

**I. В. Китова, С. Ю. Каратєєва**

*Кафедра анатомії, клінічної анатомії та оперативної хірургії (зав. – проф. О. М. Слободян) закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету МОЗ України, м. Чернівці*

## ДИНАМІКА ЗМІН ТОНЗОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КІНЦІВОК ЩУРІВ ПІСЛЯ ДІЇ УДАРНО-ХВИЛЬОВОГО ВПЛИВУ

**Резюме.** Вибухові травми часто призводять до складних ушкоджень, які можуть впливати на функціонування нервово-м'язового комплексу, включаючи як спинний мозок, так й периферійні нерви. Розуміння цих реакцій дозволяє медичним працівникам краще оцінити ступінь ураження та визначити тактику лікування. Дослідження реакцій нервово-м'язового комплексу допомагає виявити механізми адаптації організму до травми. Це може включати нейропластичність, процеси регенерації та відновлення, які є критично важливими для реабілітації пацієнтів. Отже, вивчення реакцій нервово-м'язового комплексу при вибуховій травмі спинного мозку є критично важливим для покращення лікування, реабілітації та загального розуміння механізмів, що стоять за цими складними травмами.

**Мета роботи.** З'ясувати сили довільних м'язових зусиль за умов вибухової травми.

**Матеріал і методи.** У роботі були використані тензометричні методи, які дозволили кількісно оцінити силу скорочень м'язів розгиначів задніх кінцівок і згиначів передніх кінцівок щурів при ударно хвильовому впливі.

**Результати.** Було встановлено що при поступовому навантаженні на першу добу спостерігали зниження на 10,77 %, на сьому – 16,92 %, а на чотирнадцяту добу відновлення на 3,08 %. Сила ривка на першу добу збільшення на 7,89 %, на сьому – зниження на 2,63 %, на чотирнадцяту добу – відновлення на 1,32 %. При розрахуванні відносної сили у першу добу зниження на 10,77 %, на сьому – 16,93 %, на чотирнадцяту добу – відновлення на 3,04 %. Сила ривка на першу добу відбувалось збільшення на 7,9 %, на сьому – зниження на 2,63 %, на чотирнадцяту добу – відновлення на 1,33 %. Отже, в умовах травми сила ривка може бути короткочасно вищою через активацію захисних механізмів організму. Це може бути корисно в деяких ситуаціях, але важливо враховувати, що така активізація може призвести до подальшого ушкодження м'язів або тканин.

Збільшення сили м'язів при ривках на першу добу після травми спинного мозку може бути пов'язане з кількома факторами. По-перше, травма може активувати залишкові нейрони, що призводить до спонтанної активності і тимчасового відновлення деяких функцій. По-друге, можуть відновлюватися рефлекси, навіть якщо верхні нервові шляхи зазнали пошкоджень.

**Ключові слова:** спинний мозок, поперековий відділ спинного мозку, нейрон, тензометрія, кінцівки, вибухова травма, нервово-м'язовий комплекс.

Пошкодження хребта та спинного мозку є важливим аспектом бойової хірургічної травми. Ці травми часто призводять до серйозних наслідків, які можуть суттєво погіршити якість життя пацієнтів. Статистика в Україні з початку війни вказує на те, що травми хребта є серйозною проблемою серед військовослужбовців та цивільних осіб, з травмами опорно-рухового апарату, що складають близько 20-25 %. Приблизно 10-15 % усіх бойових травм – це ушкодження хребта, з яких 5-10 % можуть бути спинномозковими травмами [1, 2].

Вибухові травми хребта вимагають швидкого та комплексного медичного втручання.

Профілактика таких травм у військових умовах є важливою для збереження здоров'я особового складу та цивільних осіб. Навіть легкі вибухові травми потребують уважного спостереження, оскільки можуть призвести до серйозних ускладнень.

У 40-60 % випадків спинномозкові травми супроводжуються ушкодженнями інших органів, що ускладнює діагностику. Несвоєчасне виявлення вибухових травм спинного мозку, що супроводжуються ушкодженнями судин і внутрішніх органів, може призвести до тяжких ускладнень, таких як перитоніт чи внутрішньочеревна кровотеча [3, 4].

