

CHANGES IN THE NEUROMUSCULAR COMPLEX OF THE CALF MUSCLE IN CASE OF DAMAGE TO THE BRANCHES OF THE LUMBAR AND SACRAL PLEXIS

Dnipro State Medical University (Dnipro, Ukraine)

kosha.v@ukr.net

In the context of the war in Ukraine, where many wounded people face peripheral nerve injuries, experimental studies of sciatic nerve transection can help in improving surgical techniques, for example, neurorrhaphy or nerve transplantation, as well as in developing new pharmacological approaches to stimulating regeneration. The femoral nerve, in turn, provides innervation to the anterior group of thigh muscles, and its damage leads to impaired gait and stability, which is also a common problem among combat victims. The results obtained are of great importance for neurophysiology, experimental medicine and rehabilitation. They can be used in such areas as improving rehabilitation methods after peripheral nerve damage, developing approaches to electrical stimulation of denervated muscles to prevent their atrophy. Deepening knowledge about the mechanisms of neuromuscular adaptation to denervation, which may be useful in neurosurgery. The study showed that with partial neurotomy, the muscle retains significant functional activity due to residual innervation. Complete loss of innervation in the early stages leads to a sharp decrease in excitability, but even under such conditions, adaptive processes occur that maintain the basic level of chronaxy. This emphasizes the need for timely restoration of nerve connections or the use of electrical stimulation to prevent muscle tissue atrophy.

Key words: trauma, spinal nerves, limbs, electrophysiology, morphology, rats, neuromuscular complex.

Connection of the publication with planned research works.

The study was conducted within the framework of the scientific theme of the Department of Clinical Anatomy, Anatomy and Operative Surgery «Study of the Morphogenesis of Organs and Tissues in Experimental Animals and Humans under the Influence of External and Internal Factors in Ontogenesis», state registration number 0124U005025.

Introduction.

Peripheral nerve injuries 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 combat conditions, peripheral nerve damage is often a consequence of explosive and gunshot wounds, accompanied by extensive soft tissue damage and bone injuries [1, 2]. Restoration of nerve function is a complex and long-term process that requires innovative approaches to treatment, including the use of transplants, electrical stimulation and regenerative therapy [3].

Analysis of injuries among Ukrainian servicemen after the start of the full-scale invasion of the Russian Federation indicates a high prevalence of polytraumas, in particular explosive injuries of the extremities, accompanied by injuries to the peripheral nerves. The main means of preventing traumatic injuries remains a bulletproof vest, but additional measures are needed to protect the extremities and reduce the severity of injuries [1].

A promising area of research is the development of new approaches to the regeneration of nerve fibers, including the use of bioengineered transplants and electrical stimulation therapy. Studies on animal models show that mine-explosive injuries of the lower extremities are accompanied by significant damage to nerve structures and microcirculatory disorders, which complicates regeneration [4].

In modern conditions, when Ukraine is experiencing a protracted armed conflict, the issue of studying

injuries to the peripheral nervous system, in particular the sciatic and femoral nerves, is becoming particularly relevant. War results in a significant number of injuries, among which nerve damage to the lower extremities is a common phenomenon due to blast injuries, gunshot wounds, and mechanical injuries [5]. Experiments on sciatic and femoral nerve transection allow for a deeper understanding of the mechanisms of regeneration, degeneration, and functional recovery of nervous tissue, which has a direct connection with the development of effective treatment methods for victims [6].

One of the key aspects is that the sciatic nerve, as the largest nerve in the human body, plays a critical role in providing motor activity and sensitivity to the lower extremities. Its damage often leads to paralysis, loss of sensitivity and chronic pain, which significantly worsens the quality of life [7]. In the context of the war in Ukraine, where many wounded people face such injuries, experimental studies of the transection of this nerve can help improve surgical techniques, such as neurorrhaphy or nerve transplantation, as well as in the development of new pharmacological approaches to stimulate regeneration [8]. The femoral nerve, in turn, provides innervation to the anterior group of thigh muscles, and its damage leads to impaired gait and stability, which is also a common problem among combat victims [9]. Against the background of the war in Ukraine, the relevance of such studies is also reinforced by the need to quickly return the wounded to active life [10]. In particular, experiments on animal models with sciatic and femoral nerve transection allow us to study the effects of inflammation, ischemia, and stress on nervous tissue, factors that are typical of combat injuries [11]. The results of such studies can contribute to the development of rehabilitation programs aimed at restoring limb functions, which is critically important for veterans and civilians who have suffered injuries [12].

