

Ю. В. ЗАВІДНЮК, Т. Г. БАКАЛЮК, А. І. ЦВЯХ, І. Р. КОПИТЧАК, Ю. О. ГРУБАР,  
О. В. ДЕНЕФІЛЬ

## ОЦІНКА СИСТЕМИ ЗВОРОТНОЇ РЕАКЦІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОСТУРАЛЬНОГО БАЛАНСУ У ПАЦІЄНТІВ ІЗ МІННО-ВИБУХОВОЮ ТРАВМОЮ

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України,  
м. Тернопіль, Україна

**Мета:** оцінити вплив фізичної терапії на основні компоненти забезпечення постурального балансу у пацієнтів із мінно-вибуховою травмою.

**Матеріали і методи.** Дослідження проводилися на стабілоплатформі з біологічним зворотним зв'язком ТУМО (Tugomotion). Обстежено 20 пацієнтів, котрі отримали поранення нижніх кінцівок із порушенням цілісності кісткової тканини. Діагностика проводилася на етапі вертикалізації пацієнта та можливості осьового навантаження ураженої кінцівки. Оцінка співвідношення впливу на постуральний баланс зорового, вестибулярного та соматосенсорного компонентів проводилася перед початком двотижневої реабілітаційної програми (включала мобілізацію суглобів та м'яких тканин; відновлення амплітуди рухів; кінезотерапію; терапію порушених функцій балансу; відновлення патерну ходи; корекцію елементів моторної активності; медичне терапевтичне тренування; механотерапію; інструментальні методи мобілізації м'яких тканин; терапію порушених функцій балансу із застосуванням стабілоплатформи) та після її закінчення.

**Результати.** При оцінці компонент зворотної реакції у пацієнтів із мінно-вибуховою травмою до лікування виявлено, що у них переважав соматосенсорний компонент, який перевищував вестибулярний компонент на 22,7 % ( $p < 0,05$ ), а візуальний компонент – на 35,2 % ( $p < 0,001$ ). Візуальний компонент виявився найменшим.

Після лікування відмічено достовірне зменшення соматосенсорного компонента на 10,1 % ( $p < 0,001$ ), достовірне зростання візуального компонента на 6,6 % ( $p < 0,01$ ) і зростання вестибулярного – на 6,3 % ( $p > 0,05$ ), яке виявилось статистично недостовірним. У пацієнтів переважав соматосенсорний компонент, який перевищував вестибулярний компонент на 3,8 % ( $p > 0,05$ ), а візуальний компонент – на 14,1 % ( $p < 0,02$ ). Візуальний компонент був меншим, ніж вестибулярний, на 9,9 % ( $p < 0,05$ ).

**Висновки.** Мінно-вибухова травма спричинює розлади постурального балансу, що відображається дисбалансом у розподілі компонент зворотної реакції: зростає вклад соматосенсорного компонента, зменшується – візуального. Лікування приводить до зменшення вкладу соматосенсорного компонента. Оптимальним методом для моніторингу лікувального ефекту медичної реабілітації при дисфункції опорно-рухового апарату виявилася стабілометрія.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** мінно-вибухова травма; реабілітація; система зворотного зв'язку; стабілометрія; баланс-тест; стабілоплатформа; якість життя; здоров'я.

Постава описує орієнтацію будь-якого сегмента тіла відносно вектора гравітації. Ефективна координація рухів і рівноваги передбачає складну взаємодію сенсорної та опорно-рухової систем. Для оцінки положення тіла центральна нервова система отримує інформацію для аналізу та подальшої реакції за рахунок трьох основних компонентів: візуального, вестибулярного та соматосенсорного [6, 10]. Лікарі часто використовують аналіз результатів постурального контролю, щоб оцінити ризик травми, початкові дефіцити балансу внаслідок травми та рівень покращення після втручання з приводу травми. Постуральний контроль і рівновагу можна згрупувати в статичні та динамічні категорії. Статичні завдання з постурального контролю вимагають від людини вста-

новлення стабільної опори та збереження цього положення, мінімізуючи рухи сегментів і тіла під час оцінювання. Ці оцінки можна проводити за допомогою інструментального обладнання, такого, як стабілоплатформа, або надійних валідних клінічних шкал [7].

