protein population in neuronal dendrites and axons. *Annu Rev Genet*. 2021;55:183-207.

134. Toth MJ, Tourville TW, Voigt TB, et al. Utility of Neuromuscular Electrical Stimulation to Preserve Quadriceps Muscle Fiber Size and Contractility After Anterior Cruciate Ligament Injuries and Reconstruction: A Randomized, Sham-Controlled, Blinded Trial. *Am J Sports Med*. 2020;48(10):2429-2437. doi:10.1177/0363546520933622.

135. Shem K, Wong J, Dirlikov B. Effective self-stretching of carpal ligament for the treatment of carpal tunnel syndrome: A double-blinded randomized controlled study. *J Hand Ther*. 2020;33(3):272-280. doi:10.1016/j.jht.2019.12.002.

136. Meulenkamp B, Stacey D, Fergusson D, Hutton B, Mlis RS, Graham ID. Protocol for treatment of Achilles tendon ruptures; a systematic review with network meta - analysis. *Syst Rev*. 2018;7(1):247. doi:10.1186/s13643-018-0912-5.

137. Gräf JK, Lüdtkke K, Wollesen B. Physio- und sporttherapeutische Interventionen zur Behandlung eines Karpaltunnelsyndroms: Eine systematische Übersichtsarbeit. *Schmerz*. 2022;36(4):256-265. doi:10.1007/s00482-022-00637-x.

138. de Santana Chagas AC, Wanderley D, de Oliveira Ferro JK, et al. Physical therapeutic treatment for traumatic brachial plexus injury in adults: A scoping review. *PM R*. 2022;14(1):120-150. doi:10.1002/pmrj.12566.

139. Juckett L, Saffari TM, Ormseth B, Senger J-L, Moore AM. The effect of electrical stimulation on nerve regeneration following peripheral nerve injury. *Biomolecules*. 2022;12:1856.

140. Roballo KCS, Burns DT, Ghnenis AB, Osimanjiang W, Bushman JS. Long-term neural regeneration following injury to the peroneal branch of the sciatic nerve in sheep. *Eur J Neurosci*. 2020;52(10):4385–4394. <https://doi.org/10.1111/ejn.14835>.

141. Sánchez M, Anitua E, Delgado D, Prado R, Sánchez P, Fiz N, et al. Ultrasound-guided plasma rich in growth factors injections and scaffolds hasten motor nerve functional recovery in an ovine model of nerve crush injury. *J Tissue Eng Regen Med*. 2017; 11(5):1619–1629. <https://doi.org/10.1002/term.2079>.

142. Zhu Y, Jin Z, Fang J, Wang J, Wang Y, Song Q, et al. Platelet-Rich Plasma Combined with Low-Dose Ultrashort Wave Therapy Accelerates Peripheral Nerve Regeneration. *Tissue Eng Part A*. 2020;26(3-4):178–192. <https://doi.org/10.1089/ten.TEA.2019.0187>.

143. Neves M, Tavares ALF, Reginato A, Kakihata CMM, Bertolini GRF, Ribeiro LFC. Low-Level Laser Therapy in Different Wavelengths on the Tibialis Anterior Muscle of Wistar Rats After Nerve Compression Injury. *J Manipulative Physiol Ther*. 2020;43(7):700–707. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2019.05.012>.

144. Philipps J, Denz R, Tahmaz M, Yusuf I, Mork H, Schellinger PD, et al. Nerve cross-sectional area from childhood to old age: a high-resolution nerve ultrasound study. *Eur J Neurol*. 2024;31(8):e16330. doi: 10.1111/ene.16330.

145. Goncharuk O, Savosko S, Petriv T, Medvediev V, Tsymbaliuk V. Quantitative histological assessment of skeletal muscle hypotrophy after neurotomy and sciatic nerve repair in rats. *Georgian Med News*. 2021;(313):169–172.

146. Saranteas T, Koliantzaki I, Savvidou O, Tsoumpa M, Eustathiou G, Kontogeorgakos V, et al. Acute pain management in trauma: anatomy, ultrasound-guided peripheral nerve blocks and special considerations. *Minerva Anesthesiol.* 2019;85(7):763-73. doi: 10.23736/S0375-9393.19.13145-8.

