

Савельєв М. А.

**Використання комп'ютерної стабілометрії для діагностики уражень ОРА військовослужбовців ЗСУ після вибухової травми (контузії), травм хребта та в реабілітації і контролі за її ефективністю (аналітичний огляд наукової літератури)**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Saveliev M. A.

**The use of computer stabilometry for the diagnosis of MSA lesions of servicemen of the Armed Forces of Ukraine after explosive trauma (contusion), spinal cord injuries and in rehabilitation and monitoring its effectiveness (analytical review of scientific literature)**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,  
Kyiv, Ukraine

[cdsms63@gmail.com](mailto:cdsms63@gmail.com)

**Вступ**

Внаслідок агресивної політики росії та війни, яку розв'язала росія на території України, з'явилася велика кількість поранених та травмованих військовослужбовців і цивільних, які мають травми хребетного стовпа та нижніх кінцівок. Додатково, в даний час, в умовах безперервного збільшення швидкості та інтенсивності транспортних потоків відбувається, як це показує статистика, значне збільшення транспортного травматизму [14]. Велика травматизація людей під час бойових дій вимагає від медицини направляти значні інтелектуальні та матеріальні ресурси на відновлення поранених і травмованих. Тому на даний момент найбільш актуальним є розробка і використання нових засобів та створення нових технологій лікування спінальних хворих, хворих з травмами опорно-рухового апарату (ОРА) та технологій їх реабілітації. Перспективність та необхідність розробки подібних засобів та технологій засновано на результатах дослідження механізмів управління локомоцією людини. Локомоторні тренування з використанням пасивно-примусових рухів, які імітують кроки людини, і здійснюються пацієнтом за допомогою фізичного терапевта, сприяють відновленню рухової активності у спінальних пацієнтів, та у пацієнтів з травмами нижніх кінцівок. Оснащення реабілітаційних центрів електронними та біомехатронними системами підвищує ефективність призначених лікувальних дій. Такі системи повинні включати системи зворотного зв'язку, для корекції та вимірювання реабілітаційних впливів на організм пацієнта.

Комп'ютерна стабілометрія, (як одна із технологій) дає змогу досліджувати і відновлювати опорно-рухову систему людини, яка зазнала ураження під час бойових дій. Цей метод має широкий спектр застосування: діагностику, оцінювання відновлення функцій опорно-рухового апарату за умов протезування, діагностику вестибулярних порушень, обґрунтування критеріїв реабілітації хворих з травмами хребта та спинного мозку, для уточнення й оптимізації режиму рухової активності.

**Мета дослідження** полягає у науковому обґрунтуванні та розробці технології для діагностики уражень ОРА поранених після вибухових травм, та уражень хребта за допомогою комп'ютерної стабілометрії з метою забезпечення можливості оцінки і тестування відновлення ОРА після реабілітаційних втручань.

**Об'єкт, матеріали і методи дослідження**

Матеріалами дослідження стали аналіз літератури з акубаротравми (контузії) отриманої під час бойових дій та методи і технології використання стабілометричних досліджень. Також опрацьована література з спинномозкової травми та патології хребта у військовослужбовців. Проведено аналіз літератури по використанню стабілометрії в постурології та дослідженнях неврологічних порушень у клінічній картині поперекового остеохондрозу та травм хребта. В ході дослідження використано бібліосемантичний метод та метод структурно-логічного аналізу.

### Результати дослідження та їх обговорення

Акубаротравма, або більш звичний термін – контузія, це бойова травма, яка є наслідком дії вибухової хвилі на організм людини [20]. Термін похідний від «Аку» – пошкодження внутрішнього вуха, зазнає від надлишкового тиску і потужної звукової хвилі. Акубаротравма призводить не тільки до порушення слуху. Вибухова хвиля завдає травмування усьому тілу, включаючи різноманітні переломи кісток, і порушує цілісність основи скелета. Під час війни складно назвати точну цифру людей, які зазнавали контузії, зокрема через те, що ця травма перш за все наносить ураження нервовій системі, і її не завжди одразу діагностують. 75% випадків бойових травм супроводжуються контузією головного мозку. Контузію військовослужбовці отримують втричі частіше ніж інші бойові поранення. Ця патологія є надзвичайно тяжкою, і не всі військовослужбовці одразу визнають її як травму [12, 20].

Ще один наслідок контузії – це листові травми ший – відносно нова травма шийного відділу хребта. Ця травма активно почала поширюватись у зв'язку з розвитком залізничного та автомобільного транспорту [14]. Викликається кінетичною енергією, яка передається на область ший під час різкого гальмування або прискорення транспортного засобу. Під час вибухової хвилі голова несподівано смикається або перерозгинається назад, вперед, чи вбік, перевантажуючи і напружуючи зв'язки та м'язи в ділянці ший [11, 12].

У людини є універсальна реакція на небезпеку, інстинктивна за своєю природою [19]. Стресова реакція, яка відбувається раз за разом при виникненні загрози, викликає активацію м'язів, і зазвичай закінчується залишковою напруженістю, також стресова реакція змінює стан скелетних м'язів людини і їх здатність функціонувати. Методика release (відпускання) напруженості в цих м'язах дає значний сприятливий терапевтичний ефект [19].

