

КОМП'ЮТЕРНА СТАБІЛОМЕТРІЯ В ОЦІНЦІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ

Юрій Лях¹, Оксана Усова¹, Альона Романюк¹, Вікторія Мельничук¹, Марина Лях¹, Андрій Антипов²

¹Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна, romaniuk.alona89@gmail.com

²СДЮСШ імені Блохіна-Біланова, Вінниця, Україна

<https://doi.org/10.29038/2220-7481-2019-02-66-72>

Анотація

Актуальність. Комп'ютерна стабілометрія дає змогу досліджувати функціональну систему підтримки рівноваги. Цей метод має широкий спектр застосування: оцінювання відновлення функцій опорно-рухового апарату за умов протезування, діагностики вестибулярних порушень, обґрунтування критеріїв вертикалізації хворих на гострий інфаркт міокарда для уточнення й оптимізації режиму рухової активності. Також є обов'язковим компонентом системи моніторингу у відновлювальному лікуванні хворих на геміпаретичну форму дитячого церебрального паралічу. У спортивних дослідженнях стабілометрія дає змогу отримати загальну інформацію про стан спортсмена, провести точний аналіз окремих дій, контролювати спортивну форму, допомагає об'єктивно оцінити індивідуально-типологічні особливості кожного спортсмена, здійснювати контроль функціонального стану спортсмена. **Мета дослідження** – вивчити особливості комп'ютерної стабілометрії з урахуванням довжини запису стабілограми для оцінки функціонального стану на прикладі осіб чоловічої статі віком 16–17 років. **Методи дослідження.** Дослідження проводили на особах чоловічої статі віком 16–17 років. Реєстрацію стабілограм здійснювали з використанням стабілометричної платформи. **Результати.** Аналіз стабілометричних показників в обстежуваних із застосуванням штучного зворотного зв'язку показав статистично значиму різницю ($p < 0,05$) між двома відрізками запису (0–30 та 30–60 с) стабілограми всіх обстежуваних показників, окрім середнього квадратичного відхилення проекції положення центра маси в медіолатеральній площині. Під час аналізу стабілометричних показників в обстежуваних під час виконання тестів із закритими очима встановлено статистично значиму різницю ($p < 0,05$) між двома відрізками запису (0–30 та 30–60 с) стабілограми всіх обстежуваних показників, окрім середнього квадратичного відхилення проекції положення центра маси в антеріопостеріорній площині. Аналіз результатів стабілометрії в обстежуваних під час виконання тестів із відкритими очима характеризувався тим, що не встановлено статистично значимої різниці між записом тривалістю 0–30 та 30–60 с. **Висновки.** Установлено збільшення довжини стабілограми в досліджуваних під час виконання тестів із закритими очима, порівняно із відкритими очима, що може розцінюватися як певні особливості функціонального стану, що зумовлені переважанням у структурі рухів за підтримки вертикальної пози, великої кількості дрібних високочастотних коливань, тому необхідні під час урахування оцінки функціонального стану організму. Під час виконання тестів зі штучним зворотним зв'язком та тестів із відкритими очима (0–30 с) відзначено статистично значимо вищі значення довжини стабілограми в обстежуваних, що свідчить про включення в процес когнітивних функцій. Отже, для оцінки функціонального стану обстежуваних інформативним є тест із відкритими очима (0–30 с).

Ключові слова: постурологія, стабілографія, функціональний стан, штучний зворотний зв'язок.

Юрій Лях, Оксана Усова, Алена Романюк, Вікторія Мельничук, Марина Лях, Андрей Антипов. Компьютерная стабилометрия в оценке функционального состояния человека. **Актуальность.** Компьютерная стабилометрия позволяет исследовать функциональную систему регуляции позной активности. Этот метод имеет широкий спектр применения: оценка восстановления функций опорно-двигательного аппарата в условиях протезирования, диагностики вестибулярных нарушений, обоснования критериев вертикализации больных острым инфарктом миокарда для уточнения и оптимизации режима двигательной активности. Также является обязательным компонентом системы мониторинга в восстановительном лечении больных с гемипаретической формой детского церебрального паралича. В спортивных исследованиях стабилометрия позволяет получить общую информацию о состоянии спортсмена, провести точный анализ отдельных действий, контролировать спортивную форму, помогает объективно оценить индивидуально-типологические особенности каждого спортсмена, осуществлять контроль функционального состояния спортсмена. **Цель исследования** – изучить особенности компьютерной стабилометрии с учетом длины записи стабилограммы для оценки функционального состояния на примере лиц мужского пола в возрасте 16–17 лет. **Методы исследования.** Исследование проводили на лицах мужского пола в возрасте 16–17 лет. Регистрация стабилограм осуществлялась с использованием стабилометрической платформы. **Результаты.** Анализ стабилометрических показателей у обследуемых с применением искусственной обратной связи показал статистически значимую разницу ($p < 0,05$) между двумя отрезками записи (0–30 и 30–60 с) стабилограммы всех обследуемых показателей, кроме среднего квадратического отклонения проекции положение центра массы в

