

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВЕСТИБУЛОМЕТРІЇ ДЛЯ ЕКСПРЕС-ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ

Проф. В. В. Кальниш, проф. О. А. Компанієць, Д. О. Горолюк*

Українська військово- медична академія, м. Київ,

*Військово- медичний клінічний центр Північного регіону, м. Харків

Вестибулярна система, разом із зоровою, пропріоцептивною й іншими аfferентними системами, бере участь у забезпеченні функцій визначення просторових координат і підтримки рівноваги. Комп'ютеризація стабілографії дала змогу розв'язати завдання візуалізації та обробки стабілографічних сигналів, реалізувати цілу низку видів біологічного зворотного зв'язку й посісти гідне місце серед нових медичних діагностичних технологій завдяки своїм якостям.

Ключові слова: комп'ютерна стабілографія, вестибулярна система, робота в екстремальних умовах.

ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДА ВЕСТИБУЛОМЕТРИИ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

Проф. В. В. Кальниш, проф. О. А. Компанієць, Д. А. Горолюк *

Вестибулярная система, наряду со зрительной, проприоцептивной и другими афферентными системами, участвует в обеспечении функций определения пространственных координат и поддержания равновесия. Компьютеризация стабилографии позволила решить задачу визуализации и обработки стабилографических сигналов, реализовать целый ряд видов биологической обратной связи и занять достойное место среди новых медицинских диагностических технологий благодаря своим качествам.

Ключевые слова: компьютерная стабилография, вестибулярная система, работа в экстремальных условиях.

З кожним роком метод комп'ютерної стабілограмії все ширше розповсюджується на нові сфери діяльності людини як тонкий інструмент для оцінки її функціонального стану в умовах проведення передзамінного контролю [24], для оцінки стану перед роботою в екстремальних умовах, для здійснення професійного відбору [14, 15], експрес-оцінки дії тренувального навантаження [18], для оцінки рівня хронічного стомлення [3].

Як засвідчує досвід, комп'ютерна стабілограмія має унікальне сполучення вигод, до яких насамперед належать [6]:

- комфортність обстеження людини, що проводиться в одязі на спеціальній платформі в положенні стоячи або сидячи, тобто в умовах, що не потребують спеціальної підготовки та кріплення датчиків на тіло обстежуваного;
- малий час обстеження, що складається із часу знімання інформації (звичайно в межах 2 хв) і часу обробки сигналу (у межах менше хвилини);

WAYS OF IMPROVEMENT OF METHOD OF VESTIBULOMETRII FOR THE EXPRESS-ESTIMATION OF THE FUNCTIONAL STATE

V. V. Kalnysh, O. A. Kompaniec, D. O. Goroluyk*

Vestibular system, along with visible, transude and by other eisodic systems, participates in providing of functions of determination of spatial co-ordinates and maintenance of equilibrium. Computerization of stabilografii allowed to decide the task of visualization and treatment of stabilograficheskikh signals, realize a number of types of reverse biocommunication and take the deserving place among new medical diagnostic technologies, due to the dignities.

Keywords: komp'yuternaya stabilografiya, vestibular system, work, in extreme terms

- інформативність обстеження, що допомагає оцінювати функціональний стан людини й окремих систем організму, що беруть участь у процесі підтримки вертикальної пози;
- висока чутливість до фізичних, психічних, хімічних (прийом лікарських засобів, запахів) впливів на людину, що створює можливість об'єктивувати її поведінкові реакції;
- багатофункціональність, що дає змогу широко використовувати комп'ютерну стабілографію для діагностики, контролю та об'єктивізації функціонального стану людини під час проведення передстартового контролю, професійного відбору як засіб реабілітації порушень статокінетичної функції, а також для загальносистемної нормалізації та тренування її координації.

