

УДК 65.825 616-036.82./85

DOI <https://doi.org/10.32782/pub.health.2025.2.18>**Нагорна Ольга Борисівна,**доктор наук з фізичного виховання та спорту, доцент,
доцент кафедри терапії та реабілітації

навчально-наукового інституту охорони здоров'я

Національного університету водного господарства та природокористування

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9834-7851>**Ярмошевич Олександр Сергійович,**

старший викладач кафедри терапії та реабілітації

навчально-наукового інституту охорони здоров'я

Національного університету водного господарства та природокористування

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5747-643X>**Романюк Олександр Романович,**

старший викладач кафедри терапії та реабілітації

навчально-наукового інституту охорони здоров'я

Національного університету водного господарства та природокористування

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5976-5915>

РОЛЬ ВЕРТИКАЛІЗАЦІЇ В РЕАБІЛІТАЦІЇ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ПІСЛЯ НЕЙРОХІРУРГІЧНИХ ВТРУЧАНЬ І НЕВРОЛОГІЧНИХ ТРАВМ

Актуальність. У контексті збройного конфлікту в Україні зростає кількість військовослужбовців із тяжкими неврологічними травмами та наслідками нейрохірургічних втручань. Одним із ключових компонентів ранньої реабілітації таких пацієнтів є вертикалізація. Своєчасне впровадження вертикалізації дає змогу зменшити ризики ускладнень, сприяє мобілізації та поліпшенню функціонального прогнозу. **Мета дослідження** – узагальнити сучасні наукові дані щодо впливу вертикалізації (пасивної, механічної, роботизованої) на фізіологічний і функціональний стан військовослужбовців із тяжкими черепно-мозковими травмами, спінальними ушкодженнями та іншими неврологічними захворюваннями на основі огляду наявної літератури та клінічного досвіду. **Матеріали та методи.** Методи дослідження: загальнонаукові методи, що ґрунтуються на аналізі наукових публікацій та даних публікацій українських і закордонних фахівців, практичних рекомендацій стосовно реабілітаційного менеджменту військовослужбовців травматичного, неврологічного профілю та терапевтичного впливу на різні компоненти патологічного стану пацієнтів. **Результати дослідження.** Реабілітація військовослужбовців після тяжких черепно-мозкових і спінальних ушкоджень, отриманих унаслідок бойового поранення, є складним процесом. Однією з критичних цілей ранньої реабілітації є запобігання ускладненням, зумовленим тривалою іммобілізацією, як-от респіраторні захворювання, периферичні проблеми тощо. Дослідження показали, що вертикалізація, наприклад, за допомогою стіл-вертикалізатора, може покращити рівень когнітивних функцій, моторного відновлення у пацієнтів з ушкодженням нервової системи. Впровадження роботизованих систем дає змогу безпечно здійснювати вертикалізацію з кроковими рухами, виконанням щоденних активностей, функціональною електростимуляцією, що додатково активує м'язи ніг і знижує ризик синкопальних станів. Ранні реабілітаційні втручання, зокрема вертикалізація, можуть знизити ці ризики й покращити результати одужання. **Висновки.** Вертикалізацію слід розглядати як пріоритетне втручання в ранніх реабілітаційних програмах для поранених військовослужбовців, що сприяє функціональному відновленню та запобіганню вторинним ускладненням після черепно-мозкових травм, ушкоджень спинного мозку, хірургічних втручань.

Ключові слова: вертикалізація, фізична терапія, військовослужбовці, черепно-мозкові травми, травми спинного мозку, нейрохірургічні втручання, ерготерапія.

