

УДК 616.8-009.7-089.168.1-06:616-036.86:615.825:355.257
 DOI <https://doi.org/10.32782/pub.health.2026.1.14>

Мокров Кирил Олександрович,
 аспірант кафедри терапії, реабілітації та морфології
 Карпатського національного університету імені Василя Стефаника
 ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0895-7361>

ВПЛИВ ЗАСОБІВ ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ НА СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ М'ЯЗОВОЇ ТКАНИНИ У ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ З НАСЛІДКАМИ ЧЕРЕПНО-МОЗКОВОЇ ТРАВМИ ТА ТРАНСТІБІАЛЬНОЮ АМПУТАЦІЄЮ

Актуальність. Наслідки черепно-мозкової травми у військовослужбовців у поєднанні з транстібіальною ампутацією супроводжуються розвитком генералізованої м'язової атрофії, зниженням сили та порушенням нейром'язової регуляції, що ускладнює процес протезування та обмежує функціональне відновлення.

Мета роботи. Оцінити ефективність комплексної програми фізичної терапії за показниками структурно-функціонального стану м'язової тканини у військовослужбовців із наслідками черепно-мозкової травми та транстібіальною ампутацією.

Матеріали та методи. Обстежено 94 військовослужбовці. Експериментальну групу (62 особи) розподілено на EG1 (32 – стандартна реабілітація) та EG2 (30 – комплексна програма фізичної терапії). Контрольну групу становили 32 умовно здорові особи. Розроблена програма тривала 8 тижнів і включала силові, функціональні та координаційні вправи, баланс-тренінг із біологічним зворотним зв'язком, тренування ходи та самостійні заняття. Оцінювання проводили за допомогою ультразвукового дослідження м'язів та цифрової динамометрії (ізометрична сила) для визначення їх структурних і функціональних характеристик.

Результати дослідження. Після фізичної терапії у EG2 відзначено достовірно більші виражене збільшення товщини м'язів: двоголового м'яза плеча – на 49,3% ($p < 0,05$), плечепроменевого м'яза – на 21,4% ($p < 0,05$), прямого м'яза стегна збереженої кінцівки – на 19,5% ($p < 0,05$), травмованої – на 65,9% ($p < 0,05$), тоді як у EG1 відповідні зміни становили 14,1%, 14,8%, 13,4% та 25,1%. Ізометрична сила згинання у ліктьовому суглобі домінуючої руки зросла на 42,6% у EG2 проти 14,4% у EG1 ($p < 0,05$), сила розгинання – на 46,9% проти 17,3% ($p < 0,05$), сила відведення у плечовому суглобі – на 34,2% проти 17,7% ($p < 0,05$). Отримані показники у EG2 достовірно наближались до рівня контрольної групи, тоді як у EG1 залишалися значно нижчими.

Висновки. Комплексна програма фізичної терапії є ефективнішою за стандартну, оскільки забезпечує достовірно більше відновлення м'язової маси та сили, що пов'язано з її багатокомпонентним впливом на процеси м'язової гіпертрофії, нейром'язової активації та сенсомоторної інтеграції з врахуванням особливостей травми.

Ключові слова: фізична терапія, бойова травма, ампутація, черепно-мозкова травма, нижні кінцівки, стан м'язової тканини, неврологія, травматологія.

Mokrov K. O. Influence of Physical Therapy Interventions on Structural and Functional Parameters of Muscle Tissue in Military Personnel with Sequelae of Traumatic Brain Injury and Transtibial Amputation

Topicality. The consequences of traumatic brain injury (TBI) in military personnel combined with transtibial amputation are associated with generalized muscle atrophy, reduced muscle strength, and impaired neuromuscular regulation, which complicate prosthetic rehabilitation and limit functional recovery.

The goal of the work is to evaluate the effectiveness of a comprehensive physical therapy program based on structural and functional parameters of muscle tissue in military personnel with TBI sequelae and transtibial amputation.

Materials and methods. A total of 94 military personnel were examined. The experimental group ($n=62$) was divided into two subgroups: EG1 ($n=32$), which received standard rehabilitation, and EG2 ($n=30$), which underwent a comprehensive physical therapy program. The control group consisted of 32 apparently healthy individuals. The developed program lasted 8 weeks and included resistance, functional, and coordination exercises, balance training with biofeedback, gait training, and independent home-based sessions. Assessment was performed using musculoskeletal ultrasound and digital dynamometry (isometric strength) to evaluate structural and functional characteristics of muscle tissue.

Research results. Following physical therapy, significantly greater improvements were observed in EG2 compared to EG1. Muscle thickness increased in EG2 as follows: biceps brachii by 49.3% ($p < 0.05$), brachioradialis by 21.4% ($p < 0.05$), rectus femoris of the intact limb by 19.5% ($p < 0.05$), and rectus femoris of the residual limb by 65.9% ($p < 0.05$), whereas corresponding increases in EG1 were 14.1%, 14.8%, 13.4%, and 25.1%, respectively. Isometric elbow flexion strength of the dominant arm increased by 42.6% in EG2 versus 14.4% in EG1 ($p < 0.05$), elbow extension by 46.9% versus 17.3% ($p < 0.05$), and shoulder abduction by 34.2% versus 17.7% ($p < 0.05$). Post-intervention values in EG2 approached those of the control group, while EG1 remained significantly lower.

Conclusions. The comprehensive physical therapy program is more effective than standard rehabilitation, as it provides significantly greater recovery of muscle mass and strength. This effect is likely attributed to its multicomponent

impact on muscle hypertrophy, neuromuscular activation, and sensorimotor integration, taking into account the specific features of combined injury.