медиолатеральної площини. При аналізі стабілометричних показувачів в обстежуваних при виконанні тестів з закритими очима встановлено статистично значимі різниці ($p < 0,05$) між двома відрізками запису (0–30 і 30–60 с) стабілограми всіх досліджуваних показувачів, крім середнього квадратичного відхилення проекції положення центра маси в антеріопостеріорній площині. Аналіз результатів стабілометрії в респондентів при виконанні тестів з відкритими очима характеризувався тим, що не встановлено статистично значимої різниці між записом тривалістю 0–30 і 30–60 с. **Висновки.** Встановлено збільшення довжини стабілограми в досліджуваних в час виконання тестів з закритими очима, порівняно з відкритими, може розцінюватися як певні особливості функціонального стану, обумовлені переважанням в структурі рухів при підтримці вертикальної пози, великої кількості малих високочастотних коливань, тому необхідні в час оцінки функціонального стану організму. В час виконання тестів з штучною зворотною зв'язкою і тестів з відкритими очима (0–30 с) відзначається статистично значимо вище значення довжини стабілограми в досліджуваних, що свідчить про включення в процес когнітивних функцій. Таким чином, для оцінки функціонального стану респондентів інформативним є тест з відкритими очима (0–30 с).

Ключові слова: постурологія, стабілографія, функціональний стан, штучна зворотна зв'язка.

Yuriy Lyakh, Oksana Usova, Alona Romaniuk, Viktoriya Melnychuk, Maryna Lyakh, Andriy Antipov. Computer Stabilometry in the Assessment of Functional State of Humans. Topicality. Computer stabilometry is used to investigate the functional system of equilibrium maintenance. The method has a wide range of applications such as evaluation of the restoration of musculoskeletal system functions after prosthetisation, diagnosis of vestibular disorders, substantiation of verticalization criteria for patients with acute myocardial infarction, clarification and optimization of motor activity. It is also a mandatory component of the monitoring system in the regenerative treatment of patients with hemiparetic form of cerebral palsy. In sport studies, stabilometry is used to get general information about the athlete's condition, to perform an accurate analysis of separate actions, to monitor the form, to evaluate objectively the individual typological characteristics of each athlete, to monitor the functional state of the athlete. **Study Objective.** To study the features of computer stabilometry taking into account the length of the stabilograms recording for the assessment of the functional state, on an example of males, aged 16–17 years. **Research Methods.** The study was performed on male subjects aged 16–17 years. Stabilograms were recorded using a stabilometric platform. **Results.** The analysis of stabilometry parameters in the subjects surveyed using artificial feedback showed a statistically significant difference ($p < 0,05$) between the two segments of the record (0–30 and 30–60 s) of the stabilograms of all the surveyed indicators except the root-mean-square deviation of the projection of the center of mass position in the mediolateral plane. During the analysis of the stabilometry parameters in the closed eyes tests, the statistically significant difference ($p < 0,05$) between the two segments of the record (0–30 and 30–60 s) was found for the stabilograms of all surveyed indicators except the root-mean-square deviation of the projection of the center position mass in the anteroposterior plane. The analysis of the stabilometry results in the open-eyes tests was characterized by finding no statistically significant difference between the records of 0–30 and 30–60 s duration. **Conclusions.** It is established an increase in the length of the stabilograms in the subjects under examination with closed eyes compared with the open eyes. It can be regarded as certain features of the functional state due to the predominance of the structure of movements with the support of the vertical posture, a large number of small high frequency oscillations, is therefore necessary for consideration an assessment of the functional state of the organism. During the tests with artificial feedback and open-eye tests (0–30 s), statistically significant higher values of the length of the stabilograms in the subjects were noted, indicating inclusion in the process of cognitive functions. Thus, an open-ended test (0–30 s) is informative for an assessment of the functional state of the individuals.