Modern publications emphasize the importance of such experiments in the context of neurotraumatology. For example, studies of the mechanisms of nerve regen-

eration are actively covered in the works of Ukrainian and foreign scientists, who emphasize the need to integrate experimental data into clinical practice [13]. In war conditions, this becomes even more important due to the increase in the number of patients with traumatic lesions of the peripheral nervous system [14]. Thus, the study of sciatic and femoral nerve transection is not only a fundamental scientific task, but also a practical contribution to solving the medical challenges caused by the war.

The study of the mechanisms of sciatic nerve regeneration is a relevant area of research, since its damage can significantly affect the motor function of the limbs. In this regard, various methods of stimulating nerve regeneration are being considered, including chemogenetics, electrical stimulation, neurotransplantation, and modeling of traumatic injuries.

The aim of the study.

To analyze the dynamics of changes in the bioelectric activity of the neuromuscular system under conditions of nerve damage.

Object and research methods.

The study was conducted at the Department of Physiology of Dnipro Medical University. The morphological study involved 40 white outbred sexually mature rats, taking into account the experimental groups – from 180 to 200 g. Throughout the entire period of preparation for the experiment and during its conduct, the rats were kept in the vivarium of the Dnipro State Medical University, at a temperature of 20-25°C, humidity of not less than 50%, in a well-ventilated room and a light regime of day / night, in standard plastic cages with dimensions of no more than five individuals in each with a standard diet: the daily requirement of an adult animal is on average 30-32 g (25 g of sour cream feed, 5-7 g of vegetables (control group)). All rats that took part in the experiment had a healthy appearance and were active. The experiment was performed in compliance with the rules for conducting work on experimental animals, with observance of the principles of humanity set forth in the directives of the European Community and the Declaration of Helsinki. The experiment to study changes in the excitability of the calf muscle was performed under general anesthesia with sodium thiopental at a dose of 50 mg / kg of rat body weight, administered intraperito-

neally. Stimulation with rectangular electrical pulses was performed through bipolar electrodes inserted into the middle part of the calf muscle at a distance of 5 mm; the evoked response was recorded bipolarly by electrodes inserted into the tendon areas of the muscle. Excitability indicators such as threshold (P) and chronaxie were analyzed. Standard electrophysiological equipment was used (ESU-2 electrical stimulator, UBP 2-03 amplifier, analog-digital device with data registration and processing on a computer). The results obtained were processed using statistical methods. Variational statistical processing of the study results was performed using the program «STATISTICA 10» Enterprise Portable (2011, ENG) with the determination of the main variational indicators: mean value (M), standard error (m) and standard deviation (σ). The reliability of the obtained results was determined using the Student's test. The odds ratio (OR), standard error and 95% confidence interval (CI) were calculated using the MedCalc calculator.

Research results and their discussion.

In the control group, the average excitation threshold was 0.12 ± 0.001 mA, and chronaxie was 70.6 ± 3.1 μ s.

After sciatic nerve transection (on the 3rd day after neurotomy), a slight increase in the excitation threshold to 0.13 ± 0.001 mA was observed, which may indicate compensatory innervation mechanisms. At the same time, chronaxie decreased to 60.6 ± 3.1 μ s, which may indicate changes in the electrophysiological properties of the muscle (table).

Table – Indicators of electrical excitability of the calf muscle

	Transection of the sciatic nerve		Transection of the sciatic and femoral nerves	
	Threshold, mA	Chronaxy, μ s	Threshold, mA	Chronaxy, μ s
Control	0.12 ± 0.001	70.6 ± 3.1	0.12 ± 0.001	70.6 ± 3.1
3 days	0.13 ± 0.002	$60 \pm 3.2^*$	0.15 ± 0.002	$58.0 \pm 3.0^*$
7 days	$0.38 \pm 0.002^*$	70 ± 3.2	$0.50 \pm 0.003^*$	$75.0 \pm 3.2^*$

Note: * – $p < 0.05$.

In the case of the perineural and femoral nerves, after 3 days the excitation threshold increased 3.2 times to 0.38 ± 0.001 mA, indicating a significant decrease in muscle excitability. The loss of both nerves deprives the muscle of normal electrical stimulation, which causes a decrease in the functional activity of membrane ion channels responsible for the generation of action potentials. This confirms the classical concept of denervation, according to which, with the loss of nerve input, the muscle loses its ability to respond to normal stimuli, and its excitability is significantly reduced (fig. 1).