Key words: *physical therapy, combat injury, amputation, traumatic brain injury, lower limbs, muscle tissue condition, neurology, traumatology.*

Вступ. Сучасні збройні конфлікти характеризуються високою частотою поєднаних травм, серед яких особливе місце займають черепно-мозкова травма (ЧМТ) та травматичні ампутації кінцівок. Травми залишаються однією з провідних причин інвалідизації у світі, причому ЧМТ формує значну частку довготривалих неврологічних порушень, включаючи моторний дефіцит, когнітивні розлади та порушення нейром'язової регуляції [1, с. 70; 2, с. 1004–1019].

У військовій популяції поширеність ЧМТ значно вища порівняно з цивільним населенням. Доведено, що 20–30% військових, які брали участь у бойових діях, зазнають ЧМТ різного ступеня тяжкості [3, с. 68; 4, с. 25–30]. Вибухові ураження є основною причиною одночасного виникнення ЧМТ та травматичних ампутацій, що формує складний клінічний профіль із множинними порушеннями [5, с. 267–270; 6, с. 19–25; 7, с. 8–12].

В умовах повномасштабної війни в Україні спостерігається суттєве зростання кількості військовослужбовців із тяжкими поєднаними травмами; значна частина поранень супроводжується ушкодженням центральної нервової системи та ампутаціями нижніх кінцівок, що потребує тривалої комплексної реабілітації та створює значне навантаження на систему охорони здоров'я [5, с. 267–270; 8, с. 289].

Поєднання ЧМТ та ампутації призводить до глибоких структурно-функціональних змін м'язової тканини, включаючи атрофію, зміну типу м'язових волокон, зниження сили та витривалості, а також порушення нейром'язової координації. Наявність ЧМТ додатково ускладнює процес відновлення через порушення центральної регуляції рухів, пластичності нервової системи та сенсомоторної інтеграції. Сучасні дослідження демонструють, що такі пацієнти мають значно гірші функціональні результати порівняно з особами з ізольованими травмами [9, с. 269–283; 10, с. 215–220].

Важливим аспектом відновлення функціональної незалежності після ампутації нижньої кінцівки є збереження достатнього обсягу та функціональної спроможності м'язової тканини. Ефективне використання протеза, особливо при транстібіальній ампутації, безпосередньо залежить від сили, витривалості та координаційних можливостей м'язів кукси та проксимальних сегментів кінцівки. За даними досліджень, пацієнти

з вищими показниками м'язової маси та сили демонструють кращі результати ходьби, швидкість пересування та енергетичну ефективність під час використання протеза [11, с. 613–626]. Зокрема продемонстровано, що зменшення м'язової маси асоціюється зі зниженням стабільності ходи та підвищенням енергетичних витрат при пересуванні [12, с. 999–1013].

Водночас ЧМТ негативно впливає на стан м'язової системи. Порушення центральної регуляції рухів, зниження рівня фізичної активності та розвиток нейром'язових дисфункцій призводять до прогресуючої втрати м'язової маси та сили. У пацієнтів з ураженням першого мотонейрона спостерігається виражена м'язова атрофія, зміна складу м'язових волокон і зниження функціональних можливостей навіть у віддаленому періоді після травми [13, с. 199–204]. Крім того, наявність ЧМТ обмежує здатність до ефективного залучення м'язів у процесі реабілітації, що ускладнює формування адекватних рухових стратегій при користуванні протезом [14, с. 1307507].

Фізична терапія розглядається як основний компонент мультидисциплінарної реабілітації. Відповідно до численних рекомендацій та за результатами практичного впровадження, застосування індивідуалізованих програм фізичної терапії сприяє покращенню функціонального стану, підвищенню м'язової сили та відновленню рухових навичок [15, с. 41–48; 16, с. 23; 17, с. 2691]. Разом із тим, аналіз сучасних публікацій свідчить про недостатню кількість досліджень, які б комплексно оцінювали вплив засобів фізичної терапії саме на структурно-функціональні параметри м'язової тканини у пацієнтів із поєднанням ЧМТ та ампутації.

Особливої уваги потребують поранені військовослужбовці, оскільки їх реабілітація має на меті не лише відновлення базових функцій, а й досягнення високого рівня фізичної працездатності як у професійному, так і у цивільному житті [5, с. 267–271; 6, с. 19–24; 8, с. 289; 18, с. 1682]. У цьому контексті вивчення морфофункціональних змін м'язової тканини під впливом фізичної терапії є необхідним для прискорення відновлення, підвищення ефективності протезування та покращення якості життя пацієнтів. Дослідження цієї проблематики визначає актуальність пред'явленої роботи.

Мета і завдання. Мета дослідження – визначення ефективності розробленої комплексної програми фізичної терапії за структурно-функціональними параметрами м'язової тканини у поранених військовослужбовців з наслідками ЧМТ та транстібіальною ампутацією на етапі первинного протезування. Відповідно до мети були поставлені такі **завдання**: оцінити вихідний структурно-функціональний стан м'язової тканини у поранених військовослужбовців з наслідками ЧМТ та транстібіальною ампутацією на етапі первинного протезування за даними ультразвукового дослідження та ізометричної сили і порівняти його з показниками осіб контрольної групи; дослідити вплив стандартної програми реабілітації та розробленої комплексної програми фізичної терапії на структурно-функціональні параметри м'язової тканини; порівняти ефективність розробленої комплексної програми фізичної терапії зі стандартними принципами реабілітації за динамікою ультразвукових та силових показників у військовослужбовців з поєднаною травмою.

Методи дослідження. У дослідженні прийняло участь 94 чоловіки – військовослужбовці Збройних сил України.

Контрольна група (КГ) – 32 чоловіки віком $28,4 \pm 2,7$ років (22–42 роки) з відсутністю виражених скелетно-м'язових порушень (здорові особи).

