

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

[https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-9\(55\)-2009-2017](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-9(55)-2009-2017)

Кошарний Володимир Віталійович доктор медичних наук, професор кафедри анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії, Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро, <https://orcid.org/0000-0002-7815-3950>

Абдул–Огли Лариса Володимирівна доктор медичних наук, професор кафедри анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії, Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро, <https://orcid.org/0000-0002-6942-2397>

Кушнарєва Катерина Анатоліївна кандидат медичних наук, доцент, клінічної анатомії та оперативної хірургії, Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро, <https://orcid.org/0000-0002-6827-5313>

Демченко Олена Михайлівна доктор медичних наук, професор кафедри фізіології, Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро, <https://orcid.org/0000-0002-9065-0538>

Рутгайзер Вікторія Георгіївна PhD, доцент кафедри анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії, Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро, <https://orcid.org/0000-0001-7868-8253>

МІКРОСКОПІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРНИХ КОМПОНЕНТІВ ЛИТКОВОГО М'ЯЗА ГОМІЛКИ В УМОВАХ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Анотація. В умовах бойових дій пошкодження периферичних нервів часто є наслідком вибухових та вогнепальних поранень, що супроводжуються ушкодженнями м'яких тканин та різних відділів опорно–рухової системи. Аналіз поранень серед українських військовослужбовців свідчить про високу поширеність вибухових поранень нижніх кінцівок, що супроводжуються травмами спинномозкових нервів, що в більшості випадків не загрожують життю в ізольованій формі, але здатні призводити до тривалої втрати працездатності. Метою нашої наукової роботи стало дослідити мікроскопічні особливості компонентів литкового м'яза гомілки в умовах невротомії сідничного нерва в першу, третю, сьому та чотирнадцяту доби за допомогою гістологічних методів дослідження. Щури були розділені на чотири експериментальні групи і групу контролю. При проведенні дослідження нами було з'ясовано, що на мікроскопічному рівні після перерізу сідничного нерва відбувались зміни як на рівні

м'язового волокна, так і на рівні судин мікроциркуляторного русла. Так у гострий період спостерігали: збільшення інтерстиціального простору, зменшення товщини м'язових волокон, розширення вену та утворення набряку. На третю добу після травми спостерігалась яскраво виражена судинна реакція, яка характеризувалась значним розширенням артеріол і венул та розволокненням м'язових волокон. 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. На чотирнадцяту добу у м'язовій тканині утворювались рубцеві елементи, які порушували нормальну структуру м'яза, виявлялись локальні потовщення судин гемомікроциркуляторного русла та набряк, який зменшувався порівняно з початковими періодами часу.

Результати роботи можуть бути використані для подальшого вивчення наслідків впливу перерізу сідничного нерва на мікроскопічні особливості у литковому м'язі гомілки та періоди можливого відновлення структур у посттравматичному періоді після нейротомії.

Ключові слова: периферична нервова система, щур, сідничний нерв, м'язи задньої кінцівки, мікроциркуляторне русло, експеримент, нейротомія.

Kosharny Volodymyr Vitaliyovych Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Human Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery, Dnipro State Medical University, Dnipro, <https://orcid.org/0000-0002-7815-3950>

Abdul-Ogly Larisa Volodymyrivna Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Human Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery, Dnipro State Medical University, Dnipro, <https://orcid.org/0000-0002-6942-2397>

Kushnaryova Kateryna Anatoliivna Candidate of medical sciences, associate professor, Department of Human Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery, Dnipro State Medical University, Dnipro <https://orcid.org/0000-0002-6827-5313>

Demchenko Olena Mykhaylivna Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Physiology, Dnipro State Medical University, Dnipro, <https://orcid.org/0000-0002-9065-0538>

Rutgeiser Viktoriya Georgiivna PhD, associate professor of the Department of Human Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery, Dnipro State Medical University, Dnipro, <https://orcid.org/0000-0001-7868-8253>