Функція підтримки рівноваги тіла людини є однією з базисних й інтегральних функцій організму. Її якість незначно залежить від статі, віку, зросту та ваги людини. У застосуванні стабілометрії

приділяють велику увагу теоретичним і практичним питанням [10]. Зазначено, що взаємодія рефлексів положення та випрямлення забезпечує оптимальну ригідність тіла, кінцівок і очей залежно від стану відносного вектора гравітації, відчуття площини опори та зорової фіксації навколоїшніх предметів. Разом із тим, системи тонічного установлення тіла недостатньо для забезпечення його рівноваги та є й тому, що рівновага тіла підтримується динамічно, що в сучасній літературі називають динамічною рівновагою або динамічною стабілізацією тулуба, спрямованою на реалізацію можливості реагування на дію лінійних і кутових прискорень. Тому функціональній системі внутрішнього уявлення про тіло та зовнішній простір доводиться постійно контролювати його параметри, віддаючи пріоритет у трансформації тільки певним із них і, запускаючи різні механізми (закладені генетично або набуті в процесі життедіяльності) як для установлення тіла, так і його динамічної стабілізації в просторі.

Розглянуто постурометричні характеристики в осіб льотного складу, як здорових, так і хворих на деякі захворювання вуха та сокоподібного відростка, нервової системи, стану після черепно-мозкових травм [14]. Розроблено нові методологічні основи використання вестибулометрії для визначення стану вестибулярного аналізатора. Подано характеристику дослідного комплексу (постурографу) та обґрунтовано його переваги перед наявними методичними підходами з вивчення функції вестибулярного аналізатора. Також визначено та оцінено критерії працездатності та професійної придатності осіб льотного складу за постурографічними характеристиками функції рівноваги здорових та хворих із найпоширенішими патологічними станами з ураженням вестибулярного аналізатора.

Розроблено методологію математичної обробки постурометричних даних, зорієнтованої на виявлення кількісних характеристик розташування проекції центру ваги; коефіцієнтів кореляції, асиметрії та ексцесу; довжини постурограмами [16]. Ці показники встановлюють особливості коливань проекції загального центру ваги людини на площину опори, дають змогу дійти висновку про індивідуальні можливості забезпечення функції рівноваги. За допомогою постурографічних вимірювань накопичуються дані, що уточнюються уявлення про норму забезпечення функції рівноваги та межі відхилень (ураховуючи вік, стать, вплив чинників виробничого середовища, стан здоров'я людини). Виділені інформативні характеристики вестибулярного апарату, які на 21–88 % пояснюють дію чинника професійної придатності до льотної діяльності [15]. Комплексне використання цих показників стало підґрунтям для розробки розв'язувального дискрімінантного рівняння і оцінки ступеня професійної придатності до льотної роботи.

Кількість параметрів, які використовуються в стабілографічних дослідженнях, досить велика, наводяться усереднені дані за 65 параметрами стабілограми [1]. І це ще далеко не повний перелік їх характеристик. Є докладний опис додаткових параметрів стабілометричної інформації, що створює можливість повноцінно й усебічно охарактеризувати динамічний процес підтримки людиною рівноваги у вертикальній позі в нормі й у випадку розвитку патології. Вважають, що адекватним методом математичного аналізу стабілометричної інформації для проведення автоматизованої комп'ютерної диференціальної діагностики різних видів атаксії є «складання» комплексу моделей методом «дерев класифікації» [1].

Ефективними виявилися методи індивідуальної оцінки стану під час здійснення його моніторингу, коли наявність і виразність відхилень показників стабілографії може бути індикатором формування несприятливих функціональних змін в організмі людини. За індексом динамічної стабілізації і його звуковим образом можна з'ясувати рівень динамічної стабілізації тіла людини в різних умовах діяльності, оцінити ефективність застосуваних методів лікування [10, 21, 25]. Проте, як засвідчили дослідження [20], стабілометричні показники, відбиваючи процес динамічної стабілізації пози тіла, не показали зв'язку з його енерговитратами, що може бути зумовлено витратою основної частки енергії тонічною системою установки тулуба у вертикальне положення.

