

УДК 616.831-001-036.8:616.12-008.331.1:615.825

DOI <https://doi.org/10.32782/health-2026.1.35>

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

## ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОРЕКЦІЇ ДИСФУНКЦІЇ ВЕГЕТАТИВНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ ТА ВАРІАБЕЛЬНОСТІ СЕРЦЕВОГО РИТМУ У ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ З НАСЛІДКАМИ ЧЕРЕПНО-МОЗКОВОЇ ТРАВМИ ЗАСОБАМИ ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ

**Макарчук Едуард Олегович,**

аспірант кафедри терапії, реабілітації та морфології

Карпатського національного університету імені Василя Стефаника

ORCID: 0009-0006-1922-5842

**Мета:** оцінити ефективність розробленої комплексної програми фізичної терапії у військовослужбовців із наслідками черепно-мозкової травми (ЧМТ) за динамікою показників вегетативної регуляції, функціональних проб та варіабельності серцевого ритму.

**Матеріал.** У дослідженні взяли участь 96 військовослужбовців чоловічої статі. Групу порівняння склали 33 умовно здорові особи без ознак неврологічних і скелетно-м'язових порушень. Основну групу становили 63 військовослужбовці з наслідками ЧМТ, яких рандомізовано розподілили на дві підгрупи: ОГ1 (n=32) – проходили фізичну терапію за стандартними принципами реабілітації; ОГ2 (n=31) – займалися за розробленою комплексною програмою тривалістю 8 тижнів (4 тижні амбулаторно та 4 тижні самостійно). Програма включала функціональні вправи, тренування з візуальним біологічним зворотним зв'язком (MotionGuidance®), баланс-тренінг на нестійких поверхнях, окуломоторні вправи, застосування еластичних еспандерів і обважнювачів, а також прогресивну м'язову релаксацію за Джейкобсоном. Оцінювання проводили до початку та через 3 місяці за результатами орто- та кліностатичних проб, проби з ізометричним навантаженням, опитувальника О. Вейна та 24-годинного моніторингу варіабельності серцевого ритму.

**Результати.** Первинне обстеження засвідчило статистично значущі ( $p < 0,05$ ) ознаки вегетативної дисфункції у військовослужбовців із ЧМТ: підвищення середньої ЧСС, LF, LF/HF, індексу Бавського та індексу Kerdo, зниження RMSSD, SDNN, TP і HF порівняно з групою порівняння. Після втручання в обох основних групах відзначалася позитивна динаміка, однак у ОГ2 вона була більш вираженою: достовірне підвищення показників загальної варіабельності серцевого ритму та вагусної активності, зниження симпатикотонії, нормалізація реактивності у функціональних пробах і суттєве зменшення балів за опитувальником вегетативної дисфункції.

**Висновки.** Розроблена комплексна програма фізичної терапії сприяла ефективнішій нормалізації автономної регуляції, зменшенню проявів симпатикотонії та підвищенню адаптаційного потенціалу організму порівняно зі стандартною реабілітацією. Її доцільно впроваджувати у систему медичної реабілітації військовослужбовців із наслідками ЧМТ з метою відновлення працездатності та повернення до професійної діяльності.

**Ключові слова:** фізична терапія, реабілітація, астено-вегетативний синдром, варіабельність серцевого ритму, черепно-мозкова травма, поранені військовослужбовці, бойова травма.

### **Eduard Makarchuk. Assessment of the effectiveness of physical therapy in the correction of autonomic nervous system dysfunction and heart rate variability in military personnel with sequelae of traumatic brain injury**

**Objective.** To evaluate the effectiveness of a newly developed comprehensive physical therapy program in military personnel with sequelae of traumatic brain injury (TBI) based on the dynamics of autonomic regulation parameters, functional autonomic tests, and heart rate variability (HRV).

**Materials and Methods.** The study involved 96 male military personnel. The comparison group consisted of 33 apparently healthy individuals without neurological or musculoskeletal disorders. The main group included 63 servicemen with TBI sequelae who were randomly assigned to two subgroups: Group 1 (n=32) received physical therapy according to standard rehabilitation protocols; Group 2 (n=31) underwent a newly developed comprehensive 8-week physical therapy program (4 weeks of supervised outpatient sessions followed by 4 weeks of independent training). The intervention included functional exercises, visual biofeedback training using the MotionGuidance® system, balance training on unstable surfaces, oculomotor exercises, resistance exercises with elastic bands and weights, and progressive muscle relaxation according to Jacobson. Assessments were performed at baseline and after 3 months using orthostatic and clinostatic tests, an isometric handgrip test, the O. Wayne autonomic dysfunction questionnaire, and 24-hour heart rate variability monitoring.

**Results.** Baseline evaluation revealed statistically significant ( $p < 0.05$ ) signs of autonomic dysfunction in military personnel with TBI, including elevated mean heart rate, LF power, LF/HF ratio, Baevsky stress index, and Kerdo index, along with decreased RMSSD, SDNN, total power (TP), and HF power compared with the comparison group. Following the intervention, both main groups demonstrated positive changes; however, improvements were more pronounced in

*Group 2. These included significant increases in overall HRV parameters and vagal activity, reduction of sympathetic predominance, normalization of autonomic reactivity in functional tests, and a substantial decrease in autonomic dysfunction questionnaire scores.*

**Conclusions.** *The developed comprehensive physical therapy program resulted in more effective normalization of autonomic regulation, reduction of sympathetic overactivity, and enhancement of adaptive capacity compared with standard rehabilitation. Its implementation is recommended within medical rehabilitation programs for military personnel with TBI sequelae to facilitate functional recovery and return to professional military duties.*

**Key words:** *physical therapy, rehabilitation, astheno-autonomic syndrome, heart rate variability, traumatic brain injury, wounded military personnel, combat trauma.*

**Вступ.** Черепно-мозкова травма (ЧМТ), отримана внаслідок бойових дій, є однією з провідних причин смерті та інвалідизації серед поранених військовослужбовців у сучасних конфліктах. Механізми бойових ушкоджень (вибухова, проникаюча і комбінована травма) кардинально відрізняються від цивільних травм, що призводить до більш складного патофізіологічного процесу, ширшого спектра клінічних проявів та невизначеності у діагностиці й прогнозі. За даними оглядових публікацій, пошкодження головного мозку при бойових умовах характеризуються поєднанням різних типів механічної дії, включно з вибуховою хвилею, що обумовлює високий рівень неврологічних, когнітивних та поведінкових порушень у постраждалих [1, с. 289].