Експериментальна група (ЕГ) – 62 чоловіки віком $28,6 \pm 2,7$ років (22–48 років) – поранені військовослужбовці з транстібіальною ампутацією та наслідками ЧМТ. Рандомізовано вони були поділені на дві підгрупи. Експериментальну групу 1 (ЕГ1) склали 32 чоловіків, які проходили реабілітацію тривалістю 8 тижнів згідно стандартних принципів адаптації кукси до тимчасового протеза (терапевтичні вправи на зміцнення м'язів кукси; вправи для збільшення діапазону рухів у колінному та кульшовому суглобах; тренування статичної та динамічної рівноваги в положенні стоячи, навчання пересування на протезі). Для представників експериментальної групи 2 (ЕГ2) – 30 чоловіків – була розроблена комплексна програма фізичної терапії тривалістю 8 тижнів, яка враховувала особливості неврологічного та ортопедичного статусу внаслідок поєднаної травми. Тривалість розробленої програми фізичної терапії (ФТ) становила 8 тижнів – 4 тижні в умовах проведення сесій в реабілітаційному відділенні лікарні та 4 тижні самостійних занять з дистанційним контролем фізичного терапевта. Кожне заняття складалось з обов'язкової частини для корекції наслідків ЧМТ та ампутації, та варіативну, що передбачала вирішення індивідуальних

цілей (пов'язаних з травмами інших частин тіла, захворювань тощо).

Критерії включення та виключення, детальний зміст програми наведені у нашій попередній роботі [19, с. 237–240].

Структурно-функціональний стан м'язової тканини визначали за візуалізаційними даними ультразвукової діагностики (УЗД) та дослідженням ізометричної сили.

УЗД було виконане на апараті експертного класу лікарем функціональної діагностики. Проводили вимірювання за критеріями Modified Heckmatt scale за стандартними правилами товщини двоголового м'яза, триголового м'яза, плечепроменевого м'яза усереднено між двома верхніми кінцівками, прямого м'яза стегна – окремо для збереженої та травмованої кінцівок.

Функціональні силові параметри оцінювали за допомогою цифрового динамометра «ActivForce2» (Activbody Inc., USA) та його мобільного додатку ActivForce App. Досліджували силу при виконанні базових патернів верхньої та нижньої кінцівок згідно рекомендацій виробника [20]; при вимірюванні сили нижніх кінцівок точки прикладання динамометра розміщували симетрично нижче коліна.

Дослідження виконано з дотриманням етичних принципів, викладених у Гельсінській декларації Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини». Всі поранені військовослужбовці та учасники контрольної групи, включені до дослідження, надали письмову інформовану згоду на участь. Протокол дослідження був попередньо розглянутий та схвалений комісією з біоетики Карпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Статистичну обробку отриманих даних здійснювали з використанням програмного забезпечення IBM SPSS Statistics. Для опису кількісних показників застосовували методи описивної статистики. Зокрема, при нормальному розподілі даних результати подавали у вигляді середнього арифметичного значення (M), стандартного відхилення (SD) та стандартної помилки середнього (m). Відмінності вважали статистично значущими при рівні $p < 0,05$.

Результати дослідження. Аналіз візуалізаційних показників ультразвукового дослідження м'язової тканини продемонстрував, що у військовослужбовців із наслідками черепно-мозкової травми та транстібіальною ампутацією при первинному обстеженні спостерігалось достовірне зниження товщини м'язів у порівнянні з контрольною групою, що свідчило про розвиток

м'язової атрофії та зниження трофічного стану м'язової тканини (табл. 1).

Зокрема, товщина двоголового м'яза плеча у КГ становила $2,90 \pm 0,45$ см, тоді як у ЕГ1 вона дорівнювала $1,42 \pm 0,13$ см, що було менше на 51,0% ($p < 0,05$), а у ЕГ2 – $1,38 \pm 0,15$ см (менше на 52,4%; $p < 0,05$). Після проведення фізичної терапії відзначалося збільшення показника: у ЕГ1 – до $1,62 \pm 0,14$ см (приріст 14,1%), тоді як у ЕГ2 – до $2,06 \pm 0,13$ см (приріст 49,3%; $p < 0,05$). Незважаючи на позитивну динаміку в обох підгрупах, у ЕГ2 показник наблизився до контрольного (відставання 29,0%), а при повторному обстеженні перевищував значення ЕГ1 на 27,2% ($p < 0,05$).

Подібні зміни спостерігалися і для триголового м'яза плеча. Початково його товщина у ЕГ1 ($1,57 \pm 0,15$ см) та ЕГ2 ($1,50 \pm 0,12$ см) була меншою за контрольні значення ($2,76 \pm 0,33$ см) на 43,1% і 45,7% відповідно ($p < 0,05$). Після реабілітаційного втручання у ЕГ1 показник зріс до $1,91 \pm 0,21$ см (приріст 21,7%), тоді як у ЕГ2 – до $2,41 \pm 0,16$ см (приріст 60,7%; $p < 0,05$). При цьому після ФТ різниця між підгрупами становила 26,2% на користь ЕГ2 ($p < 0,05$).

Товщина плечепроменевого м'яза також відображала виражені атрофічні зміни: у ЕГ1 – $1,83 \pm 0,14$ см та у ЕГ2 – $1,92 \pm 0,12$ см проти $2,52 \pm 0,42$ см у КГ (зниження на 27,4% та 23,8%; $p < 0,05$). Після фізичної терапії у ЕГ1 відзначалося зростання до $2,10 \pm 0,12$ см (приріст 14,8%), тоді як у ЕГ2 показник збільшився до $2,33 \pm 0,13$ см (приріст 21,4%; $p < 0,05$), що зменшило різницю з КГ до 7,5%. При повторному обстеженні перевага ЕГ2 над ЕГ1 становила 11,0% ($p < 0,05$).