Специфікою бойових дій для військових є необхідність тривалий час перебувати в засобах захисту та носити на собі чималу вагу спорядження. Такі тривалі перевантаження хребта при надлишковій масі тіла, перенесенні вантажів, довгому сидінні, порушують дифузію в хребцях. Значні одноразові або хронічні навантаження на хребет, також пов'язані з неправильними біомеханічними рухами (під час підйому та перенесення вантажів), тривале перебування у положеннях із нахилом тіла вперед або перекручуванням попереку й тулуба, нахилом уперед ший й голови, провисання ший в період сну, зумовлюють неоднакову напругу на окремі ділянки хребта та його структур. Постійна мікротравматизація хребта й навколишніх тканин при надмірних рухах, вібрації, ударах, падіннях, зіскоках, викликають ділянки запалення, а внаслідок цього погіршується живлення клітин і з'являються вирости на хребцях, структурні та функціональні зміни в рухливих сегментах хребта [5, 13]. Постійний психоемоційний стрес переходить в хронічний, і викликає тонічні

судоми, спазми скелетних м'язів, а тому впливає на живлення м'язових і сполучнотканинних структур [19]. Це все призводить до травм, захворювань хребта та всього опорно-рухового апарату військовослужбовця. Сюди може додаватися зайва вага, вікові зміни, спадкові захворювання опорно-рухового апарату, недостатня кількість вітамінних комплексів в організмі, грибові, вірусні, або паразитарні захворювання, надмірні фізичні навантаження, які негативно впливають на боєздатність військовослужбовців [4].

Симптоми захворювання опорно-рухового апарату: виражені болі в спині, суглобах; німіють пальці на руках і ногах; пацієнти часто ламають кістки; недостатній розвиток м'язових тканин; викривлення хребта; порушення рухливості суглобів; захворювання опорно-рухового апарату у людей старшої вікової групи проявляються болем в ногах, в стопах, зменшується тактильна чутливість.

Відомо, що після травми або захворювання спинного мозку людини відбуваються доволі серйозні функціональні зміни опорно-рухового апарату. Тому захворювання опорно-рухової системи вважаються провідним фактором інвалідності. Вони чинять негативний вплив на розвиток моторики, зменшують рухливість, стають причиною недієздатності людини, зменшують можливості виконання соціальних функцій. Дуже часто такі люди втрачають здатність до самостійного пересування [5, 12, 13, 17].

Серед дегенеративно-дистрофічних захворювань опорно-рухової системи остеохондроз хребта є найпоширенішим. Це призводить до зменшення фізичної активності, виробляється так званий больовий стереотип поведінки, що призводить до вираженого скорочення рухових можливостей, а також розвитку депресивного синдрому, погіршення якості життя [17].

Хребет з біомеханічної точки зору подібний до кінестетичного ланцюга, що складається з окремих ланок. Кожен хребець зчленується із сусідніми у трьох точках. Вигини хребта обумовлені активною силою м'язів, зв'язками та формою самих хребців. Це необхідно для підтримки стійкої рівноваги без зайвої витрати м'язової сили. При остеохондрозі активність різних груп м'язів значно змінюється, щоб забезпечити фіксовану позу поперекового відділу хребта. У нормі відношення парціального центру тяжіння до загального центру тяжіння розташоване по одній вертикальній осі, а при остеохондрозі парціальний центр тяжіння зміщується вперед і вбік. При цьому виникають порушення рівноваги [13, 15].

У людини існують нейрональні локомоторні мережі, які названі генераторами крокальних рухів, і локалізовані вони в області другого поперекового сегмента спинного мозку [24, 25].

Об'єктивна діагностика порушень постави та рівноваги у хворих на вертеброгенний больовий синдром є актуальним завданням, оскільки в цей період їх корекція найбільш ефективна. Найбільш визнаним інструментальним методом діагностики порушень

рівноваги та постави нині є комп'ютерна стабілометрія [6, 15, 16].

Стабілометрія – це метод реєстрації проекції загального центру мас тіла (ЗЦМ) на площину опори та його коливань у положенні обстежуваного стоячи, а також при виконанні різних діагностичних тестів. У ряді випадків метод застосовується при використанні різних положень тіла обстежуваного, включаючи положення сидячи та лежачи [35].

Стабілометрія – один із базових методів клінічного та фундаментального наукового напрямку, відомого як постурологія [35].

Власне термін «posture» у перекладі з французької чи англійської – поза, положення тіла. Більш точно термін «posture» має значення як фізичне розташування, розміщення тіла, приведення в порядок його частин та сегментів [2].

Як наука, постурологія займається вивченням процесів збереження, управління та регуляції балансу тіла при його різних положеннях та виконанні рухів у нормі та патології. У клінічній практиці найбільше використовується дослідження балансу обстежуваного саме у положенні основної стійки. Пов'язано це, перш за все, з тим, що таке дослідження технічно суттєво простіше і водночас дозволяє отримати значну кількість клінічно цінної інформації. Підтримка рівноваги, тобто, балансу тіла при стоянні – процес динамічний. Тіло людини, що стоїть, робить практично невидимі, іноді добре помітні коливальні рухи у різних площинах. Характеристика коливань (їхня амплітуда, частота, напрямок, а так само середнє положення в проекції на площину опори) є чутливими параметрами, що відображають стан різних систем, включених у підтримку балансу [2].

Баланс в основній стійці – активний процес, в якому беруть участь багато функціональних систем організму: опорно-рухова, центральна і периферична нервова системи. Серед органів чуття необхідно особливо виділити пропріорецептивну та зорову системи, які фізіологічно несуть основне навантаження; вестибулярний апарат; до регуляції процесу балансу тіла підключаються інші органи та системи. Навіть із цього короткого списку видно, що тестування процесу балансу тіла в основній стійці може дати інформацію про функціональний стан значної частини опорно-рухової та сенсорних систем [2].

Комп'ютерна стабілометрія є ефективним методом об'єктивної діагностики неврологічних проявів поперекового остеохондрозу. Стабілометричні показники цієї категорії хворих достовірно відрізняються від статистичної норми. Основні відмінності виражаються у значному збільшенні стабілометричних показників, таких як: «Середнє положення центру тиску», «Площа» та «Довжина» [2, 35].

Критеріями ефективності терапії ОРА, що проводиться, є зміни стабілометричних показників, які об'єктивно і достовірно відображають динаміку перебігу захворювання за значеннями параметрів стабілограм

до і після лікування. Ефективність лікування, що проводиться, відображається в змінах окремих стабілометричних параметрів рухового акту, у тому числі, при підтримці рівноваги у вертикальній стійці [2].