147. Hernández-Jasso I, Domínguez-Del-Toro E, Delgado-García JM, Quintanar JL. Recovery of sciatic nerve with complete transection in rats treated with leuprolide acetate: A gonadotropin-releasing hormone agonist. *Neurosci Lett.* 2020; 739:135439. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.135439>.

148. Assis AD, Chiarotto GB, da Silva NS, Simões GF, Oliveira ALR. Pregabalin synchronizes the regeneration of nerve and muscle fibers optimizing the gait recovery of MDX dystrophic mice. *FASEB J.* 2022; 36(9):e22511. <https://doi.org/10.1096/fj.202200411RR>.

149. Freund P, Weiskopf N, Ward NS, Hutton C, Gall A, Ciccarelli O, et al. Disability, atrophy and cortical reorganization following spinal cord injury. *Brain.* 2011; 134(Pt 6):1610-22. doi: 10.1093/brain/awr093.

150. Freund P, Rothwell J, Craggs M, Thompson AJ, Bestmann S. Corticomotor representation to a human forearm muscle changes following cervical spinal cord injury. *Eur J Neurosci.* 2011; 34(11):1839-46. doi: 10.1111/j.1460-9568.2011.07895.x.

151. Carolus A, Uerschels AK. Seltene Nervenkompressions syndrome [Rare nerve compression neuropathies]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2024; 56(1):21-31. doi: 10.1055/a-2250-8389.

152. Morrison C, Brown B, Lin DY, Jaarsma R, Kroon H. Analgesia and anesthesia using the pericapsular nerve group block in hip surgery and hip fracture: a scoping review. *Reg Anesth Pain Med.* 2021;46(2):169-75. doi: 10.1136/rapm-2020-101826.

153. Cass SP. Piriformis syndrome: a cause of non-disco-genic sciatica. *Curr Sports Med Rep.* 2015;14(1):41-4. doi: 10.1249/JSR.000000000000110.

154. Park JW, Lee YK, Lee YJ, Shin S, Kang Y, Koo KH. Deep gluteal syndrome as a cause of posterior hip pain and sciatica – like pain. *Bone Joint J.* 2020;102-B(5):556-67. doi: 10.1302/0301-620X.102B5.BJJ-2019-1212.R1.

155. Haller G, Pichon I, Gay FO, Savoldelli G. Risk factors for peripheral nerve injuries following neuraxial labour analgesia: a nested case-control study. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2017;61 (9):1203-14. doi: 10.1111/aas.12951.

156. Kizaki K, Uchida S, Shanmugaraj A, Aquino CC, Duong A, Simunovic N, et al. Deep gluteal syndrome is defined as a non-discogenic sciatic nerve disorder with entrapment in the deep gluteal space: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(10):3354-64. doi: 10.1007/s00167-020-05966-x.

157. Lysak A, Savosko S, Strafun S, Utko N, Makarenko O. Effect of bone marrow aspirate in denervation-induced skeletal muscle atrophy. *Wiad Lek.* 2022;75(3):634–640.

158. Hernando MF, Cerezal L, Pérez-Carro L, Abascal F, Canga A. Deep gluteal syndrome: anatomy, imaging, and management of sciatic nerve entrapments in the subgluteal space. *Skeletal Radiol.* 2015; 44(7):919-34. doi: 10.1007/s00256-015-2124-6.

159. Ogawa S, Kanda H, Kurosaki H, Kawamata T. Left common peroneal nerve palsy caused by cross-legged sitting during epidural labour analgesia: a case report. *JA Clin Rep.* 2024;10(1):15. doi: 10.1186/s40981-024-00698-0.

160. Tournier A, Doremieux AC, Drumez E, Labreuche J, Cassim F, Gonzales M, et al. Factors associated with a maternal lower-limb neurological deficit after vaginal delivery. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 2023;102(1):51-8. doi: 10.1111/aogs.14441.

161. Закон України. Про захист тварин від жорстокого поводження. Відомості Верховної Ради України (ВВР) [Інтернет]. 2006 [цитовано 2022 Січ 15];(27):230.

162. Чадаєв В. Е. Етичні принципи при роботі з лабораторними тваринами. Український журнал медицини, біології та спорту – 2012. №2. №1(92) – С.113-115.

163. Автандилов ГГ, Невзоров ВП, Невзорова ОФ. Системный стереометрический анализ ультраструктур клеток. Кишинев: Штиинца; 1984. 186 с.