Nagorna O. B., Yarmoshevis O. S., Romanyuk O. R. The role of verticalization in the rehabilitation of military personnel after neurosurgical interventions and neurological injuries

Topicality. In the context of armed conflict in Ukraine, the number of servicemen with severe neurological injuries and the consequences of neurosurgery is increasing. One of the key components of early rehabilitation of such patients is verticalization. Timely introduction of verticalization allows to reduce the risk of complications, promotes mobilization and improvement of functional prognosis. **Aim of the study** is to summarize modern scientific data on the influence of verticalization (passive, mechanical, robotic) on the physiological and functional state of servicemen with severe traumatic brain injuries, spinal injuries and other neurological diseases, based on the examination of available literature and clinical experience. **Materials and methods.** General scientific methods, based on the analysis of scientific publications

and data of publications of Ukrainian and foreign specialists, practical recommendations regarding the rehabilitation management of servicemen of traumatic, neurological profile and therapeutic impact on various components of the pathological condition of patients. **Results of the study.** The rehabilitation of military personnel after severe traumatic brain and spinal injuries caused by combat wound is a complex process. One of the critical goals of early rehabilitation is the prevention of long-term immobilization complications, such as respiratory diseases, peripheral problems, etc. Studies have shown that verticalization, for example, with a vertical table, can improve the level of cognitive functions, motor recovery in patients with damage to the nervous system. The introduction of robotic systems allows you to safely carry out verticalization with crop movements and functional electrical stimulation, which additionally activates the leg muscles and reduces the risk of syncopal conditions. Early rehabilitation interventions, including verticalization, can reduce these risks and improve recovery results. **Conclusions.** Verticalization should be considered as a priority intervention in early rehabilitation programs for wounded military personnel, contributing to functional recovery and prevention of secondary complications after traumatic brain injuries, damage to the spinal cord, surgical interventions.

Key words: verticalization, physical therapy, military personnel, traumatic brain injury, spinal cord injury, neurosurgical interventions, occupational therapy.

Вступ. Військовослужбовці з тяжкими травматичними черепно-мозковими травмами (ЧМТ) або ушкодженнями спинного мозку після різноманітних нейрохірургічних втручань часто тривалий час перебувають у горизонтальному положенні, що призводить до ризику розвитку ускладнень: гіпостатичної пневмонії, внутрішньолікарняних пролежнів, атрофії м'язів, контрактур суглобів та остеопору, зниження функціонування та виконання щоденних активностей [1]. Крім основного патологічного стану, потребують реабілітаційного менеджменту й ті проблеми, які формуються внаслідок зниженої фізичної активності після травми: ортостатична гіпотензія, порушення легеневої вентиляції, застій крові у нижніх кінцівках і підвищення ризику тромботичних ускладнень [2]. У військовослужбовців, які зазнали черепно-мозкових травм або спінальних ушкоджень, часто в поєднанні з багаточисельними травмами кінцівок і внутрішніх органів, контузією головного мозку, рання вертикалізація є невід'ємним компонентом реабілітації. Згідно з клінічними рекомендаціями, включно з останніми практичними настановами, вертикалізація пацієнтів із порушенням свідомості або тяжким мозковим ураженням рекомендована як безпечний засіб для покращення рівня когнітивних функцій та функціонального стану (рівень доказовості B) [3]. Також Калабро Р. С. та ін. (Calabro R. S. et al., 2015) доведено, що тривала вертикальна позиція з пасивним рухом ніг (наприклад, на роботизованому столі-вертикалізаторі Erigo®Pro) знижує ризик розвитку ортостатичної гіпотензії у хворих із хронічними порушеннями свідомості [4]. Це обумовлює актуальність контексту: важливість аналізу сучасних даних про вплив різних видів вертикалізації – пасивної, механічної та роботизованої – на ефективність реабілітації пацієнтів із ЧМТ та ушкодженнями спинного мозку. Незважаючи на доведену ефективність цього методу в міжнародній практиці, в Україні він залишається недостат-

ньо стандартизованим для застосування у військовій реабілітації, що визначає актуальність дослідження його ролі, показань і протоколів.

Мета дослідження – узагальнити сучасні наукові дані щодо впливу вертикалізації (пасивної, механічної, роботизованої) на фізіологічний і функціональний стан військовослужбовців із тяжкими черепно-мозковими травмами, спінальними ушкодженнями та іншими неврологічними захворюваннями на основі огляду наявної літератури та клінічного досвіду.

Методи та завдання: загальнонаукові методи (аналіз, синтез, узагальнення науково-методичних літературних джерел), що ґрунтуються на аналізі наукових публікацій, оригінальних досліджень, систематичних оглядів та клінічних настанов, даних публікацій українських і закордонних фахівців, практичних рекомендацій стосовно реабілітаційного менеджменту військовослужбовців травматичного, неврологічного профілю та терапевтичного впливу на різні компоненти стану пацієнтів: серцево-судинну систему, м'язово-скелетну систему, неврологічний статус.