Chronaxy remained almost at the level of the control group (70 ± 3.1 μ s), which may reflect the peculiarities of the adaptation mechanisms of muscle tissue to deeper neurotomy. In contrast to the expected increase in chronaxy during deep denervation, its stable level (70 ± 3.1 μ s) indicates adaptive mechanisms of

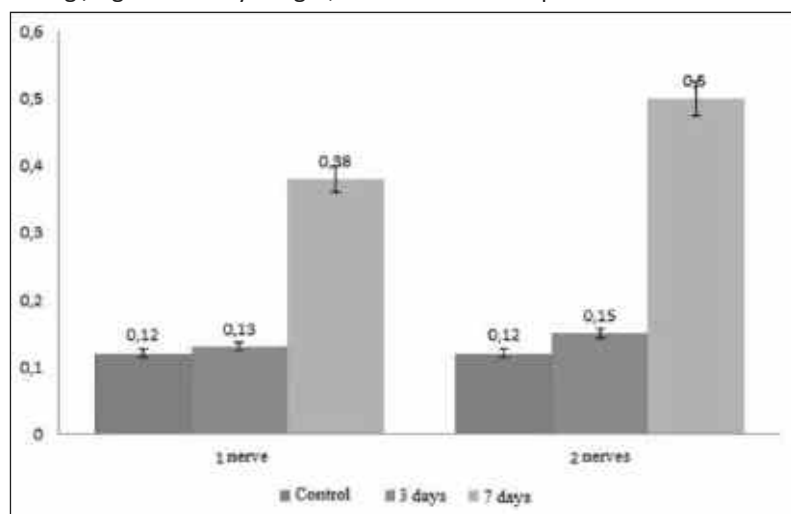


Figure 1 – Excitability threshold of the calf muscle during transection of the sciatic and femoral nerves.

the muscle, which may include, firstly, changes in the composition of membrane ion channels (an increase in the number of sodium or calcium channels that support the action potential), and secondly, the transition of some muscle fibers to a more «slow» phenotype, which is less sensitive to short electrical impulses. The cause may also be the development of compensatory increased activity of intramuscular mechanisms of action potential generation.

On the 7th day after neurotomy, a significant increase in the threshold values of the intensity of stimulation was established (0.38 mA for 1 nerve and 0.50 mA for 2 nerves), which indicates the progression of dystrophic changes due to the loss of somatic innervation and, along with this, neurotrophic effects on the side of the spinal cord motor neurons. Perhaps this is a manifestation of degenerative changes in the most sensitive part of the nerve fibers – the end plates – which accompanies the disruption of the connection of the skeletal muscle with the neuron innervating it, as well as an increase in the number of cholinergic receptors in the sarcolemma of denervated muscle cells. At the same time, the chronaxy index returned to the level of the control group or even increased (70 μ s and 75 μ s, respectively), which may be a consequence of compensatory restructuring on the part of the membrane (fig. 2).

Thus, the results obtained indicate that in the first days after neurotomy, partial preservation of conductivity is observed due to residual nerve connections and compensatory processes. At the same time, more pronounced degenerative changes develop after a week, which is manifested by a progressive modification of the parameters of skeletal muscle excitability, which may indicate the activation of regenerative or compensatory mechanisms, in particular from the autonomic nervous system.

The results obtained indicate different degrees of compensation of neuromuscular conductivity. In the

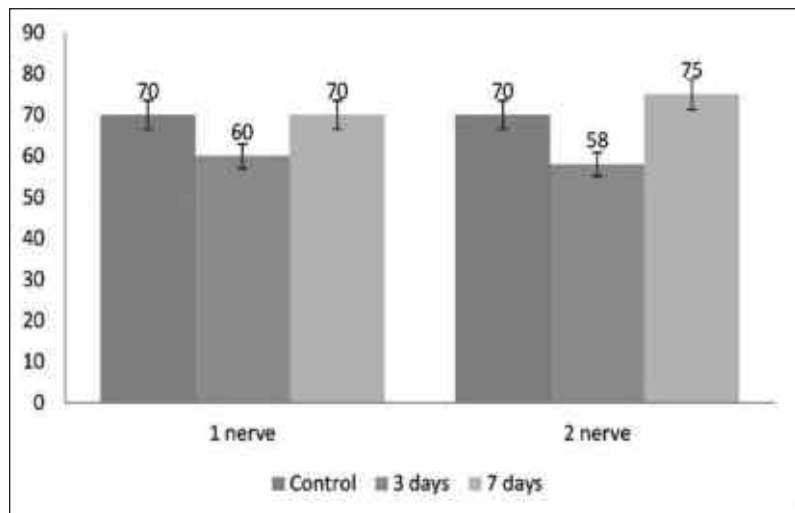


Figure 2 – Chronaxy of the calf muscle after sectioning the sciatic and femoral nerves.

case of partial neurotomy (section of one nerve), active compensation is observed due to the residual nerve. With complete denervation (section of two nerves), compensation processes are disrupted, which leads to a sharp decrease in muscle excitability. This emphasizes the importance of bilateral innervation of muscles for their functional stability and explains the causes of severe atrophy after complete loss of innervation.