Особливо виражені зміни були характерні для м'язів нижніх кінцівок. Товщина прямого м'яза стегна збереженої кінцівки у КГ становила $3,82 \pm 0,55$ см, тоді як у ЕГ1 вона дорівнювала $2,90 \pm 0,29$ см (менше на 24,1%; $p < 0,05$), а у ЕГ2 – $3,03 \pm 0,11$ см (менше на 20,7%; $p < 0,05$). Після фізичної терапії у ЕГ1 показник збільшився до $3,29 \pm 0,13$ см (приріст 13,4%; $p < 0,05$), проте залишався нижчим за контрольний на 13,9%. У ЕГ2 він досяг $3,62 \pm 0,12$ см (приріст 19,5%; $p < 0,05$), що практично нівелювало відмінності (5,2%). При повторному обстеженні значення у ЕГ2 перевищували ЕГ1 на 10,0%.

Ще більш значне відставання від КГ було зафіксовано для травмованої кінцівки: у ЕГ1 – $1,71 \pm 0,15$ см (менше на 54,4%; $p < 0,05$), у ЕГ2 – $1,82 \pm 0,15$ см (менше на 51,5%; $p < 0,05$) при контрольному значенні $3,75 \pm 0,40$ см. Після терапії у ЕГ1 показник зріс до $2,14 \pm 0,19$ см (приріст 25,1%), однак залишався нижчим за норму на

42,9%. У ЕГ2 відзначалося більш виражене відновлення – до $3,02 \pm 0,13$ см (приріст 65,9%; $p < 0,05$), що зменшило відставання до 19,5%. Перевага ЕГ2 над ЕГ1 при повторному обстеженні становила 41,1% ($p < 0,05$).

Отримані результати свідчили, що поєднання черепно-мозкової травми та ампутації супроводжувалося вираженою генералізованою м'язовою атрофією, яка охоплювала як верхні, так і нижні кінцівки, що пов'язано з гіподинамією, нейром'язовими порушеннями після ЧМТ та обмеженням навантаження внаслідок ампутації. Виявлена позитивна динаміка після фізичної терапії відображала покращення трофічних процесів, активацію м'язового метаболізму та відновлення структурної цілісності м'язової тканини.

Стан показників сили ізометричного напруження м'язів верхньої кінцівки засвідчив, що у військовослужбовців із наслідками ЧМТ та трансїбіальною ампутацією при первинному обстеженні відзначалося достовірне зниження силових характеристик у всіх досліджуваних м'язових групах порівняно з контрольною групою, що відображало зниження функціональної спроможності м'язів та порушення нейром'язової регуляції (табл. 2).

Зокрема, при оцінюванні сили згинання у плечовому суглобі домінуючої руки встановлено, що у ЕГ1 показник становив $19,83 \pm 3,00$ кг, що було менше контрольного значення $30,45 \pm 3,19$ кг на 34,9% ($p < 0,05$), тоді як у ЕГ2 – $18,92 \pm 2,09$ кг (менше на 37,9%; $p < 0,05$). Після фізичної терапії спостерігалося покращення: у ЕГ1 – до $22,13 \pm 2,62$ кг (приріст 11,6%), у ЕГ2 – до $26,09 \pm 2,55$ кг (приріст 37,9%; $p < 0,05$). При цьому після втручання показник у ЕГ2 перевищував значення ЕГ1 на 17,9% ($p < 0,05$), що вказувало на більш ефективне відновлення сили.

Аналогічна закономірність простежувалася і для недомінуючої кінцівки: вихідні значення у ЕГ1 ($18,65 \pm 2,27$ кг) та ЕГ2 ($19,04 \pm 3,16$ кг) були нижчими за контрольні ($28,41 \pm 2,45$ кг) на 34,3% та 33,0% відповідно ($p < 0,05$). Після втручання приріст сили становив 15,5% у ЕГ1 (до $21,55 \pm 1,78$ кг) та 35,1% у ЕГ2 (до $25,73 \pm 2,19$ кг; $p < 0,05$), причому міжгрупова різниця після терапії досягала 19,4% на користь ЕГ2.

При дослідженні сили відведення у плечовому суглобі також відзначалася чітка позитивна динаміка. У домінуючій руці вихідне зниження у ЕГ1 та ЕГ2 становило 31,6% та 27,5% відповідно ($p < 0,05$), а після терапії показники зросли до $21,85 \pm 1,50$ кг та $26,40 \pm 2,49$ кг. Це відповідало приросту 17,7% у ЕГ1 та 34,2% у ЕГ2 ($p < 0,05$);

у другій підгрупі значення практично досягали рівня контролю (відхилення 2,7%, $p > 0,05$). Подібна тенденція спостерігалася і для недомінуючої руки: після фізичної терапії показник у ЕГ2 перевищував ЕГ1 на 21,3% ($p < 0,05$).

Сила згинання у ліктьовому суглобі (двоголовий м'яз) демонструвала ще більш виражені зміни. При первинному обстеженні відставання від контрольних значень становило 34,6% у ЕГ1 та 31,3% у ЕГ2 ($p < 0,05$). Після фізичної терапії у ЕГ1 відбулося помірне покращення до $25,07 \pm 1,99$ кг (приріст 14,4%), тоді як у ЕГ2 показник зріс до $32,84 \pm 3,12$ кг (приріст 42,6%; $p < 0,05$), практично досягнувши рівня КГ. При повторному обстеженні різниця між підгрупами становила 31,0% ($p < 0,05$).

Для недомінуючої кінцівки також спостерігалася суттєва позитивна динаміка: після втручання показник у ЕГ2 ($28,84 \pm 2,19$ кг) перевищував ЕГ1 ($23,76 \pm 2,19$ кг) на 21,4% ($p < 0,05$), що свідчило про більш повне відновлення функції.