164. Багрій ММ, Діброва ВА, Попадинець ОГ, Грищук МІ. Методики морфологічних досліджень: монографія. Вінниця: Нова книга; 2016. 328 с.

165. Єрошенко ГА., Білаш СМ., Проніна ОМ, Коптев ММ, Ячмінь АІ. Структурні зміни щурів при гострому іммобілізаційному стресові нирок. Вісник проблем біології медицини. 2019;3 (152):294-97. ISSN 2077 – 4214.

166. Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Бойко Е.М., Ткаченко С.С., Кушнарьова К.А. Деякі варіанти фетальної топографії довгих гілок крижового сплетення. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. – Т.22, № 3 – 2023:59-63. DOI: <https://doi.org/10.24061/1727-0847.22.3.2023.30>.

167. Quan X, Huang L, Yang Y, et al. Potential mechanism of neurite outgrowth enhanced by electrical stimulation: involvement of microRNA-363-5ptargeting DCLK1 expression in rat. *Neurochem Res.* 2017; 42: 513-525.

168. Yan X, Liu J, Ye Z, et al. CaMKII-mediated CREB phosphorylation is involved in Ca²⁺-induced BDNF mRNA transcription and neurite outgrowth promoted by electrical stimulation. *PLoS One.* 2016;11:e0162784.

169. Беліменко МС, Кошарний ВВ, Абдул - Огли ЛВ, Козловська ОГ, Кушнарьова КА. Патогістологічні зміни міокарда щурів при дії загальної гіпотермії в пізній період. Вісник проблем біології і медицини. 2021;2(160):253–57.

170. Беліменко МС. Дія загальної і місцевої гіпотермії на організм людини. *International periodic scientific journal «Modern engineering and innovative technologies».* 2021;17(5):18–28.

171. Zuo KJ, Gordon T, Chan KM, Borschel GH. Electrical stimulation to enhance peripheral nerve regeneration: update in molecular investigations and clinical translation. *Exp Neurol*. 2020;332:113397.

172. Senger JB, Verge VMK, Chan KM, Webber CA. The nerve conditioning lesion—a strategy to enhance nerve regeneration. *Ann Neurol*. 2018;83:691-702.

173. Senger JB, Chan AWM, Chan KM, et al. Conditioning electrical stimulation is superior to postoperative electrical stimulation in enhanced regeneration and functional recovery following nerve graft repair. *Neurorehabil Neural Repair*. 2020;34:299-308.

174. Willand MP, Nguyen MA, Borschel GH, Gordon T. Electrical stimulation to promote peripheral nerve regeneration. *Neurorehabil Neural Repair*. 2016;30:490-496.

175. Sayanagi J, Acevedo-Cintrón JA, Pan D, et al. Brief electrical stimulation accelerates axon regeneration and promotes recovery following nerve transection and repair in mice. *J Bone Joint Surg Am*. 2021;103:e80.

176. Chang J, Bhandari L, Messana J, Alkabbaa S, Jahromi AH, Konofaos P. Management of tourniquet-related nerve injury (TRNI): a systematic review. *Cureus*. 2022; 14(8):e27685. doi: 10.7759/cureus.27685.

177. Garg SP, Hassan AM, Patel AA, Perez MM, Stoehr JR, Ketheeswaran S, et al. Outcomes of tibial nerve repair and transfer: a structured evidence-based systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Surg*. 2021; 60 (6):1280-9. doi: 10.1053/j.jfas.2021.07.001.

178. Petrov D, Burrell JC, Browne KD, Laimo FA, Roberts SE, Ali ZS, et al. Neuroorrhaphy in Presence of Polyethylene Glycol Enables Immediate Electrophysiological Conduction in Porcine Model of Facial Nerve Injury. *Front Surg*. 2022;9:811544. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.811544>.

179. Raslan A, Salem MAM, Al-Hussaini A, Guntinas-Lichius O, Irintchev A. Brief electrical stimulation improves functional recovery after femoral but not after facial nerve injury in rats. *Anat Rec*. 2019;302:1304-1313.

180. Shapira Y, Sammons V, Forden J, et al. Brief electrical stimulation promotes nerve regeneration following experimental in-continuity nerve injury. *Neurosurgery*. 2019;85:156-163.

181. Park S, Liu CY, Ward PJ, Jaiswal PB, English AW. Effects of repeated 20-Hz electrical stimulation on functional recovery following peripheral nerve injury. *Neurorehabil Neural Repair*. 2019;33:775-784.