Conclusions.

The study confirms that with partial neurotomy, the muscle retains a significant level of functional activity due to residual innervation. Complete loss of innervation in the early stages leads to a significant decrease in excitability, but certain adaptive processes are observed that maintain the basic level of chronaxy. This emphasizes the importance of timely restoration of neural pathways or the use of electrical stimulation methods to prevent atrophic changes in muscle tissue.

Prospects for further research.

It is planned to compare electrophysiological changes in the calf muscle with changes in the hemomicrocirculatory system and compare them with different periods after injury.

DOI 10.29254/2077-4214-2025-1-176-429-435

УДК 612.81:616-008.9:611.97/.98:611.13/.16-007.23-092.9

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

Дніпровський державний медичний університет (м. Дніпро, Україна)

kosha.v@ukr.net

У контексті війни в Україні, де багато поранених стикаються з травмами периферичних нервів, експериментальні дослідження перерізки сідничного нерва можуть допомагати у вдосконаленні хірургічних технік, наприклад, нейрорафії або трансплантації нервів, а також у розробці нових фармакологічних підходів до стимуляції регенерації. Стегновий нерв, у свою чергу, забезпечує іннервацію передньої групи м'язів стегна, і його ураження призводить до порушення ходи та стійкості, що також є частою проблемою серед постраждалих від бойових дій. Отримані результати мають велике значення для нейрофізіології, експериментальної медицини та реабілітації. Вони можуть знайти застосування у таких сферах як вдосконалення методів реабілітації після пошкодження периферичних нервів, розробці підходів до електростимуляції денервованих м'язів для запобігання їх атрофії. Поглибленні знань про механізми нейром'язової адаптації до денервації, що може стати корисним у нейрохірургії. Дослідження показало, що при частковій нейротомії м'яз зберігає значну функціональну активність завдяки залишковій

іннервації. Повна втрата іннервації на ранніх етапах призводить до різкого зниження збудливості, проте навіть у таких умовах відбуваються адаптаційні процеси, які підтримують базовий рівень хронаксії. Це підкреслює необхідність своєчасного відновлення нервових зв'язків або використання електростимуляції для запобігання атрофії м'язової тканини.

Ключові слова: травма, спинномозкові нерви, кінцівки, електрофізіологія, морфологія, щури, нервово-м'язовий комплекс.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Дослідження проводилося в рамках наукової теми кафедри клінічної анатомії, анатомії та оперативної хірургії «Дослідження морфогенезу органів і тканин у експериментальних тварин і людини під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів в онтогенезі», номер державної реєстрації 0124U005025.

Вступ.

Травми периферичних нервів 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 обширними ушкодженнями м'язів тканин та кістковими травмами [1, 2]. Відновлення нервової функції є складним і довготривалим процесом, що потребує інноваційних підходів у лікуванні, включаючи використання трансплантатів, електростимуляції та регенеративної терапії [3].

Аналіз поранень серед українських військовослужбовців після початку повномасштабного вторгнення РФ свідчить про високу поширеність політравм, зокрема вибухових поранень кінцівок, що супроводжуються травмами периферичних нервів. Основним засобом профілактики травматичних ушкоджень залишається бронезахист, проте необхідні додаткові заходи для захисту кінцівок і зменшення тяжкості поранень [1].

Перспективним напрямом досліджень є розробка нових підходів до регенерації нервових волокон, включаючи застосування біоінженерних трансплантатів та електростимуляційної терапії. Дослідження на тваринних моделях показують, що мінно-вибухові поранення нижніх кінцівок супроводжуються значним пошкодженням нервових структур та мікроциркуляторних розладів, що ускладнює регенерацію [4].

У сучасних умовах, коли Україна переживає затяжний збройний конфлікт, питання вивчення травм периферичної нервової системи, зокрема сідничного та стегового нервів, набуває особливої актуальності. Війна призводить до значної кількості поранень, серед яких пошкодження нервів нижніх кінцівок є поширеним явищем через вибухові травми, вогнепальні поранення та механічні ушкодження [5]. Експерименти з перерізки сідничного та стегового нерву дозволяють глибше зрозуміти механізми регенерації, дегенерації та функціонального відновлення нервової тканини, що має прямий зв'язок із розробкою ефективних методів лікування для постраждалих [6].