Особливу увагу слід приділяти низькоінтенсивним вибухам, коли людина не приділяє цьому увагу та не звертається до лікаря, або не має такої можливості. Тому, виникає потреба поглибленого вивчення спинномозкової травми, її можливих ускладнень, а також впливу ударної хвилі та адаптивні механізми нервової системи в таких умовах на клітинному рівні. Але потрібно пам'ятати, що морфологічним субстратом ушкодження є не лише хребет, а й спинний мозок, його оболонки та корінці.

Також вивчення реакції нервово-м'язового комплексу при вибуховій травмі спинного мозку є надзвичайно важливим з кількох причин.

Вибухові травми часто призводять до складних ушкоджень, які можуть впливати на функціонування нервово-м'язового комплексу, включаючи як спинний мозок, так і периферичні нерви. Розуміння цих реакцій дозволяє медичним працівникам краще оцінити ступінь ураження та визначити тактику лікування. Дослідження реакцій нервово-м'язового комплексу допомагає виявити механізми адаптації організму до травми. Це може включати нейропластичність, процеси регенерації та відновлення, які є критично важливими для реабілітації пацієнтів [5-7]. Глибоке розуміння реакцій нервово-м'язового комплексу дозволяє розробляти нові терапевтичні підходи. Наприклад, знання про те, як нервова система реагує на травму, може призвести до створення ефективніших методів лікування та реабілітації, включаючи фізичну терапію та нейропротекторні препарати. Крім того, дослідження реакцій нервово-м'язового комплексу може допомогти у прогнозуванні довгострокових наслідків травми. Це включає оцінку ризику розвитку хронічного болю, порушень рухливості та інших ускладнень, які можуть суттєво вплинути на якість життя пацієнтів.

Отже, вивчення реакцій нервово-м'язового комплексу при вибуховій травмі спинного мозку є критично важливим для покращення лікування, реабілітації та загального розуміння механізмів, що стоять за цими складними травмами.

**Мета дослідження:** з'ясувати сили довільних м'язових зусиль за умов вибухової травми.

**Матеріал і методи.** У дослідженні було задіяні 111 білих безпородних статевозрілих щурів вагою 180,0-200,0 г. Увесь період підготовки к експерименту та під час його проведення, щури знаходилися у віварії, при температурі 20-25 С, вологості 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 серед-

ньому 30-32 г (25 г сметанного корму, 5-7 г овочів). Усі щури, які брали участь у експерименті, мали здоровий вигляд і були активні. Експериментальні тварини були розподілені на 4 групи по 30 об'єктів – у трьох експериментальних групах, що складало 21,0 % та 21 об'єкт – у контрольній групі. Щурів контрольної групи вводили в тіопенталовий наркоз та проводили фіксацію. Експериментальна група – це щури, яким проводили моделювання баротравми спинного мозку в умовах тіопенталового наркозу (отримано патент Пат. 146858 Україна, МПК G09B23/28). Щури підлягали ударно-хвильовому впливу на черевну стінку та були розподілені на 3 дослідні групи і група контролю, яких виводили з експерименту у першу добу, через 7 та 14 діб після отримання ними спінальної баротравми. Експеримент виконаний з отриманням правил проведення робіт щодо експериментальних тварин, з додержанням принципів гуманності, викладених в директивах Європейського співтовариства та Гельсінкської декларації. У роботі були використані тензометричні методи, які дозволили кількісно оцінити силу скорочень м'язів розгиначів задніх кінцівок і згиначів передніх кінцівок щурів при ударно хвильовому впливі. Принцип дії ґрунтується на природному інстинкті: при спробі 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 даних тарування показники максимальних зусиль перераховували у Ньютони (1000 г = 9,8 Н) (рис. 1.). Вимірювання проводили тричі.