MICROSCOPIC FEATURES OF STRUCTURAL COMPONENTS OF THE CALF MUSCLE OF THE TIBA IN EXPERIMENTAL CONDITIONS

Abstract. In combat conditions, peripheral nerve damage is often a consequence of explosive and gunshot wounds, accompanied by damage to soft tissues and various

parts of the musculoskeletal system. Analysis of wounds among Ukrainian servicemen indicates a high prevalence of explosive wounds of the lower extremities, accompanied by injuries to the spinal nerves, which in most cases are not life-threatening in an isolated form, but can lead to long-term disability. The aim of our scientific work was to investigate the microscopic features of the components of the calf muscle of the lower leg in conditions of sciatic nerve necrotomy on the first, third, seventh and fourteenth days using histological research methods. Rats were divided into four experimental groups and a control group. During the study, we found that at the microscopic level after the sciatic nerve section, changes occurred both at the level of muscle fibers and at the level of microcirculatory vessels. Thus, in the acute period, the following were observed: an increase in the interstitial space, a decrease in the thickness of muscle fibers, vein dilation, and edema formation. On the third day after the injury, a pronounced vascular reaction was observed, which was characterized by a significant expansion of arterioles and venules and the denervation of muscle fibers. On the seventh day after the injury, a certain decrease in the diameter of the vessels was observed in the muscle fibers of the calf muscle of the hind limbs of the rat compared to the initial reaction, but they remained dilated compared to the control parameters. On the fourteenth day, scar elements were formed in the muscle tissue, which disrupted the normal structure of the muscle, local thickening of the vessels of the hemomicrocirculatory bed and edema were detected, which decreased compared to the initial stages.

The results of the work can be used to further study the consequences of the impact of sciatic nerve section on microscopic features in the calf muscle of the lower leg and the periods of possible restoration of structures in the post-traumatic period after neurotomy.

Keywords: peripheral nervous system, rat, sciatic nerve, hind limb muscles, microcirculatory system, experiment, neurotomy.

Постановка проблеми. Пошкодження периферичних нервів – поширене захворювання з низьким відсотком одужання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах бойових дій пошкодження периферичних нервів є наслідком вибухових та вогнепальних поранень, що супроводжуються ушкодженнями м'яких тканин та різних відділів опорно-рухової системи. Аналіз поранень серед українських військовослужбовців свідчить про високу поширеність вибухових поранень нижніх кінцівок, що супроводжуються травмами спинномозкових нервів, що в більшості випадків не загрожують життю в ізольованій формі, але здатні призводити до тривалої втрати працездатності [1,2,3]. Дослідження травм периферичних нервів серед військових показують, що найбільш частими механізмами ушкодження є вибухові та вогнепальні поранення, що спричиняють серйозні ушкодження нервових структур [4,5,6]. У дослідженнях бойових поранень було встановлено, що пошкодження сідничного нерва є одним із

найбільш важких, оскільки воно супроводжується значними неврологічними порушеннями, інтенсивним нейропатичним болем і тривалим відновленням [7,8,9]. Тому вивчення динаміки мікроскопічних особливостей компонентів литкового м'яза гомілки задніх кінцівок щурів після ушкодження сідничного нерва, які виникають після нейротомії у різні періоди впливу та відсутність даних про такі дослідження потребує більш детального вивчення та є актуальною проблемою.

Мета й завдання дослідження. Встановлення мікроскопічної перебудови компонентів литкового м'яза задніх кінцівок щурів за умов перерізу сідничного нерва в гострий – на першу, підгострий – на третю, ранній – на сьому та пізній період – на чотирнадцяту добу експерименту.

Матеріал та методи: Об'єктом дослідження стали 89 лабораторних статевозрілих щурів, які були розділені на 4 дослідних групи по 21 щуру і групу контролю - 5 щурів. Задні кінцівки щурів підлягали перерізу сідничного нерва і ці наслідки ми спостерігали у литковому м'язі в першу, третю, сьому та чотирнадцяту доби після нейротомії. Після оперативного втручання проводили анатомічні та гістологічні методики у дослідженні особливостей структурних змін у м'язах кінцівок щурів після нейротомії.