Одним із ключових аспектів є те, що сідничний нерв, будучи найбільшим нервом людського тіла, відіграє критичну роль у забезпеченні рухової активності та чутливості нижніх кінцівок. Його пошкодження часто призводить до паралічу, втрати чутливості та

хронічного болю, що суттєво погіршує якість життя [7]. У контексті війни в Україні, де багато поранених стикаються з такими травмами, експериментальні дослідження перерізки цього нерва можуть допомагати у вдосконаленні хірургічних технік, наприклад, нейрографії або трансплантації нервів, а також у розробці нових фармакологічних підходів до стимуляції регенерації [8]. Стегновий нерв, у свою чергу, забезпечує іннервацію передньої групи м'язів стегна, і його ураження призводить до порушення ходи та стійкості, що також є частою проблемою серед постраждалих від бойових дій [9]. На тлі війни в Україні актуальність таких досліджень підкріплюється ще й необхідністю швидкого повернення поранених до активного життя [10]. Зокрема, експерименти на моделях тварин із перерізкою сідничного та стегового нервів дозволяють вивчати вплив запальних процесів, ішемії та стресу на нервову тканину – фактори, які є типовими для бойових травм [11]. Результати таких досліджень можуть сприяти розробці реабілітаційних програм, спрямованих на відновлення функцій кінцівок, що є критично важливим для ветеранів та цивільних осіб, які зазнали ушкоджень [12].

Сучасні публікації підкреслюють важливість таких експериментів у контексті нейротравматології. Наприклад, дослідження механізмів регенерації нервів активно висвітлюються в роботах українських та зарубіжних учених, які наголошують на необхідності інтеграції експериментальних даних у клінічну практику [13]. В умовах війни це набуває додаткового значення через зростання числа пацієнтів із травматичними ушкодженнями периферичної нервової системи [14]. Таким чином, вивчення перерізки сідничного та стегового нерву є не лише фундаментальною науковою задачею, а й практичним внеском у вирішення медичних викликів, спричинених війною.

Вивчення механізмів відновлення сідничного нерва є актуальним напрямом досліджень, оскільки його пошкодження можуть суттєво впливати на рухову функцію кінцівок. У зв'язку з цим розглядаються різні методи стимуляції регенерації нерва, включаючи хемогенетику, електростимуляцію, нейротрансплантацію та моделювання травматичних ушкоджень.

Мета дослідження.

Проаналізувати динаміку змін біоелектричної активності нервово-м'язової системи за умов пошкодження нерва.

Об'єкт і методи дослідження.

Дослідження проводили на кафедрі фізіології Дніпровського медичного університету. У морфологічному дослідженні було задіяно 40 білих безпородних статевозрілих щурів, враховуючи експериментальні групи – від 180 до 200 г. Увесь період підготовки до експерименту та під час його проведення, щурів знаходилися у віварії Дніпровського державного медичного університету, при температурі 20-25°C, воло-

гості не менш 50%, у добре провітреному приміщенні та світовому режимі день / ніч, у стандартних пластикових клітках з розмірами, не більш п'яти особин у кожній при стандартному раціоні харчування: добова потреба дорослої тварини становить у середньому 30-32 г (25 г сметанного корма, 5-7 г овочів (контрольна група). Усі щури, які прийняли участь у експерименті, мали здоровий вигляд і були активними. Експеримент виконаний з дотриманням правил проведення робіт щодо експериментальних тварин, з додержанням принципів гуманності, викладених в директивах Європейського співтовариства та Гельсінкської декларації. Експеримент по дослідженню змін збудливості литкового м'язу проводили під загальною анестезією тіопенталом натрію в дозі 50 мг/кг маси тіла щура, введеного інтраперитонеально. Подразнення електричними імпульсами прямокутної форми здійснювали через біполярні електроди, що вводили в середню частину литкового м'язу на відстані 5 мм; відведення викликані 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). Варіаційно-статистичне оброблення результатів дослідження було виконане за допомогою програми «STATISTICA 10» Enterprise Portable (2011, ENG) з визначенням основних варіаційних показників: середня величина (М), середня похибка (m) та середнє квадратичне відхилення (σ). Достовірність отриманих результатів визначали за допомогою критерію Стюдента. Відношення шансів (ВШ), стандартну похибку та 95% довірчий інтервал (ДІ) розраховували за допомогою калькулятора MedCalc.

Результати дослідження та їх обговорення.

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'язу (табл.).