Також нами розраховувався відносна сила м'язових зусиль вона розраховується за формулою сила м'яза в Ньютонах поділена на масу щура. Описаний розрахунок, називається відносна сила або відносна продуктивність м'язів. У цьому випадку максимальна сила, яку виробляє м'яз (або м'ясо), ділиться на масу тварини. Це дозволяє оцінити ефективність використання м'язової маси тварини

Формула виглядає так:  $R=F/M$

де:

R – відносна сила,

F – сила м'яза (Н)

M – маса тварини (кг).

Щури були розподілені на чотири групи. Перша група контрольні, та три експериментальні. У роботі був застосований комплекс тензометричних методів, який дозволив кількісно оцінити силу довільних скорочень м'язів розгиначів задніх та згиначів передніх кінцівок щурів в різних піддослідних групах. Принцип дії заснований на нормовому інстинкті.

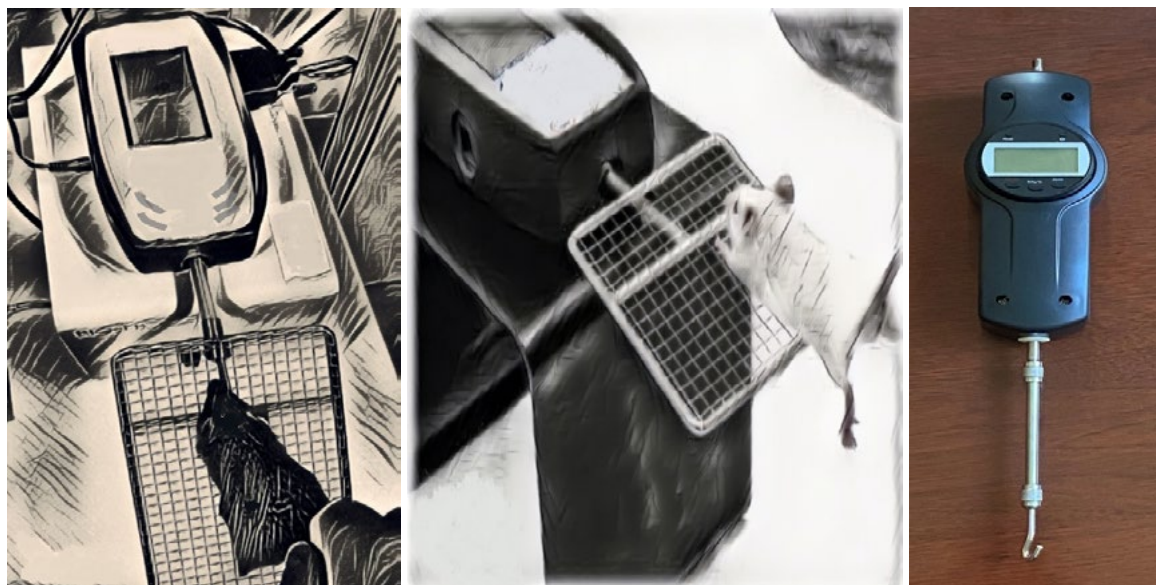


Рис. 1. Тензометрія кінцівок щурів

Результати дослідження та їх обговорення. як змінюються показники в різні строки після дії  
У представлених даних про силу м'язів видно, ударної хвили (табл. 1).

Таблиця 1

**Аналіз змін середніх значень сили м'язів на різних термінах при ударно хвильовому впливі (M±m; n=21)**

№ п/п	Сила м'язів	Контроль	Перша доба	Сьома доба	Чотирнадцята доба
1	Поступове навантаження	6,5±0,25	5,8±0,54	5,4±0,45	6,3±0,54
2	Ривок	7,6±0,45	8,2±0,53	7,4±0,45	7,5±0,57

При поступовому навантаженні на контрольному етапі, сила м'язів становила 6,5±0,25, перший день спостереження ця величина знизилася до 5,8±0,54. зниження на 10,77 % На сьомий день ситуація погіршилася ще більше, і показник знизився до 5,4±0,45, що є зменшенням на 16,92 % від контрольного рівня. На чотирнадцяту добу спостерігається деяке відновлення – сила зросла до 6,3±0,54, але все ще залишалася на 3,08 % нижче контрольного рівня (рис. 2).