Результати дослідження. Тривала іммобілізація після бойових травм часто призводить до серйозних ускладнень у військовослужбовців, включно з вегетативною дисфункцією, ортостатичною гіпотензією та вторинною саркопенією. Бонанно М. та ін. (Bonanno M. et al., 2022) вказують, що тривале перебування в горизонтальному положенні веде до значних змін у системі кровообігу та нейровегетативній регуляції. Після ушкоджень спинного мозку (УСМ) порушується функціонування симпатичної нервової системи, що спричиняє ортостатичну гіпотензію та ризик непритомності за зміни положення тіла. Подібні механізми відзначаються і в пацієнтів із тяжкими ЧМТ [5]. Цей підхід полягає у фіксації пацієнта на столі-вертикалізаторі, навіть у випадку відсутності крокових рухів пацієнта та поступовій контрольованій вертикалізації. Така пасивна

вертикалізація сприяє рівномірному навантаженню на ноги та стимуляції м'язового й кісткового корсета [5]. Вказується, що тривала пасивна вертикальна позиція запобігає розвитку контрактур суглобів, м'язовій атрофії та остеопорозу, пасивне стояння на столі-вертикалізаторі збільшує навантаження на нижні кінцівки, що може бути корисним для збереження м'язово-кісткової маси. Авторами відзначено сприятливий вплив на підтримку серцево-судинної системи, оскільки м'язи ніг, скорочуючись за вертикалізації, виконують функцію «м'язового насоса», поліпшуючи венозне повернення та знижуючи застійні явища в нижніх кінцівках. Застосування пасивної вертикалізації в ранній період інтенсивної терапії хворих із ЧМТ продемонструвало безпечність процедури й покращення неврологічних показників.

Бендер А. та ін. (Bender A. et al., 2023) зазначається, що вертикалізація – виведення пацієнта з ліжка у вертикальне положення – є важливою складовою ранньої реабілітації після тяжких ушкоджень. У публікаціях повідомляється, що раннє застосування протоколів вертикалізації у пацієнтів із тяжкими ЧМТ значно покращує короткострокові й довгострокові функціональні та неврологічні наслідки [6].

Однією з головних цілей неврологічної реабілітації пацієнтів із тяжкими розладами свідомості внаслідок черепно-мозкової травми є підвищення збудження та здатності пацієнтів до спілкування. Було показано, що мобілізація в положення стоячи за допомогою похилого стола-вертикалізатора покращує їхню щоденну активність та усвідомлення. Тому саме вертикалізація вважається ефективною і повинна застосовуватися пацієнтам із розладами свідомості на ранніх стадіях реабілітації [7; 8].

Розенфельдер М. Дж. та ін. (Rosenfelder M. J. et al., 2023) вважають, що важливим аспектом фізичної терапії та ерготерапії військовослужбовців із травмами й ушкодженнями спинного мозку є профілактика ортостатичної гіпотензії та інших вестибуло-судинних ускладнень гіподинамічних пацієнтів. Зазначається, що динамічне стояння на столі-вертикалізаторі з опорою для стопи є високоефективним методом попередження респіраторних порушень, сприяє швидшій адаптації до вертикальної пози, скорочує термін перебування у відділенні інтенсивної терапії пацієнтів після травм спинного мозку. При цьому вказується на необхідність поступового збільшення кута нахилу та тривалості вертикалізації, а також важливість використання компресійного одягу або абдомі-

нального бандажа для мінімізації осьового навантаження та тиску. Протягом періоду дослідження виявлено, що тривалість вертикалізації або мобілізації має значну позитивну кореляцію з відновленням свідомості в короткостроковій перспективі та показує статистично позитивну тенденцію через 6 місяців спостереження. Досліджено, що використання роботизованого стола-вертикалізатора з пасивними кроками було безпечним для хворих із порушенням свідомості, та встановлено, що загальний час вертикалізації корелював із покращенням свідомості ($\rho = 0,494$; $p < 0,001$), тобто саме збільшення тривалості вертикального навантаження було пов'язане з кращим відновленням у короткостроковій перспективі [9].