Key words: postulography, stabilography, functional state, artificial feedback.

Вступ. Рухова діяльність людини є економічним, результативним й ефективним процесом, який значною мірою визначається здатністю якісно регулювати пози, положення тіла, мультиплікувати їх як на опорі, так і в безопорному просторі, досягаючи гармонії в рухах.

Регуляція пози тіла людини є предметом досліджень й експериментів протягом десятиліть і навіть століть [12]. Підтримка рівноваги під час стояння – процес динамічний. Тіло людини, котра стоїть, робить іноді практично невидимі, іноді добре помітні коливальні рухи в різних площинах близько деякого середнього положення. Характеристика коливань така: їх амплітуда, частота, напрям, а також середнє положення в проекції на площину опори є чутливими параметрами, що відображають стан різних систем, які беруть участь у підтримці балансу [12; 13].

Як метод дослідження функції рівноваги, пропріорецептивної системи, зорового аналізатора, вестибулярного апарату та інших функцій організму, прямо або побічно пов'язаних із підтриманням рівноваги, стабілометрія і її варіанти застосовуються в багатьох галузях медицини [12; 13].

Комп'ютерна стабілометрія – метод реєстрації динаміки переміщення проекції загального центра маси тіла людини, котра стоїть в основній стійці, на площину горизонтальної опори, інакше дослідження функціональної системи підтримки рівноваги – це досить новий для клінічної практики метод функціональної діагностики, незважаючи на те, що його теоретичні основи розроблені давно.

Уперше процес реєстрації стабілограми практично здійснений на початку 30-х років ХХ ст. Однак унаслідок великої кількості допоміжних обчислень стабілометрію почали застосовувати в широкій клінічній практиці лише з появою досить потужних і недорогих персональних комп'ютерів, що дають змогу отримувати результат у режимі реального часу [4]. Виходячи з вищесказаного, вважаємо, що актуальність наукової роботи полягає в пошуку ефективних методів оцінки функціонального стану, використовуючи метод стабілографії.

Мета дослідження – вивчити особливості комп'ютерної стабілометрії із врахуванням довжини запису стабілограми для оцінки функціонального стану на прикладі осіб чоловічої статі віком 16–17 років.

Матеріали й методи дослідження. Дослідження проводили на базах Вінницького коледжу дизайну та промисловості й Вінницького технічного коледжу, хлопці (21 особа). Усіх піддослідних віднесено до основної медичної групи. На першому етапі досліджень здійснювали аналіз фізіологічних й антропометричних показників (артеріальний тиск, частота пульсу, спірометрія, зріст, маса тіла).

Реєстрацію стабілограм виконували з використанням стабілометричної платформи [9; 10]. Під час стояння досліджуваного на платформі через коливання його центра маси (ЦМ) у проекції на опорну плиту виникають змінні моменти сил, які реєструються цифровими датчиками платформи. За допомогою дисплея візуального контролю випробовуваний отримує інформацію про положення свого центра маси на платформі. Досліджуваному пропонувалося стати на платформу й регулювати свою позу так, щоб на розміщеному перед ним екрані дисплея точка, що світиться, була в місці перетину двох взаємно перпендикулярних ліній.

Комп'ютерну реєстрацію стабілограм здійснювали під час проведення таких тестів: зі штучним зворотним зв'язком (ШЗЗ), при відкритих очах (ВО) і при закритих очах (ЗО). Для забезпечення ШЗЗ використовували присутню на екрані комп'ютерного монітора світову реперну точку, яка відображає проекцію центра маси при стоянні досліджуваного на стабілометричній платформі. Під час проведення тестів із ШЗЗ реалізується рухове завдання, спрямоване на регуляцію пози, за якої реперна точка підтримується на екрані комп'ютерного монітора в місці перетину двох взаємно перпендикулярних ліній. Під час проведення тесту підвищується значущість зорово-моторного каналу зв'язку.

Другий тест виконується з відкритими очима (ВО). Під час проведення цього тесту підтримка вертикальної пози здійснюється з відкритими очима, але без штучного зворотного зв'язку. Монітор штучного зворотного зв'язку під час виконання тесту вимкнений. Під час проведення цього тесту всі провідні аферентні канали (зоровий, пропріоцептивний і вестибулярний) працюють відповідно до своїх природних пріоритетів і внутрішніх зворотних зв'язків. Наступний тест виконується із заплющеними очима (ЗО). Під час проведення тесту вертикальна поза підтримується із заплющеними очима, що призводить до підвищення навантаження на інші аферентні канали (пропріоцептивний, вестибулярний).