Комп'ютерна стабілометрія проявляє чітку залежність результатів дослідження від ступеня виразності неврологічних порушень у клінічній картині поперекового остеохондрозу та травм хребта. Методика комп'ютерної стабілометрії дозволяє здійснювати об'єктивну діагностику та контроль ефективності терапії, що проводиться, при різних клінічних формах остеохондрозу поперекового відділу та травм хребта. Метод комп'ютерної стабілометрії доцільно використовувати для кількісної оцінки рухових порушень у пацієнтів з поперековим остеохондрозом, з травмами хребта, які призводять до порушення постави, оскільки він дозволяє об'єктивно оцінити наявність та ступінь змін основної стійки [2].

Також після травми потрібний своєчасний тактильний вплив на стопи ніг людини. Цей вплив полягає у здійсненні їх безперервної та спеціалізованої рецепторної активації протягом тривалого часу, починаючи від можливого найбільш раннього моменту після отримання травми. Така активація полягає у навантаженні на опорну поверхню стопи, імітуючи зусилля, що виникають при нормальній ходьбі. Лікувальний ефект такого спеціального тактильного впливу на стопи ніг, полягає у відновленні локомоторних здібностей спинного мозку [30, 32, 33].

Подібний пристрій, що забезпечує активацію рецепторів і нервових закінчень стопи в умовах, близьких до природної ходьби, оснащений можливістю імітації крокальних рухів, для реабілітації колінного суглоба людини було створено в Болгарії Лідією Ілієвою-Мітуцовой (рис. 1) [27, 28].

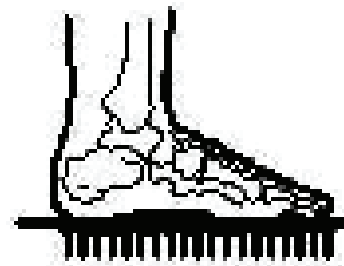


Рис. 1. Активація рецепторів і нервових закінчень стопи після травми [27]

На стопі людини є активні області опорної поверхні стопи, через які можна впливати на порушені при спинномозковій травмі вегетативні функції, вплив на існуючий в організмі людини окремий рефлекторний механізм, у вигляді так званої, шкірно-вісцеральної («шкірно-внутрішньої») дуги, відповідальної, за існуюче на шкірі точкове відображення стану внутрішніх органів організму людини (відцентрова «шкірна» гілка дуги), і можливість пресотерапії або електротерапії цих внутрішніх органів (відцентрова «вісцеральна» гілка дуги) [36].



Якщо мануальна терапія стоп паралізованих ніг здатна [10], справляти необхідний позитивний ефект в умовах травматичного порушення нервових шляхів, то можливо припустити, що у реабілітації пацієнта можуть певною мірою брати участь і ті шкірно-вісцеральні рефлекторні шляхи, які, можливо, не порушені травмою. Вплив на акупунктурні зони, які відображаються на зонах пресорефлексотерапії стоп ніг (рис. 2), можна використовувати в реабілітаційних вправах, разом з аферентною інформацією барорецепторів підшовної поверхні стоп, пропріорецепторами області стопи та гомілковостопного суглоба. З рисунку випливає, що стопі людини притаманна дуже велика кількість акупунктурних зон, які відповідають за органи і зони людського тіла.



Рис. 2. Акупунктурні зони на стопі людини [38]

В даний час в мануальній медицині залишається актуальним питання диференціальної діагностики стійкої зміни локального, так і системного м'язового тону. У постурології, (область остеопатії), фіксують функціональний зв'язок систем підтримки вертикального положення тіла з одного боку, і постури, або м'язового тону тіла з іншого. Так постурологія звертає увагу на велику роль аферентної інформації барорецепторів підшовної поверхні стоп та пропріорецепторів області стопи та гомілковостопного суглоба на функцію динамічної підтримки вертикального положення тіла людини в положенні стоячи [7, 25].

Дослідження впливу пропріорецепції та барорецепції стоп на постуральну рівновагу проводилися de Matthews, de Eklund та de Roll, de Cyon, de Baron, de Meyer, Tokumasu та de Roll [21, 22, 23, 30].

Стопа є одним із ключових аферентних полів постуральної системи та, одночасно, її ефекторною ланкою. При регуляції постуральної рівноваги тіла насамперед відбувається зміна тону великомілкових і камбалоподібних м'язів, після чого до них приєднуються короткі м'язи стопи, а потім залучається решта м'язів тіла.

Нейрофізіологічний механізм рефлексу підтримки вертикального положення тіла складається з таких елементів: рецепторний апарат, аферентні нервові волокна пропріо і барорецептори, інтегруюча система – медіальний (задній) поздовжній пучок, вестибулоспінальний шлях, м'язи.

На швидке зміщення центру тяжкості реагують тільця Пачіні та тільця Мейснера. Про статичний розподіл навантаження інформація надходить від барорецепторів, що повільно адаптуються, – дисків Меркеля [37].

Аферентна інформація рецепторів стопи є важливим елементом постуральної системи. У положенні стоячи відбувається постійний контроль вертикального становища. Цей пошук рівноваги прямостоячої людини виявляється у коливаннях малої амплітуди. Ця механічна модель подібна до перевернутого маятника. Точка фіксації цього маятника розташовується на рівні кісточок. Тоді як у області верхівки голови спостерігається максимальна амплітуда коливань. У більш дорослому віці центр постуральних коливань (перевернутий маятник) піднімається від рівня гомілковостопних суглобів до кульшових [6].

Серед методів, які активно розвиваються останнім часом в медицині, можна відзначити метод стабілометрії – це метод реєстрації проекції загального центру мас тіла (ЗЦМ) на площину опори та його коливань у положенні обстежуваного стоячи, а також при виконанні різних діагностичних тестів. У ряді випадків метод застосовується при використанні різних положень тіла обстежуваного, включаючи положення сидячи та лежачи.

Стабілометрія як метод реєстрації спонтанних рухів центру тяжкості тіла ортостатично розташованого пацієнта дозволяє об'єктивізувати постійне зміщення вертикальної проекції центру ваги відносно горизонтальної площини опори [15,16].