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'язу. Втрата обох нервів позбавляє м'яз звичайної електричної стимуляції, що спричиняє зменшення функціональної активності мембранних іонних каналів, відповідальних за генерацію потенці-

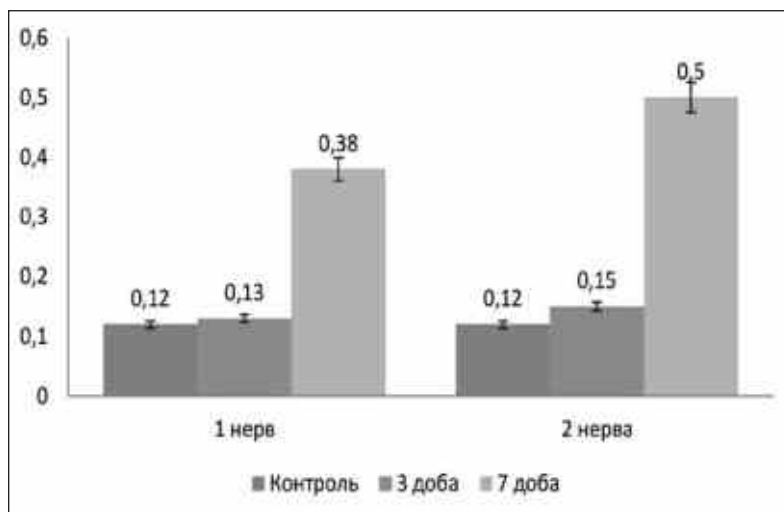


Рисунок 1 – Поріг збудливості литкового м'язу при перерізці сідничного та стегнового нервів.

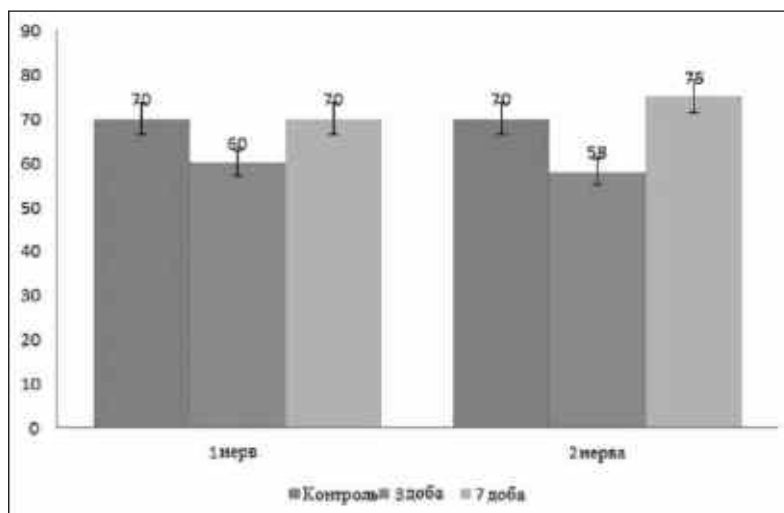


Рисунок 2 – Хронаксія литкового м'язу при перерізці сідничного та стегнового нервів.

алу 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 (рис. 1).

Хронаксія залишилася майже на рівні контрольної групи ($70 \pm 3,1$ мкс), що може відображати особливості адаптаційних механізмів м'язової тканини до глибокої нейротомії. На відміну від очікуваного збільшення хронаксії при глибокій денервації, її стабільний рівень ($70 \pm 3,1$ мкс) свідчить про адаптаційні механізми м'язу, які можуть включати по-перше, зміни у складі іонних каналів мембрани (збільшення числа натрієвих або кальцієвих каналів, що підтримують потенціал дії), по-друге – перехід частини м'язо-

Таблиця – Показники електричної збудливості литкового м'язу

	Перетин сідничного нерва		Перетин сідничного та стегнового нерва	
	Поріг, мА	Хронаксія, мкс	Поріг, мА	Хронаксія, мкс
Контроль	$0,12 \pm 0,001$	$70,6 \pm 3,1$	$0,12 \pm 0,001$	$70,6 \pm 3,1$
3 доба	$0,13 \pm 0,002$	$60 \pm 3,2$ *	$0,15 \pm 0,002$	$58,0 \pm 3,0$ *
7 доба	$0,38 \pm 0,002$ *	$70 \pm 3,2$	$0,50 \pm 0,003$ *	$75,0 \pm 3,2$ *

Примітка: * $p < 0,05$.

вих волокон у більш «повільний» фенотип, що менш чутливий до коротких електричних імпульсів. Також причиною може бути розвиток компенсаторного посилення активності внутрішньом'язових механізмів генерації потенціалу дії.