Виклад основного матеріалу. На мікроскопічному рівні литковий м'яз задньої кінцівки щура контрольної групи будується з міофібрил, які розташовані послідовно, паралельно та прямолінійно з відсутністю розривів. Між м'язовими волокнами спостерігаються прошарки сполучної тканини з більш сильно забарвленими ядрами – ендомізієм. На поздовжньому розрізі м'язове волокно литкового м'яза циліндричної форми вкрите сарколемою, чия саркоплазма має поздовжню та поперечну 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 розгалужуються і поступово зменшують свій діаметр, а артеріоли 5 - 6-го порядку формуються в перимізії, а в ендомізії капіляри проходять уздовж м'язових волокон і з'єднуються анастомозами, а вени, венули та лімфатичні судини розташовані поруч із артеріями. На поперечних гістологічних зрізах м'язи гомілки представлені пучками м'язових волокон різної форми, між якими розташовані сполучнотканинні елементи та судини, які мають форму від округлої до видовженої. На поздовжніх зрізах чітко видно паралельну орієнтацію капілярів і м'язових волокон, тоді як венули розташовані під гострим кутом до м'язових пучків, а саркоплазма між кожними фібрилами розташована рівномірно, як і міофібрили з поперечною посмугованістю, які теж дуже ясно

візуалізуються. Судини мікроциркуляторного русла - капіляри та посткапілярні венули з'єднуються поперечними анастомозами, а артерії та вени розташовані в міжпучкових просторах, формуючи судинні комплекси, які повторюються вздовж м'яза (рис.1).

У нашому дослідженні ми проаналізували наслідки після перерізу окремо сідничного нерва, які відбуваються у литковому м'язі у різні періоди часу. Так на першу добу після перерізу спостерігались: збільшення інтерстиціального простору, зменшення товщини м'язових волокон, розширення венул, що свідчило про порушення венозного відтоку, яке і призводило до утворення набряку у гострий період (рис.2-А).

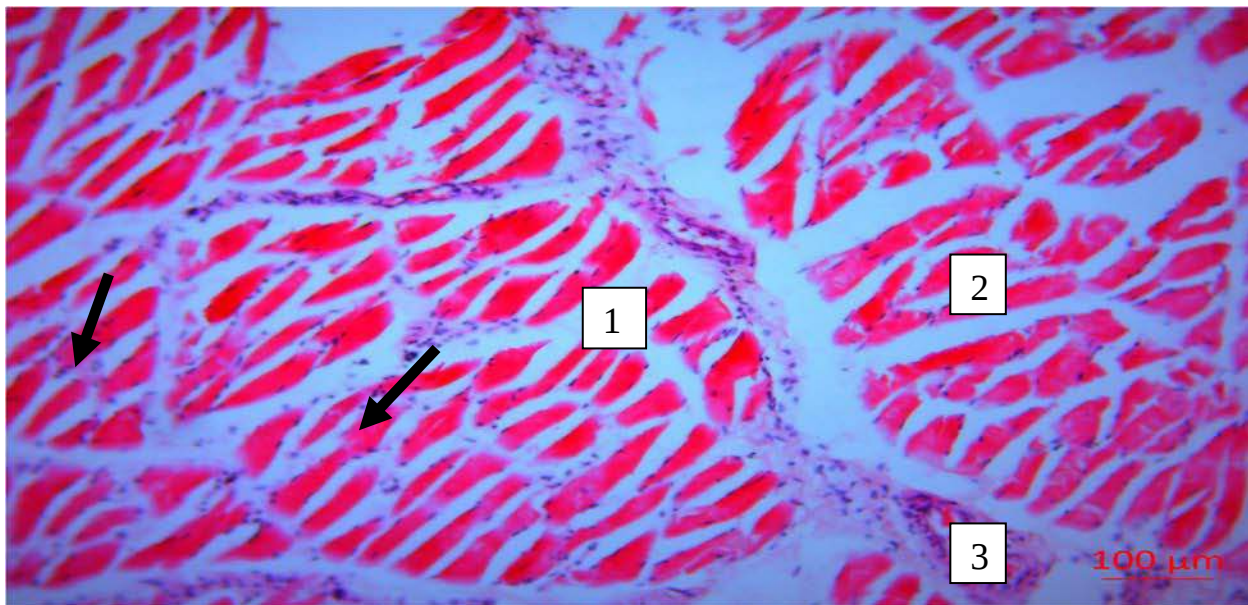


Рис.1 Зріз м'язових волокон литкового м'яза щурів контрольної групи. 1 - інтерстиціальний простір (ендомізій); 2 - міофібрили, 3 - артеріола. Стрілками вказані ядра.