У здійсненні акту стояння важливе значення мають імпульси, які виникають у кінестетичному і зоровому аналізаторах, завдяки яким відбувається цілий ряд рефлексорних реакцій і досягається збереження рівноваги тіла. Середній період коливань характеризує лабільність (функціональну рухливість) кінестетичного аналізатора і швидкість його функціонування. Амплітуда ж коливань залежить від збуджуваності кінестетичного аналізатора. Навіть при, здавалося б, стій-

кому стоянні спостерігається безупинне коливання тіла, яке має рефлекторне походження. Що менше коливань і менша їх амплітуда, то стійкіше стояння, тобто більш постійний характер має тонус мускулатури, який підтримує рівновагу тіла при стоянні [5].

Усі вищевказані параметри зазнають патологічних змін у пацієнтів із наслідками черепно-мозкових травм, зокрема спричиненими вибуховою травмою, і, звичайно, після поранень нижніх кінцівок, котрі призводять до виражених проблем із сенсорним контролем пози та порушення стабільності [1, 3, 8, 9].

Багато досліджень знаходять кореляції між вибуховою травмою, пораненнями кінцівок, порушенням балансу та посттравматичним стресовим розладом, причому ці розлади можуть тривати дуже тривалий час після отримання поранення [2, 3, 9].

**Мета роботи:** оцінити вплив фізичної терапії на основні компоненти забезпечення постурального балансу у пацієнтів із мінно-вибуховою травмою.

**Матеріали і методи.** Дослідження проводилося на стабілоплатформі з біологічним зворотним зв'язком TYMO (Tugomotion) за сприяння проекту REHAV програми Еразмус+ на базі Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України. Обстежено 20 пацієнтів, котрі отримали поранення нижніх кінцівок із порушенням цілісності кісткової тканини. Діагностика проводилася на етапі вертикалізації пацієнта та можливості осьового навантаження ураженої кінцівки. Оцінка співвідношення впливу на постуральний баланс зорового, вестибулярного та соматосенсорного компонентів проводилася перед початком двотижневої реабілітаційної програми та після її закінчення. Вона включала:

- мобілізацію суглобів та м'яких тканин;
- відновлення амплітуди рухів;
- кінезотерапію;
- терапію порушених функцій балансу;
- відновлення патерну ходи;
- корекцію елементів моторної активності;
- медичне терапевтичне тренування;
- механотерапію;
- інструментальні методи мобілізації м'яких тканин;
- терапію порушених функцій балансу із застосуванням стабілоплатформи.

Статистичну обробку цифрових даних здійснювали за допомогою програмного забезпечення

програми BioStat, AnalystSoft Inc. (ліцензійна версія комп'ютерної програми BioStat, AnalystSoft Inc., версія 6 (США)). Обрахунки проводили за допомогою непараметричних методів для двох залежних вибірок – критерію Уїлкоксона, визначали середнє арифметичне ( $M$ ), стандартну похибку середнього арифметичного ( $\sigma$ ). Відмінність між середніми арифметичними величинами вважали достовірною при значенні  $p \leq 0,05$ .

**Результати дослідження та їх обговорення.** Система зворотної реакції (візуальний, вестибулярний, пропріоцептивний (соматосенсорний) компоненти) обраховується у відсотках, оскільки система зворотної реакції прийнята за 100 %, тому кожна її компонента, відповідно, також подається у відсотках. У здорових людей вважається, що теоретично кожен із цих компонентів повинен дорівнювати 33 %.