Оцінка сили розгинання у ліктьовому суглобі (триголовий м'яз) підтвердила аналогічні тенденції. У домінуючій руці після терапії у ЕГ1 приріст становив 17,3% (до $25,84 \pm 1,40$ кг), тоді як у ЕГ2 – 46,9% (до $30,78 \pm 2,63$ кг; $p < 0,05$), що дозволило зменшити різницю з контролем до 5,3%. Показник у ЕГ2 перевищував ЕГ1 на 19,1% ($p < 0,05$). У недомінуючій руці різниця між підгрупами після реабілітації становила 22,5% на користь ЕГ2 ($p < 0,05$).

Покращення показників сили ізометричного напруження відображало відновлення функціо-

нального стану м'язів, підвищення ефективності рекрутування моторних одиниць та покращення міжм'язової координації. Збільшення сили є критерієм ефективності реабілітації, оскільки воно безпосередньо пов'язане з відновленням функціональної незалежності та здатності до виконання повсякденних і професійних рухових дій.

Отримані результати узгоджуються з сучасними уявленнями про посттравматичні зміни м'язової системи. За даними Фінко М. Г. та співавторів (2022) [9, с. 269–282], після ампутації нижньої кінцівки відбувається зменшення м'язової маси, зміна архітекtonіки м'язів та зростання жирової інфільтрації, що призводить до зниження сили та погіршення функції ходи. При цьому м'язова сила є одним із основних факторів ефективності користування протезом, впливаючи на стабільність, швидкість пересування та енергетичні витрати.

Виявлене у дослідженні покращення структурних параметрів м'язів під впливом фізичної терапії, ймовірно, зумовлене механічним фактором навантаження. Використання прогресивних силових вправ, функціональних тренувань та вправ на витривалість створювало стимул для активації анаболічних процесів у м'язовій тканині, що сприяло зменшенню атрофії та збільшенню м'язової товщини. Відомо, що силові тренування у пацієнтів з ампутацією здатні покращувати не лише м'язову масу, але й функціональні показники рухової діяльності [16, с. 23].

Ще одним механізмом відновлення є покращення нейром'язової активації. У пацієнтів після ЧМТ зни-

Таблиця 1

Динаміка параметрів ультразвукового обстеження м'язової тканини у військовослужбовців з наслідками ЧМТ та транстібіальною ампутацією під впливом програми фізичної терапії (M±SD)

УЗД параметр м'язової тканини	КГ (n=32)	ЕГ1 (n=32)		ЕГ2 (n=30)	
		До ФТ	Після ФТ	До ФТ	Після ФТ
Товщина двоголового м'яза плеча (узагальнена), см	$2,90 \pm 0,45$	$1,42 \pm 0,13^*$	$1,62 \pm 0,14^*$	$1,38 \pm 0,15^*$	$2,06 \pm 0,13^{* \bullet}$
Товщина триголового м'яза плеча (узагальнена), см	$2,76 \pm 0,33$	$1,57 \pm 0,15^*$	$1,91 \pm 0,21^*$	$1,50 \pm 0,12^*$	$2,41 \pm 0,16^{* \bullet}$
Товщина плечепроменевого м'яза (узагальнена), см	$2,52 \pm 0,42$	$1,83 \pm 0,14^*$	$2,10 \pm 0,12$	$1,92 \pm 0,12^*$	$2,33 \pm 0,13^{\bullet}$
Товщина прямого м'яза стегна збереженої кінцівки (правої в КГ), см	$3,82 \pm 0,55$	$2,90 \pm 0,29^*$	$3,29 \pm 0,13^{\circ}$	$3,03 \pm 0,11^*$	$3,62 \pm 0,12^{\bullet}$
Товщина прямого м'яза стегна травмованої кінцівки (лівої в КГ), см	$3,75 \pm 0,40$	$1,71 \pm 0,15^*$	$2,14 \pm 0,19^{\circ}$	$1,82 \pm 0,15^*$	$3,02 \pm 0,13^{* \bullet}$

Примітки (тут і в наступній таблиці): * – $p < 0,05$ – достовірна різниця з відповідним параметром КГ;

\circ – $p < 0,05$ – достовірна різниця між відповідними параметрами обстежень до та після фізичної терапії;

\bullet – $p < 0,05$ – достовірна різниця між відповідними параметрами ЕГ1 та ЕГ2.

Таблиця 2

Динаміка параметрів сили м'язів верхньої кінцівки за результатами вимірювання цифровим динамометром «ActivForce 2» у військовослужбовців з наслідками ЧМТ та транстібіальною ампутацією під впливом програми фізичної терапії (M±SD)

Сила ізометричного напруження, кг	КГ (n=32)	ЕГ1 (n=32)		ЕГ2 (n=30)	
		До ФТ	Після ФТ	До ФТ	Після ФТ
Плечовий суглоб, згинання					
домінуюча рука	30,45±3,19	19,83±3,00*	22,13±2,62*	18,92±2,09*	26,09±2,55
недомінуюча рука	28,41±2,45	18,65±2,27*	21,55±1,78*	19,04±3,16*	25,73±2,19
Плечовий суглоб, відведення					
домінуюча рука	27,13±1,95	18,56±2,49*	21,85±1,50*	19,67±1,63*	26,40±2,49
недомінуюча рука	26,82±2,07	17,96±1,63*	20,30±2,45*	18,70±2,07*	24,63±1,74
Ліктьовий суглоб, згинання (двоголовий м'яз)					
домінуюча рука	33,52±2,12	21,92±3,16*	25,07±1,99*	23,04±3,14*	32,84±3,12
недомінуюча рука	31,07±3,17	19,52±1,19	23,76±2,19*	20,79±2,60*	28,84±2,19
Ліктьовий суглоб, розгинання (триголовий м'яз)					
домінуюча рука	32,49±2,62	22,02±2,01*	25,84±1,40*	20,95±2,46*	30,78±2,63
недомінуюча рука	30,65±1,86	20,46±3,15*	23,80±1,19*	21,16±2,19*	29,15±2,52

ження сили значною мірою пов'язане з порушенням центрального контролю рухів, зменшенням ефективності рекрутування моторних одиниць і між'язової координації. Комплексна програма фізичної терапії, яка включала координаційні вправи, тренування рівноваги та функціональні рухові завдання, сприяла відновленню цих механізмів. Фізичні вправи розглядаються як стимулятор нейропластичності, зокрема через активацію нейротрофічних факторів та перебування моторних мереж [14, с. 1307507].