Внаслідок пошкодження відбувалась запальна реакція, що призводила до набряку в міжклітинному просторі та в перимізії. 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.

На третю добу після травми спостерігалась яскраво виражена судинна реакція, яка характеризувалась значним розширенням артеріол і вену майже вдвічі та розволокненням м'язових волокон, але саркоплазма м'язових волокон зберігала посмугованість та наявність темних А – дисків та світлих І – дисків (рис.2-Б).

На сьому добу 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, що підтверджувало початок зворотного розвитку

набряку, хоча венозний відтік залишався порушеним. На поздовжньому розрізі м'язове волокно литкового м'яза не мало чіткої циліндричної форми, а під сарколемою на периферії містились ядра різної форми – округлі, овальні, які були витягнуті впродовж м'язового волокна. Артеріоли і венули все ще забезпечували посилений кровообіг для підтримки тканинної регенерації, але інтенсивність набряку поступово зменшувалась (рис.3 –А).

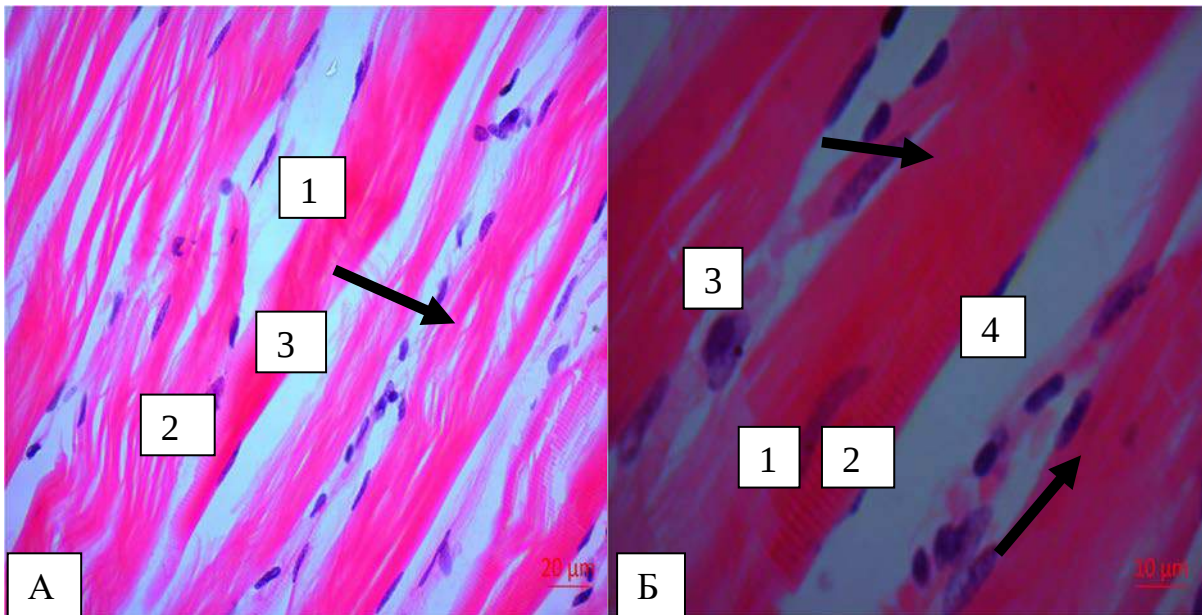


Рис. 2 Поздовжній зріз литкових м'язових волокон литкового м'яза після перерізу сідничного м'яза у першу (А), третю добу (Б) від початку нейротравми. А – 1 – міофібрили, 2 – ядра, 3 - ендомізій. Б - 1 – диск - I, 2 – диск - А, 3 – ядра, 4-саркоплазма. Стрілками вказані м'язові волокна.