Стабілометрія – базовий метод постурології. Власне термін «posture» у перекладі з французької чи англійської – поза, положення тіла. Більш точно термін «posture» має значення як фізичне розташування, розміщення тіла, приведення в порядок його частин та сегментів.

Як наука постурологія займається вивченням процесів збереження, управління та регуляції балансу тіла при його різних положеннях та виконанні рухів у нормі та патології. У клінічній практиці найбільше залишається затребуваним дослідження балансу обстежуваного саме у положенні основної стійки. Пов'язано це, перш за все, з тим, що таке дослідження технічно суттєво простіше і водночас дозволяє отримати значну кількість клінічно цінної інформації. Підтримка рівноваги, тобто балансу тіла при стоянні – процес динамічний [15,16].

Справді, баланс в основній стійці – активний процес, в якому беруть участь багато функціональних систем організму: опорно-рухова, центральна і периферична нервова системи. Серед органів чуття необхідно особливо виділити пропріорецептивну та зорову системи, які фізіологічно несуть основне навантаження; має значення також і вестибулярний апарат; у певних випадках до регуляції процесу балансу тіла підключаються інші органи та системи. Навіть із цього короткого списку видно, що тестування процесу балансу

тіла в основній стійці може дати інформацію про функціональний стан значної частини опорно-рухової та сенсорних систем.

Існує ще одне застосування стабілометрії як безпосередньо лікувального методу на основі біологічного зворотного зв'язку (БЗЗ). Разом із БЗЗ використовується і термін біоуправління. Біоуправління можна визначити, як комплекс ідей, методів та технологій, що базуються на принципах БЗЗ та спрямованих на розвиток та вдосконалення механізмів саморегуляції фізіологічних функцій при різних патологічних станах. Реєстрований параметр (положення ЦТ та його коливання) виводяться у різному вигляді на екран монітора або викликають зміни зорового та звукового супроводу на мультимедійному моніторі. Таким чином, пацієнт у процесі роботи на такому тренажері керує рухами свого тіла, що відбивається на екрані комп'ютера. Пацієнт починає виконувати роль ігрового маніпулятора [15, 16].

Робота на БЗЗ тренажері передбачає наявність у пацієнта позитивної мотивації, що створюється найчастіше за допомогою ігрових завдань. У процесі тренування відбувається усвідомлене чи несвідоме навчання вольової зміни тренуваної функції. Для рухових параметрів сенс БЗЗ тренування навіть за недостатності, наприклад, пропріорецептивної сфери залишається очевидним, ніж при багатьох прихованих фізіологічних параметрах.

Найбільш простими методами реабілітації є тренажери рівноваги. Це спеціальні комп'ютерні програми біологічного зворотного зв'язку, засновані на візуалізації положення центру тиску або управління певними діями за допомогою переміщення людиною, що навчається. Основний напрямок тренажерних програм – розвиток різних спеціалізованих навичок координації балансувальних рухів в основній стійці. У ході роботи на тренажерах рівноваги вирішуються завдання відновлення, розвитку опороспроможності кінцівки та інші завдання, пов'язані з управління рухами тіла

та його балансу. Крім того, хворий вирішує рухові завдання, пов'язані з точністю руху, часу руху (досягнення мети до певного часу), стабілізацію руху (утримання центру тиску у певній зоні заданий час).

Один із дослідників (Furman J. M.) [26] зазначає, що стабілометрія в більшості випадків не дає можливості визначити етіологію або локалізацію пошкодження, проте це функціональне дослідження допомагає з'ясувати стан вестибулярного апарату та опорно-рухової системи, проводити спрямоване лікування та дозволяє клініцисту правильно вибрати лікування та консультувати пацієнта.

### Перспективи подальших досліджень

Планується проводити дослідження за допомогою стабілометрії ушкоджень постуральної системи у людей з травмами хребта та після вибухової травми (контузії). Також плануються дослідження і аналіз впливу локомоторних вправ на відновлення ОРА людей з травмами хребта, зокрема тих, хто переміщується на кріслі колісному.

### Висновки

Завдяки аналізу літератури і методик, які використовуються в стабілометрії, визначено напрям подальших стабілометричних досліджень ушкоджень постуральної системи у людей після вибухової травми (контузії) та людей з травмами хребта, зокрема тих, які переміщуються на кріслі колісному. Виконані стабілометричні дослідження допоможуть визначити, які з локомоторних вправ найбільш ефективні для лікування наслідків вибухової травми, травми хребта, та ефективно стабілізують м'язовий корсет людини, зокрема у людини, яка переміщується на кріслі колісному, навчити її правильному розташуванню, і раціональному керуванню кріслом колісним, що корисно в реабілітації, побуті та паралімпійському спорті.