При оцінці компонент зворотної реакції у пацієнтів із мінно-вибуховою травмою до лікування (табл. 1, рис. 1) виявлено, що у них переважав соматосенсорний компонент, який перевищував вестибулярний компонент на 22,7 % ( $p < 0,05$ ), а візуальний компонент – на 35,2 % ( $p < 0,001$ ). Візуальний компонент виявився найменшим, що вказувало на порушення функціонування центральної нервової системи або зорового аналізатора, що могло бути спричинене у пацієнтів мінно-вибуховою травмою, а також контузією. Дисбаланс очевидно спричинений підвищенням впливу соматосенсорного компонента, що вказує на гіпертонус м'язів нижніх кінцівок. Він забезпечує у поранених підтримання постурального балансу в умовах статички.

Соматосенсорний компонент забезпечується функціонуванням трьох основних видів структурно і функціонально різних пропріорецепторів – м'язових веретен, сухожильних та суглобових рецепторів. М'язові веретена складаються з кількох поперечно-посмугованих інтрафузальних м'язових волокон, котрі кріпляться до сполучнотканинної оболонки (перимізія) пучка екстрафузальних м'язових волокон, тому при розслабленні м'язів рецептори розтягуються, що веде до їх збудження. Укладені в сполучнотканинну капсулу сухожилкові рецептори (тільця Гольджі) послідовно розташовуються в сухожиллях скелетних м'язів, у зв'язку з чим подразнення рецепторів виникає при їх натягу. При складних рухових актах, наприклад ходьбі, синхронізовані скорочення м'язів – згиначів однієї ноги та розгиначів іншої також забезпечуються надходженням аферентних ім-

Таблиця 1. Показники оцінки зворотної реакції за результатами баланс-тесту у пацієнтів із мінно-вибуховою травмою, %,  $M \pm \delta$ ,  $n=20$

Група спостереження	Показник		
	візуальний компонент	вестибулярний компонент	соматосенсорний компонент
До лікування	28,95 $\pm$ 3,10	31,90 $\pm$ 3,04	39,15 $\pm$ 5,00
Після лікування	30,85 $\pm$ 1,50	33,90 $\pm$ 1,37	35,20 $\pm$ 1,40
Достовірність	$p < 0,01$	$p > 0,05$	$p < 0,001$

пульсів від м'язових та сухожильних рецепторів і, відповідно, почерговим збудженням та гальмуванням центрів згиначів та розгиначів. Поряд із проблемами сенсорної інтеграції часто повідомляють про труднощі з межами стабільності. Межі стабільності стосуються нашої здатності цілеспрямовано переміщувати наш центр ваги до країв нашої основи опори, не роблячи кроку чи не дотягуючись до опори, щоб запобігти падінню [4].

Очевидно, поранення кінцівок спричинило зростання соматосенсорного компонента зворотної реакції, що, з одного боку, було спричинене неповним відновленням функціонування м'язів, а з другого – було пов'язано із порушенням м'язо-

во-нервових рефлексів і збільшувало час проведення від пропріорецепторів до спинного мозку.

Після лікування (табл. 1, рис. 2) у пацієнтів відзначено достовірне зменшення соматосенсорного компонента на 10,1 % ( $p < 0,001$ ), достовірне зростання візуального компонента на 6,6 % ( $p < 0,01$ ) і зростання вестибулярного – на 6,3 % ( $p > 0,05$ ), яке виявилось статистично недостовірним.

При оцінці компонент зворотної реакції у пацієнтів із мінно-вибуховою травмою після лікування виявлено, що у них переважав соматосенсорний компонент, який перевищував вестибулярний компонент на 3,8 % ( $p > 0,05$ ), а візуальний компонент – на 14,1 % ( $p < 0,02$ ). Ві-



Рис. 1. Розподіл компонент зворотної реакції за результатами баланс-тесту у хворих із мінно-вибуховою травмою до лікування.