182. Луцик В. І., Сельський П. Р. Порівняльний вналіз морфологічних порушень гемомікроциркуляторного русла та скелетних м'язів задніх кінцівок щурів із біохімічними змінами на системному рівні при гострій ішемії – реперфузії за умов гострої кровопотері. *Клінічна анатомія та оперативна хірургія*. 2023;3(22).

ДОДАТКИ

Додаток А

ПРАЦІ, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегового та сідничного нерва в гострому періоді. Перспективи та інновації науки. 2024;10 (44):1348-57. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-1357](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-1357). (Здобувачем

виконано дослідження судин гемомікроциркуляторного русла у експериментальному посттравматичному гострому періоді, аналіз використаних джерел, фіксація, експеримент і обробка гістологічного матеріалу. Співавтор: проф. Кошарний В. В., – надав консультативну допомогу).

2. Кошарний В. В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегового та сідничного нерва в підгострому періоді. Вісник проблем біології і медицини. 2024;4 (175):550-59. DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559). (Здобувач здійснив

експеримент у посттравматичному підгострому періоді з наслідками впливу перерізу периферичних нервів на судини мікроциркуляторного русла задніх кінцівок щура у лабораторних умовах. Співавтори: проф. Кошарний В. В., – надав консультативну допомогу. Здобувач провів експеримент з впливу перерізу периферичних нервів на судини мікроциркуляторного русла задніх кінцівок щура у лабораторних умовах).

3. Кошарний В.В., Бойко Є.М. Морфологічні зміни гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегового та сідничного нерва в пізній період. Перспективи та інновації науки. 2025;1(47):2278-87. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1\(47\)-2278-](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1(47)-2278-)

[2286](#)(Здобувач здійснив експеримент та фіксацію, обробку макроскопічного та мікроскопічного матеріалу, морфометричних показників, провів дослідження, реферування та аналіз використаних джерел, сформульовано висновки та оформив статтю до друку. Співавтори: проф. Кошарний В. В. надав, консультативну допомогу).

4. Кошарний В. В., Бойко Е. М., Абдул-Огли Л. В., Ткаченко С. С., Кушнарьова К. А. Зміни нервово м'язового комплексу литкового м'язу при пошкодженні гілок поперекового та крижового сплетення. Вісник проблем біології і медицини. 2025;1(176):429-36. DOI: [10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435) (Здобувач здійснив експеримент, фіксацію та опис макро і мікроскопічних змін сідничного та обох сідничного і стегнового нервів, провів дослідження, оформив статтю до друку. Співавтори: проф. Кошарний В.В та проф. Абдул – Огли Л. В. надали консультативну допомогу, а доц. Ткаченко С. С. та доц. Кушнарьова К.А. надали допомогу у проведенні експерименту з перерізу одного та двох нервів поперекового та крижового сплетення в лабораторних умовах).

5. Кошарний В. В., Бойко Є.М., Абдул-Огли Л. В., Родинський Р.О., Яровенко С.В. Способи формування хірургічного доступу до сідничного нерва щура: переваги та недоліки . Перспективи та інновації науки. 2025;2 (48):2099-07. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2\(48\)-2099-2107](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-2(48)-2099-2107). (Здобувач здійснив експеримент та фіксацію і обробку гістологічного матеріалу та морфометричних показників, провів дослідження, оформив статтю до друку. Співавтори: проф. Кошарний В.В., проф. Родинський Р.О. та проф. Абдул – Огли Л. В. надали консультативну допомогу, а Яровенко С.В. надав допомогу у проведенні експерименту перерізу сідничного нерва задніх кінцівок щура).

6. Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Бойко Е.М., Ткаченко С.С., Кушнарьова К.А. Деякі варіанти фетальної топографії довгих гілок крижового сплетення. Клінічна анатомія та оперативна хірургія –Т.22, № 3 – 2023:59-63. DOI: <https://doi.org/10.24061/1727-0847.22.3.2023.30> (Здобувач

здійснив аналіз та порівняв дані варіантів після проведення експерименту, оформив статтю до друку. Співавтори: проф. Кошарний В.В та проф. Абдул – Огли Л. В. надали консультативну допомогу, а доц. Ткаченко С. С. та доц. Кушнарьова К.А. надали допомогу у проведенні експерименту з перерізу одного та двох нервів поперекового та крижового сплетення в лабораторних умовах).