Що стосується показників ривка, то контрольний рівень становив 7,6±0,45. На перший день сила м'язів зросла до 8,2±0,53, збільшення на 7,89 %. Однак на сьомий день спостерігається зниження до 7,4±0,45, що є зменшенням на 2,63 % від контрольного рівня. На чотирнадцяту добу показник частково відновлюється до 7,5±0,57, що вказує на незначне поліпшення, але все ще залишається на 1,32 % нижче контрольного рівня (рис. 2).

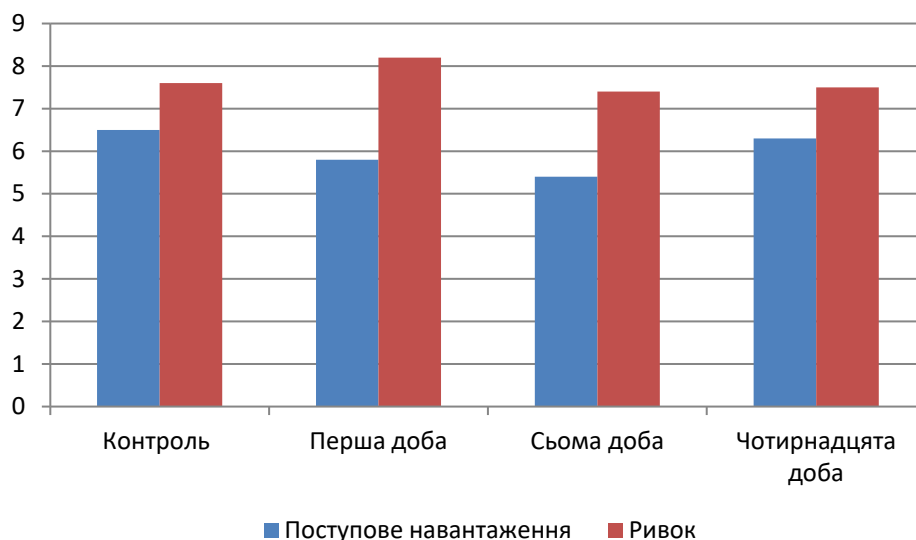


Рис. 2. Зміна сили м'язів кінцівок щурів при ударно хвильовому впливі в різні терміни

У наведених даних про відносну силу м'язів видно, як вона змінюється протягом різних етапів (табл. 2). При поступовому навантаженні на кон-

трольному етапі, відносна сила м'язів становила 34,21 Н/кг. Це значення служить базовим показником для подальших спостережень.

Таблиця 2

## Аналіз змін відносної сили м'язів при ударно хвильовому впливі (Н/кг)

№ п/п	Відносна сила	Контроль	Перша доба	Сьома доба	Чотирнадцята доба
1	Поступове навантаження	34,21	30,53	28,42	33,16
2	Ривок	40,00	43,16	38,95	39,47

На перший день спостереження, показник знизився до 30,53 Н/кг, що свідчить про зменшення на 10,77 % в порівнянні з контрольним рівнем. На сьомий день відносна сила знизилася ще більше до 28,42 Н/кг, що є зменшенням на 16,93 % від контрольного значення. На чотирнадцяту добу показник частково відновився до 33,16 Н/кг, що свідчить про покращення на 3,04 % порівняно з контрольним рівнем (рис. 3).

Контрольний рівень для ривка становив 40,00 Н/кг. На перший день спостереження відносна сила м'язів збільшилася до 43,16 Н/кг, збільшення на 7,9 %. Проте на сьомий день цей показник знизився до 38,95 Н/кг, що є зменшенням на 2,63 % від контрольного рівня. На чотирнадцяту добу відносна сила знову частково відновлюється до 39,47 Н/кг. Хоча це свідчить про позитивні змі-

ни, показник все ще залишається на 1,33 % нижче контрольного рівня (рис. 3).