Систематичний огляд Фразццита Г. та ін. (Frazzitta G. et al., 2016) показав, що повторювана пасивна вертикалізація може привести до покращення рівня свідомості у хворих з ураженням головного мозку та сприятиме швидшому відновленню виконання функцій самообслуговування [10]. Водночас пасивна вертикалізація стимулює сенсорні й вестибулярні шляхи, що може покращувати рівень свідомості та когнітивних функцій. Так, в одному з рандомізованих досліджень виявили, що такий підхід у ранній період реабілітації призводить до кращого когнітивного та функціонального відновлення в пацієнтів із важким ЧМТ порівняно зі стандартною терапією [10]. У цьому дослідженні показано статистично значуще поліпшення показників шкали коми Глазго, шкали відновлення після коми, шкали оцінки інвалідності та рівнів когнітивного функціонування Ranhco в групі з вертикалізацією. Отже, пасивна вертикалізація є ефективною складовою гострої фази реабілітації, сприяючи профілактиці ускладнень і поліпшенню результатів. Автори демонструють, що впровадження протоколу вертикалізації вже на 3–4-ту добу після тяжкої ЧМТ підвищує шанси на відновлення свідомості та поліпшує функціональні показники в довгостроковій перспективі. Важливо, що в групі пацієнтів, яким проводилася вертикалізація, не спостерігалось небезпечних гемодинамічних коливань чи ускладнень.

Рокка А. та ін. (Росса А. et al., 2016) проаналізовано, що в процесі ранньої мобілізації у пацієнтів відділень інтенсивної та середньої ланки з тяжкими черепно-мозковими травмами виникає «порочне коло»: пацієнтам призначають тривалий ліжковий режим для підтримки адекватного мозкового кровотоку, особливо у випадку субарахноїдального крововиливу, що, зі свого боку, може спричинити ризик вторинного пошко-

дження мозку через виникнення відстроченого вазоспазму та набряку, тобто тривалий ліжковий режим несе ризики чисельних ускладнень. Дослідження підтвердило, що використання вертикалізатора Erigo є ефективним методом мобілізації та може вважатися безпечною системою ранньої мобілізації цих пацієнтів [11].

Також із метою оцінки та кількісного визначення змін, які пов'язані з частотою серцевих скорочень та артеріальним тиском за функціонального відновлення, постуральними параметрами, здатністю до ходьби та психоемоційними реакціями, Дауноравічене К. та ін. (Daunoraviciene K. et al., 2018) розглядалася необхідність ранньої вертикалізації пацієнтів із травмами головного та спинного мозку. Досліджено, що на ранніх етапах реабілітації використання вертикалізатора Erigo було безпечним та ефективним для покращення ортостатичної толерантності, постави й позитивних емоційних реакцій у пацієнтів із травмою спинного мозку ($p < 0,05$) у пацієнтів із травмою спинного мозку [12].

При розладах свідомості Де Лука Р. та ін. (De Luca R. et al., 2024) вважають вертикалізацію ефективним видом лікування для покращення рухового й когнітивного відновлення. Спеціальні функції та програмування вертикалізатора, адаптованого до індивідуальних потреб пацієнта, може сприяти його унікальному впливу на реакції та функціонування головного мозку [13].

Роботизована вертикалізація (екзоскелети й роботизовані тренажери) Шін М. Дж., Лі Х. Дж., Со Х. Дж. (Shin M. J., Lee H. J., Seo H. J., 2018) розглядається як засіб, який забезпечує активне вертикальне навантаження й виконання крокових рухів у вдосконаленому форматі. До них належать роботизовані платформи на зразок Erigo Pro і «ходунки» Innowalk, а також переносні екзоскелети (ReWalk, Indego, Ekso, HANK тощо), які дають можливість пацієнту не лише стояти, а й ходити. Застосовуються у практиці та досліджуються у випробуваннях роботизовані тренажери-вертикалізатори, як-от електричні столи з можливістю робити кроки (Erigo Pro, Hybrid Assistive Limb (HAL), Alter G), які активно контролюють рухи ніг, дають змогу точно дозувати кут нахилу та частоту кроків. Це запобігає патологічному зниженню артеріального тиску і надає можливість тренувати пацієнтів із тяжкими неврологічними станами. Також широко використовуються й досліджуються екзоскелети: портативні апарати, що одягаються на ноги та тулуб [14].