### Література

1. Козьолкін ОА, Ревенько АВ, Медведкова СО. Анатомо-фізіологічні основи уражень нервової системи. Синдромологія уражень нервової системи. Топічна діагностика : навч.-метод. посіб. для самостійної роботи лікарів-інтернів неврологів, сімейних лікарів : у 2-х ч. Ч. 1. Запоріжжя : ЗДМУ; 2020; 103 с.
2. Бочков ПН. Постурологія у фізичній реабілітації осіб із порушеннями опорно-рухового апарату. Науковий вісник Південноукраїнського національного педагогічного університету імені К. Д. Ушинського. 2018; 1:12-16.
3. Валецька Р, Петрик О. Остеохондроз, профілактика, застосування лікувальної фізичної культури. Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві : збірник наукових праць. 2015;4(55):145-150.
4. Волошин ВО, Тітов ВО, Шевченко ІФ. Первинна інвалідність військовослужбовців: динаміка показників, кластери її профілактики та зниження. Ukrainian Journal of Military Medicine. 2022; 3(1):34-40. DOI: 10.46847/ujmm.2022.1(3)-034.
5. Гресько ІВ. Оцінка структурних змін хребтових сегментів у хворих на поперековий остеохондроз з порушеннями рухового стереотипу з використанням методів променевої діагностики. Acta medica Leopoliensia. 2019; 25(1):49-55.
6. Гур'янов ВГ, Лях ЮС, Парій ВД, Короткий ОВ, Чалий ОВ, Чалий КО, Цехмістер ЯВ. Посібник з біостатистики. Аналіз результатів медичних досліджень у пакеті EZR (R–statistics). Київ: Вістка; 2018; 208 с.
7. Дубогай ОД. Методика фізичного виховання студентів спеціальної медичної групи: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Луцьк : Східно-європ. нац. ун-т ім. Лесі Українки; 2012; 276 с.
8. Іпатов АВ, Сергієні ОВ, Войтчак ТГ. Інвалідність як інтегрований показник стану здоров'я населення України: монографія. Дніпропетровськ: «Пороги»; 2002. 341 с.
9. Костюк МІ, Мазур НВ. Аналіз виникнення основних психофізіологічних механізмів стресу в працях видатних науковців. Grail of Science. 2023; 25:407–412. DOI: 10.36074/grail-of-science.17.03.2023.071.

10. Козьолкін ОА, Дарій ВІ, Сікорська МВ, Візір ІВ. Фізична терапія в нейрореабілітації. Навчально-методичний посібник для викладачів. Запоріжжя: Запорізький державний медичний університет; 2020.
11. Коваленко О, Притико Н. Синдром хронічної церебральної венозної дисфункції та дегенеративно-дистрофічні зміни шийного відділу хребта: анатомо-фізіологічне підґрунтя коморбідності. *Клінічна та профілактична медицина*. 2023; 1(23):43-49. DOI: 10.31612/2616-4868.1(23).2023.07.
12. Коваленко ОС, Мачерет ЄЛ, Галуша АІ. Віддалені неврологічні наслідки легких вертебральних травм. *Здоров'я України*. 2011; (2):9-11.
13. Колесниченко ВА, Гресько ІВ. Клінічна характеристика хворих на поперековий остеохондроз з порушенням рухового стереотипу. *Вісник проблем біології і медицини*. 2019; (1,1):125-128.
14. Корж МО, Танькут ВО, Ступенко ВВ. Стратегічні напрямки профілактики дорожньо-транспортного травматизму. Харків. URL: <https://www.researchgate.net/publication/323014428>
15. Лях ЮС, Вихованець ЮГ, Остапенко ВІ, Гур'янов ВГ, Черняк АМ. Стабілометричні критерії в прогнозуванні функціональних станів людини. *Клінічна інформатика і телемедицина*. 2012;(8,9):24-29.
16. Лях Ю, Усова О, Романюк А, Мельничук В, Лях М, Антипов А. Комп'ютерна стабілометрія в оцінці функціонального стану людини. Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві. 2019; 2(46):66-72. DOI: 10.29038/2220-7481-2019-02-66-72.
17. Мачерет ЄЛ, Коваленко ОС. Етіопатогенетичні аспекти ранніх проявів остеохондрозу. *Зб. наукових праць співробітників КМАПО ім. П. Л. Шупика*. 2002;11(2):706-711.
18. Макарова Е, Башкін І. Ефективність програм фізичної реабілітації в пацієнтів із постуральними й локомоторними порушеннями. *Молодіжний науковий вісник*. 2012.
19. Мушкевич В. Психологічні чинники переживання стресу військовослужбовцями. *Психологічні перспективи*. 2019; 34:119-136. DOI: 10.29038/2227-1376-2019-34-119-136.
20. Сорокіна КО, Козлова ЮВ. Вибух, як фактор ураження головного мозку. *Матеріали: XV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених з міжнародною участю Актуальні питання клінічної медицини (19 листопада 2021 р.)*. Запоріжжя: Державний заклад Запорізька медична академія післядипломної освіти Міністерства охорони здоров'я України. 2021; 287-288. URL: <http://repo.dma.dp.ua/id/eprint/7310>.
21. Цапенко ВВ, Терещенко МФ. Цифрова біометрична система дослідження патологічних станів стопи, Міжнародна науково-технічна конференція – Актуальні проблеми автоматизації та приладобудування, Харків, 2017, 89-90.
22. Цапенко ВВ, Терещенко МФ. Метод дослідження біомеханічних параметрів стопи людини. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2018; 29:51-59.
23. Цапенко В, Терещенко М. Критерії опорних характеристик стопи людини. *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.* 2022; 63(1):89-99. DOI: 10.20535/1970.63(1).2022.260655.
24. Barker R., Barasi S., Neal M. *Neuroscience at glance*. Blackwell, 2008.
25. Eckert H, Dvorak DR. The centrifugal horizontal cells in the lobula plate of the blowfly *Phaenicia sericata*. *J Insect Physiol.* 1983;29:547-560.
26. Furman JM, Marcus DA, Balaban CD. Vestibular migraine: clinical aspects and pathophysiology. *Lancet Neurol.* 2013; 12(7):706-15. DOI: 10.1016/S1474-4422(13)70107-8.
27. Mitutsova L, Delchev K, Vitkov V, Chavdarov I, Yaroshevsky V, Serbenjuk N, Nikitin O. Biomechanical system for scientific-experimental study of the regeneration of the spinal cord locomotion capabilities after traumatic break. *Proceed. of Intern. Conf. «PRAKTRO 2007»*. Varna. 2007 June 12-15.
28. Mitutsova L. Biomechanical control of the rehabilitation of a knee joint after trauma. *Proceed. of Conf. Biomechanics of Man* 96. 1996:131-134.
29. McGill S. *Low Back Disorders*. Canada, 2002.
30. Neumann D., *Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation*, 3rd ed. St. Louis, Missouri: Mosby. 2016; 784 p.
31. Barker A, Barasi S. *Neuroscience at a Glance*, 3rd ed. (with neuropharmacology by M. J. Neal). Oxford : Blackwell Publishing. 2008. Ebrahim GJ. *Journal of Tropical Pediatrics*. 2009; 55(1):65. DOI: 10.1093/tropej/fmn058.
32. Qian Z, Ren L, Ding Y, Hutchinson J, Ren L. A dynamic finite element analysis of human foot complex in the sagittal plane during level walking. *PLoS ONE*, 2013; 8(11). DOI: 10.1371/journal.pone.0079424.
33. Shih Y, Chen C, Lin H. Lower extremity kinematics in children with and without flexible flatfoot: a comparative study. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2012; 13(1):13-31. DOI:10.1186/1471-2474-13-31.
34. Whittle MW. *Gait analysis: An introduction*. Edinburgh: Butterworth Heinemann, 2011.
35. Стабілометрія. URL: <https://inpn.org.ua/methods/36>
36. Корисні поради. URL: <https://nastanova.com/>
37. Українська бібліотека LibreTexts URL: <https://ukrayinska.libretexts.org/>
38. Здорова стопа. URL: <https://stopa.te.ua>