Стабілографію запропоновано застосовувати для діагностики хронічного стомлення [3]. Для цього було розроблено спеціальну ігрову технологію проведення досліджень. Випробуваний стояв на стабілографічній платформі перед монітором. За допомогою направленого переміщення корпуса щодо стоп він мав сполучати свій центр тиску (що демонструвався йому на екрані у вигляді курсору) з позначеню на екрані мішенню та переміщати її далі в потрібне місце. Такий ігровий спосіб тестування створював можливість ліпше мотивувати випробуваного для виконання завдання. Отже, під час використання розробленої технології до всіх вигод комп'ютерної стабілографії (економія часу дослідження, оперативна комп'ютерна обробка даних, мотивована процедура тестування) можна зарахувати й більшу об'ективність отримуваних результатів.

Обговорюваний метод широко застосовується для відновлення порушень стійкості вертикальної пози, що розвиваються за різних захворювань нервової системи [5]. В основі поліпшення постурального контролю під час використання технології біоуправління, організованого внаслідок застосування стабілографічного методу, лежить побудова нових функціональних зв'язків замість наявних. Отримання хворим зовнішньої додаткової зворотної

інформації, поданої у вигляді візуальних сигналів на екрані монітора, сприяє уточненню ступеня успішності виконання руху та допомагає адекватно коригувати її в разі виникнення неузгодженностей під час виконання завдання, формуючи нову функціональну систему замість попередньої патологічної.

Використовуючи феномен залежності показників якості функції рівноваги від рівня стомлення та психоемоційного напруження, у ФГУ «Центрального клінічного санаторію ім. Ф. Є. Дзержинського ФСБ Росії» застосовували його у співробітників для оцінки дезадаптаційних порушень [4]. Було встановлено, що домінуючим синдромом у разі розвитку психофізіологічної дезадаптації є психовегетативний. У цьому випадку вирішальну роль відіграє детренованість трофічної функції вегетативної нервової системи. Це викликає порушення м'язової діяльності та призводить як до істотного зниження еферентної імпульсації всього комплексу необхідних сигналів, так і до різкого зниження зворотного потоку аферентних імпульсів, що інформують ЦНС і низку систем організму про функціональні зміни, що відбуваються в м'язах. Саме цей процес зворотного зв'язку, який забезпечує адекватність трофічних впливів, піддається найбільшим змінам у разі стресових впливів.

Припускається, що зменшення обсягу еферентних і аферентних впливів може служити механізмом своєрідної «фізіологічної денервації» м'язів, що призводить до різких порушень таких простих актів біомеханіки як утримання вертикальної пози. Для оцінки функціонального стану людини використовували показник якості функції рівноваги (КФР) [11, 13, 22], що характеризує розподіл векторів швидкості руху центру тиску людини на опорну поверхню стабілплатформи. Отримані результати вказують на те, що напруження адаптаційних механізмів призводить до дезорганізації нервово-м'язового забезпечення та формування специфічних функціональних блоків опорно-рухової системи, що зумовлюють неоптимальний руховий стереотип, наслідком дії якого є зсув центру ваги та поступового розвитку патології. Можна дійти висновку, про доцільність подальшого вивчення та упровадження стабіографічного дослідження як скринінгового методу, спрямованого на раннє виявлення явищ психофізіологічної дезадаптації в осі небезпечних професій, що дає змогу вчасно виявляти перенапруження адаптивних систем організму та здійснювати корекцію порушень їхнього здоров'я.

Знання індивідуальних норм створює можливість здійснювати моніторинг функціонального стану людини та побудову індивідуальних «коридорів» [3, 9]. Вихід показників КФР із індивідуального «коридору» свідчить про відхилення функціонального стану людини та дає змогу отримати інформацію про зміну цього стану ще до появи клінічних проявів хвороби. Формування індивідуальних «коридорів»

у процесі проведення моніторингу функціонального стану допоможе оцінювати ефективність застосування різних видів реабілітаційних заходів.