Військові травми, особливо легкі та середні форми ЧМТ, часто залишаються недиагностованими в польових умовах або ускладнюються супутніми стресовими розладами, такими як посттравматичний стресовий розлад, когнітивні дисфункції та порушення сну, що зберігаються тривалий час після первинного випадку [2, с. 97–103]. У значної частини пацієнтів клінічні симптоми – головні болі, запаморочення, порушення пам'яті й уваги – можуть тривати місяцями й роками, суттєво знижуючи якість життя та працездатність [3, с. 1004–1050].

Особливістю бойової ЧМТ є також висока частота супутніх ушкоджень і ускладнень, включно з цереброваскулярними порушеннями, вторинним набряком мозку, ризиком інфекцій при відкритих пораненнях голови, тривалим перебуванням у відділенні інтенсивної терапії, що значно ускладнює подальше відновлення [3, с. 1004–10030; 4, с. 26–29].

Довгострокові наслідки бойових ушкоджень головного мозку включають не лише фізичні симптоми, але й суттєві психосоціальні проблеми: постійний неврологічний дефіцит, астеничні розлади, порушення поведінки та соціальної адаптації, необхідність тривалої допомоги в повсякденному житті і труднощі повернення до професійної діяльності. Це створює значне навантаження не лише на самих поранених,

але й на їхні сім'ї та систему охорони здоров'я в цілому [4, с. 26–29].

Одним із найпоширеніших і найскладніших станів, що виникають після ЧМТ, є астено-вегетативний синдром – комплекс симптомів, що включає суттєве зниження витривалості, підвищену втому, емоційну нестабільність та порушення когнітивних функцій. Такі прояви не лише обтяжують повсякденне життя пацієнтів, але й знижують ефективність соціальної та професійної реабілітації [5, с. 41–50].

Адекватна оцінка функціонального стану після ЧМТ є складною через багаточисельність соматичних і нейрофізіологічних порушень. Одним із об'єктивних показників стану автономної нервової системи є варіабельність серцевого ритму (ВСР) – неінвазивний маркер вегетативної регуляції серцевої діяльності. За даними сучасних оглядових досліджень, ВСР істотно змінюється після ЧМТ і корелює зі ступенем неврологічних симптомів, включно з астеною та когнітивними порушеннями. Зокрема, дослідження показують, що після травми спостерігаються зміни ВСР, які пов'язані з порушенням функції автономної нервової системи та зменшенням адаптаційних резервів організму – такі зміни можуть слугувати прогнозними показниками клінічного стану пацієнта після ЧМТ [6, с. 734–739; 7, с. 585–600].

Сучасні наукові публікації підкреслюють важливість раннього початку й індивідуалізації реабілітаційних заходів, а також мультидисциплінарного підходу, що поєднує фізичні, когнітивні й психоемоційні втручання для військовослужбовців з бойовою травмою [8, с. 267–272; 9, с. 25–31]. У контексті реабілітації особливої значущості мають методи фізичної терапії, спрямовані на відновлення порушених функцій та покращення загального стану пацієнтів після ЧМТ [10, с. 19–28].

Недостатність наукових досліджень, які визначають ефективність фізичної терапії з точки зору корекції вегетативних дисфункцій як наслідків ЧМТ та посткомоеційного синдрому визначають актуальність представленої роботи.

**Мета та завдання дослідження:** оцінити ефективність розробленої комплексної програми фізичної терапії для поранених військовослужбовці з наслідками легкої черепно-мозкової травми за динамікою параметрів дисфункції вегетативної нервової системи (ВНС).

**Методи дослідження.**

У дослідженні прийняло участь 96 чоловіків-військовослужбовців Збройних сил України.

Група порівняння (ГП) – 33 чоловіків віком  $27,4 \pm 3,1$  рок (23-36 років) з відсутністю неврологічних та скелетно-м'язових порушень (умовно здорові особи).

Основну групу (ОГ) склали 63 військовослужбовців віком  $31,2 \pm 4,0$  роки (25-43 роки) з наслідками ЧМТ. Рандомізовано вони були поділені на дві підгрупи. Основну групу 1 (ОГ1) склали 32 чоловіки, які проходили фізичну терапію згідно стандартних принципів реабілітації при ЧМТ (втручання з метою покращення фізичного стану, вестибулярних розладів, покращення психоемоційного стану). Для представників основної групи 2 (ОГ2) – 31 чоловік – була розроблена комплексна програма фізичної терапії, ефективність якої представлена у даному дослідженні.

Критерії включення: легка ЧМТ, посткомуніційний (постконтузійний) синдром; відсутність вогнищевих проявів ураження головного мозку; термін після ЧМТ – не менше 4 тижнів (28 днів), не більше 6 місяців (відновний період); закрита ЧМТ; бойова травма; згода на участь у дослідженні.

Критерії виключення: діагностована артеріальна гіпертензія, порушення серцевого ритму в період до ЧМТ; діагностована хвороба нирок в період до ЧМТ; ампутаційні дефекти кінцівок; некомпенсовані комплексним лікуванням травми кісток або м'яких тканин кінцівок (зокрема опіки), які обмежують амплітуду рухів; проникаючі поранення органів грудної клітки та/або черевної порожнини з резекцією органів; поранення та стани, які можуть бути асоційовані з комісуванням за станом здоров'я; загострення супутньої хронічної соматичної патології; когнітивні, важні психічні порушення (зокрема суїцидальні наміри).

Програма впроваджувалась у форматі амбулаторних сесій (28 щоденних сесій – 4 тижні), які виконувались у період відпустки для лікування за висновком ВЛК та самостійних занять (28 сесій – 4 тижні), які могли бути виконані в домашніх умовах (за потреби – в умовах військової частини). Її завданнями було: покращення рівноваги

та координації, витривалості, сили, зменшення вираженості астено-вегетативних симптомів, відновлення працездатності (повернення до військової служби), покращення психоемоційного стану.

Заняття були поділені на дві частини – обов'язкову (що включала корекцію загальних проявів ЧМТ) та варіативну (пов'язану з функціональним тренуванням індивідуальних професійних навичок, досягненням індивідуальних реабілітаційних цілей). Упродовж всієї програми пацієнти виконували сесії прогресивної м'язової релаксації за Е. Джейкобсоном.