На чотирнадцяту добу експерименту у м'язовій тканині утворювались рубцеві елементи, які порушували нормальну структуру м'яза. Хоча набряк зменшувався у цей період, але він все ще залишався, що можливо спричиняло недостатнє постачання кисню та поживних речовин до м'язових клітин. У цей період виявлялись локальні потовщення судин гемомікроциркуляторного русла з проліферацією сполучнотканинних елементів та незначною, навколо зруйнованих клітин, інфільтрацією (рис.3-Б).

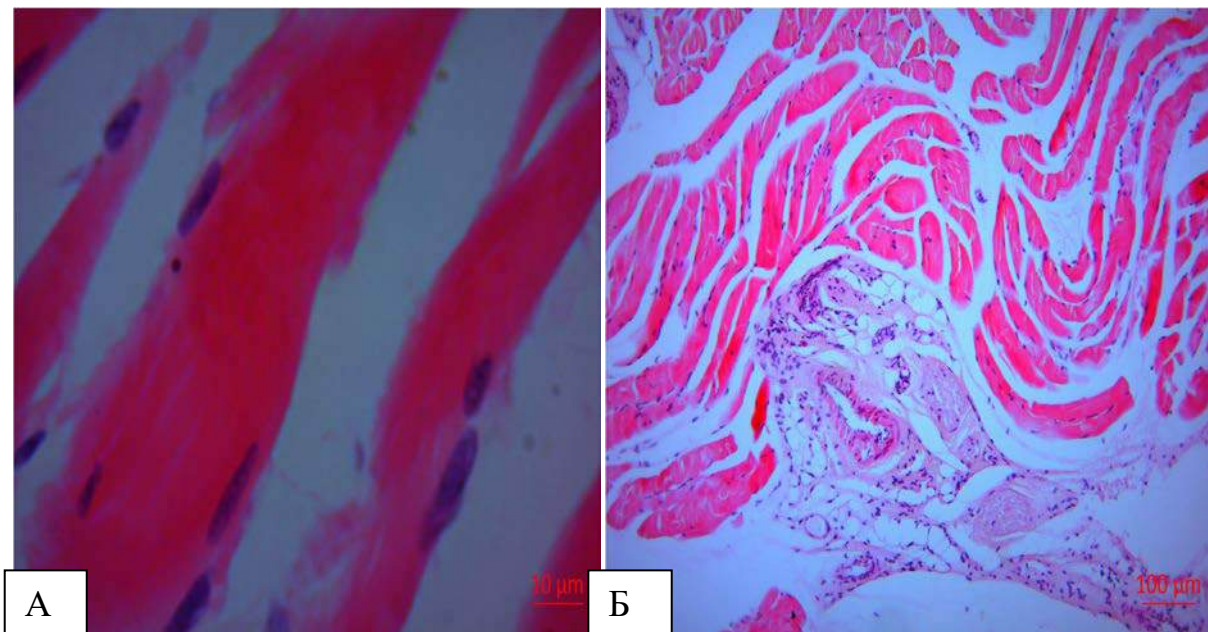


Рис. 3 - А – сьома доба посттравматичного періоду. Б - чотирнадцята доба після періоду. Зріз литкового м'яза після перерізу сідничного нерва на сьому та чотирнадцяту доби після нейротравми.

Висновки. Таким чином, було встановлено, що після перерізу окремо одного сідничного нерва, відбувається перебудова не тільки компонентів м'язових волокон литкового м'яза, а і судин мікроциркуляторного русла, які гостро реагують - розширенням та набряком більш виразно на першу та третю доби та більш стабілізовано - на сьому та чотирнадцяту доби експерименту. Так у гострий період спостерігали: збільшення інтерстиціального простору, зменшення товщини м'язових волокон, розширення венул, що свідчило про порушення венозного відтоку, яке і призводило до утворення набряку. На третю добу після травми спостерігалась яскраво виражена судинна реакція, яка характеризувалась значним розширенням артеріол і венул та розволокненням м'язових волокон. На сьомий день після травми в м'язових волокнах литкового м'яза задніх кінцівок щура спостерігалось певне зменшення діаметра судин, однак вони залишались розширеними в порівнянні з контрольними показниками. На чотирнадцяту добу у м'язовій тканині утворювались рубцеві елементи, які порушували нормальну структуру м'яза, виявлялись локальні потовщення судин гемомікроциркуляторного русла та набряк, який зменшувався, але все ще залишався на даний період часу. Це вказувало на поступову стабілізацію судинної системи, проте процеси відновлення ще не завершались.