Тривалість запису – 1 хв. Після проведення реєстрації розраховували довжину траєкторії переміщення центра маси (L) у двовимірній площині коливань, площу стабілограми (S), що розраховується як площа фігури, яка описується радіус-вектором, проведеним із початкового положення центра маси до його поточного положення, відношення довжини стабілограми до її площі (LFS), середнє квадратичне відхилення проекції положення центра маси в антеріопостеріорній (а/п) і медіолатеральній (м/л) площинах (Q_x і Q_y). У стандартному записі обробляли сигнали тривалістю 30 секунд, отримані з дискретністю в $\Delta\tau = \frac{1}{25}$ секунди. Результати наведені у відносних одиницях відповідно до розмірності аналого-цифрового перетворювача.

Статистичну обробку даних здійснювали, застосовуючи статистичний пакет MedStat [7]. Залежно від розподілу даних, що були відмінними від нормального розподілу значень, використовували описову статистику (медіана, похибка медіани, I та III квантилі), критерій Вілкоксона.

Результати дослідження. Статистичний аналіз показників, отриманих у результаті аналізу стабілограм, показав, що їх розподіл відрізняється від нормального. Відповідно до цього під час проведення подальшого аналізу застосовували непараметричні критерії. Описова статистика включала розрахунок медіани й квантилей (Me (25; 75 %)). У табл. 1 наведено аналіз антропометричних та фізіологічних показників в обстежуваних, які піддавалися стабілометричній оцінці функціонального стану.

Результати статистичної обробки показників стабілометрії в чоловіків під час виконання різних проб наведено в табл. 2–4.

Аналіз стабілометричних показників в обстежуваних із застосуванням штучного зворотного зв'язку показав статистично значиму різницю між двома відрізками запису (0–30 та 30–60 с) стабілограми всіх обстежуваних показників, окрім середнього квадратичного відхилення проекції положення центра маси в медіолатеральній площині. Короткий запис тривалістю 0–30 с характеризувався статистично вищими значеннями стабілометричних показників, порівняно із записом стабілограми тривалістю 30–60 с усіх обстежуваних показників, окрім відношення довжини стабілограми до її площі – цей показник був статистично вищим під час запису тривалістю 30–60 с ($p<0,05$).

Таблиця 1

Аналіз антропометричних та фізіологічних показників в обстежуваних (n=21)

Показник	Me±m	I кuartиль	III кuartиль	Мінімум	Максимум
Зріст, см	179±2,2	176	182	153	188
Маса, кг	66±2,1	63	75	61	85
САТ, мм рт. ст	142±284,1	130	159	102	4900
ДАТ, мм рт. ст	87±287,2	78	96	64	4900
ЖЄЛ, мл	4400±161,4	3900	4700	3600	5800
ЧСС, уд/хв	93±4,4	84	102	65	130

Таблиця 2

Аналіз стабілометричних показників в обстежуваних при виконанні тестів зі штучним зворотним зв'язком (n=21)

Показник	Me±m	I кuartиль	III кuartиль	Мінімум	Макси-мум	T-W	p
L 1, ум. од.	914,83±38,1	859,12	973,87	756,39	1262,78	185	p<0,05
L 2, ум. од.	861,08±41,5	823,75	929,12	728,31	1439,43		
S 1, ум. од.	161,29±21,3	103,33	232,43	91,93	360,12	216	p<0,001
S 2, ум. од.	96,96±9,2	84,24	117,68	63,89	195,84		
LFS 1, ум. од.	6,04±0,5	4,61	7,93	2,65	9,07	13	p<0,001
LFS 2, ум. од.	8,62±0,5	7,65	9,92	5,86	12,46		
QX 1, ум. од.	5,35±0,7	3,24	7,09	2,29	11,46	220	p<0,001
QX 2, ум. од.	3,19±0,2	2,86	3,68	2,11	5,06		
QY 1, ум. од.	2,77±0,2	2,19	3,04	1,56	4,28	145	p>0,05
QY 2, ум. од.	2,46±0,1	2,15	2,75	1,54	3,74		

Примітка (до табл. 1–3). 1 – тривалість запису стабілограми (0–30 с); 2 – тривалість запису стабілограми (30–60 с).