Визначення кількісної оцінки та прогнозування розвитку функціональних станів людини під час виконання різних видів діяльності на основі застосування стабілографії та п'ятифакторної нейромережевої моделі [2, 19, 23]. Розроблено комп'ютерний комплекс для здійснення функціональної діагностики [5, 7, 23]. Прогноз станів здійснюється за допомогою 5 кількісних показників стабілометрії: довжини стабіограми під час тестування із заплющеними очима, потужності спектра коливань на частотах 0,5; 1,5 і 3,5 Гц в антеріопостеріорній площині із заплющеними очима та частотою 1,5 Гц в антеріопостеріорній площині з розплющеними очима [2]. Аналізуючи моделі прогнозу функціональних станів за показниками стабілометрії, установлено, що збільшення довжини стабіограми під час тестування із заплющеними очима може розцінюватися як факт погіршення функціонального стану досліджуваних [5, 8]. Це зумовлено переважанням у структурі рухів під час підтримки вертикальної пози великої кількості дрібних високочастотних коливань. Збільшення потужності спектру коливань центру мас у низькочастотній області (0-1 Гц) свідчить про посилення процесів зворотної аферентації під час підтримки пози та поліпшення функціонального стану досліджуваних. До того ж підтримка вертикальної пози в цьому випадку здійснюється за рахунок злагодженості взаємодії різних рівнів ЦНС [15, 16]. Іншими словами, регуляція вертикальної пози під час проведення тестування із заплющеними очима здебільшого відбувається за рахунок збільшення потужності спектра коливань на частотах 0,5; 1,5 і 3,5 Гц в антеріопостеріорній площині.

Ще є одне рішення проблеми прогнозування функціонального стану із застосуванням спеціальних моделей динаміки статодинамічної стійкості працівника [11, 12, 15]. Розроблений апаратно-програмний комплекс дає змогу оперативно реєструвати стабіограму та швидко аналізувати отримані дані за допомогою комп'ютера. Розроблено систему визначення класу динаміки показників статодинамічної стійкості людини. Ця система створює можливість ураховувати різноспрямований характер зміни досліджуваних характеристик унаслідок дії виробничого навантаження, що дає змогу здійснювати достатньо точний прогноз динаміки досліджуваних показників.

Сучасна література засвідчує, що функція вестибулярного апарату є багатокомпонентною та відчуває вплив комплексу чинників трудового середовища. Тому для розгляду її функціонування застосовують багато параметрів та методів їх подальшого аналізу. Безперечним є те, що для подальшого розвитку цього напряму необхідно максимально стандартизувати умови проведення досліджень і виділити невеликий

за обсягом комплекс інформативних показників, що відзеркалюють статодинамічну стійкість працівників різних професій. У подальшому на цій основі можна буде застосовувати певні математичні методи для прогнозування змін у стані людини.

Перше з виділених першочергових завдань пропонують розв'язувати таким чином: сеанс реєстрації статокінетичної стійкості людини слід проводити за однотипною методикою для всіх обстежених у три етапи. На першому етапі пацієнт під час дослідження перебуває на платформі постурографа в позі Ромберга з розплющеними очима протягом 10 с. За результатами первого етапу автоматизовано (програмно) проводиться встановлення місця перебування пацієнта на платформі та співставлення з центром координатної сітки на екрані комп'ютера з проекцією центру ваги на площину платформи в разі строго вертикального стояння в цьому місці. Установлюється точка відліку. На другому етапі проводиться дослідження стану функції рівноваги протягом 60 с із зоровим контролем. Як правило, пацієнту пропонують фіксувати погляд на довільний непорушний предмет (наприклад, точку), який розташований попереду на рівні очей. На третьому етапі проводять дослідження стану функції рівноваги без зорового контролю. Дослідження проводять

також протягом 60 с. Умовою для проведення сеансу (на всіх трьох етапах) є те, що пацієнт не має допустити відриву стопи від площини платформи, переміщення на платформі, а також зміни пози. У разі порушення будь-якого з перелічених правил результат усього сеансу анулюється, а сеанс проводять повторно, починаючи з первого етапу.

Подальші кроки з удосконалення методів оцінки стану працівника окремої професії проводяться тільки після отримання достатньо великого обсягу експериментальних матеріалів для визначення статистично значущого рівня інформативності отриманих показників.