Дослідження Гіль-Агудо А. та ін. (Gil-Agudo A. et al., 2023) показало, що тренування ходи з використанням екзоскелета HANK у пацієнтів із неповним ушкодженням спинного мозку привело до значущого покращення показників незалежності під час ходьби (WISCI-II) без серйозних побічних ефектів. У цій рандомізованій роботі 15 сесій годинної терапії з HANK суттєво поліпшили здатність до ходьби в групі інтервенції, тоді як контрольна група без екзоскелета суттєвих змін не показала. Це демонструє, що роботизовані мобільні пристрої безпечні, добре переносяться пацієнтами та можуть розширювати можливість вертикалізації: регулярні сеанси стояння (щоденно по 30–60 хвилин) та активної ходьби. Рекомендовано оптимально розпочинати поступовий підйом з урахуванням життєвих показників пацієнта та в разі потреби застосовувати допоміжні засоби: функціональну електростимуляцію, компресійний трикотаж тощо [15].

Таким чином, роботизовані технології доповнюють традиційні методи: Erigo Pro і схожі пристрої дають змогу об'єднати в одній процедурі вертикалізацію з активацією м'язів, а екзоскелети – вивести пацієнта на рівень амбулаторного тренування ходьби. Незважаючи на те що прямих порівнянь «роботизовані вертикалізатори та класичні методи» у дослідженнях поки що мало, наявні дані свідчать про корисність таких технологій та підходів. Зокрема, загальна рекомендація полягає в тому, що вертикалізацію слід виконувати як мінімум на рівні доказовості «В», що свідчить про сильну експертну рекомендацію для всіх пацієнтів з ураженнями ЦНС через низький ризик ускладнень й можливі переваги.

Висновки. Вертикалізація пацієнтів із черепно-мозковими травмами, спінальними ушкодженнями та патологічними неврологічними станами сприяє профілактиці таких ускладнень, як ортостатична гіпотензія, атрофія м'язів, остеопороз, пролежні, та прискоренню ефективних реабілітаційних результатів.

Пасивна вертикалізація є простим і безпечним методом, що покращує артеріальну стійкість та ініціює адаптацію організму до стояння. Вона допомагає зменшити ризик ускладнень і може застосовуватися вже в гострому періоді травми. У дослідженнях такі протоколи покращували рівень свідомості та неврологічний відновний потенціал порівняно з консервативною терапією. Упровадження роботизованих засобів розширює можливості вертикалізації: вони дають змогу безпечно одночасно стимулювати

м'язи нижніх кінцівок і проводити тренування ходьби, відновлювати можливість самообслуговування. Клінічні випробування показали безпеку й ефективність таких технологій у покращенні ходьби в неврологічних травмованих пацієнтів. Незважаючи на обмеженість великих

багатоцентрових досліджень, доступні докази вказують на значний потенціал вертикалізації у підвищенні результатів фізичної терапії та ерготерапії.