## References

1. Kozolkin OA, Revenko AV, Medvedkova SO. *Anatomo-fiziologichni osnovy urazhen nervovoi systemy. Syndromolohiia urazhen nervoi systemy. Topichna diahnozyka : navchalno-metodychnyi posibnyk dlia samostiinoi roboty likariv-interniv nevrolohiv, simeinykh likariv [Anatomical and physiological basis of lesions of the nervous system. Syndromology of lesions of the nervous system. Topical diagnosis: educational and methodological manual for independent work of interns of neurologists, family doctors]: in 2 parts. Part 1. Zaporizhzhia: ZDMU; 2020. 103 p. (in Ukrainian).*



2. Bochkov PN. Posturolohiia u fizychnii reabilitatsii osib iz porushenniamy oporno-rukhooho aparatu. Naukovyi visnyk Pivdenoukraiinskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Ushynskoho [Posturology in the physical rehabilitation of persons with disorders of the musculoskeletal system. Scientific bulletin of the South Ukrainian National Pedagogical University named after Ushinsky]. Odesa: SUNPU named after Ushinsky. 2018; 1:12-16 (in Ukrainian).
3. Valetska R, Petryk O Osteokhondroz, profilaktyka, zastosuvannia likuvalnoi fizychnoi kultury [Osteochondrosis, prevention, application of physical therapy]. Fizychno vykhovannia, sport i kultura zdorovia u suchasnomu suspilstvi: zbirnyk naukovykh prats. 2015;4(55):145-150 (in Ukrainian).
4. Voloshyn VO, Titov VO, Shevchenko IF. Pervynna invalidnist viiskovosluzhbovtziv: dynamyka pokaznykiv, klasteri yii profilaktyky ta znyzhennia [Primary disability of servicemen: dynamics of indicators, clusters of its prevention and reduction]. Ukrainian Journal of Military Medicine. 2022; 3(1):34-40. DOI:10.46847/ujmm.2022.1(3)-034.
5. Hresko IV. Otsinka strukturnykh zmin khrebtovykh segmentiv u khvorykh na poperekovyi osteokhondroz z porushenniamy rukhooho stereotypu z vykorystanniam metodiv promenevoi diagnostyky [Evaluation of structural changes in the spinal segments in patients with lumbar osteochondrosis with motor stereotype disorders using radiation diagnostics methods]. Acta medica Leopoliensia. 2019; 25(1):49-55 (in Ukrainian).
6. Hurianov VH, Liakh YuLe, Parii VD, Korotkyi OV, Chalyi OV, Chalyi KO, Tsekhmister YaV. Posibnyk z biostatystyky. Analiz rezultativ medychnykh doslidzhen u paketi EZR (R–statistics) [Analysis of medical research results in the EZR package (R-statistics)]. Kyiv: Vistka; 2018. 208 s (in Ukrainian).
7. Dubohai OD. Metodyka fizychnoho vykhovannia studentiv spetsialnoi medychnoi hrupy: navch. posib. dlia stud. vshch. navch. zakl. [Methods of physical education of students of a special medical group: a textbook for students of higher educational institutions]. Lutsk : Skhidno-yevrop. nats. un-t im. Lesi Ukrainky; 2012. 276 p (in Ukrainian).
8. Ipatov AV, Serhiienii OV, Voitshak TH. Invalidnist yak intehrovanyi pokaznyk stanu zdorovia naseleння Ukrainy: monohrafiia [Disability as an integrated indicator of the state of health of the population of Ukraine: monograph]. Dnipropetrovsk: Porohy, 2002. 341 p (in Ukrainian).
9. Kostiuk MI, Mazur NV. Analiz vynykennia osnovnykh psykhofiziologichnykh mekhanizmiv stresu v pratsiakh vydatnykh naukovtsiv [Analysis of the emergence of the main psychophysiological mechanisms of stress in the works of outstanding scientists]. Grail of Science. 2023. 25:407–412. DOI: 10.36074/grail-of-science.17.03.2023.071 (in Ukrainian).
10. Kozolkin OA, Darii VI, Sikorska MV, Vizir IV. Fizychna terapiia v neiroreabilitatsii. Navchalno-metodychnyi posibnyk dlia vykladachiv [Physical therapy in neurorehabilitation. Educational and methodological manual for teachers]. Zaporizhia : Zaporizhia State Medical University. 2020 (in Ukrainian).
11. Kovalenko O, Prytyko N. Syndrom khronichnoi tserebralnoi venoznoi dysfunksii ta degeneratyvno-dystrofichni zminy shyinoho viddilu khrehta: anatomo-fiziologichne pidgruntia komorbidnosti [Chronic cerebral venous dysfunction syndrome and degenerative-dystrophic changes in the cervical spine: anatomical and physiological basis of comorbidity]. Klinichna ta profilaktychna medytsyna. 2023; 1(23):43-49. DOI: 10.31612/2616-4868.1(23).2023.07 (in Ukrainian).
12. Kovalenko Ole, Macheret YeL, Halusha AI. Viddaleni nevrolohichni naslidky lehkykh vertebralnykh travm [Long-term neurological consequences of mild vertebral injuries]. Zdorovia Ukrainy. 2011;(2):9-11 (in Ukrainian).
13. Kolesnychenko VA, Hresko IV. Klinichna kharakterystyka khvorykh na poperekovyi osteokhondroz z porushenniam rukhooho stereotypu [Clinical characteristics of patients with lumbar osteochondrosis with impaired motor stereotype]. Visnyk problem biolohii i medytsyny. 2019; 1(1):125-128 (in Ukrainian).
14. Korzh MO, Tankut VO, Yehupenko VV. Stratehichni napriamky profilaktyky dorozhno-transportnoho travmatyzmu [Strategic directions for the prevention of traffic injuries], Kharkiv. URL: <https://www.researchgate.net/publication/323014428> (in Ukrainian).
15. Liakh YuLe, Vykhovanets YuH, Ostapenko VI, Hurianov VH, Cherniak AM. Stabilometrychni kryterii v prohnozuvanni funktsionalnykh staniv liudyny [Stabilometric criteria in the prediction of human functional states]. Klinichna informatyka i telemedytsyna. 2012; (8,9):24-29 (in Ukrainian).
16. Liakh Yu, Usova O, Romaniuk A, Melnychuk V, Liakh M, Antypov A. Kompiuterna stabilometriia v otsintsi funktsionalnoho stanu liudyny. Fizychno vykhovannia, sport i kultura zdorovia u suchasnomu suspilstvi [Computer Stabilometry in the Assessment of Functional State of Humans. Physical Education, Sport and Health Culture in Modern Society]. 2019; 2(46):66-72. DOI: 10.29038/220-7481-2019-02-66-72 (in Ukrainian).
17. Macheret YeL, Kovalenko Ole. Etiopatohetychni aspekty rannikh proiaviv osteokhondrozu [Etiopathogenetic aspects of early manifestations of osteochondrosis]. Zb. naukovykh prats spivrobotnykiv KMAPO im. P. L. Shupyka. 2002;11(2):706-711 (in Ukrainian).
18. Makarova E, Bashkin I. Efektyvnist prohram fizychnoi reabilitatsii v patsientiv iz posturalnymy y lokomotornymy porushenniamy [Effectiveness of physical rehabilitation programs in patients with postural and locomotor disorders]. Molodizhnyi naukovyi visnyk. 2012 (in Ukrainian).
19. Mushkevych V. Psykholohichni chynnyky perezhyvannia stresu viiskovosluzhbovtsiamy [Psychological factors of experiencing stress by military personnel]. Psykholohichni perspektyvy. 2019; 34:119–136. DOI: 10.29038/2227-1376-2019-34-119-136 (in Ukrainian).
20. Sorokina KO, Kozlova YuV. Vybukh, yak faktor urazhennia holovnoho mozku [Blast as a factor in brain damage] In: Tezy za materialamy XV Vseukraiinskoi nauково-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh z mizhnarodnoiu uchastiu Aktualni pytannia klinichnoi medytsyny (19 lystopada 2021 r., m. Zaporizhzhia). Zaporizhzhia : Derzhavnyi zaklad Zaporizka medychna akademiia pislidyplomnoi osvity Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy. 2021, 287-288. URL: <http://repo.dma.dp.ua/id/eprint/7310> (in Ukrainian).
21. Tsapenko VV, Tereshchenko MF. Tsyfrova biometrychna systema doslidzhennia patolohichnykh staniv stopy [Digital biometric system for the study of pathological conditions of the foot]. Mizhnarodna nauково-tekhnicna konferentsiia Aktualni problemy avtomatyky ta prykladobuduvannia, Kharkiv, 2017, 89-90. (in Ukrainian).