На 7-й день після нейротомії було встановлено значне зростання порогових значень інтенсивності подразнення (0,38мА 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. Можливо, це прояв дегенеративних змін найбільш чутливої ділянки нервових волокон – кінцевих пластинок, що супроводжує порушення зв'язку скелетного м'яза з іннервуючим його нейроном, а також збільшення кількості холінорецепторів сарколеми з 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).

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

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.

Висновки.

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 підкреслює важливість своєчасного відновлення нервових шляхів або застосування методів електростимуляції для запобігання атрофічним змінам у м'язовій тканині.

Перспективи подальших досліджень.

Планується зіставити електрофізіологічні зміни в литковому м'язі зі змінами гемомікроциркуляторного русла і зіставити з різними періодами після травми.

References / Література

1. Lawry LL, Mani V, Hamm TE, Smith J, Brown K, Johnson R. Qualitative assessment of combat-related injury patterns and injury prevention in Ukraine since the Russian invasion. *BMJ Military Health*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1136/military-2024-002863>.
2. Jones PE, Meyer RM, Faillace WJ, Landau ME, Campbell WW. Combat injury of the sciatic nerve – An institutional experience. *Mil Med*. 2018;183(9-10):e434-e441. DOI: [10.1093/milmed/usy030](https://doi.org/10.1093/milmed/usy030).
3. Iordache SD, Gorski A, Nahas M, Cohen R, Shapira Y. Treatment of peripheral nerve injuries in Syria's war victims: Experience from a Northern Israeli hospital. *Isr Med Assoc J*. 2021;23(5):279-285.
4. Zhang S, Han G, Xiong Y, Li Q, Wang J. Characteristics and mechanism of lower limb injury induced by landmine blast: A research in a rabbit model. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*. 2023;29(12):1335-1343. DOI: [10.14744/tjtes.2023.39560](https://doi.org/10.14744/tjtes.2023.39560).
5. Loskutov O, Pylypenko M, Tsybalyuk V, Kolesnyk O. War in Ukraine: A neurosurgical perspective. *Neurosurg Rev*. 2023;46(1):45-53. DOI: [10.1007/s10143-022-01947-8](https://doi.org/10.1007/s10143-022-01947-8).
6. Gordon T. Peripheral nerve regeneration and muscle reinnervation. *Int J Mol Sci*. 2020;21(22):8652. DOI: [10.3390/ijms21228652](https://doi.org/10.3390/ijms21228652).
7. Menorca RM, Fussell TS, Elfar JC. Nerve physiology: Mechanisms of injury and recovery. *Hand Clin*. 2013;29(3):317-330. DOI: [10.1016/j.hcl.2013.04.002](https://doi.org/10.1016/j.hcl.2013.04.002).
8. Zhang PX, Han N, Kou YH, Zhu QT, Liu XL. Advance of peripheral nerve injury repair and reconstruction. *Chin Med J (Engl)*. 2017;130(18):2233-2240. DOI: [10.4103/0366-6999.213959](https://doi.org/10.4103/0366-6999.213959).
9. Noble J, Munro CA, Prasad VS, Midha R. Analysis of upper and lower extremity peripheral nerve injuries in a population of patients with multiple injuries. *J Trauma Acute Care Surg*. 1998;45(1):116-122. DOI: [10.1097/00005373-199807000-00025](https://doi.org/10.1097/00005373-199807000-00025).
10. Romach MK, Rutka JT. Building healthcare capacity in pediatric neurosurgery and psychiatry in a post-Soviet system: Ukraine. *World Neurosurg*. 2018;111:166-174. DOI: [10.1016/j.wneu.2017.12.093](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.12.093).
11. Grinsell D, Keating CP. Peripheral nerve reconstruction after injury: A review of clinical and experimental therapies. *Biomed Res Int*. 2014;2014:698256. DOI: [10.1155/2014/698256](https://doi.org/10.1155/2014/698256).
12. Demeco A, Marotta N, Moggio L, Costantino C, de Sire A. Rehabilitation of patients with nerve injuries: Current approaches and perspectives. *J Neurorestoratol*. 2023;11:45-58. DOI: [10.26599/JNR.2023.9040005](https://doi.org/10.26599/JNR.2023.9040005).
13. Marotta N, Demeco A, Moggio L, Ammendolia A. Peripheral nerve injuries: From mechanisms to therapeutic strategies. *Neural Regen Res*. 2020;15(7):1257-1265. DOI: [10.4103/1673-5374.272144](https://doi.org/10.4103/1673-5374.272144).
14. Ecklund JM, Ling GS. From the battlefield: Peripheral nerve surgery in modern day warfare. *Neurosurg Clin N Am*. 2009;20(1):107-110. DOI: [10.1016/j.nec.2008.07.022](https://doi.org/10.1016/j.nec.2008.07.022).