Інформація про конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Bohannon R.W., Green M.D. Neurologic and musculoskeletal effects of tilt-table standing on adults: A systematic review. *Journal of Physical Therapy Science*. 2021. Vol. 33 (9). P. 700–706. <https://doi.org/10.1589/jpts.33.700>.
2. World Federation of the Societies of Intensive and Critical Care Medicine (WFICC). Humanity & Inclusion Ukraine. Retrieved from URL: <https://www.wficc.com/>.
3. Craven C.T.D., Gollee H., Coupaud S., Purcell M.A., Allan D.B. Investigation of robotic-assisted tilt-table therapy for early-stage spinal cord injury rehabilitation. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. 2013. Vol. 50 (3). P. 367–378. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2012.02.0027>.
4. Calabrò R.S., Naro A., Russo M., Leo, A., Balletta T., Saccà I., Bramanti P. Do post-stroke patients benefit from robotic verticalization? A pilot-study focusing on a novel neurophysiological approach. *Restorative Neurology and Neuroscience*. 2015. Vol. 33 (5). P. 671–681. <https://doi.org/10.3233/RNN-140475>.
5. Bonanno M., De Luca R., De Nunzio A.M., Quartarone A., Calabrò R.S. Innovative Technologies in the Neurorehabilitation of Traumatic Brain Injury: A Systematic Review. *Brain Sci*. 2022. Vol. 12 (12). 1678. [10.3390/brainsci12121678](https://doi.org/10.3390/brainsci12121678).
6. Bender A., Eifert B., Rubi-Fessen I., Jox R.J., Maurer-Karattup P., Müller F. The neurological rehabilitation of adults with coma and disorders of consciousness. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2023. Vol. 120 (37). P. 605–612. <https://doi.org/10.3238/ARZTEBL.M2023.0159>.
7. Liu Z., Zhang X., Yu B., Wang J., Lu, X. Effectiveness on level of consciousness of non-invasive neuromodulation therapy in patients with disorders of consciousness: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013. Vol. 17. 1129254. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1129254>.
8. Krewer C., Luther M., Koenig E., Müller F. Tilt table therapies for patients with severe disorders of consciousness: A randomized, controlled trial. *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10 (12), e0143180. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143180>.
9. Rosenfelder M.J., Helmschrott V.C., Willacker L., Einhüpl B., Raiser T.M., Bender A. Effect of robotic tilt table verticalization on recovery in patients with disorders of consciousness: A randomized controlled trial. *Journal of Neurology*. 2023. Vol. 270. P. 1721–1734. <https://doi.org/10.1007/s00415-022-11508-x>.
10. Frazzitta G., Sebastianelli L., Zarucchi A., Matteri D., Ercoli G., Maestri R., et al. Effectiveness of a very early stepping verticalization protocol in severe acquired brain injured patients: A randomized pilot study in ICU. *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11 (5), e0158030. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158030>.
11. Rocca A., Pigna, J.M., Berney L., Jöh, J., Van de Ville D., Danie, R.T., et al. Sympathetic activity and early mobilization in patients in intensive and intermediate care with severe brain injuries: A preliminary prospective randomized study. *BMC Neurology*. 2016. Vol. 16 (1). 169. <https://doi.org/10.1186/s12883-016-0684-2>.
12. Daunoraviciene K., Adomaviciene A., Svirskis D., Griškevičius J., Juocevicius A. Necessity of early-stage verticalization in patients with brain and spinal cord injuries: Preliminary study. *Technology and Health Care*. 2018. Vol. 26 (S2). P. 613–623. <https://doi.org/10.3233/THC-182508>.
13. De Luca R., Gangemi A., Bonanno M., Fabio R.A., Cardile D., Maggio M.G., et al. Improving neuroplasticity through robotic verticalization training in patients with minimally conscious state: A retrospective study. *Brain Sciences*. 2024. Vol. 14 (4). P. 319. <https://doi.org/10.3390/brainsci14040319>.
14. Shin M.J., Lee H.J., Seo H.J. Amount of weight-bearing during tilt table inclination, with neutral and unilateral knee flexion postures. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2018. Vol. 42 (2). P. 315–321. <https://doi.org/10.5535/arm.2018.42.2.346>.
15. Gil-Agudo Á., Megía-García Á., Pons J.L., Sinovas-Alonso I., Comino-Suárez N., Lozano-Berrio V., Del-Ama A.J. Exoskeleton-based training improves walking independence in incomplete spinal cord injury patients: Results from a randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2023. Vol. 20 (1). P. 36. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01158-z>.

REFERENCES:

1. Bohannon, R.W., Green, M.D. (2021). Neurologic and musculoskeletal effects of tilt-table standing on adults: A systematic review. *Journal of Physical Therapy Science*, 33 (9), 700–706. <https://doi.org/10.1589/jpts.33.700> [in English].
2. World Federation of the Societies of Intensive and Critical Care Medicine (WFICC). Humanity & Inclusion Ukraine. Retrieved from. Retrieved from: <https://www.wficc.com/> [in English].
3. Craven, C.T.D., Gollee, H., Coupaud, S., Purcell, M.A., Allan, D.B. (2013). Investigation of robotic-assisted tilt-table therapy for early-stage spinal cord injury rehabilitation. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 50 (3), 367–378. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2012.02.0027> [in English].
4. Calabrò, R.S., Naro, A., Russo, M., Leo, A., Balletta, T., Saccà, I., Bramanti, P. (2015). Do post-stroke patients benefit from robotic verticalization? A pilot-study focusing on a novel neurophysiological approach. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 33 (5), 671–681. <https://doi.org/10.3233/RNN-140475> [in English].