ПРАЦІ, ЯКІ ЗАСВІДЧУЮТЬ АПРОБАЦІЮ МАТЕРІАЛІВ ДИСЕРТАЦІЇ

7. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Демченко О.М. Пошкодження стегнового та сідничного нерва: реакція гемомікроциркуляторного русла протягом першого тижня // Медичні та біологічні науки: міждисциплінарний аспект: матеріали Міжнародної міждисциплінарної науково-практичної internet-конференції до Всесвітнього дня анатомії (17 жовтня 2024 р., м. Харків) / за ред. Д. М. Шияна. Приватний вищий навчальний заклад «Харківський міжнародний медичний університет». – Харків, СГ НТМ «Новий курс», 2024. С.57-54. (Здобувач здійснив фіксацію і обробку морфологічного, гістологічного та лабораторного матеріалу, провів дослідження, оформив тези до друку. Співавтор: проф. Кошарний В. В., - надав консультативну допомогу, а проф. Демченко О.М. - допомога у проведенні експерименту).

8. Кошарний В. В., Бойко Е.М., Кушнар'ова К.А. Пошкодження стегнового та сідничного нерва в гострому періоді // Теорія та практика сучасної морфології : матеріали Восьмої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (м. Дніпро, 6-8 листопада 2024 року) / Дніпровський державний медичний університет. – Дніпро: ДДМУ, 2024. С.80-81. (Здобувач здійснив експеримент та фіксацію і обробку морфологічного та гістологічного матеріалу, провів дослідження, оформив тези до друку. Співавтори: проф. Кошарний В. В., проф. Абдул - Огли Л.В. – надали консультативну допомогу; доц. Рутгайжер В. Г. та доц. Козловська О. Г. – допомога у проведенні експерименту).

9. Бойко Е.М., Кошарний В.В., Абдул-Огли Л.В., Губаренко О.В., Козловська Г.О. Ремодельовання мікроциркуляторного русла кінцівок за умов ушкодження периферичних нервів // Перший міжнародний морфологічний симпозіум. Перспективи використання морфологічних досліджень в розвитку

сучасної медицини і стоматології. Полтава 16-17 червня 2022, Вісник проблем біології і медицини. 2022; 2 (164) (додаток):С.11.DOI:10.29254/2077-4214-2022-2-164/addition-11. (Здобувач зробив фіксацію, експеримент з ушкодженням периферичних нервів та аналізу судин мікроциркуляторного русла кінцівок щурів в таких умовах , провів дослідження, оформив тези до друку. Співавтори: проф. Кошарний В.В. та проф. Абдул – Огли Л.В. надали консультативну допомогу, а доц. Козловська Г.О. та Губаренко О.В. допомогли у проведенні експерименту та в обробці даних).

Додаток Б

«Затверджую»

Директор ННЦ
«Інститут біології та медицини»
Київського національного
університету імені Тараса Шевченка
Остапченко Л.І.



АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів, отриманих у дисертаційній роботі, у наукову роботу
та навчальний процес

- 1. Назва пропозиції:** Морфофункціональні зміни кінцівок щурів за умов різного ступеня ушкодження периферичних нервів.
- 2. Заклад, що розробив пропозицію, поштова адреса:** Дніпровський державний медичний університет, м.Дніпро, вул.В.Вернадського,9. Аспірант кафедри анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії Бойко Є.М.
- 3. Джерело інформації:**
 - Koshamiy V. V., Boyko E. M., Abdul-Ogfi L. V., Tkachenko S. S., Kushnareva K. A. Changes in the neuromuscular complex of the calf muscle in case of damage to the branches of the lumbar and sacral plexis//Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 1 (176) 429-436 DOI: [10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435)
 - Koshamiy V. V., Boyko E. M. Remodeling of the hemomicrocirculatory channel of the hind limbs in case of damage to the femoral and sciatic nerves in the subacute period Вісник проблем біології і медицини – 2024 – Вип. 4 (175) 550-559 DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559)
 - Кошарний В.В., Бойко Є.М. Ремоделювання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в гострому періоді «Перспективи та інновації науки» (Серія «Медицина») №10 (44) 2024 с.1348-1358 [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-135](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-135)
- 4. Базова установа, яка проводить впровадження:** кафедра технології медичної діагностики та лікування ННЦ «Інститут біології та медицини» КНУ ім. Т.Шевченка.
- 5. Форма впровадження:** у навчальну роботу кафедри клінічної анатомії і оперативної хірургії, в матеріали лекцій та практичних занять при вивченні циклу: «Клінічна анатомія кінцівок» у науково-дослідну роботу кафедри.
- 6. Ефективність впровадження за критеріями, висловленими в джерелах інформації (п.3):** використання результатів наукових досліджень у навчальному процесі дозволяє розширити знання студентів з питань особливостей реакції опорно рухового апарату на вплив екстремальних факторів.
- 7. Зауваження та пропозиції.** Не виносилися. Обговорено та затверджено на засіданні кафедри, протокол № 3 від 4 березня 2025 р.