ЗМІНИ НЕРВОВО М'ЯЗОВОГО КОМПЛЕКСУ ЛИТКОВОГО М'ЯЗУ ПРИ ПОШКОДЖЕННІ ГІЛОК ПОПЕРЕКОВОГО ТА КРИЖОВОГО СПЛЕТЕННЯ

Кошарний В. В., Бойко Е. М., Абдул-Огли Л. В., Ткаченко С. С., Кушнарєва К. А.

Резюме. Травми периферичних нервів становлять серйозну проблему у військовій медицині та травматології, оскільки можуть призводити до значної втрати функцій кінцівок, хронічного болю та тривалого періоду реабілітації. В умовах бойових дій пошкодження периферичних нервів часто є наслідком вибухових та вогнепальних поранень, що супроводжуються обширними ушкодженнями м'яких тканин та кістковими травмами. Метою дослідження було проаналізувати динаміку змін біоелектричної активності нервово-м'язової системи за умов пошкодження нерва.

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 модифі-

кацією параметрів збудливості скелетного м'яза, що може вказувати на активацію регенеративних або компенсаторних механізмів, зокрема з боку вегетативної нервової системи.

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. Отримані дані мають важливе значення для нейрофізіології, експериментальної медицини та реабілітації. Вони можуть бути використані для: оптимізації реабілітаційних методів після ушкодження периферичних нервів; розробки стратегій електростимуляції денервованих м'язів для запобігання їх атрофії; глибшого розуміння механізмів нейром'язової адаптації до денервації, що може бути корисним у нейрохірургічній практиці.

Ключові слова: травма, спинномозкові нерви, кінцівки, електрофізіологія, морфологія, щури, нервово-м'язовий комплекс.

CHANGES IN THE NEUROMUSCULAR COMPLEX OF THE CALF MUSCLE IN CASE OF DAMAGE TO THE BRANCHES OF THE LUMBAR AND SACRAL PLEXIS

Kosharny V. V., Boyko E. M., Abdul-Ogly L. V., Tkachenko S. S., Kushnareva K. A.

Abstract. Peripheral nerve injuries 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 combat conditions, peripheral nerve injuries are often the result of explosive and gunshot wounds, accompanied by extensive soft tissue injuries and bone injuries. The aim of the study was to analyze the dynamics of changes in the bioelectric activity of the neuromuscular system in conditions of nerve damage.

Thus, the results obtained indicate that in the first days after neurotomy, partial preservation of conduction is observed due to residual nerve connections and compensatory processes. At the same time, more pronounced degenerative changes develop after a week, which is manifested by a progressive modification of the parameters of skeletal muscle excitability, which may indicate the activation of regenerative or compensatory mechanisms, in particular from the autonomic nervous system.

The results obtained indicate different degrees of compensation of neuromuscular conduction

In the case of partial neurotomy (section of one nerve), active compensation is observed due to the residual nerve. With complete denervation (section of two nerves), compensation processes are disrupted, which leads to a sharp decrease in muscle excitability. This emphasizes the importance of bilateral innervation of muscles for their functional stability and explains the causes of severe atrophy after complete loss of innervation. The obtained data are of great importance for neurophysiology, experimental medicine and rehabilitation. They can be used for: optimizing rehabilitation methods after peripheral nerve injury; developing strategies for electrical stimulation of denervated muscles to prevent their atrophy; deeper understanding of the mechanisms of neuromuscular adaptation to denervation, which may be useful in neurosurgical practice.

Key words: trauma, spinal nerves, limbs, electrophysiology, morphology, rats, neuromuscular complex.

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

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

Boyko E. M.: <https://orcid.org/0009-0006-9289-548X>^{BCDF}

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

Tkachenko S. S.: <https://orcid.org/0000-0002-8828-8349>^{BEF}

Kushnaryova K. A.: <https://orcid.org/0000-0002-6827-5313>^{EF}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

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

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Kosharnyi Volodymyr Vitaliyovych / Кошарний Володимир Віталійович

Dnipro State Medical University / Дніпровський державний медичний університет

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

Tel.: +380505686448 / Тел.: +380505686448

E-mail: kosha.v@ukr.net

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

Received 05.01.2025 / Стаття надійшла 05.01.2025 року

Accepted 07.03.2025 / Стаття прийнята до друку 07.03.2025 року