Перспективи подальших досліджень. В подальшому дослідження мають бути спрямовані на детальне морфометричне та тензометричне обґрунтування самотійної та поєднаної нейротравми.

Література:

1. 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>.
2. Danyljuk O, Meghoo C, Linchevskyy O, Gaievskiy 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>.
3. 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 sciatic, common peroneal, and tibial nerve lesions. *Neurosurgery.* 2009; 65(4 Suppl):A18-23. doi: 10.1227/01.NEU.0000339123.74649.BE.
4. 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.
5. Tufan A. Lateresults of early end-to-end repair in sciatic nerve injuries. *Cureus.* 2023; 15(10): e47101. doi: 10.7759/cureus.47101.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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).

References

1. Kaiser, R., Waldauf, P., Ullas, G., & Krajcová, A. (2018). Epidemiology, etiology, and types of severe adult brachial plexus injuries requiring surgical repair: Systematic review and meta-analysis. *Neurosurgical Review*, 1, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10143-018-1009-2>
2. Danyljuk, O., Meghoo, C., Linchevskyy, O., Gaievskiy, S., Goy, G., & Vanderlan, W. (2019). Causes of death among seventy-four military casualties in the Ukrainian armed conflict. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 45(Suppl 1), S171–S172. <https://doi.org/10.1007/s00068-019-01109-1>
3. Murovic, J. A. (2009). 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*, 65(4 Suppl), A18–A23. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000339123.74649.BE>
4. Carolus, A., & Uerschels, A. K. (2024). Seltene Nervenkompressionssyndrome [Rare nerve compression neuropathies]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, Plastische Chirurgie*, 56(1), 21–31. <https://doi.org/10.1055/a-2250-8389>
5. Tufan, A. (2023). Late results of early end-to-end repair in sciatic nerve injuries. *Cureus*, 15(10), e47101. <https://doi.org/10.7759/cureus.47101>
6. Thatte, M. R., Hiremath, A., Goklani, M. S., Patel, N. R., & Takwale, A. B. (2019). Peripheral nerve injury to the lower limb: Repair and secondary reconstruction. *Journal of Hand and Microsurgery*, 11(2), 69–78. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1687921>

7. Keane, G. C., Pan, D., Roh, J., et al. (2022). The effects of intraoperative electrical stimulation on regeneration and recovery after nerve isograft repair in a rat model. *Hand*, 17, 540–548. <https://doi.org/10.1177/15589447211054378>

8. Kosharniy, V. V., Boiko, E. M., Abdul-Ogli, L. V., Tkachenko, S. S., & Kushnarova, K. A. (2025). Zminy nervovo-miazovoho kompleksu lytkovoho miazhu pry poshkodzhenni hilok poperekovoho ta kryzhovoho spletnnia (Changes in the neuromuscular complex of the gastrocnemius muscle in damage to the branches of the lumbar and sacral plexus). *Visnyk problem biologii i medytsyny*, 1(176), 429–436. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435>

9. Kosharniy, V. V., Boiko, E. M. (2025). Morfolohichni zminy hemomikrotsyrkulatornoho rusla zadnikh kintsivok pry poshkodzhenni stehnovoho ta sidnychnogo nerva v piznii period (Morphological changes of the hemomicrocirculatory bed of the hind limbs in damage to the femoral and sciatic nerve in the late period). *Perspektyvy ta innovatsii nauky*, 1(47), 2278–2287. [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1\(47\)-2278-2286](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1(47)-2278-2286)