При аналізі зміни у відсотках для показників поступового навантаження та ривка, при поступовому навантаженні на перший день спостереження вона знизилася 10,77 %. На сьомий день показник ще більше знизився становить зниження на 6,93 % від рівня 1-ї доби. Однак на чотирнадцяту добу відносна сила частково відновилася до 16,56 % порівняно з 7-ю добою.

Ривок. Контрольний рівень для ривка становив 40,00 Н/кг. На 1-шу добу відносна сила зросла на 7,90 %. Проте на сьомий день спостерігається зниження на 9,73 % від 1-ї доби. На чотирнадцяту добу показник частково відновлюється на 1,33 % порівняно з 7-ю добою, але все ще залишається нижчим за контрольний рівень.

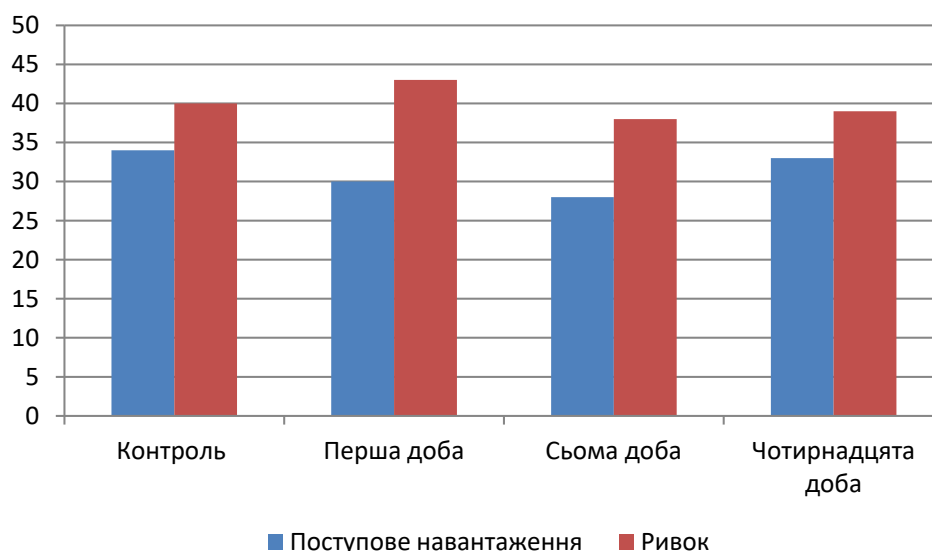


Рис. 3. Зміна відносної сили м'язів кінцівок щурів при ударно хвильовому впливі в різні терміни

Отже, результати показують, що у випадку поступового навантаження відбувається загальне зниження сили на початку реабілітації, з подальшим частковим відновленням. У випадку ривка спостерігається спочатку позитивна динаміка,

а потім зниження, з незначним відновленням на останньому етапі (рис. 4). Це підкреслює важливість корекції реабілітаційного процесу та подальшого моніторингу, щоб забезпечити оптимальні умови для відновлення м'язів.