Особливістю амбулаторної частини розробленої було тренування за допомогою набору «MotionGuidance® Clinic Kit» [11], що представляє собою лазерну систему візуального зворотного зв'язку та мішені для відстеження рухів, що дозволяє інтегрувати його в реабілітацію будь-якої частини тіла – голови, шиї, тулуба, верхніх або нижніх кінцівок. Пацієнти отримують зворотний зв'язок про рухи в режимі реального часу, перетворюючи абстрактні цілі реабілітації в чіткі візуальні підказки, які прискорюють навчання руховим навикам і підвищують готовність до виконання вправ. Виконання вправ за допомогою системи включало прикладні вправи – утримання балансу на платформі BOSU з фіксацією візуальної статичної або динамічної цілі, застосування обважнювачів, еластичних еспандерів. Перевагою застосування цього набору було окуломоторне тренування, додаткове когнітивне навантаження.

Крім цього, у програмі було використано елементи контролю дихання та психосоматичної релаксації (йога) для покращення психосоматичної релаксації та нормалізації стану ВНС.

Формат самостійної роботи був зумовлений хронічним перебігом наслідків ЧМТ, потребою тривалого втручання та обмеженістю відпустки, наданої у зв'язку з пораненням. Упродовж цього періоду пацієнти виконували індивідуальний комплекс вправ для закріплення ефекту, отриманого упродовж амбулаторного втручання та продовжували сесії прогресивної м'язової релаксації за Е. Джейкобсоном.

Наявність вегетативної дисфункції визначали за опитувальником виявлення вегетативних змін О. Вейна (менше 15 балів – відсутня вегетативна дисфункція, 15–25 балів – помірна вегетативна дисфункція, понад 25 балів – виражена вегетативна дисфункція). Стан вегетативної нервової системи оцінювали за балансом її симпатичної та парасимпатичної ланок за результатами клнос-

татичної та ортостатичної проб (динаміка рівнів систолічного артеріального тиску (САТ), діастолічного артеріального тиску (ДАТ), частоти серцевих скорочень (ЧСС)), проби з ізометричним навантаженням (за динамікою ДАТ), визначенням індексу Кердо, динамікою показників 24-годинного моніторингу варіабельності серцевого ритму (система моніторингу «DiaCard» від JSC «Solvaig», Україна): стандартне відхилення нормальних R–R інтервалів – SDNN (мс) (Standard Deviation of Normal-to-Normal intervals); показник парасимпатичної активності RMSSD (мс) (Root Mean Square of Successive Differences (Квадратичний середній корінь послідовних різниць); TP (Total power) – характеризує загальну потужність регуляторних систем організму; середньодобова ЧСС; аналіз спектрограми за показниками потужності у діапазоні низьких частот Low Frequency (LF) , мс<sup>2</sup> (0,04-0,05 Гц), потужність у діапазоні високих частот High Frequency (HF), мс<sup>2</sup> (0,15-0,4 Гц), співвідношення LF/HF, індекс напруги Баєвського.

Дослідження проводилося з урахуванням принципів Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини в якості об'єкта дослідження». Протокол дослідження було обговорено та затверджено на засіданні комісії з біоетики Карпатського національного університету імені Василя Стефаника.

З метою досягнення цілей та завдань дослідження, всі отримані дані були підсумовані й оброблені статистичними методами дослідження. Обробка даних (розрахунок середнього арифметичного значення ( $\bar{X}$ ) та середнього квадратичного відхилення (S); оцінка достовірності отриманих показників за критерієм Стьюдента) проводилася за допомогою пакету статистичних програм «IBM SPSS Statistics». Критичний рівень значимості при перевірці статистичних гіпотез у даному дослідженні приймали рівним 0,05.

**Результати дослідження.** В усіх досліджуваних функціональних пробах у військовослужбовців із ЧМТ на початку дослідження відзначалися ознаки дисбалансу ВНС із переважанням симпатикотонії та зниженням адаптаційних можливостей (табл. 1).

Показники ортостатичної проби відображали реактивність серцево-судинної системи на зміну положення тіла. У ГП приріст ЧСС становив  $11,19 \pm 0,86$  уд./хв.; у осіб ОГ1 до ФТ цей показник був на 103,8% більшим ( $p < 0,05$ ), а в ОГ2 перевищував ГП на 115,6% ( $p < 0,05$ ). Таке над-

мірне зростання ЧСС свідчило про напруження симпатичного відділу ВНС та зниження адаптаційних можливостей. Після ФТ у ОГ1 цей показник зменшився на 20,9% відносно вихідного рівня ( $p < 0,05$ ), однак залишався на 61,2% вищим за ГП ( $p < 0,05$ ). У ОГ2 ЧСС покращилась на 44,0% ( $p < 0,05$ ), що на 20,8% перевищувало рівень ГП ( $p < 0,05$ ). При повторному обстеженні ЧСС в ОГ2 була на 25,1% нижчою, ніж в ОГ1 ( $p < 0,05$ ), що свідчило про кращу нормалізацію вегетативної реактивності під впливом розробленої програми ФТ.

Динаміка САТ в ортостатичній пробі у ГП становила  $4,60 \pm 0,53$  мм рт. ст. У ОГ1 до ФТ зниження САТ було на 127,4% більшим, ніж у ГП ( $p < 0,05$ ), в ОГ2 – на 143,3% більшим ( $p < 0,05$ ), що відображало недостатню стабільність судинного тону. Після ФТ у ОГ1 позитивна динаміка становила 16,3% ( $p < 0,05$ ), в ОГ2 – 45,4% ( $p < 0,05$ ). Різниця між ОГ1 та ОГ2 після ФТ становила 30,2% ( $p < 0,05$ ) на користь ОГ2, що свідчило про більш ефективне відновлення судинної регуляції.

Показники ДАТ в ортостатичній пробі істотно не відрізнялися від ГП ( $7,11 \pm 0,45$  мм рт. ст.): у ГП в ОГ1 до ФТ –  $6,42 \pm 0,33$  мм рт. ст. ( $p > 0,05$ ), в ОГ2 –  $6,85 \pm 0,65$  мм рт. ст. ( $p > 0,05$ ). Після ФТ суттєвої патологічної динаміки не спостерігалося, що свідчило про відносну збереженість механізмів діастолічної регуляції.