Під час проведення тесту із ШЗЗ рухове завдання, що спрямоване на регуляцію пози, забезпечується за рахунок взаємодії вищих відділів центральної нервової системи, вестибулярного та зорового аналізаторів, суглобово-м'язової пропріорецепції та інших функціональних систем.

Під час аналізу стабілометричних показників в обстежуваних у процесі виконання тестів із закритими очима встановлено статистично значиму різницю між двома відрізками запису (0–30 та 30–60 с) стабілограми всіх обстежуваних показників ($p<0,05$), окрім середнього квадратичного відхилення проекції положення центра маси в антеріопостеріорній площині.

Аналіз коротких відрізків запису стабілограми під час виконання тестів із закритими очима характеризувався статистично вищими значеннями, порівняно зі значеннями, які отримано під час запису тривалістю 30–60 с, лише показник (відношення довжини стабілограми до її площі) під час запису 30–60 с відзначався вищими значеннями, порівняно зі значеннями, отриманими під час запису тривалістю 0–30 с ($p<0,05$).

Потрібно відзначити, що інформативним під час проведення стабілометрії є тест із закритими очима, тому що в процесі його виконання рухове завдання реалізується при блокованій зоровій модальності [9; 10].

Аналіз результатів стабілометрії в обстежуваних під час виконання тесту із відкритими очима характеризувався тим, що не встановлено статистично значимої різниці між записом тривалістю 0–30 та 30–60 с ($p<0,05$).

Таблиця 3

Аналіз стабілометричних показників в обстежуваних під час виконання тестів (проба «закриті очі») (n=21)

Показник	Me±m	I кuartиль	III кuartиль	Мінімум	Макси-мум	T-W	p
L 1, ум. од.	912,41±39,5	831,45	1064,47	752,08	1238,54	192	p<0,01
L 2, ум. од.	875,03±45,8	790,59	1032,50	653,39	1279,57		
S 1, ум. од.	173,22±16,4	144,06	215,07	102,72	333,22	183	p<0,05
S 2, ум. од.	136,04±19,3	121,39	191,59	63,64	337,17		
LFS 1, ум. од.	5,19±0,3	4,77	6,48	3,59	7,58	40	p<0,01
LFS 2, ум. од.	6,37±0,5	4,74	6,99	3,66	10,27		
QX 1, ум. од.	4,05±0,3	3,15	4,46	2,55	6,58	154	p>0,05
QX 2, ум. од.	3,26±0,4	3,03	4,23	2,06	6,49		
QY 1, ум. од.	4,26±0,4	3,31	4,74	2,41	6,95	177	p<0,05
QY 2, ум. од.	3,49±0,3	2,90	4,29	2,56	6,29		

Із погляду фізіології, наявність коротких записів у стабілограмах передбачає, що постурально-контролююча система використовує open-loop control-механізм на коротко-часовому інтервалі й малих переміщеннях. Це означає, що система дає змогу ЦМ «дрейфувати» деякий час і/або переміститися.

Таблиця 4

Аналіз стабілометричних показників в обстежуваних під час виконання тестів (проба «відкриті очі») (n=21)

Показник	Me±m	I кuartиль	III кuartиль	Мінімум	Максимум	T-W	p
L 1, ум. од.	735,60±30,1	715,63	805,72	625,91	1111,97	148	p>0,05
L 2, ум. од.	729,20±34,4	664,57	829,22	594,21	1091,93		
S 1, ум. од.	102,15±8,9	75,57	119,03	52,49	177,67	134	p>0,05
S 2, ум. од.	102,51±9,2	83,35	124,14	50,46	166,92		
LFS 1, ум. од.	7,14±0,5	6,43	8,72	4,30	11,06	97	p>0,05
LFS 2, ум. од.	7,47±0,7	6,63	8,75	4,49	14,33		
QX 1, ум. од.	2,89±0,2	2,58	3,39	1,76	4,89	104	p>0,05
QX 2, ум. од.	2,98±0,2	2,76	3,30	2,31	4,73		
QY 1, ум. од.	2,69±0,2	2,50	3,623	1,87	4,34	136	p>0,05
QY 2, ум. од.	2,67±0,2	2,32	3,19	1,84	4,55		

Це підтверджує загальноприйняте твердження, що вертикальна поза завжди регулюється дією feedback mechanisms. Важливо зауважити, що цей аналіз не включає роль механізмів зі зворотним зв'язком, таких як візуальна, вестибулярна й пропріоцептивна системи в регуляції вертикальної пози [8; 11].