5. Bonanno, M., De Luca, R., De Nunzio, A.M., Quartarone, A., Calabrò, R.S. (2022). Innovative Technologies in the Neurorehabilitation of Traumatic Brain Injury: A Systematic Review. *Brain Sci.*, 12 (12), 1678. <https://doi.org/10.3390/brainsci12121678> [in English].
6. Bender, A., Eifert, B., Rubi-Fessen, I., Jox, R.J., Maurer-Karattup, P., Müller, F. (2023). The neurological rehabilitation of adults with coma and disorders of consciousness. *Deutsches Ärzteblatt International*, 120 (37), 605–612. <https://doi.org/10.3238/ARZTEBL.M2023.0159> [in English].
7. Liu, Z., Liu Z., Zhang X., Yu B., Wang J., Lu, X. (2013). Effectiveness on level of consciousness of non-invasive neuro-modulation therapy in patients with disorders of consciousness: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1129254. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1129254> [in English].
8. Krewer, C., Luther, M., Koenig, E., Müller, F. (2015). Tilt table therapies for patients with severe disorders of consciousness: A randomized, controlled trial. *PLoS ONE*, 10 (12), e0143180. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143180> [in English].
9. Rosenfelder, M.J., Helmschrott, V.C., Willacker, L., Einhäupl, B., Raiser, T.M., Bender A. (2023). Effect of robotic tilt table verticalization on recovery in patients with disorders of consciousness: A randomized controlled trial. *Journal of Neurology*, 270, 1721–1734. <https://doi.org/10.1007/s00415-022-11508-x> [in English].
10. Frazzitta, G., Sebastianelli, L., Zarucchi, A., Matteri, D., Ercoli, G., Maestri, R., et al. (2016). Effectiveness of a very early stepping verticalization protocol in severe acquired brain injured patients: A randomized pilot study in ICU. *PLoS ONE*, 11(5), e0158030. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158030> [in English].
11. Rocca, A., Pigna, J.M., Berney, L., Jöh, J., Van de Ville, D., Danie, R.T., et al. (2016). Sympathetic activity and early mobilization in patients in intensive and intermediate care with severe brain injuries: A preliminary prospective randomized study. *BMC Neurology*, 16 (1), 169. <https://doi.org/10.1186/s12883-016-0684-2> [in English].
12. Daunoraviciene, K., Adomaviciene, A., Svirskis, D., Griškevičius, J., Juocevicius, A. (2018). Necessity of early-stage verticalization in patients with brain and spinal cord injuries: Preliminary study. *Technology and Health Care*, 26 (S2), 613–623. <https://doi.org/10.3233/THC-182508> [in English].
13. De Luca, R., Gangemi, A., Bonanno, M., Fabio, R.A., Cardile, D., Maggio, M.G., et al. (2024). Improving neuro-plasticity through robotic verticalization training in patients with minimally conscious state: A retrospective study. *Brain Sciences*, 14 (4), 319. <https://doi.org/10.3390/brainsci14040319> [in English].
14. Shin, M.J., Lee, H.J., Seo, H.J. (2018). Amount of weight-bearing during tilt table inclination, with neutral and unilateral knee flexion postures. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 42 (2), 315–321. <https://doi.org/10.5535/arm.2018.42.2.346> [in English].
15. Gil-Agudo, Á., Megía-García, Á., Pons, J.L., Sinovas-Alonso, I., Comino-Suárez, N., Lozano-Berrio, V., Del-Ama, A.J. (2023). Exoskeleton-based training improves walking independence in incomplete spinal cord injury patients: Results from a randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 20 (1), 36. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01158-z> [in English].



Отримано: 21.07.2025
Рекомендовано: 26.08.2025
Опубліковано: 29.12.2025