У кліностаціонарній пробі (перехід у горизонтальне положення) у осіб ГП зниження ЧСС становило  $12,20 \pm 0,78$  уд./хв. У ОГ1 до ФТ показник був на 73,0% менше ( $p < 0,05$ ), в ОГ2 – на 65,7% менше ( $p < 0,05$ ), що вказувало на знижену парасимпатичну реактивність. Після ФТ у ОГ1 ЧСС зменшилася до  $6,57 \pm 0,33$  уд./хв (покращення 99,7%;  $p < 0,05$ ), а в ОГ2 – до  $10,06 \pm 0,52$  уд./хв (покращення 140,7%;  $p < 0,05$ ). Різниця між групами після ФТ становила 53,1% ( $p < 0,05$ ) на користь ОГ2, що свідчило про більш повне відновлення вагусних впливів.

Приріст ДАТ при ізометричному навантаженні у ГП становив  $16,02 \pm 0,51$  мм рт. ст. У ОГ1 до ФТ він був нижчим на 30,4% ( $p < 0,05$ ), в ОГ2 – на  $10,09 \pm 0,29$  мм рт. ст. (на 37,0%;  $p < 0,05$ ), що свідчило про знижену симпатичну реактивність. Після ФТ у ОГ1 приріст збільшився до  $13,12 \pm 0,36$  мм рт. ст. (покращення 17,7%;  $p < 0,05$ ), а в ОГ2 – до  $15,11 \pm 0,44$  мм рт. ст. (покращення 49,8%;  $p < 0,05$ ). Після втручання показник в ОГ2 був на 15,2% вищим, ніж в ОГ1 ( $p < 0,05$ ), що вказувало на більш повне відновлення адекватної судинної відповіді.

Індекс Кердо у ГП становив  $1,20 \pm 0,16$  ум. од., що відповідало вегетативній рівновазі. У ОГ1 до ФТ він дорівнював  $2,29 \pm 0,15$  ум. од. (на 90,8% вище;  $p < 0,05$ ), в ОГ2 –  $2,16 \pm 0,11$  ум. од. (на 80,0% вище;  $p < 0,05$ ), що свідчило про симпатикотонію. Після ФТ у ОГ1 індекс знизився до  $1,86 \pm 0,20$  ум. од. (покращення 18,8%;  $p < 0,05$ ), однак залишався на 55,0% вищим за ГП. У ОГ2 показник зменшився до  $1,38 \pm 0,10$  ум. од. (покращення 36,1%;  $p < 0,05$ ), що лише на 15,0% перевищувало рівень ГП. Різниця між ОГ1 та ОГ2 після ФТ становила 25,8% ( $p < 0,05$ ) на користь ОГ2, що підтверджувало більш ефективну нормалізацію вегетативного балансу.

У військовослужбовців із наслідками ЧМТ до початку реабілітації відзначалася виражена вегетативна дисфункція згідно з критеріями опитувальника О. Вейна (збільшення сумарної кількості балів свідчило про більшу вираженість вегетативної дисфункції, тоді як зменшення показника відображало покращення функціонального стану вегетативної нервової системи та редукцію клінічних проявів – астено-вегетативних скарг, серцебиття, лабільності артеріального тиску, пітливості, порушень сну тощо) (рис. 1).

У ГП середній показник становив  $22,48 \pm 4,16$  бала, що відповідало відсутності клінічно значущої вегетативної дисфункції або її мінімальним проявам. При первинному обстеженні в ОГ1 показник дорівнював  $45,09 \pm 5,01$  бала, що було на 100,6% вище порівняно з ГП ( $p < 0,05$ ), а в ОГ2 –  $42,78 \pm 4,77$  бала, що перевищувало

значення ГП на 90,3% ( $p < 0,05$ ). Отримані дані свідчили про виражену вегетативну дисфункцію у військовослужбовців з наслідками ЧМТ, що клінічно проявлялося домінуванням симпатикотонічних реакцій, астеничного синдрому та емоційної лабільності.

Після проведення фізичної терапії в ОГ1 показник знизився до  $38,52 \pm 3,16$  бала, що відображало статистично достовірне покращення ( $p < 0,05$ ) і становило зменшення на 14,6% відносно вихідного рівня. Проте навіть після втручання значення залишалося на 71,4% вищим за показник ГП, що свідчило про збереження помірних проявів вегетативної дисфункції.

У осіб ОГ2 після завершення програми фізичної терапії показник достовірно зменшився до  $22,89 \pm 3,07$  бала ( $p < 0,05$ ), що відповідало зниженню на 46,5% від вихідного рівня. Порівняно з ГП різниця становила лише 1,8%, тобто показники практично наближалися до рівня умовно здорових осіб. При повторному обстеженні показник в ОГ2 був на 40,6% нижчим, ніж в ОГ1 ( $p < 0,05$ ), що свідчило про статистично достовірно кращий клінічний ефект розробленої комплексної програми фізичної терапії.

За даними 24-годинного моніторингу варіабельності серцевого ритму у військовослужбовців із ЧМТ до початку реабілітації спостерігалася зниження загальної варіабельності серцевого ритму, пригнічення парасимпатичної активності та виражене домінування симпатичного відділу ВНС (табл. 2).

Таблиця 1

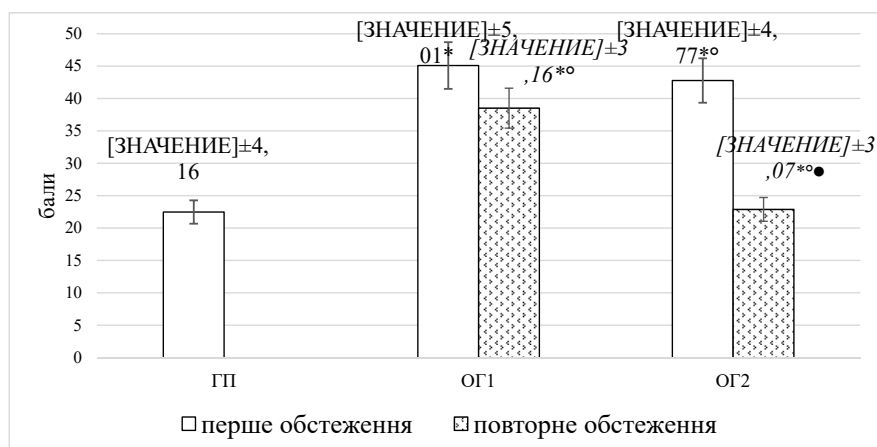
**Динаміка параметрів функціональних проб для оцінювання стану вегетативної нервової системи у військовослужбовців з ЧМТ під впливом програми фізичної терапії**