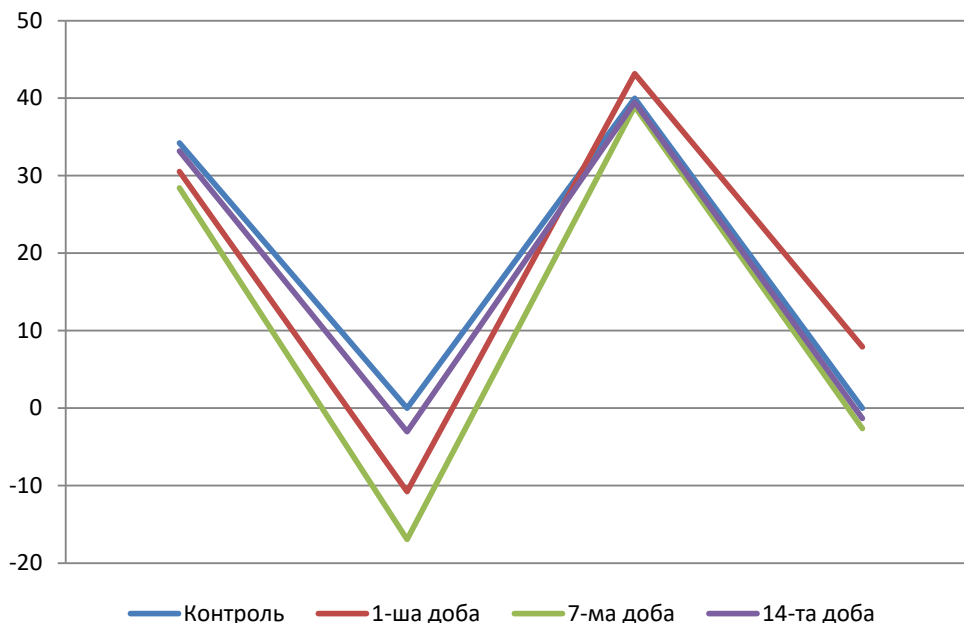


Рис. 4. Динаміка відносної сили м'язів під час експерименту при поступовому навантаженні та ривку

Відносна сила зменшилась на першій і сьомій добі, але на чотирнадцятий день спостеріглося відновлення сили.

Загалом, сила м'язів може спочатку знижуватися, потім стабілізуватися, а згодом – відновлюватися, залежно від ступеня ушкодження, реабілітаційних заходів і загального стану тварини.

**Висновки.** 1. В умовах травми сила ривка може бути короточасно вищою через активацію захисних механізмів організму. Це може бути корисно в деяких ситуаціях, але важливо враховувати, що така активація може призвести до подальшого ушкодження м'язів або тканин. 2. Збільшення сили м'язів при ривках на першу добу після травми спинного мозку може бути пов'язане з кількома факторами. По-перше, травма може активувати за-

лишкові нейрони, що призводить до спонтанної активності і тимчасового відновлення деяких функцій. По-друге, можуть відновлюватися рефлекси, навіть якщо верхні нервові шляхи зазнали пошкодження. 3. Втрата контролю з боку головного мозку може призводити до неочікуваних рухів або ривків, що може створювати враження збільшення сили. Ці м'язові реакції можуть бути результатом зниження координації, коли м'язи реагують на стимуляцію з нижчих рівнів спинного мозку. Отже, зміни в силі м'язів можуть відображати складний процес, що поєднує нейронну активність, відновлення рефлексів і зміни в контролі над рухами.

**Перспективи подальших досліджень.** Подальше вивчення сили довільних м'язових зусиль за умов вибухової травми.

#### Список використаної літератури

1. Dzhus M, Golovach I. Impact of Ukrainian-Russian War on Health Care and Humanitarian Crisis. *Disaster Med Public Health Prep.* 2022 Dec 7;17:e340. doi: 10.1017/dmp.2022.265.
2. Barten DG, Tin D, Granholm F, Rusnak D, van Osch F, Ciottone G. Attacks on Ukrainian healthcare facilities during the first year of the full-scale Russian invasion of Ukraine. *Confl Health.* 2023 Dec 8;17(1):57. doi: 10.1186/s13031-023-00557-2.
3. Zhang JK, Botterbush KS, Bagdady K, Lei CH, Mercier P, Mattei TA. Blast-Related Traumatic Brain Injuries Secondary to Thermobaric Explosives: Implications for the War in Ukraine. *World Neurosurg.* 2022 Nov;167:176-183.e4. doi: 10.1016/j.wneu.2022.08.073.
4. Zhou Y, Wen LL, Wang HD, Zhou XM, Fang J, Zhu JH, et al. Blast-Induced Traumatic Brain Injury Triggered by Moderate Intensity Shock Wave Using a Modified Experimental Model of Injury in Mice. *Chin Med J (Engl).* 2018 Oct 20;131(20):2447-60. doi: 10.4103/0366-6999.243558.
5. Palyvoda R, Olexandr K, Yan V, Igor F, Myron U, Yurii C, et al. Maxillofacial Surgery in Ukraine During a War: Challenges and Perspectives-A National Survey. *Mil Med.* 2024 Aug 30;189(9-10):1968-75. doi: 10.1093/milmed/usad465. Erratum in: *Mil Med.* 2024 Aug 30;189(9-10):e2290. doi: 10.1093/milmed/usae119.