Установлено, що метод комп'ютерної оцінки функції підтримки рівноваги тіла є інформативним і *перспективним* для оперативного визначення функціонального стану людини. Накопичено великий експериментальний матеріал, що допомагає виділити десятки показників, за якими можна проводити таку оцінку. Проте подальші кроки, спрямовані на вдосконалення та широке впровадження методу, лежать у площині стандартизації процедури обстеження, а також у визначенні комплексу інформативних характеристик, за допомогою яких можна оцінювати та прогнозувати зміни функціонального стану людини, працівника окремої професії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизированная компьютерная стабилографическая диагностика атаксий с использованием анализа векторов и статистического метода «деревьев классификации»: монография. / В. И. Усачев, Х. Т. Абдулкеримов, С. Г. Григорьев [и др.]. — Таганрог: РИТМ, 2004. — 24 с.
2. Аналіз регуляції вертикальної пози при стоянні на нерухомій платформі / Ю. Є. Лях, Ю. Г. Вихованець, В. Г. Гур'янов, А. М. Черняк // Нейронауки: теоретичні та клінічні аспекти. — 2010. — Т. 6. — № 1. — С. 96–100.
3. Балина Т. Н. Диагностика хронического утомления методом компьютерной стабилографии / Т. Н. Балина // Валеология. — 2008. — № 4. — С. 52–57.
4. Биокибернетические механизмы саморегуляции устойчивости и поддержания вертикальной позы (нейросетевой анализ) / Ю. Е. Лях, О. Г. Горшков, В. Г. Гурьянов [и др.] // Нейронауки: теоретичні та клінічні аспекти. — 2010. — Т. 6. — № 2. — С. 28–32.
5. Биоуправление по стабилограмме в клинике нервных болезней / Л. А. Черникова, К. И. Устинова, М. Е. Иоффе [и др.] // Бюллєтень СО РАМН. — 2004. — № 3(113). — С. 85–91.
6. Возможности компьютерной стабилографии в оценке функционального состояния человека / В. М. Звоников, И. М. Люцкий, В. И. Усачев, С. С. Слива // VII Междунар. конф. «Современные технологии восстановительной медицины», Сочи, Центральный клин. санаторий им. Ф. Э. Дзержинского, 11–16 мая 2004 г. — С. 300.
7. Вихованець Ю. Г. Комп'ютерний комплекс для кількісної біомедичної оцінки / Ю. Г. Вихованець // Вестник гигієни и епидемиологии. — 2010. — Т. 14. — № 2. — С. 176–180.
8. Вихованець Ю. Г. Нейромережеві моделі в оцінці функціональних станів людини: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.03.11 «Медична та біологічна інформатика і кібернетика» / Ю. Г. Вихованець; НМАПО ім. П. Л. Шупика МОЗ України. — К., 2011. — 36 с.
9. Вычисление индивидуальных норм для оценки функционального состояния человека / В. Е. Беляев, Е. М. Девликанова, Э. О. Девликанов, С. С. Слива // Материалы Всерос. науч.-технич. конф. «Мед. информ. системы — МИС-2004». — Таганрог: Известия ТРТУ. (Тематич. выпуск), 2004. — № 6. — С. 96–98.
10. Динамическая стабилизация вертикального положения тела человека / В. И. Усачев, М. И. Говорун, А. Е. Голованов, М. С. Кузнецов // Известия ЮФУ. (Тематич. выпуск) «Мед. информ. системы». — 2010. — № 9. — С. 164–169.