Проба	ГП (n=33)	ОГ1 (n=32)		ОГ2 (n=31)	
		До ФТ	Після ФТ	До ФТ	Після ФТ
Ортостатична, динаміка					
ЧСС, уд./хв	$+11,19 \pm 0,86$	$+22,81 \pm 1,02^*$	$+18,04 \pm 1,46^{*o}$	$+24,13 \pm 1,55^*$	$+13,52 \pm 0,75^{*o}$ ●
САТ, мм рт. ст.	$-4,60 \pm 0,53$	$-10,46 \pm 0,60^*$	$-8,75 \pm 0,55^{*o}$	$-11,19 \pm 0,36^*$	$-6,11 \pm 0,28^{*o}$ ●
ДАТ, мм рт. ст.	$+7,11 \pm 0,45$	$+6,42 \pm 0,33$	$+7,03 \pm 0,52$	$+6,85 \pm 0,65$	$+6,98 \pm 0,44$
Кліностатична, динаміка					
ЧСС, уд./хв	$-12,20 \pm 0,78$	$-3,29 \pm 0,09^*$	$-6,57 \pm 0,33^{*o}$	$-4,18 \pm 0,45^*$	$-10,06 \pm 0,52^{*o}$ ●
САТ, мм рт. ст.	$+2,16 \pm 0,33$	$+4,00 \pm 0,51^*$	$+3,11 \pm 0,09^{*o}$	$+3,51 \pm 0,50^*$	$+2,82 \pm 0,27^{*o}$ ●
ДАТ, мм рт. ст.	$-6,35 \pm 0,55$	$-0,85 \pm 0,16^*$	$-1,78 \pm 0,55^{*o}$	$-1,12 \pm 0,26^*$	$-4,22 \pm 0,61^{*o}$ ●
З ізометричним навантаженням, приріст ДАТ на 3 хв.	$16,02 \pm 0,51$	$11,15 \pm 0,62^*$	$13,12 \pm 0,36^{*o}$	$10,09 \pm 0,29^*$	$15,11 \pm 0,44^{*o}$ ●
Індекс Кердо	$1,20 \pm 0,16$	$2,29 \pm 0,15^*$	$1,86 \pm 0,20^{*o}$	$2,16 \pm 0,11^*$	$1,38 \pm 0,10^{*o}$ ●

Примітки: \* –  $p < 0,05$  – статистично достовірна різниця між параметрами ГП та ОГ;

o –  $p < 0,05$  – статистично достовірна різниця між параметрами при первинному та повторному обстеженнях;

● –  $p < 0,05$  – статистично достовірна різниця між параметрами ОГ1 та ОГ2.



**Рис. 1.** Динаміка показників вегетативної дисфункції за опитувальником О. Вейна у військовослужбовців з ЧМТ під впливом програми фізичної терапії (\* –  $p < 0,05$  – статистично достовірна різниця між параметрами ГП та ОГ; ° –  $p < 0,05$  – статистично достовірна різниця між параметрами при первинному та повторному обстеженнях; • –  $p < 0,05$  – статистично достовірна різниця між параметрами ОГ1 та ОГ2)

У ГП показник RMSSD становив  $41,12 \pm 1,55$  мс; в ОГ1 до ФТ він дорівнював  $23,81 \pm 2,49$  мс, що було на 42,1% нижче порівняно з ГП ( $p < 0,05$ ), в ОГ2 –  $25,41 \pm 1,68$  мс (на 38,2% нижче;  $p < 0,05$ ), що свідчило про пригнічення вагусних впливів. Після ФТ в ОГ1 показник підвищився до  $29,16 \pm 1,09$  мс (покращення на 22,5%;  $p < 0,05$ ), однак залишався на 29,1% нижчим за ГП. В осіб ОГ2 RMSSD зріс до  $32,47 \pm 2,17$  мс (покращення на 27,8%;  $p < 0,05$ ), що було лише на 21,0% нижче від ГП. При повторному обстеженні значення в представників ОГ2 було на 11,4% вище, ніж в ОГ1 ( $p < 0,05$ ), що свідчило про більш повне відновлення парасимпатичної регуляції.

У осіб ГП показник SDNN становив  $50,00 \pm 2,30$  мс, в ОГ1 до ФТ –  $35,28 \pm 1,57$  мс (на 29,4% менше;  $p < 0,05$ ), в ОГ2 –  $37,31 \pm 1,19$  мс (на 25,4% менше;  $p < 0,05$ ). Після ФТ в ОГ1 SDNN зріс до  $39,77 \pm 1,05$  мс (покращення на 12,7%;  $p < 0,05$ ), а в ОГ2 – до  $45,74 \pm 1,46$  мс (покращення на 22,6%;  $p < 0,05$ ). Різниця між ОГ1 та ОГ2 після втручання становила 15,0% ( $p < 0,05$ ) на користь ОГ2, що свідчило про суттєвіше підвищення загальної варіабельності серцевого ритму.

У представників ГП загальна потужність спектра TP дорівнювала  $2450,11 \pm 76,43$  мс<sup>2</sup>; в ОГ1 до ФТ –  $1452,17 \pm 55,16$  мс<sup>2</sup> (на 40,7% менше;  $p < 0,05$ ), в ОГ2 –  $1561,36 \pm 80,12$  мс<sup>2</sup> (на 36,3% менше;  $p < 0,05$ ), що відображало зниження сумарної активності автономної регуляції. Після ФТ в ОГ1 TP підвищився до  $1795,20 \pm 47,03$  мс<sup>2</sup> (покращення на 23,6%;  $p < 0,05$ ), в ОГ2 – до  $1944,31 \pm 51,07$  мс<sup>2</sup> (покращення на 24,5%;  $p < 0,05$ ). Після втручання показник в ОГ2 був на 8,3% вищим, ніж в ОГ1 ( $p < 0,05$ ).

Середня ЧСС у осіб ГП становила  $69,52 \pm 2,01$  уд./хв.; в ОГ1 до ФТ –  $88,49 \pm 3,11$  уд./хв (на 27,3% більше;  $p < 0,05$ ), в ОГ2 –  $87,07 \pm 2,81$  уд./хв (на 25,2% більше;  $p < 0,05$ ), що свідчило про симпатикотонію. Після ФТ в ОГ1 ЧСС знизилася до  $83,46 \pm 2,57$  уд./хв (покращення на 5,7%), залишаючись на 20,0% вищою за ГП. В ОГ2 ЧСС зменшилася до  $79,22 \pm 2,45$  уд./хв (покращення на 9,0%;  $p < 0,05$ ), що було на 14,0% вище за ГП. При повторному обстеженні ЧСС в ОГ2 була на 5,1% нижчою, ніж в ОГ1 ( $p < 0,05$ ).