Рис. 2. Розподіл компонент зворотної реакції за результатами баланс-тесту у хворих із мінно-вибуховою травмою після лікування.

зуальний компонент був меншим, ніж вестибулярний, на 9,9 % ( $p < 0,05$ ). Результати вказували на значне покращення розподілу компонент зворотної реакції у хворих із мінно-вибуховою травмою після лікування. Особливо показовим є зменшення соматосенсорного компонента, що вказувало на відновлення функціонування опорно-рухового апарату нижніх кінцівок, нормалізацію тону м'язів. Зростання візуального компонента вказувало на відновлення рефлексорної діяльності головного мозку, покращення нервової імпульсації від зорового аналізатора, покращення нервової провідності та сприйняття.

### Висновки

Мінно-вибухова травма спричинює розлади постурального балансу, що відображається дисбалансом у розподілі компонент зворотної реакції: зростає вклад соматосенсорного компонента, зменшується – візуального. Лікування приводить до зменшення вкладу соматосенсорного компонента. Оптимальним методом для моніторингу лікувального ефекту медичної реабілітації при дисфункції опорно-рухового апарату виявилася стабілометрія.

**Перспективи подальших досліджень** будуть спрямовані на вивчення впливу фізичної терапії на основні компоненти забезпечення постурального балансу у пацієнтів з іншими видами травм.

### Список літератури

1. Місюра В. Б. Стан балансу, функціональної рухливості та біомеханічні параметри ходьби чоловіків 25–42 років із наслідками бойової травми / В. Б. Місюра // Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. – 2023. – Вип. 2 (160). – С. 129–133.
2. *Characterizing effects of mild traumatic brain injury and posttraumatic stress disorder on balance impairments in blast-exposed servicemembers and Veterans using computerized posturography* / J. R. Wares, K. W. Hoke, W. Walker [et al.] // *Journal of Rehabilitation Research & Development*. – 2015. – Vol. 52 (5). – P. 591–603. DOI 10.1682/JRRD.2014.08.0197.
3. *Chronic effects of breaching blast exposure on sensory organization and postural limits of stability* / F. J. Haran, C. Zampieri, E. M. Wassermann [et al.] // *Journal of occupational and environmental medicine*. – 2021. – Vol. 63 (11). – P. 944–950. DOI 10.1097/JOM.0000000000002266.
4. *Effects of postural threat on perceptions of lower leg somatosensory stimuli during standing* / T. W. Cleworth, R. M. Peters, R. Chua [et al.] // *Front. Neurosci.* – 2023. – Vol. 17. DOI 10.3389/fnins.2023.1191976.
5. *Impaired postural control of axial segments in children with cerebral palsy* / J. Pierret, S. Caudron, J. Paysant, C. Beyaert // *Gait Posture*. – 2021. – Vol. 86. – P. 266–272. DOI 10.1016/j.gaitpost.2021.03.012.
6. *Postural control and balance in a cohort of healthy people living in Europe: An observational study* / A. Patti, A. Bianco, N. Şahin [et al.] // *Medicine*. – 2018. – Vol. 97 (52). DOI 10.1097/MD.00000000000013835.
7. *Testing postural control among various osteoporotic patient groups: a literature review* / M. H. de Groot, H. C. van der Jagt-Willems, J. P. van Campen [et al.] // *Geriatr. Gerontol. Int.* – 2012. – Vol. 12 (4). – P. 573–585. DOI 10.1111/j.1447-0594.2012.00856.x.
8. *The Vestibular Effects of Repeated Low-Level Blasts* / P. D. Littlefield, R. L. Pinto, H. L. Burrows, D. S. Brungart // *J. Neurotrauma*. – 2015. – Vol. 33 (1). – P. 71–81. DOI 10.1089/neu.2014.3824.
9. *Ubiquitin Carboxy-Terminal Hydrolase-L1 as a Serum Neurotrauma Biomarker for Exposure to Occupational Low-Level Blast* / W. Carr, A. M. Yarnell, R. Ong [et al.] // *Front. Neurol.* – 2015. – Vol. 6. DOI 10.3389/fneur.2015.00049.
10. *Weight-shifting-based robot control system improves the weight-bearing rate and balance ability of the static standing position in hip osteoarthritis patients: a randomized controlled trial focusing on outcomes after total hip arthroplasty* / S. Miyazaki, G. Yamako, H. Arakawa [et al.] // *PeerJ*. – 2023. – Vol. 11. DOI 10.7717/peerj.15397.