Дискусія. Дослідження механізмів регуляції вертикальної пози [10] як унікального феномену властиве лише людській расі, є актуальним завданням під час розробки методів діагностики та лікування різних порушень, а саме під час багатьох захворювань внутрішнього вуха, нервової системи й опорно-рухового апарату якість підтримки вертикальної пози страждає. Існують напрями клінічних досліджень, мета яких – визначення діагностичної цінності тих чи інших порушень пози [1]. Тому ця проблема є актуальною і в діагностиці функціональних станів людини. Підтвердження цього – широке застосування комп'ютерної стабілометрії в практиці. Наприклад, стабілометричне дослідження є обов'язковим компонентом системи моніторингу у відновлювальному лікуванні хворих із геміпаретичною формою дитячого церебрального паралічу (ДЦП) у процесі застосування методів біологічного зворотного зв'язку, що проводяться на стабілометричній платформі. Перевагою використання методики лікувальної фізичної культури, заснованої на принципі біологічного зворотного зв'язку із зоровою й пропріоцептивною стимуляцією, що проводиться на стабілометричній платформі в дітей із геміпаретичною формою ДЦП, є її прямий вплив на формування фізіологічних стереотипів координації рухів [5].

Широкого застосування стабілометрія набула під час оцінки функціонального стану хворих із вестибулярною дисфункцією [4]. Стабілометрія визначає ефективність стояння, тобто можливість пацієнта зберігати рівновагу стоячи є однією з методик оцінювання відновлення функцій опорно-рухового апарату (ОРА) за умов протезування [15].

Науковці [2] на основі даних комп'ютерної стабілометрії й стабілометричної балістографії розробили та обґрунтували критерії вертикалізації хворих ГІМ (гострий інфаркт міокарда) для уточнення й оптимізації режиму рухової активності.

Потрібно відзначити, що в спортивних дослідженнях стабілометрия дає загальну інформацію про стан спортсмена, уможлиблює проведення точного аналізу окремих дій. Крім того, стабілометричні дані сприяють об'єктивній оцінці індивідуально-типологічних особливостей кожного спортсмена. Контроль функціонального стану спортсменів на основі методів і засобів комп'ютерної стабілометрії сьогодні не має альтернатив щодо комфортності й часу обстеження, високої чутливості до відхилень функціонального стану, можливості формування індивідуальних і групових нормативів, а також моніторингу поточного стану спортсменів [12; 14].

З огляду на значимість усебічної оцінки функціонального стану спортсменів складнокоординаційних видів спорту, вивчення різних показників стабілометрії як важливого аспекту їх адаптації до фізичних і змагальних навантажень набуває сьогодні особливої актуальності. Із найбільш поширених методик у нашій країні застосовують варіанти проби Ромберга. Активно розвивається такий напрям, як тренування зі зворотним зв'язком [13].

Якщо проаналізувати отримані результати, то можемо припустити, що тренування рівноваги буде ефективним під час коротких записів стабілограми (0–30 с), оскільки простежуємо покращення регуляторних механізмів людини, а саме включення в процес вищих рівнів регуляції.

Зміна тривалості тренування – це найбільш простий та очевидний інструмент. Будь-яке тренування ефективне, якщо воно відбувається за достатній час для того, щоб почався процес набуття того чи іншого рухового досвіду. Водночас розвиток навички ускладнюється в умовах, коли в пацієнта починає розвиватися відчуття втоми [13]. Тому тривалість запису стабілограми є одним із параметрів, на який потрібно звертати увагу під час оцінки функціонального стану людини.

Ученими [9; 10] показано, що збільшення довжини стабілограми під час тестування із закритими очима може розцінюватися, як факт погіршення функціонального стану досліджуваних. Збільшення довжини стабілограми зумовлене переважанням у структурі рухів, необхідних для підтримки вертикальної пози, великої кількості дрібних високочастотних коливань. Такі коливання можуть виникати за порушення процесів передачі інформації в різних відділах ЦНС, що в результаті функціональних й органічних порушень призводить до дискоординації рухів. Отже, прогнозування функціональних станів людини за показниками стабілометрії може успішно здійснюватися на основі оцінки довжини стабілограми, оскільки спостерігаємо чітку тенденцію: чим більша довжина траєкторії переміщення центра маси (L) у двовимірній площині коливань, тим більша площа стабілограми (S).