У ГП показник LF становив  $1409,22 \pm 40,10$  мс<sup>2</sup> (коридор норми). В ОГ1 до ФТ –  $2247,11 \pm 64,09$  мс<sup>2</sup> (на 59,5% більше;  $p < 0,05$ ), в ОГ2 –  $2301,55 \pm 43,17$  мс<sup>2</sup> (на 63,4% більше;  $p < 0,05$ ), що відображало надмірну симпатичну активність. Після ФТ в ОГ1 LF знизився до  $1963,45 \pm 52,12$  мс<sup>2</sup> (покращення на 12,6%;  $p < 0,05$ ), в ОГ2 – до  $1688,90 \pm 38,11$  мс<sup>2</sup> (покращення на 26,6%;  $p < 0,05$ ). Різниця між групами після втручання становила 14,0% ( $p < 0,05$ ) на користь ОГ2.

У ГП параметри HF становили  $993,46 \pm 23,61$  мс<sup>2</sup>. В ОГ1 до ФТ –  $726,58 \pm 31,35$  мс<sup>2</sup> (на 26,9% менше;  $p < 0,05$ ), в ОГ2 –  $742,83 \pm 40,20$  мс<sup>2</sup> (на 25,2% менше;  $p < 0,05$ ). Після ФТ в ОГ1 показник зріс до  $802,37 \pm 29,52$  мс<sup>2</sup> (покращення на 10,4%;  $p < 0,05$ ), а в ОГ2 – до  $915,41 \pm 28,94$  мс<sup>2</sup> (покращення на 23,2%;  $p < 0,05$ ). При повторному обстеженні величина HF в ОГ2 був на 14,1% вищим, ніж в ОГ1 ( $p < 0,05$ ).

У ГП співвідношення LF/HF становило  $1,42 \pm 0,12$ , що відповідало вегетативному балансу. В ОГ1 до ФТ –  $3,09 \pm 0,11$  (на 117,6% більше;  $p < 0,05$ ), в ОГ2 –  $3,10 \pm 0,15$  (на 118,3% більше;  $p < 0,05$ ), що свідчило про виражену сим-

патикотонію. Після ФТ в ОГ1 показник знизився до  $2,45 \pm 0,15$  (покращення на 20,7%;  $p < 0,05$ ), а в ОГ2 – до  $1,84 \pm 0,15$  (покращення на 40,6%;  $p < 0,05$ ). Після втручання значення в ОГ2 було на 24,9% нижчим, ніж в ОГ1 ( $p < 0,05$ ), що відобразило більш ефективно відновлення вегетативного балансу.

Індекс Баєвського у ГП становив  $72,29 \pm 4,32$  ум. од., що відповідало задовільному рівню адаптації. В ОГ1 до ФТ –  $319,81 \pm 10,45$  ум. од. (на 342,5% більше;  $p < 0,05$ ), в ОГ2 –  $308,56 \pm 12,18$  ум. од. (на 326,7% більше;  $p < 0,05$ ), що свідчило про різке напруження регуляторних систем. Після ФТ в ОГ1 індекс зменшився до  $245,88 \pm 11,08$  ум. од. (покращення на 23,1%;  $p < 0,05$ ), а в ОГ2 – до  $166,49 \pm 25,58$  ум. од. (покращення на 46,0%;  $p < 0,05$ ). Після втручання показник в ОГ2 був на 32,3% нижчим, ніж в ОГ1 ( $p < 0,05$ ), що вказувало на суттєвіше зниження рівня напруження адаптаційних механізмів.

Аналіз отриманих результатів дозволив виявити низку узагальнених тенденцій щодо стану вегетативної регуляції у військовослужбовців із наслідками ЧМТ та впливу програм фізичної терапії на її відновлення.

На етапі первинного обстеження в обох основних групах спостерігалася системна вегетативна дисфункція, що проявлялася ознаками симпатикотонії та зниженням адаптаційного потенціалу. Це підтверджувалося підвищеними значеннями індексу Кердо, LF/HF, LF, індексу Баєвського, середньої ЧСС, а також зниженими показниками RMSSD, SDNN, TP та HF. Подібний патерн відповідає сучасним уявленням про автономні порушення після черепно-мозкової травми. Зокрема, у систематичному огляді

H. Hilz та співавт. (2011) [12, с. 1727–1735] було показано, що після ЧМТ часто формується тривала дисфункція автономної нервової системи з домінуванням симпатичної активності та зниженням вагусного контролю. Аналогічні висновки наведені у роботах Johnson та співавт. (2013) [13, с. 35–34], де підкреслюється роль стовбурових структур та дифузного аксонального ушкодження у формуванні порушень серцево-судинної автономної регуляції внаслідок травматичного ушкодження головного мозку.

Зниження RMSSD, SDNN та TP у наших обстежених узгоджувалося з концепцією, що варіабельність серцевого ритму є інтегральним маркером функціонального резерву організму. Згідно з рекомендаціями Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996) [14, с. 354–381], зменшення цих показників відображає пригнічення парасимпатичних впливів і загальне зниження автономної гнучкості. Отримані нами дані також відповідали результатам досліджень Thayer & Lane (2007) [15, с. 81–88], які продемонстрували, що низькі значення VCP асоціюються з емоційною дисрегуляцією, тривожністю та посттравматичними проявами – симптомами, характерними для військовослужбовців після бойової травми.