Відповідальний за впровадження:
завідувач кафедри технології медичної
діагностики та лікування
ННЦ «Інститут біології та медицини»
КНУ ім. Т.Шевченка,
д.м.н., професор

Олександр МАЄВСЬКИЙ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової
та навчально-методичної роботи
Міжнародного Європейського університету
професор  Ірина БОЯРКО
« _____ » _____ р.



АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів, отриманих у дисертаційній роботі, у наукову роботу
та навчальний процес

1. **Назва пропозиції:** Морфофункціональні зміни кінцівок шурів за умов різного ступеня ушкоджень периферичних нервів.
2. **Заклад, що розробив пропозицію, поштова адреса:** Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро, вул.В.Вернадського,9. Аспірант кафедри анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії Бойко С.М.
3. **Джерело інформації:**
 - Kosharnyi V. V., Boyko E. M., Abdul-Ogli L. V., Tkachenko S. S., Kushnareva K. A. Changes in the neuromuscular complex of the calf muscle in case of damage to the branches of the lumbar and sacral plexus//Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 1 (176) 429-436 DOI: [10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435)
 - Kosharnyi V. V., Boyko E. M. Remodeling of the hemomicrocirculatory channel of the hind limbs in case of damage to the femoral and sciatic nerves in the subacute period Вісник проблем біології і медицини – 2024 – Вип. 4 (175) 550-559 DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559)
 - Кошарний В.В., Бойко С.М. Ремоделювання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в гострому періоді «Перспективи та інновації науки» (Серія «Медицина») №10 (44) 2024 с.1348-1358 [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-1358](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-1358)
4. **Базова установа, яка проводить впровадження:** кафедра морфології та фізіології ННІ СМШ МСУ.
5. **Форма впровадження:** у навчальну роботу кафедри морфології та фізіології людини, в матеріали лекцій та практичних занять при вивченні анатомії людини, клінічної анатомії, а також у науково-дослідну роботу кафедри.
6. **Ефективність впровадження за критеріями, висловленими в джерелах інформації (п.3):** використання результатів наукових досліджень у навчальному процесі дозволяє розширити знання студентів з питань особливостей реакції опорно рухового апарату на вплив екстремальних факторів.
7. **Зауваження та пропозиції.** Не виносилися. Обговорено та затверджено на засіданні кафедри, протокол № 9 від 25 березня 2025 р.

Відповідальний за впровадження:

в.о. завідувача кафедри морфології та
фізіології людини, д.мед.н., професор



Олег БОБК

ЗМБФРДЖУЮ

Професор закладу вищої освіти з науково-педагогічної роботи Буковинського державного медичного університету, доцент

В. Володимир ХОДОРОВСЬКИЙ

« 03 » _____ 2025 року

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. Пропозиція для впровадження: Морфо-функціональні зміни кінцівок щурів за умов різного ступеня ушкоджень периферійних нервів.

2. Установа-розробник: Дніпровський державний медичний університет (м. Дніпро, вул. В. Вернадського, 9).

Розроблювач: аспірант кафедри анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії Бойко С.М.

3. Джерела інформації:

– Kosharnyi VV, Boyko EM, Abdul-Ogli LV, Tkachenko SS, Kushnareva KA. Changes in the neuromuscular complex of the calf muscle in case of damage to the branches of the lumbar and sacral plexis. Вісник проблем біології і медицини. 2025;1(176):429-35. DOI: 10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435.