Висновки. Установлено збільшення довжини стабілограми в досліджуваних під час виконання тестів із закритими очима, порівняно із відкритими очима, що може розцінюватися як певні особливості функціонального стану, котрі зумовлені переважанням у структурі рухів за підтримки вертикальної пози, великої кількості дрібних високочастотних коливань, тому потрібні під час врахування оцінки функціонального стану організму.

Під час виконання тестів зі штучним зворотним зв'язком та тестів із відкритими очима (0–30 с) простежено вищі значення довжини стабілограми в обстежуваних ($p < 0,05$), що свідчить про включення в процес когнітивних функцій. Отже, для оцінки функціонального стану обстежуваних інформативним є тест із відкритими очима (0–30 с).

Перспективи подальших досліджень полягають у проведенні фрактального аналізу для визначення регуляторних механізмів під час конкретних тестових завдань, що можуть слугувати для оцінки функціонального стану людини.

Джерела та література

1. Гаже И. М., Вебер Б. Постурология. Регуляция и нарушение равновесия тела человека. Санкт-Петербург: Издат. дом СПбМАПО, 2008. 316 с.
2. Давыдов П. В., Доровских Н. С., Лобов А. Н., Иванова Г. Е., Чоговадзе А. В. Возможности компьютерной стабилотрии в практике кардиологического стационара. *Журнал РАСМИРБИ*. 2006. № 1 (18). С. 28–31.
3. Иванов К. О., Кубряк О. В. О стандартах к использованию стабилотрии в стрелковом спорте. *Физиологическая культура и спорт в системе образования: материалы XII Всерос. науч.-практ. конф.*, 2010. С. 34.
4. Илларионова Е. М., Отвагин И. В., Грибова Н. П. Особенности диагностики вестибулярной функции здоровых лиц. *Российская отоларингология*. Изд.: Полифорум, 2011. № 5. С. 67–71.
5. Киселев Д. А. Стабилотрия в диагностике и лечении детей с гемипаретической формой детского церебрального паралича: дис. ... канд. мед. наук: 14.00.51. Москва, 2007. 124 с.

6. Ляпин В. А., Коваленко Е. В. Сравнительный анализ отдельных стабилметрических показателей в соревновательной деятельности у спортсменов, занимающихся различными видами восточных единоборств. *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 5. С. 482–490.
7. Лях Ю. Е., Гурьянов В. Г., Хоменко В. Е., Панченко О. А. Основы компьютерной биостатистики: анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом MedStat. Донецк, 2006. 211 с.
8. Лях Ю. Е. и др. Нейрофизиологический анализ стабิโลграмм методом Херста. *Клиническая информатика и телемедицина*. 2009. № 5. Вып. 6. С. 6–9.
9. Лях Ю. Е. и др. Моделирование механизмов саморегуляции вертикальной позы человека. *Клиническая информатика и телемедицина*. 2011. Т. 7. В. 8. С. 16–20.
10. Лях Ю. Е. и др. Стабілометричні критерії в прогнозуванні функціональних станів людини. *Клиническая информатика и телемедицина*. 2012. № 8. Вып. 9. С. 24–29.
11. Лях Ю. Е., Гурьянов В. Г., Горшков О. Г. Расчеты показателя Херста алгоритмами stabilogram diffusion analysis и detrended fluctuation analysis. *Український журнал телемедицини та медичної телематики*. 2009. Т. 7, № 1. С. 48–53.
12. Мирзоева Н. В. Стабилметрия как метод оценки постурального баланса человека. *Здоровый образ жизни и охрана здоровья*: сб. науч. ст. I Всерос. науч.-практ. конф. 18–19 апреля 2014 года. Сургут: РИО СурГПУ, 2014. С. 87–89.
13. Скворцов Д. В. Методика исследования кинематики движений и современные стандарты. *Лечебная физкультура и спортивная медицина*, 2013. № 1 (109). С. 4–9.
14. Терещенко И. А., Оцупок А. П., Крупеня С. В., Левчук Т. М., Болобан В. Н. Сенсомоторная координация, теоретическая и физическая (двигательная) подготовленность студентов первого курса высшего учебного заведения физического воспитания и спорта. *Физическое воспитание студентов*. 2013. № 6. С. 88–95.
15. Салеева А. Д. и др. Методичні аспекти біомеханічної оцінки реабілітації хворих з патологією опорно-рухової системи. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2013. № 1. С. 98–100.