### References

1. Misyura, V.B. (2023). Stan balansu, funkcionalnoji rukhlivosti ta biomekhanichni parametry khodby cholovikiv 25–42 rokov iz naslidkamy bojovoji travmy [The state of balance, functional mobility and biomechanical walking parameters of men aged 25–42 with the consequences of combat trauma]. *Naukovyj chasopys NPU imeni M.P. Drahomanova – Scientific journal of the M.P. Drahomanov NPU*, 2(160), 129-133 [in Ukrainian].
2. Wares, J.R., Hoke, K.W., Walker, W., Franke, L.M., Cifu, D.X., Carne, W., & Ford-Smith, C. (2015). Characterizing effects of mild traumatic brain injury and posttraumatic stress disorder on balance impairments in blast-exposed servicemembers and Veterans using computerized posturography. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 52(5), 591-603. DOI 10.1682/JRRD.2014.08.0197.
3. Haran, F.J., Zampieri, C., Wassermann, E.M., Polejaeva, E., Dell, K.C., LoPresti, M.L., ... Carr, W. (2021). Chronic effects of breaching blast exposure on sensory organization and postural limits of stability. *Journal of occupational and environmental medicine*, 63(11), 944-950. DOI 10.1097/JOM.0000000000002266.
4. Cleworth, T.W., Peters, R.M., Chua, R., Inglis, J.T., & Carpenter, M.G. (2023). Effects of postural threat on perceptions of lower leg somatosensory stimuli during standing. *Front. Neurosci.*, 17. DOI 10.3389/fnins.2023.1191976.
5. Pierret, J., Caudron, S., Paysant, J., & Beyaert, C. (2021). Impaired postural control of axial segments in children with cerebral palsy. *Gait Posture*, 86, 266-272. DOI 10.1016/j.gaitpost.2021.03.012.
6. Patti, A., Bianco, A., Şahin, N., Sekulic, D., Paoli, A., Iovane, A., ... Palma, A. (2018). Postural control and balance in a cohort of healthy people living in Europe: An observational study. *Medicine*, 97(52). DOI 10.1097/MD.00000000000013835.

7. de Groot, M.H., van der Jagt-Willems, H.C., van Campen, J.P., Lems, W.F., & Lamoth, C.J. (2012). Testing postural control among various osteoporotic patient groups: a literature review. *Geriatr. Gerontol. Int.*, 12(4), 573-585. DOI 10.1111/j.1447-0594.2012.00856.x.
8. Littlefield, P.D., Pinto, R.L., Burrows, H.L., & Brungart, D.S. (2015). The Vestibular Effects of Repeated Low-Level Blasts. *J. Neurotrauma*, 33(1), 71-81. DOI 10.1089/neu.2014.3824.
9. Carr, W., Yarnell, A.M., Ong, R., Walilko, T., Kamimori, G.H., da Silva, U., ... LoPresti, M.L. (2015). Ubiquitin Carboxy-Terminal Hydrolase-L1 as a Serum Neurotrauma Biomarker for Exposure to Occupational Low-Level Blast. *Front. Neurol.*, 6. DOI 10.3389/fneur.2015.00049.
10. Miyazaki, S., Yamako, G., Arakawa, H., Sakamoto, T., Kawaguchi, T., Ito, K., & Chosa, E. (2023). Weight-shifting-based robot control system improves the weight-bearing rate and balance ability of the static standing position in hip osteoarthritis patients: a randomized controlled trial focusing on outcomes after total hip arthroplasty. *PeerJ.*, 11. DOI 10.7717/peerj.15397.