11. Каминський А. А. Информационная технология прогнозирования функционального состояния человека в процессе трудовой деятельности: автореф. дис. ... канд. техн. наук. 05.13.09 «Медицинская и биологическая информатика и кибернетика» / А. А. Каминський. — Х.: ХНУРЭ, 2012. — 20 с.
12. Каминский А. А. Устройство для исследования вестибулярного аппарата человека / А. А. Каминский // Современные проблемы радиотехники телекоммуникаций РТ-2011: 7-я Междунар. науч.-технич. конф., 11–15 апреля 2011 г.: тезисы докл. — Севастополь, 2011. — С. 176.
13. Компанієць О. А. Методика статистичної обробки результатів дослідження вестибуолоспінального рефлексу в практиці комп’ютерної постурографії / О. А. Компанієць // Медicina сьогодні і завтра. — 2002. — № 1. — С. 98–101.
14. Компанієць О. А. Порівняльна оцінка існуючих основних методів дослідження вестибулярної функції і методу комп’ютерної постурографії в практиці професійного відбору кандидатів до льотної роботи / О. А. Компанієць // Журн. вушних, носових і горлових хвороб. — 2001. — № 2. — С. 54–57.
15. Компанієць О. А. Порівняльний аналіз вестибулярної функції у абитуруєнтів льотного факультету Харківського інституту льотчиків і прапорщиків за даними регламентованої вестибулометрії та комп’ютерної постурографії / О. А. Компанієць // Медicina сьогодні і завтра. — 2002. — № 1. — С. 134–137.
16. Компанієць О. А. Результати дослідження функції рівноваги методом комп’ютерної постурографії в нормі / О. А. Компанієць // Військова медицина України. — 2002. — № 2, Т. 2. — С. 61–67.
17. Kochina M. L. Аппаратно-программный комплекс для исследования статодинамической устойчивости человека / М. Л. Kochina, A. A. Kaminsky // Прикладная радиоэлектроника. — 2012. — Т. 11, № 1. — С. 120–124.
18. Мищулова Т. Е. Методика стабилографии в научно-методическом обеспечении подготовки сборных команд Украины / Т. Е. Мищулова // Физическое воспитание студентов творческих специальностей. — Х.: ХГАДИ (ХПИ), 2006. — № 2. — С. 22–29.
19. Нейрофизиологический анализ стабилограмм методом Херста / Ю. Е. Лях, О. Г. Горшков, В. Г. Гурьянов, Ю. Г. Выхованец // Клиническая информатика и телемедицина. — 2009. — Т. 5, Вып. 6. — С. 6–9.
20. Отражают ли стабилометрические показатели энергозатраты человека на поддержание вертикального положения тела? / М. И. Говорун, О. М. Шелков, В. И. Усачев [и др.] // Мат. XVIII съезда оториноларингологов России. — СПб, 26–28 апреля 2011 г. — Т. 2. — С. 47–52.
21. Патент на изобретение № 2165733 РФ, МКИ А 61 В 5/130, 5/00. Способ оценки общего функционального состояния человека / И. В. Кондратьев, Г. А. Переяслов, С. С. Слива, В. И. Усачев. — № 99105091; заявл. 15.03.99; опубл. 27.04.2001. — Бюл. № 12. — Приоритет 15.03.99. — 8 с.
22. Показатель качества функции равновесия (КФР) — маркер психофизиологической дезадаптации у лиц опасных профессий / А. Т. Быков, А. Я. Питерская, Р. Ю. Поддубная, А. С. Слива // Известия Таганрогского гос. радиотехн. ун-та (Тематич. вып.) «Мед. информ. системы». — Таганрог, 2006. — № 11. — С. 24–27.
23. Програмно-апаратный комплекс для биомедицинских досліджень / Ю. Є. Лях, Ю. Г. Вихованець, В. Г. Гур'янов, А. М. Черняк // Медична інформатика та інженерія. — 2008. — № 1. — С. 9–13.
24. Слива С. С. Оценка функционального состояния лиц операторско-диспетчерской группы методами компьютерной стабилографии / С. С. Слива, В. Э. Костецкий // Известия Таганрог. гос. радиотехн. ун-та (Тематич. вып.) «Мед. информ. системы». — Таганрог, 2006. — № 11. — С. 27–28.
25. Усачев В. И. Информативность стабилографических параметров / В. И. Усачев, В. Е. Беляев // Известия Таганрог. гос. радиотехн. ун-та (Тематич. вып.) «Мед. информ. системы». — Таганрог, 2006. — № 11. — С. 149–150.