References

1. Gazhe, I. M., Veber, B. (2008). Posturologiya. Regulyacziya i narushenie ravnovesiya tela cheloveka. Sankt-Peterburg: Izdat. dom SPbMAPO, 316.
2. Davy`dov, P. V., Dorovskikh, N. S., Lobov, A. N., Ivanova, G. E., Chogovadze, A. V. (2006). Vozmozhnosti komp`yuternoj stabilometrii v praktike kardiologicheskogo stacionara. *Zhurnal RASMRBI*, 1 (18), 28–31.
3. Ivanov, K. O., Kubryak, O. V. (2010). O standartakh k ispol`zovaniyu stabilometrii v strelkovom sporte. *Fiziolicheskaya kul`tura i sport v sisteme obrazovaniya*. Materialy` XII Vseros. nauch.-prakt. conf., 34.
4. Illarionova, E. M., Otvagin, I. V., Gribova, N. P. (2011). Osobennosti diagnostiki vestibulyarnoj funkczii zdorovy`kh licz. *Rossijskaya otolaringologiya*. Izd.: Poliforum, 5, 67–71.
5. Kiselev, D. A. (2007). Stabilometriya v diagnostike i lechenii detej s gemipareticheskoj formoj detskogo czerebral`nogo paralicha. (Dis. ... kand. med. nauk: 14.00.51). Moskva, 124.
6. Lyapin, V. A., Kovalenko, E. V. (2013). Sravnitel`ny`j analiz otdel`ny`kh stabilometricheskikh pokazatelej v sorevnovatel`noj deyatel`nosti u sportsmenov, zanimayushhikhsya razlichny`mi vidami vostochny`kh edinoborstv. *Sovremenny`e problemy` nauki i obrazovaniya*, 5, 482–490.
7. Lyakh, Yu. E., Gur`yanov, V. G., Khomenko, V. E., Panchenko, O. A. (2006). Osnovy` komp`yuternoj biostatistiki: analiz informaczii v biologii, medicziny` i farmaczii statisticheskim paketom MedStat. Doneczk, 211.
8. Lyakh, Yu. E. i dr. (2009). Nejrofiziologicheskij analiz stabilogramm metodom Khersta. *Klinicheskaya informatika i telemedicziya*, 5(6), 6–9.
9. Lyakh, Yu. E. i dr. (2011). Modelirovanie mekhanizmov samoregulyaczii vertikal`noj pozy` cheloveka. *Klinicheskaya informatika i telemedicziya*, 7(8), 16–20.
10. Lyakh, Yu. E. i dr. (2012). Stabi`lometrichni` kriteri`yi v prognozuvanni` funkczii`onal`nikh staniv` lyudini. *Klinicheskaya informatika i telemedicziya*, 8(9), 24–29.
11. Lykah, Yu. E., Guryanov, V. G., Gorshkov, O. G. (2009). Raschetyi pokazatelya Hersta algoritmami stabilogram diffusion analysis idetrended fluctuation analysis. *Ukrayins`ky`j zhurnal telemedy`cy`ny` ta medy`chnoyi telematy`ky`*, 7(1), 48–53.
12. Mirzoeva, N. V. (2014). Stabilometriya kak metod ocenki postural`nogo balansa cheloveka. *Zdorovy`j obraz zhizni i okhrana zdorov`ya*: sb. nauchny`kh statej I Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferenczii 18–19 aprelya 2014 goda. Surgut: RIO SurGPU, 87–89.
13. Skvorcov, D. V. (2013). Metodika issledovaniya kinematiki dvizhenij i sovremenny`e standarty`. *Lechebnaya fizkul`tura i sportivnaya medicziya*, 1(109), 4–9.
14. Tereshhenko, I. A., Oczupok, A. P., Krupenya, S. V., Levchuk, T. M., Boloban, V. N. (2013). Sensomotornaya koordinaczija, teoreticheskaya i fizicheskaya (dvigatel`naya) podgotovlennost` studentov pervogo kursa vy`sshego uchebnogo zavedeniya fizicheskogo vospitaniya i sporta. *Fizicheskoe vospitanie studentov*, 6, 88–95.
15. Salyeyeva, A. D. i dr. (2013). Metodichni` aspekti bi`omekhanichnoyi oczi`nki reabi`litaczii`y khvorikh z patologii` yeyu oporno-rukhojivoj sistemi. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie*, 1, 98–100.

Стаття надійшла до редакції 29.05.2019 р.