## EVALUATION OF THE FEEDBACK SYSTEM FOR PROVIDING POSTURAL BALANCE IN PATIENTS WITH MINE EXPLOSIVE INJURY

Yu. V. Zavidnyuk, T. H. Bakalyuk, A. I. Tsvyakh, I. R. Kopytchak, Yu. O. Grubar, O. V. Denefil  
I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine

**Purpose:** to assess the impact of physical therapy on the main components of ensuring postural balance in patients with a mine-explosive injury.

**Materials and Methods.** The studies were performed on a stable platform with biofeedback TYMO (Tyromotion). 20 patients who received injuries of the lower limbs with a violation of the integrity of the bone tissue were examined. The diagnosis was carried out at the stage of verticalization of the patient and the possibility of axial loading of the affected limb. The assessment of the ratio of the impact on the postural balance of the visual, vestibular and somatosensory components was carried out before the start of the two-week rehabilitation program (included mobilization of joints and soft tissues; restoration of the amplitude of movements; kinesiotherapy; therapy of impaired balance functions; restoration of the gait pattern; correction of elements of motor activity; medical therapeutic training; mechanotherapy; instrumental methods of mobilizing soft tissues; therapy of impaired balance functions using a stable platform) and after its completion.

**Results.** When evaluating the components of the reverse reaction in patients with a mine-explosive injury before treatment, it was found that the somatosensory component prevailed in them, which exceeded the vestibular component by 22.7 % ( $p < 0.05$ ), and the visual component by 35.2 % ( $p < 0.001$ ). The visual component turned out to be the smallest,

After treatment, there was a significant decrease in the somatosensory component by 10.1 % ( $p < 0.001$ ), a significant increase in the visual component by 6.6 % ( $p < 0.01$ ) and an increase of 6.3 % ( $p > 0.05$ ), which turned out to be statistically unreliable. In patients, the somatosensory component prevailed, which exceeded the vestibular component by 3.8 % ( $p > 0.05$ ), and the visual component by 14.1 % ( $p < 0.02$ ). The visual component was smaller than the vestibular component by 9.9% ( $p < 0.05$ ).

**Conclusions.** Mine-explosive injury causes disorders of postural balance, which is reflected by an imbalance in the distribution of the components of the feedback reaction: the contribution of the somatosensory component increases, and the visual component decreases. Treatment leads to a decrease in the contribution of the somatosensory component. Stabilometry turned out to be the optimal method for monitoring the therapeutic effect of medical rehabilitation for musculoskeletal dysfunction.

**KEY WORDS:** mine-explosive injury; rehabilitation; feedback system; stabilometry; balance test; stability platform; quality of life; health.

*Рукопис надійшов до редакції 03.10.2023.*

### Відомості про авторів:

**Завіднюк Юрій Вікторович** – доктор філософії, асистент кафедри медичної реабілітації Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України; тел.: +38(068) 475-41-15.

**Бакалюк Тетяна Григорівна** – докторка медичних наук, професорка, професорка кафедри медичної реабілітації Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України; тел.: +38(098) 836-41-64.

**Цвях Андрій Іванович** – доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри травматології та ортопедії з військово-польовою хірургією Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України; тел.: +38(067) 504-14-99.

**Копитчак Ігор Романович** – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри травматології та ортопедії з військово-польовою хірургією Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України; тел.: +38(067) 273-48-65.

**Грубар Юрій Омелянович** – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри травматології та ортопедії з військово-польовою хірургією Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України; тел.: +38(096) 945-18-77.

**Денефіл Ольга Володимирівна** – докторка медичних наук, професорка, завідувачка кафедри патологічної фізіології Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України; тел.: +38(097) 853-69-18.