22. Tsapenko VV, Tereshchenko MF. Metod doslidzhennia biomekhanichnykh parametriv stopy liudyny [Method of studying the biomechanical parameters of the human foot]. Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky. 2018; 29:51–59. (in Ukrainian).
23. Tsapenko V, Tereshchenko M. Kryterii opornykh kharakterystyk stopy liudyny [Criteria of support characteristics of the human foot]. Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak. 2022; 63(1):89–99. URL: 10.20535/1970.63(1).2022.260655 (in Ukrainian).
24. Barker R., Barasi S., Neal M. Neuroscience at glance. Blackwell, 2008.
25. Eckert H, Dvorak DR. The centrifugal horizontal cells in the lobula plate of the blowfly *Phaenicia sericata*. J Insect Physiol. 1983; 29:547-560.
26. Furman JM, Marcus DA, Balaban CD. Vestibular migraine: clinical aspects and pathophysiology. Lancet Neurol. 2013; 12(7):706-15. DOI: 10.1016/S1474-4422(13)70107-8.
27. Mitutsova L, Delchev K, Vitkov V, Chavdarov I, Yaroshevsky V, Serbenjuk N, Nikitin O. Biomechanical system for scientific-experimental study of the regeneration of the spinal cord locomotion capabilities after traumatic break. Proceed. of Intern. Conf. «PRAKTRO 2007». Varna. 2007 June 12-15.
28. Mitutsova L. Biomechanical control of the rehabilitation of a knee joint after trauma. Proceed. of Conf. Biomechanics of Man 96. 1996:131-134.
29. McGill S. Low Back Disorders. Canada, 2002
30. Neumann D., Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation, 3rd ed. St. Louis, Missouri: Mosby, 2016, 784 p.
31. Barker A, Barasi S. Neuroscience at a Glance, 3rd ed. (with neuropharmacology by M. J. Neal). Oxford : Blackwell Publishing. 2008. Ebrahim GJ. Journal of Tropical Pediatrics. 2009; 55(1):65. DOI: 10.1093/tropej/fmn058.
32. Qian Z , Ren L, Ding Y, Hutchinson J, Ren L. A dynamic finite element analysis of human foot complex in the sagittal plane during level walking. PLoS ONE, №8(11), 2013. doi:10.1371/journal.pone.0079424
33. Shih Y, Chen C, Lin H. Lower extremity kinematics in children with and without flexible flatfoot: a comparative study. BMC Musculoskeletal Disorders. 2012; 13(1):13-31. DOI:10.1186/1471-2474-13-31.
34. Whittle MW. Gait analysis: An introduction. Edinburgh: Butterworth Heinemann, 2011.
35. Stabilometrii [Stabilometry]. URL: <https://inpn.org.ua/methods/36>
36. Korysni porady [Useful advices]. URL: <https://nastanova.com/>
37. Ukrainska biblioteka LibreTexts [Ukrainian library LibreTexts]. URL: <https://ukrayinska.libretexts.org/>
38. Zdorova stopa [Healthy foot]. URL: <https://stopa.te.ua>