6. Norris C, Weatherbee J, Murphy S, Marquetti I, Maniakhina L, Boruch A, et al. A closed-body preclinical model to investigate blast-induced spinal cord injury. *Front Mol Neurosci*. 2023 Jun 13;16:1199732. doi: 10.3389/fnmol.2023.1199732.

7. Tsuda S, Golam M, Hou J, Wang KKW, Thompson FJ, Bose P. Reduction of epinephrine in the lumbar spinal cord following repetitive blast-induced traumatic brain injury in rats. *Neural Regen Res*. 2024 Jul 1;19(7):1548-1552. doi: 10.4103/1673-5374.385838.

## DYNAMICS OF CHANGES IN TONZOMETRIC INDICATORS OF RAT LIMBS AFTER SHOCK WAVE IMPACT

**Abstract** Blast injuries often lead to complex injuries that can affect the functioning of the neuromuscular complex, including both the spinal cord and peripheral nerves. Understanding these reactions allows medical professionals to better assess the extent of the damage and determine treatment tactics. The study of the reactions of the neuromuscular complex helps to identify the mechanisms of the body's adaptation to injury. This may include neuroplasticity, regeneration and recovery processes, which are critically important for the rehabilitation of patients. Therefore, the study of the reactions of the neuromuscular complex in blast injury of the spinal cord is critically important for improving treatment, rehabilitation and overall understanding of the mechanisms behind these complex injuries.

**Purpose of the work.** To determine the forces of voluntary muscle efforts under conditions of blast injury.

The work used strain gauge methods that allowed us to quantitatively assess the force of contractions of the extensor muscles of the hind limbs and flexors of the forelimbs of rats under shock wave exposure.

**Results and their discussion.** It was found that with gradual loading on the first day, a decrease of 10.77 % was observed, on the seventh day – 16.92 %, and on the fourteenth day, a recovery of 3.08 %. The jerk force on the first day increased by 7.89 %, on the seventh day – a decrease of 2.63 %, on the fourteenth day – a recovery of 1.32 %. When calculating the relative force on the first day, a decrease of 10.77 %, on the seventh day – 16.93 %, on the fourteenth day – a recovery of 3.04 %. The jerk force on the first day increased by 7.9 %, on the seventh day – decreased by 2.63 %, on the fourteenth day – recovered by 1.33 %. Therefore, in conditions of injury, the jerk force may be temporarily higher due to the activation of the body's protective mechanisms. This may be useful in some situations, but it is important to consider that such activation may lead to further damage to the muscles or tissues.

The increase in muscle strength in jerks on the first day after spinal cord injury may be associated with several factors. First, the injury may activate residual neurons, which leads to spontaneous activity and temporary recovery of some functions. Second, reflexes may recover even if the upper nerve pathways have been damaged.

**Key words:** spinal cord, lumbar spinal cord, neuron, tensometry, limbs, explosive injury, neuromuscular complex.

*Інформація про авторів:*

**Каратєєва Світлана Юрїївна** – кандидат медичних наук, доцент кафедри анатомії, клінічної анатомії та оперативної хірургії закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці;

**Китова Ірина Володимирівна** – аспірант кафедри анатомії, клінічної анатомії та оперативної хірургії закладу вищої освіти Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці.

*Information about the authors:*

**Karatieieva Svitlana Yu.** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery of the Institutions of higher education of Bukovinian State Medical University, Chernivtsi;

**Kytova Iryna V.** – is a Postgraduate Student of the Department of Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery of the Institutions of higher education of Bukovinian State Medical University, Chernivtsi.

Надійшла 03.09.2024 р.