

Стабілографічні показники у людини в позиціях нахилів тіла вперед і назад

¹В.В. Гаркавенко, ¹О.В. Колосова, ²В.Д. Максимова

¹Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України, Київ; ²Національний університет фізичного виховання та спорту України, Київ; e-mail: olena_kolos@ukr.net

В групі з 15 обстежуваних з використанням стабілографічної методики порівнювали постурологічні характеристики у трьох позах: пряма вертикальна стійка, поза нахилу тіла вперед та поза нахилу назад. Досліджували зміни положення центру тиску стоп (ЦТС) на горизонтальній площині опори та спектральні характеристики постуральних коливань у сагітальній та фронтальній площинах (У- та Х-коливань). Тести проводили при відкритих і закритих очах. Спектральна потужність коливань суттєво залежала від пози, а саме збільшувалася при нахилах. У всіх трьох позах блокування зорового входу призводило до збільшення спектральної потужності як У-, так і Х-коливань у декількох частотних діапазонах. Показана суттєва залежність від зорового контролю і для середнього значення ЦТС при нахилі назад. Порівняльний аналіз спектральних характеристик постуральних фронтальних та сагітальних коливань при відкритих і закритих очах вказує на істотну взаємодію пропріоцептивної та зорової аферентації у разі утримання рівноваги за умов нахилів тіла відносно прямої вертикальної стійки.

Ключові слова: стабілографія; спектральна потужність; пряма вертикальна стійка; пози нахилів тіла вперед і назад; сагітальні коливання; фронтальні коливання.

ВСТУП

В останні роки стабілометрія досить успішно використовується як метод дослідження механізмів постурального контролю, диференційної діагностики при вирішенні медико-біологічних завдань та контролю за реабілітаційними та тренувальними процесами [1-5]. Дослідження найчастіше проводяться в умовах прямої вертикальної стійки, яку в стабілографії звичайно позначають терміном «основна стійка». Тіло людини, що стоїть, виконує коливальні рухи, інколи непомітні, в різних площинах. Підтримання рівноваги, тобто балансу тіла при стоянні – активний динамічний процес, в якому беруть участь різні функціональні системи організму, насамперед опорно-рухова та нервова (центральна та периферична), а також задіяні органи чуття – пропріоцептивний, зоровий та частково вестибулярний апарат. Характеристики коливань (амплітуда, частота, напрямок) є чутливими

параметрами, що відображають стан різних систем, які беруть участь у підтриманні балансу тіла.

Підвищення інформативності стабілографічної методики може бути досягнуто в результаті порівняльного аналізу постуральних характеристик, отриманих при різних модифікаціях пози стояння, а також із застосуванням додаткових методів обробки результатів, насамперед спектрального аналізу постуральних коливань [6-13].

Мета нашої роботи – дослідження особливостей постуральних коливань людини, а також взаємодії зорової та пропріоцептивної аферентації при утриманні рівноваги за умов нахилів тіла відносно прямої вертикальної стійки.

МЕТОДИКА

Дослідження було проведено за участю 15 обстежуваних обох статей (5 жінок, 9

чоловіків) віком від 19 до 58 років (середній вік 36 років), без неврологічних захворювань в анамнезі і ознак неврологічної патології на момент обстеження. Всі учасники були ознайомлені з процедурою тестів і дали інформовану згоду.

Зміни положення центру тиску стоп (ЦТС) в ортогональній системі координат реєстрували за допомогою стабілографічної силової платформи, забезпеченої чотирма датчиками. Під час тестування обстежувані знаходилися без взуття на горизонтальній площині платформи. Проводили реєстрації в трьох позиціях - основній стійці, позі нахилу тіла вперед і позі нахилу назад (НВ і НН відповідно).

Під основною стійкою мали на увазі вертикальну позу стояння з випрямленим тулубом і випрямленими у суглобах ногами (в межах зручності для обстежуваного). Голову тримали рівно, прямо, погляд спрямований уперед, руки вільно звисають по боках тулуба. Що стосується розташування ступнів, то використовували один із традиційних варіантів, відомий як американський, а саме: вони розташовувалися паралельно одна одній, симетрично відносно центральної поздовжньої осі платформи [11]. Відстань між осями ступнів була 18 см.