Після проведення ФТ в обох основних групах спостерігалася позитивна динаміка, однак її вираженість істотно відрізнялася. У групі стандартної реабілітації (ОГ1) покращення носили помірний характер: часткове зниження симпатикотонії, помірне зростання показників VCP та зменшення балів за опитувальником О. Вейна. Водночас у групі, що проходила розроблену комплексну

Таблиця 2

### Динаміка 24-годинного моніторингу варіабельності серцевого ритму у військовослужбовців з ЧМТ під впливом програми фізичної терапії ( $\bar{x} \pm S$ )

Параметри	ГП (n=33)	ОГ1 (n=32)		ОГ2 (n=31)	
		До ФТ	Після ФТ	До ФТ	Після ФТ
RMSSD, мс	$41,12 \pm 1,55$	$23,81 \pm 2,49^*$	$29,16 \pm 1,09^{*o}$	$25,41 \pm 1,68^*$	$32,47 \pm 2,17^{*o}$ ●
SDNN, мс	$50,00 \pm 2,30$	$35,28 \pm 1,57^*$	$39,77 \pm 1,05^{*o}$	$37,31 \pm 1,19^*$	$45,74 \pm 1,46^{*o}$ ●
TP, мс <sup>2</sup>	$2450,11 \pm 76,43$	$1452,17 \pm 55,16^*$	$1795,20 \pm 47,03^{*o}$	$1561,36 \pm 80,12^*$	$1944,31 \pm 51,07^{*o}$ ●
Середня ЧСС, уд/хв	$69,52 \pm 2,01$	$88,49 \pm 3,11^*$	$83,46 \pm 2,57^*$	$87,07 \pm 2,81^*$	$79,22 \pm 2,45^{*o}$ ●
LF, мс <sup>2</sup>	$1409,22 \pm$	$2247,11 \pm$	$1963,45 \pm$	$2301,55 \pm$	$1688,90 \pm$
HF, мс <sup>2</sup>	$993,46 \pm$	$726,58 \pm$	$802,37 \pm$	$742,83 \pm$	$915,41 \pm$
LF/HF	$1,42 \pm$	$3,09 \pm$	$2,45 \pm$	$3,10 \pm$	$1,84 \pm$
Індекс Баєвського	$72,294,32$	$319,81 \pm$	$245,88 \pm$	$308,56 \pm$	$166,49 \pm$

Примітки: \* –  $p < 0,05$  – статистично достовірна різниця між параметрами ГП та ОГ;

o –  $p < 0,05$  – статистично достовірна різниця між параметрами при первинному та повторному обстеженнях;

● –  $p < 0,05$  – статистично достовірна різниця між параметрами ОГ1 та ОГ2.

програму (ОГ2), зміни були більш вираженими та наближалися до рівня групи порівняння. Особливо це стосувалося нормалізації LF/HF, зниження індексу Баєвського, зростання RMSSD та HF, що свідчило про відновлення вагусного контролю та зменшення напруження регуляторних систем.

Виявлені тенденції узгоджуються з даними сучасних досліджень щодо впливу фізичних вправ на автономну регуляцію. Так, Sandercock et al. (2005) та Routledge et al. (2010) [16, с. 433–438] довели, що регулярні аеробні та функціональні навантаження сприяють підвищенню RMSSD і HF, що відображає посилення парасимпатичної активності. Крім того, включення елементів балансового тренування, координаційних вправ і когнітивного навантаження могло сприяти нейропластичним змінам, що підтверджується концепцією «exercise-induced neuroplasticity», описаною у роботах Cotman & Berchtold (2002) [16, с. 433–439].

Окремої уваги заслуговує застосування прогресивної м'язової релаксації за Джейкобсоном. Відомо, що методи релаксації асоціюються зі зниженням симпатичної активності та підвищенням вагусного тону. Зокрема, у дослідженні Manzoni et al. (2008) [17, с. 41] було продемонстровано, що релаксаційні техніки достовірно підвищують показники HF та знижують LF/HF, що корелює з отриманими нами результатами в ОГ2.

### **Висновки.**

1. У військовослужбовців із наслідками черепно-мозкової травми при первинному обстеженні було встановлено наявність вираженої вегетативної дисфункції, що проявлялася переважанням симпатикотонії, зниженням парасимпатичної активності та напруженням регуляторних механізмів.

2. Результати функціональних проб (ортостатичної, кліностагічної, ізометричної) засвідчили порушення адаптаційної реактивності серцево-судинної системи, що характеризувалося надмірною тахікардічною відповіддю при виконанні ортостатичної проби, недостатнім відновленням ЧСС при виконанні кліностагічної проби та зниженим приростом діастолічного артеріального тиску при ізометричному навантаженні. Виявлені зміни свідчили про дисбаланс автономної регуляції та зниження функціонального резерву організму.

3. За даними 24-годинного моніторингу варіабельності серцевого ритму встановлено статистично значуще ( $p < 0,05$ ) зменшення показників загальної варіабельності (SDNN, TP), вагусної активності (RMSSD, HF) та підвищення маркерів симпатичного домінування (LF, LF/HF, індекс Баєвського) у військовослужбовців із ЧМТ порівняно з групою порівняння, що відображало стійке напруження адаптаційних механізмів та порушення автономного гомеостазу.

4. Клінічні прояви вегетативної дисфункції за опитувальником О. Вейна характеризувалися високою частотою астено-вегетативних скарг, що свідчило про системний вплив наслідків ЧМТ на серцево-судинну, психоемоційну та загальну функціональну сферу, зниження працездатності та якості життя військовослужбовців.

5. Застосування стандартної програми фізичної терапії забезпечило помірно статистично значуще ( $p < 0,05$ ) покращення показників автономної регуляції, що проявлялося частковою нормалізацією функціональних проб та зростанням параметрів варіабельності серцевого ритму, однак більшість показників залишалися відхиленними від рівня умовно здорових осіб.

6. Використання розробленої комплексної програми фізичної терапії, що включала функціональне тренування, вправи з візуальним біологічним зворотним зв'язком (MotionGuidance®), баланс-тренінг на нестійких поверхнях, окуломоторні вправи, застосування еластичних еспандерів і обважнювачів, а також прогресивну м'язову релаксацію за Джейкобсоном, забезпечило статистично значуще ( $p < 0,05$ ) більш виражене покращення показників ВСП, зниження симпатикотонії, нормалізацію LF/HF та індексу Баєвського, відновлення вагусної активності та суттєве зменшення клінічних проявів вегетативної дисфункції протягом трьох місяців спостереження порівняно як з вихідними даними, так і з результатами стандартної реабілітації.

7. Отримані результати підтвердили доцільність впровадження комплексних програм фізичної терапії у систему реабілітації військовослужбовців із наслідками ЧМТ з метою нормалізації автономної регуляції, підвищення адаптаційного потенціалу, зменшення астено-вегетативної симптоматики та сприяння відновленню професійної працездатності й поверненню до військової служби.