– Kosharnyi VV, Boyko EM. Remodeling of the hemomicrocirculatory channel of the hind limbs in case of damage to the femoral and sciatic nerves in the subacute period. Вісник проблем біології і медицини. 2024;4(175):550-9. DOI: 10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559.

– Кошарний ВВ, Бойко СМ. Ремоделювання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в гострому періоді. Перспективи та інновації науки (Серія «Медицина»). 2024;10(44):1348-57. [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-1357](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-1357).

4. Базова установа, яка проводить впровадження: кафедра анатомії, клінічної анатомії та оперативної хірургії Буковинського державного медичного університету.

5. Термін впровадження: 2024-2025 навчальний рік.

6. Форми впровадження: у матеріали лекцій та практичних занять з анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії, а також у наукову роботу кафедри.

Затверджено на засіданні кафедри (протокол № 13 від «17» березня 2025 р.).

Завідувач кафедри анатомії,
клінічної анатомії та оперативної хірургії
Буковинського державного медичного університету,
доктор медичних наук,
професор



Олександр СЛОБОДЯН

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарри́й проректор закладу вищої освіти
з науково-педагогічної роботи
Полтавського державного медичного університету



В. М. Дворник

« 03 » квітня 2025 року.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. Пропозиція для впровадження: морфофункціональні зміни кінцівок шурів за умов різного ступеня ушкоджень периферичних нервів.

2. Установа-розробник, автор: Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро, вул. В. Вернадського, 9. Аспірант кафедри анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії Бойко С.М.

3. Джерело інформації:

- Kosharnyi V. V., Boyko E. M., Abdul-Ogli L. V., Tkachenko S. S., Kushnareva K. A. Changes in the neuromuscular complex of the calf muscle in case of damage to the branches of the lumbar and sacral plexis//Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 1 (176) 429-436 DOI: [10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435)

- Kosharnyi V. V., Boyko E. M. Remodeling of the hemomicrocirculatory channel of the hind limbs in case of damage to the femoral and sciatic nerves in the subacute period Вісник проблем біології і медицини – 2024 – Вип. 4 (175) 550-559 DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559)

- Кошарний В.В., Бойко Є.М. Ремодельовання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в гострому періоді «Перспективи та інновації науки» (Серія «Медицина») №10 (44) 2024 с.1348-1358 [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-1358](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-1358)

4. Базова установа, яка проводить впровадження: кафедра анатомії з клінічною анатомією та оперативною хірургією Полтавського державного медичного університету.

5. Термін впровадження: січень – квітень 2025 року.

6. Форма впровадження: у навчальну роботу кафедри анатомії з клінічною анатомією та оперативною хірургією Полтавського державного медичного університету, в матеріали лекцій та практичних занять при вивченні циклу «Клінічна анатомія нижніх кінцівок» у науково-дослідну роботу кафедри.

7. Ефективність впровадження за критеріями, висловленими в джерелах інформації (п.3): використання результатів наукових досліджень у навчальному процесі дозволяє розширити знання студентів щодо перебудови структур кінцівок шурів за умов різного ступеня ушкоджень периферичних нервів.

8. Зауваження, пропозиції: не вносилися.

9. Обговорено та затверджено на засіданні кафедри, протокол № 17 від 02 квітня 2025 року.

Відповідальний за впровадження:
завідувач кафедри анатомії з клінічною
анатомією та оперативною хірургією
Полтавського державного
медичного університету
доктор біологічних наук, професор



ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
Начальник відділу кадрів

З. Г. Бойко

Сергій БІЛАШ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Проректор з науково-педагогічної роботи
 Чорноморського національного університету
 ім.Петра Могили, д.мед.н., професор
 _____ Микола КЛИМЕНКО
 « 20 » _____ 2025 р.

АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

**результатів, отриманих у дисертаційній роботі, у наукову роботу
та навчальний процес**

1. **Назва пропозиції:** Морфофункціональні зміни кінцівок шурів за умов різного ступеня ушкоджень периферичних нервів.
2. **Заклад, що розробив пропозицію, поштова адреса:** Дніпровський державний медичний університет, м.Дніпро, вул.В.Вернадського,9. Аспірант кафедри анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії Бойко Є.М.
3. **Джерело інформації:**
 - Kosharnyi V. V., Boyko E. M., Abdul-Ogli L. V., Tkachenko S. S., Kushnareva K. A. Changes in the neuromuscular complex of the calf muscle in case of damage to the branches of the lumbar and sacral plexis//Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 1 (176) 429-436 DOI: [10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435)
 - Kosharnyi V. V., Boyko E. M. Remodeling of the hemomicrocirculatory channel of the hind limbs in case of damage to the femoral and sciatic nerves in the subacute period Вісник проблем біології і медицини – 2024 – Вип. 4 (175) 550-559 DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559)
 - Кошарний В.В., Бойко Є.М. Ремоделювання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в гострому періоді «Перспективи та інновації науки» (Серія «Медицина») №10 (44) 2024 с.1348-1358 [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-135](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-135)
4. **Базова установа, яка проводить впровадження:** кафедра анатомії, клінічної анатомії, патоморфології та судової медицини ЧНУ ім.П.Могили.
5. **Форма впровадження:** у навчальну роботу кафедри клінічної анатомії і оперативної хірургії, в матеріали лекцій та практичних занять при вивченні циклу: "Клінічна анатомія кінцівок" у науково-дослідну роботу кафедри.
6. **Ефективність впровадження за критеріями, висловленими в джерелах інформації (п.3):** використання результатів наукових досліджень у навчальному процесі дозволяє розширити знання студентів з питань особливостей реакції опорно рухового апарату на вплив екстремальних факторів.
7. **Зауваження та пропозиції.** Не виносилися. Обговорено та затверджено на засіданні кафедри, протокол № 8 від 19 березня 2025 р.

Відповідальний за впровадження:

завідувач кафедри анатомії, клінічної анатомії, патоморфології та судової медицини ЧНУ ім.П.Могили, д.мед.н., професор



Валерій ЧЕРНОВ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з науково-педагогічної роботи і
соціальних питань Тернопільського національного
медичного університету імені І.Я.Горбачевського,
д.мед.н., професор



Олег СЛАБИЙ

2025 р.

АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів, отриманих у дисертаційній роботі, у наукову роботу
та навчальний процес

1. Назва пропозиції: Морфофункціональні зміни кінцівок щурів за умов різного ступеня ушкоджень периферичних нервів.

2. Заклад, що розробив пропозицію, поштова адреса: Дніпровський державний медичний університет, м.Дніпро, вул.В.Вернадського,9. Аспірант кафедри анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії Бойко Є.М.

3. Джерело інформації:

- Kosharnyi V. V., Boyko E. M., Abdul-Ogli L. V., Tkachenko S. S., Kushnareva K. A. Changes in the neuromuscular complex of the calf muscle in case of damage to the branches of the lumbar and sacral plexis//Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 1 (176) 429-436 DOI: 10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435
- Kosharnyi V. V., Boyko E. M. Remodeling of the hemomicrocirculatory channel of the hind limbs in case of damage to the femoral and sciatic nerves in the subacute period Вісник проблем біології і медицини – 2024 – Вип. 4 (175) 550-559 DOI: 10.29254/2077-4214-2024-4-175-550-559
- Кошарний В.В., Бойко Є.М. Ремоделювання гемомікроциркуляторного русла задніх кінцівок при пошкодженні стегнового та сідничного нерва в гострому періоді «Перспективи та інновації науки» (Серія «Медицина») №10 (44) 2024 с.1348-1358 [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-1348-135](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-1348-135)

4. Базова установа, яка проводить впровадження: кафедра оперативної хірургії та клінічної анатомії ТНМУ ім.І.Я.Горбачевського.

5. Форма впровадження: у навчальну роботу кафедри клінічної анатомії і оперативної хірургії, в матеріали лекцій та практичних занять при вивченні циклу: “Клінічна анатомія кінцівок” у науково-дослідну роботу кафедри.

6. Ефективність впровадження за критеріями, висловленими в джерелах інформації (п.3): використання результатів наукових досліджень у навчальному процесі дозволяє розширити знання студентів з питань особливостей реакції опорно рухового апарату на вплив екстремальних факторів.

7. Зауваження та пропозиції. Не виносилися. Обговорено та затверджено на засіданні кафедри, протокол №_4_від_21.03.2025 р

Відповідальний за впровадження:

завідувач кафедри оперативної хірургії
та клінічної анатомії ТНМУ ім.І.Я.Горбачевського,
Заслужений працівник освіти України,
д.мед.н., професор

Михайло ГНАТЮК