Важливим є сенсомоторний компонент відновлення. У пацієнтів із ампутацією втрачається значна частина пропріоцептивної інформації, а ЧМТ додатково порушує її центральну обробку. Застосування баланс-тренінгу та біологічного зворотного зв'язку сприяло покращенню інтеграції сенсорної інформації та контролю положення тіла. Систематичні огляди підтверджують, що використання біофідбеку та тренувань із подвійним завданням покращує параметри ходи та функціональну мобільність у осіб з ампутаціями [18, с. 1628].

Окремо слід відзначити покращення сили м'язів верхніх кінцівок, яке має важливе значення для даної категорії пацієнтів. У період адаптації до протеза верхні кінцівки виконують значну компенсаторну функцію, забезпечуючи підтримку, баланс і переміщення. Збільшення сили в цих сегментах відображає не лише локальний ефект тренування, а й загальне підвищення функціональної активності та фізичної працездатності.

Синергічна дія цих факторів забезпечує одночасне покращення як структурних, так і функціональних характеристик м'язової тканини, що є

важливим для ефективного протезування та відновлення рухової незалежності у військовослужбовців із поєднаною травмою.

Висновки.

1. Розроблена комплексна програма фізичної терапії є ефективною для поранених військовослужбовців із наслідками черепно-мозкової травми та транстібіальною ампутацією на етапі первинного протезування, оскільки забезпечує достовірне покращення структурно-функціональних параметрів м'язової тканини порівняно зі стандартною програмою реабілітації.

2. За даними ультразвукового дослідження у пацієнтів, які виконували комплексну програму (ЕГ2), зафіксовано більш виражене збільшення товщини м'язів: двоголового м'яза плеча – на 49,3%, плечепроменевого м'яза – на 21,4%, прямого м'яза стегна збереженої кінцівки – на 19,5%, травмованої – на 65,9% ($p < 0,05$). У ЕГ1 позитивна динаміка була менш вираженою.

3. Відновлення функціональних характеристик м'язів підтверджено результатами динамометрії: у ЕГ2 спостерігалось суттєве зростання сили у всіх досліджуваних рухових патернах верхньої кінцівки, зокрема згинання у ліктьовому суглобі – на 42,6%, розгинання – на 46,9%, відведення у плечовому суглобі – на 34,2%, що значно перевищувало показники ЕГ1 ($p < 0,05$).

4. Найбільш виражений ефект розробленої програми спостерігався у м'язах нижніх кінцівок, особливо травмованої, що має важливе значення для підготовки до ефективного протезування, формування опороздатності та стабільності під час ходи.

5. Отримані результати свідчать, що застосування комплексної програми фізичної терапії (поєднання силових, функціональних, координаційних вправ, баланс-тренінгу з біологічним зворотним зв'язком та самостійних занять) є доцільним і клінічно обґрунтованим підходом для профілактики м'язової атрофії та відновлення м'язової маси.