## ЛІТЕРАТУРА

1. 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. doi:10.1038/s41398-023-02569-1
2. Chapman J.C., Diaz-Arrastia R. Military traumatic brain injury: a review. *Alzheimers Dement*. 2014. №10 (3 Suppl). S97-S104. doi:10.1016/j.jalz.2014.04.012
3. 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. doi:10.1016/S1474-4422(22)00309-X
4. Черненко І.І., Чухно І. А. Медико-соціальні наслідки перенесеної бойової черепно-мозкової травми. *International Journal of Innovative Technologies in Social Science*. 2018. №1(5). С. 26-29.
5. Rakaieva A.E., Aravitska M.G. 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*. 2024. №18(3). P. 41-50. DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1795.2024.18.3.4>
6. Pattoneri P., Tirabassi G., Pelá G., Astorri E., Mazzucchi A., Borghetti A. Circadian blood pressure and heart rate changes in patients in a persistent vegetative state after traumatic brain injury. *J Clin Hypertens (Greenwich)*. 2005. №7(12). P. 734-739. doi:10.1111/j.1524-6175.2005.04780.x
7. Pinto S.M., Wright B., Annaswamy S., et al. Heart rate variability (HRV) after traumatic brain injury (TBI): a scoping review. *Brain Inj*. 2024. №38(8). P. 585-606. doi:10.1080/02699052.2024.2328310
8. Качук 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/10.31718/2077-1096.25.25.267>
9. Кравченко К., Ліщук 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. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2025.62.25-31>
10. 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>
11. MotionGuidance®. Available at: <https://www.motionguidance.com/>
12. Hilz M.J., DeFina P.A., Anders S., et al. Frequency analysis unveils cardiac autonomic dysfunction after mild traumatic brain injury. *J Neurotrauma*. 2011. №28(9). P. 1727-1738. doi:10.1089/neu.2010.1497
13. Johnson V.E., Stewart W., Smith D.H. Axonal pathology in traumatic brain injury. *Exp Neurol*. 2013. №246. P. 35-43. doi:10.1016/j.expneurol.2012.01.013
14. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J*. 1996. №17(3). P. 354-381.
15. Thayer J.F., Lane R.D. Claude Bernard and the heart-brain connection: further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neurosci Biobehav Rev*. 2009. №33(2). P. 81-88. doi:10.1016/j.neubiorev.2008.08.004
16. Sandercock G.R., Bromley P.D., Brodie D.A. Effects of exercise on heart rate variability: inferences from meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2005. №37(3). P. 433-439. doi:10.1249/01.mss.0000155388.39002.9d
17. Manzoni G.M., Pagnini F., Castelnovo G., Molinari E. Relaxation training for anxiety: a ten-years systematic review with meta-analysis. *BMC Psychiatry*. 2008. №8. P. 41. doi:10.1186/1471-244X-8-41

## REFERENCES

1. Manzoni, G. M., Pagnini, F., Castelnovo, G., & Molinari, E. (2008). Relaxation training for anxiety: a ten-years systematic review with meta-analysis. *BMC psychiatry*, 8, 41. <https://doi.org/10.1186/1471-244X-8-41>
2. Chapman, J. C., & Diaz-Arrastia, R. (2014). Military traumatic brain injury: a review. *Alzheimer's & dementia: the journal of the Alzheimer's Association*, 10(3 Suppl), S97–S104. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2014.04.012>
3. 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)
4. Chernenko, I.I., & Chukhno, I. A. (2018). Medyko-sotsialni naslidky perenesenoj boiovoi cherepno-mozkovoї travmy [Medical and social consequences of combat traumatic brain injury]. *International Journal of Innovative Technologies in Social Science*, 1(5), 26-29. [In Ukrainian].
5. 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>
6. Pattoneri, P., Tirabassi, G., Pelá, G., Astorri, E., Mazzucchi, A., & Borghetti, A. (2005). Circadian blood pressure and heart rate changes in patients in a persistent vegetative state after traumatic brain injury. *Journal of clinical hypertension (Greenwich, Conn.)*, 7(12), 734–739. <https://doi.org/10.1111/j.1524-6175.2005.04780.x>
7. Pinto, S. M., Wright, B., Annaswamy, S., Nwana, O., Nguyen, M., Wilmoth, K., & Morales, G. (2024). Heart rate variability (HRV) after traumatic brain injury (TBI): a scoping review. *Brain injury*, 38(8), 585–606. <https://doi.org/10.1080/02699052.2024.2328310>

8. Tkachuk, A., Yesselbaieva, A., Aravitska, M., Dolzhykova, O., Morozenko, D., Babkina, O., & Danylchenko S. (2025). Sotsialni aspekty pisliaamputatsiinoi reabilitatsii viiskovosluzhbovtiv [Social aspects of post-amputation rehabilitation of military personnel.]. Aktualni problemy suchasnoi medytsyny: Visnyk Ukrainскоi medychnoi stomatolohichnoi akademii, 25(4), 267-272. <https://doi.org/10.31718/2077-1096.25.267> [In Ukrainian].
9. Kravchenko, K., & Lishchuk, V. (2025). Postkomotsiyni 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. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2025.62.25-31> [In Ukrainian].
10. 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>
11. MotionGuidance®. Available at: <https://www.motionguidance.com/>
12. Hilz, M. J., DeFina, P. A., Anders, S., Koehn, J., Lang, C. J., Pauli, E., Flanagan, S. R., Schwab, S., & Marthol, H. (2011). Frequency analysis unveils cardiac autonomic dysfunction after mild traumatic brain injury. *Journal of neurotrauma*, 28(9), 1727–1738. <https://doi.org/10.1089/neu.2010.1497>
13. Johnson, V. E., Stewart, W., & Smith, D. H. (2013). Axonal pathology in traumatic brain injury. *Experimental neurology*, 246, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2012.01.013>
14. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). *European heart journal*, 17(3), 354–381
15. Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart-brain connection: further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 33(2), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.08.004>
16. Sandercock, G. R., Bromley, P. D., & Brodie, D. A. (2005). Effects of exercise on heart rate variability: inferences from meta-analysis. *Medicine and science in sports and exercise*, 37(3), 433–439. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000155388.39002.9d>
17. Manzoni, G. M., Pagnini, F., Castelnovo, G., & Molinari, E. (2008). Relaxation training for anxiety: a ten-years systematic review with meta-analysis. *BMC psychiatry*, 8, 41. <https://doi.org/10.1186/1471-244X-8-41>

Дата першого надходження статті до видання: 26.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 08.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026