**Мета.** Мета дослідження полягає у науковому обґрунтуванні та розробці технології для діагностики уражень ОРА поранених після вибухових травм, та уражень хребта за допомогою комп'ютерної стабілометрії з метою забезпечення можливості оцінки і тестування відновлення ОРА після реабілітаційних втручань. Особливо приділено увагу до оцінки і діагностики реабілітаційних втручань за допомогою комп'ютерної стабілометрії. Також приділено увагу до визначення стратегій для відновлення пацієнтів після травм хребта, які переміщуються на інвалідному кріслі колісному, за допомогою комп'ютерної стабілометрії.

**Матеріали та методи.** Матеріалами дослідження стали аналіз літератури з акубаротравми (контузії) отриманої під час бойових дій та методи і технології використання стабілометричних досліджень. Також опрацьована література з спинномозкової травми та патології хребта у військовослужбовців. Проведено аналіз літератури по використанню стабілометрії в постурології та дослідженнях неврологічних порушень у клінічній картині поперекового остеохондрозу та травм хребта. В ході дослідження використано бібліосемантичний метод та метод структурно-логічного аналізу.

**Результати.** Виявлено, що використання методів комп'ютерної стабілометрії виявляє необхідність більш широкого їх застосування для діагностики та реабілітації поранених, зокрема, у результаті бойових дій. У дослідженні підкреслюється те, що комп'ютерна стабілометрія не лише є методом діагностики уражень ОРА, але і ефективним інструментом у процесі реабілітації. У дослідженні наголошується на можливостях комп'ютерної стабілометрії як методу навчання для активної реабілітації людей, які переміщуються на кріслах колісних. Це відкриває нові можливості для покращення якості життя цієї категорії пацієнтів та допомагає їм повернутися до активної соціальної участі.

**Висновки.** Висновки дослідження підкреслюють необхідність використання комп'ютерної стабілометрії в діагностиці вибухових травм, уражень хребта. Встановлено, що комп'ютерна стабілометрія це не тільки метод діагностики уражень ОРА, а і метод реабілітації за допомогою БЗЗ, та метод оцінки реабілітаційних втручань в організм людини. Комп'ютерна стабілометрія може застосовуватися і як метод навчання для активної реабілітації людей, які переміщуються на кріслі колісному.

**Ключові слова:** акубаротравма, стабілометрія, постурологія, біологічний зворотній зв'язок (БЗЗ), функціональний стан, штучний зворотний зв'язок (ШЗЗ), аферентна інформація, біоуправління, фізична терапія.

**Goal.** The purpose of the study is the scientific substantiation and development of a technology for diagnosing lesions of the musculoskeletal system of injured people after explosive injuries and spinal cord injuries using computer stabilometry in order to ensure the possibility of assessing and testing the recovery of the musculoskeletal system after rehabilitation interventions. Special attention is paid to the assessment and diagnosis of rehabilitation interventions using computer stabilometry. Emphasis is also placed on identifying strategies for the recovery of wheelchair-bound spinal cord injury patients using computerized stabilometry.

**Materials and methods.** The materials of the study were the analysis of the literature on akubarotrauma (contusions) received during hostilities and the methods and technologies of using stabilometric studies. The literature on spinal cord injury and spine pathology in military personnel was also studied. An analysis of the literature on the use of stabilometry in posturology and studies of



neurological disorders in the clinical picture of lumbar osteochondrosis and spinal injuries was carried out. In the course of the research, the bibliosemantic method and the method of structural-logical analysis were used.

**The results.** It was found that the use of computer stabilometry methods reveals the need for their wider application for diagnosis and rehabilitation of the wounded, in particular, as a result of hostilities. The study emphasizes that computer stabilometry is not only a method of diagnosing injuries of the musculoskeletal system (MSS), but also an effective tool in the rehabilitation process. The study highlights the potential of computer-assisted stabilometry as a training method for the active rehabilitation of wheelchair users. This opens up new opportunities for improving the quality of life of this category of patients and helps them return to active social participation.

**Conclusions.** The research findings emphasize the necessity of using computer stabilometry in the diagnosis of explosive injuries and spinal cord injuries. It was established that computer stabilometry is not only a method of diagnosing lesions of the musculoskeletal system (MSS), but also a method of rehabilitation using biological feedback, and a method of evaluating rehabilitation interventions in the human body. Computer stabilometry can also be used as a training method for the active rehabilitation of people who move in a wheelchair.

**Key words:** acubarotrauma, stabilometry, posturology, biological feedback, functional state, artificial feedback, afferent information, biomanagement, physical therapy.

---

### Відомості про автора

**Савельєв Михайло Анатолійович** – аспірант кафедри «Біобезпеки і здоров'я людини»; вул. Янгеля, 16/2, к.5-05, Київ, Україна, 03056; факультет «Біомедичної інженерії», Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; просп. Берестейський, 37, корп. 1, м. Київ, Україна. cdsms63@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-0916-6475

*Стаття надійшла до редакції 02.02.2024*

*Дата першого рішення 06.02.2024*

*Стаття подана до друку 01.03.2024*