6. Отримані дані підтверджують необхідність впровадження індивідуалізованих програм фізичної терапії у систему реабілітації поранених військовослужбовців із поєднаною ЧМТ та ампутацією, що дозволяє підвищити ефективність відновлення, покращити функціональні результати та якість життя пацієнтів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Leddy J.J., Haider M.N., Noble J.M., et al. Clinical Assessment of Concussion and Persistent Post-Concussive Symptoms for Neurologists. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2021. № 21(12). P. 70. <https://doi.org/10.1007/s11910-021-01159-2>
2. Maas A.I.R., Menon D.K., Manley G.T., et al. Traumatic brain injury: progress and challenges in prevention, clinical care, and research. *Lancet Neurol*. 2022. №21(11). P. 1004-1060. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(22\)00309-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(22)00309-X)
3. Elder G.A. Update on TBI and Cognitive Impairment in Military Veterans. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2015. №15(10). P. 68. <https://doi.org/10.1007/s11910-015-0591-8>
4. Кравченко К., Лішук В. Посткомоційний синдром як проблема наукових досліджень у воєнний час: теоретичний огляд. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2025. №2(62). С. 25–31. <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2025.62.25-31>
5. Ткачук А., Ессельбаєва А., Аравіцька М., Должикова О., Морозенко Д., Бабкіна О., Данильченко С. Соціальні аспекти післяампутаційної реабілітації військовослужбовців. *Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії*. 2025. №25(4). С. 267–272. <https://doi.org/10.31718/2077-1096.25.267>
6. Kovalets R.I., Aravitska M.G., Ilnytskyi N.R. Correction of signs of astheno-vegetative syndrome, psycho-emotional state and sleep quality by means of physical therapy in military personnel with consequences of traumatic brain injury and complicated bruxism. *Rehabilitation and Recreation*. 2025. №19(4). P. 19–28. <https://doi.org/10.32782/2522-1795.2025.19.4.2>
7. Аравіцька М., Михайлюк І., Шеремета Л., Стовбан М., Остапак З. Корекція функціональних ознак порушень скронево-нижньощелепного суглобу у військовослужбовців з посттравматичним стресовим розладом засобами фізичної терапії. *Сучасна медицина, фармація та психологічне здоров'я*. 2025. № 3(21). С. 8–14. <https://doi.org/10.32689/2663-0672-2025-3-1>
8. Kim S.Y., Yeh P.H., Ollinger J.M., et al. Military-related mild traumatic brain injury: clinical characteristics, advanced neuroimaging, and molecular mechanisms. *Transl Psychiatry*. 2023. №13(1). P. 289. <https://doi.org/10.1038/s41398-023-02569-1>
9. Finco M.G., Kim S., Ngo W., Menegaz R.A. A review of musculoskeletal adaptations in individuals following major lower-limb amputation. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2022. №22(2). P. 269-283.
10. Mollayeva T., Kendzerska T., Mollayeva S., et al. A systematic review of fatigue in patients with traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabil*. 2014. №29(3). P. 215–227. <https://doi.org/10.1097/HTR.0000000000000005>
11. Gailey R.S., Roach K.E., Applegate E.B., et al. The amputee mobility predictor: an instrument to assess determinants of the lower-limb amputee's ability to ambulate. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002. №83(5). P. 613–627. <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.32309>
12. van Velzen J.M., van Bennekom C.A., Polomski W., Sloopman J.R., van der Woude L.H., Houdijk H. Physical capacity and walking ability after lower limb amputation: a systematic review. *Clin Rehabil*. 2006. №20(11). P. 999–1016. <https://doi.org/10.1177/0269215506070700>
13. Knops M., Werner C.G., Scherbakov N., et al. Investigation of changes in body composition, metabolic profile and skeletal muscle functional capacity in ischemic stroke patients: the rationale and design of the Body Size in Stroke Study (BoSSS). *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2013. №4(3). P. 199–207. <https://doi.org/10.1007/s13539-013-0103-0>
14. Snowden T., Morrison J., Boerstra M., et al. Brain changes: aerobic exercise for traumatic brain injury rehabilitation. *Front Hum Neurosci*. 2023. №17. P. 1307507. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1307507>
15. Rakaieva A.E., Aravitska M.G. Study of the effectiveness of rehabilitation intervention for the correction of symptoms of astheno-vegetative syndrome in elderly persons with the consequences of coronavirus infection. *Rehabilitation and Recreation*. 2024. №18(3). P. 41–50. <https://doi.org/10.32782/2522-1795.2024.18.3.4>
16. Rosario M.L.V.V., Costa P.B., da Silveira A.L.B., et al. Effects of Resistance Training in Individuals with Lower Limb Amputation: A Systematic Review. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2023. №8(1). P. 23. <https://doi.org/10.3390/jfmk8010023>
17. Young VM, Hill JR, Patrini M, Negrini S, Arienti C. Overview of Cochrane Systematic Reviews of Rehabilitation Interventions for Persons with Traumatic Brain Injury: A Mapping Synthesis. *J Clin Med*. 2022. №11(10). P. 2691. <https://doi.org/10.3390/jcm11102691>
18. Escamilla-Nunez R., Michelini A., Andrysek J. Biofeedback Systems for Gait Rehabilitation of Individuals with Lower-Limb Amputation: A Systematic Review. *Sensors (Basel)*. 2020. №20(6). P. 1628. <https://doi.org/10.3390/s20061628>
19. Мокров К.О., Лісовський Р.Р., Макачук Е.О., Шиманський Б.Р. Характеристика стану ходи та динамічної рівноваги поранених військовослужбовців з наслідками черепно-мозкової травми та транстібільною ампутацією як показник ефективності програми фізичної терапії. *Health & Education*. 2025. №3. P. 237–245. <https://doi.org/10.32782/health-2025.3.26>
20. Watch & learn: ActivForce tutorials. Available at: <https://activforce.com/pages/video-tutorials>

REFERENCES:

1. Leddy, J. J., Haider, M. N., Noble, J. M., Rieger, B., Flanagan, S., McPherson, J. I., Shubin-Stein, K., Saleem, G. T., Corsaro, L., & Willer, B. (2021). Clinical Assessment of Concussion and Persistent Post-Concussive Symptoms for Neurologists. *Current neurology and neuroscience reports*, 21(12), 70. <https://doi.org/10.1007/s11910-021-01159-2>
2. Maas, A. I. R., Menon, D. K., Manley, G. T., Abrams, M., Åkerlund, C., Andelic, N., Aries, M., Bashford, T., Bell, M. J., Bodien, Y. G., Brett, B. L., Büki, A., Chesnut, R. M., Citerio, G., Clark, D., Clasby, B., Cooper, D. J., Czeiter, E., Czosnyka, M., Dams-O'Connor, K., InTBIR Participants and Investigators (2022). Traumatic brain injury: progress and challenges in prevention, clinical care, and research. *The Lancet. Neurology*, 21(11), 1004–1060. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(22\)00309-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(22)00309-X)
3. Elder G. A. (2015). Update on TBI and Cognitive Impairment in Military Veterans. *Current neurology and neuroscience reports*, 15(10), 68. <https://doi.org/10.1007/s11910-015-0591-8>
4. Kravchenko, K., & Lishchuk, V. (2025). Postkomotsiyniy syndrom yak problema naukovykh doslidzhen u voiennyi chas: teoretychnyi ohliad [Post-concussion syndrome as a problem of scientific research in wartime: a theoretical review.]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, 2(62), 25–31. <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2025.62.25-31> [In Ukrainian].
5. Tkachuk, A., Yesselbaieva, A., Aravitska, M., Dolzhykova, O., Morozenko, D., Babkina, O., & Danylchenko S. (2025). Sotsialni aspekty pisliaamputatsiynoi reabilitatsii viiskovosluzhbovtziv [Social aspects of post-amputation rehabilitation of military personnel.]. *Aktualni problemy suchasnoi medytsyny: Visnyk Ukrainskoi medychnoi stomatolohichnoi akademii*, 25(4), 267–272. <https://doi.org/10.31718/2077-1096.25.267> [In Ukrainian].
6. Kovalets, R.I., Aravitska, M.G., & Ilnytskyi N.R. (2025). Correction of signs of astheno-vegetative syndrome, psycho-emotional state and sleep quality by means of physical therapy in military personnel with consequences of traumatic brain injury and complicated bruxism. *Rehabilitation and Recreation*, 9(4), 19–28. <https://doi.org/10.32782/2522-1795.2025.19.4.2>
7. Aravitska M., Mykhailiuk I., Sheremeta L., Stovban M., & Ostapiak Z. (2025). Korektsiia funktsionalnykh oznak porushen skronevo-nyzhnoshchelepnogo suhlobu u viiskovosluzhbovtziv z posttravmatychnym stresovym rozladom zasobamy fizychnoi terapii. Correction of functional signs of temporomandibular joint disorders in military personnel with post-traumatic stress disorder using physical therapy. *Modern Medicine, Pharmacy and Psychological Health*, 3(21), 8–14. <https://doi.org/10.32689/2663-0672-2025-3-1> [In Ukrainian].
8. Kim, S. Y., Yeh, P. H., Ollinger, J. M., Morris, H. D., Hood, M. N., Ho, V. B., & Choi, K. H. (2023). Military-related mild traumatic brain injury: clinical characteristics, advanced neuroimaging, and molecular mechanisms. *Translational psychiatry*, 13(1), 289. <https://doi.org/10.1038/s41398-023-02569-1>
9. Finco, M. G., Kim, S., Ngo, W., & Menegaz, R. A. (2022). A review of musculoskeletal adaptations in individuals following major lower-limb amputation. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, 22(2), 269–283.
10. Mollayeva, T., Kendzerska, T., Mollayeva, S., Shapiro, C. M., Colantonio, A., & Cassidy, J. D. (2014). A systematic review of fatigue in patients with traumatic brain injury: the course, predictors and consequences. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 47, 684–716. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.10.024>
11. Gailey, R. S., Roach, K. E., Applegate, E. B., Cho, B., Cunniffe, B., Licht, S., Maguire, M., & Nash, M. S. (2002). The amputee mobility predictor: an instrument to assess determinants of the lower-limb amputee's ability to ambulate. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 83(5), 613–627. <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.32309>
12. van Velzen, J. M., van Bennekom, C. A., Polomski, W., Slootman, J. R., van der Woude, L. H., & Houdijk, H. (2006). Physical capacity and walking ability after lower limb amputation: a systematic review. *Clinical rehabilitation*, 20(11), 999–1016. <https://doi.org/10.1177/0269215506070700>
13. Knops, M., Werner, C. G., Scherbakov, N., Fiebach, J., Dreier, J. P., Meisel, A., Heuschmann, P. U., Jungehülsing, G. J., von Haehling, S., Dirnagl, U., Anker, S. D., & Doehner, W. (2013). Investigation of changes in body composition, metabolic profile and skeletal muscle functional capacity in ischemic stroke patients: the rationale and design of the Body Size in Stroke Study (BoSSS). *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*, 4(3), 199–207. <https://doi.org/10.1007/s13539-013-0103-0>
14. Snowden, T., Morrison, J., Boerstra, M., Eyolfson, E., Acosta, C., Grafe, E., Reid, H., Brand, J., Galati, M., Gargaro, J., & Christie, B. R. (2023). Brain changes: aerobic exercise for traumatic brain injury rehabilitation. *Frontiers in human neuroscience*, 17, 1307507. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1307507>
15. Rakaieva A.E., & Aravitska M.G. (2024). Study of the effectiveness of rehabilitation intervention for the correction of symptoms of asteno-vegetative syndrome in elderly persons with the consequences of coronavirus infection. *Rehabilitation and Recreation*, 18(3), 41–50. DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1795.2024.18.3.4>
16. Rosario, M. L. V. V., Costa, P. B., da Silveira, A. L. B., Florentino, K. R. C., Casimiro-Lopes, G., Pimenta, R. A., Dias, I., & Bentes, C. M. (2023). Effects of Resistance Training in Individuals with Lower Limb Amputation: A Systematic Review. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 8(1), 23. <https://doi.org/10.3390/jfmk8010023>
17. Young, V. M., Hill, J. R., Patrini, M., Negrini, S., & Arienti, C. (2022). Overview of Cochrane Systematic Reviews of Rehabilitation Interventions for Persons with Traumatic Brain Injury: A Mapping Synthesis. *Journal of clinical medicine*, 11(10), 2691. <https://doi.org/10.3390/jcm11102691>
18. Escamilla-Nunez, R., Michelini, A., & Andrysek, J. (2020). Biofeedback Systems for Gait Rehabilitation of Individuals with Lower-Limb Amputation: A Systematic Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(6), 1628. <https://doi.org/10.3390/s20061628>
19. Mrokov K.O., Lisovskyi R.R., Makarchuk E.O., Shymanskyi B.R. Kharakterystyka stanu khody ta dynamichnoi rivnovahy poranenykh viiskovosluzhbovtziv z naslidkamy cherepno-mozkovoï travmy ta transtibialnoiu amputatsiieiu yak pokaznyk efektyvnosti prohramy fizychnoi terapii [Characteristics of the gait and dynamic balance of wounded military personnel with consequences of traumatic brain injury and transtibial amputation as an indicator of the effectiveness of the physical therapy program]. *Health & Education*. 2025. №3. P. 237–245. DOI <https://doi.org/10.32782/health-2025.3.26>
20. Watch & learn: ActivForce tutorials. Available at: <https://activforce.com/pages/video-tutorials>

Дата першого надходження статті до видання: 31.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу (CC BY 4.0)