Інструкція для обстежуваних передбачала виконання нахилів до рівнів, що будуть сприйматися як граничні щодо зберігання стійкості за умов випрямленого стану основної осі тіла - «голова - тулуб - ноги». Слідкували, щоб нахили супроводжувалися змінами кутів насамперед у гомілковостопних, а не у колінних та кульшових суглобах, в яких вони були мінімальними.

Вимірювали різницю кутів між положенням осі гомілки у основній стійці і при нахилах. За умов нахилів вперед різниця знаходилася в межах 5-8°, а при нахилах назад -3-6°. Слід відмітити, що показники варіювали протягом дотримання тестової позиції як для одного й того ж, так і для різних обстежуваних.

У кожній з позицій реєстрацію проводили спочатку при відкритих, а потім при закритих очах. З кожним обстежуваним виконували 6 реєстрацій в різних умовах: основна стійка, очі відкриті; основна стійка, очі закриті; нахил вперед, очі відкриті; нахил вперед, очі закриті; нахил назад, очі відкриті; нахил назад, очі закриті. Тривалість реєстрацій в кожній з проб становила 20 с. Вважали, що в такому досить короткому інтервалі часу стан рівноваги обстежуваних можна розглядати як відносно стаціонарний.

Реєстрацію і аналіз сигналів від датчиків платформи проводили на комп'ютері за допомогою плати введення-виведення NI 6070E («National Instruments», США) і програм, написаних мовою *LabView*. Частота дискретизації сигналів становила 100 с⁻¹. Перед введенням сигнали піддавали аналоговій фільтрації зі смугою пропускання 0,5-200 Гц. Реєстрували траєкторії переміщення ЦТС (статокінезіограми): на їх основі розраховували середні значення координат ЦТС для кожної з проб.

Спектральний аналіз виконували за допомогою програмного пакета «Mathcad 2001 Professional». Отримували спектральні характеристики зміни положення ЦТС у сагітальній та фронтальній площинах (Y- і X-коливань, відповідно). Значення спектральної потужності коливань (квадратні міліметри) розраховували для 6 частотних діапазонів: 0-0,2; 0,2-0,5; 0,5-1,0; 1,0-2,0; 2,0-3,0; 3,0-6,0 Гц. Для оцінки статистичної значимості міжгрупових відмінностей для різних пар показників використовували критерій t Стьюдента для парних вибірок.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Слід відмітити, що під час нахилів вперед та назад у всіх обстежуваних відбуваються відповідні переміщення ЦТС на опорній поверхні відносно його положення при основній стійці. При закритих очах у всіх пробах розмах коливань, як правило, пере-

вищував такий за умов відкритих очей (рис.1).

Порівнювали положення ЦТС в основній стійці та у позі нахилу і розраховували середні значення X- та Y-координат відхилень у позиціях НВ та НН відносно основної стійки (рис.2). Значення сагітального відхилення у позиції НВ становило $56,1 \pm 3,9$ мм при відкритих очах, а при закритих очах - $55,5 \pm 3,8$ мм. У позиції НН за умов візуального контролю сагітальне відхилення ЦТС було $-48,5 \pm 2,7$ мм, а при закритих очах суттєво меншим, $-42,3 \pm 2,4$ мм; $P < 0,01$. Фронтальне відхилення не залежало від пози та стану зорового контролю. У частини обстежуваних ЦТС був зміщений дещо праворуч, у інших - ліворуч від центральної поздовжньої осі платформи. Так, наприклад, на статокінезіограмі одного з обстежуваних (див. рис.1) можна бачити, що у всіх позах ЦТС був зміщений

праворуч, особливо при нахилах назад.

Результати аналізу спектрів постуральних коливань у сагітальній та фронтальній площинах підтверджують спостереження багатьох дослідників про переважання в спектрах порівняно низьких частот і зниження потужності у діапазонах з більшою частотою [3, 11]. Такий тип профілю стабілографічних спектрів виявився характерним і для основної стійки, і при нахилах.

Блокування зорового входу призводило до збільшення потужності в різних діапазонах спектра постуральних коливань. Подібні дані за умов закритих очей отримані також в інших дослідженнях вертикальної стійки та її модифікацій [7-9, 14].

При відкритих очах спектральна потужність X-коливань в умовах нахилів перевищувала таку в аналогічних діапазонах коливань в основній стійці. Для НВ таке переви-

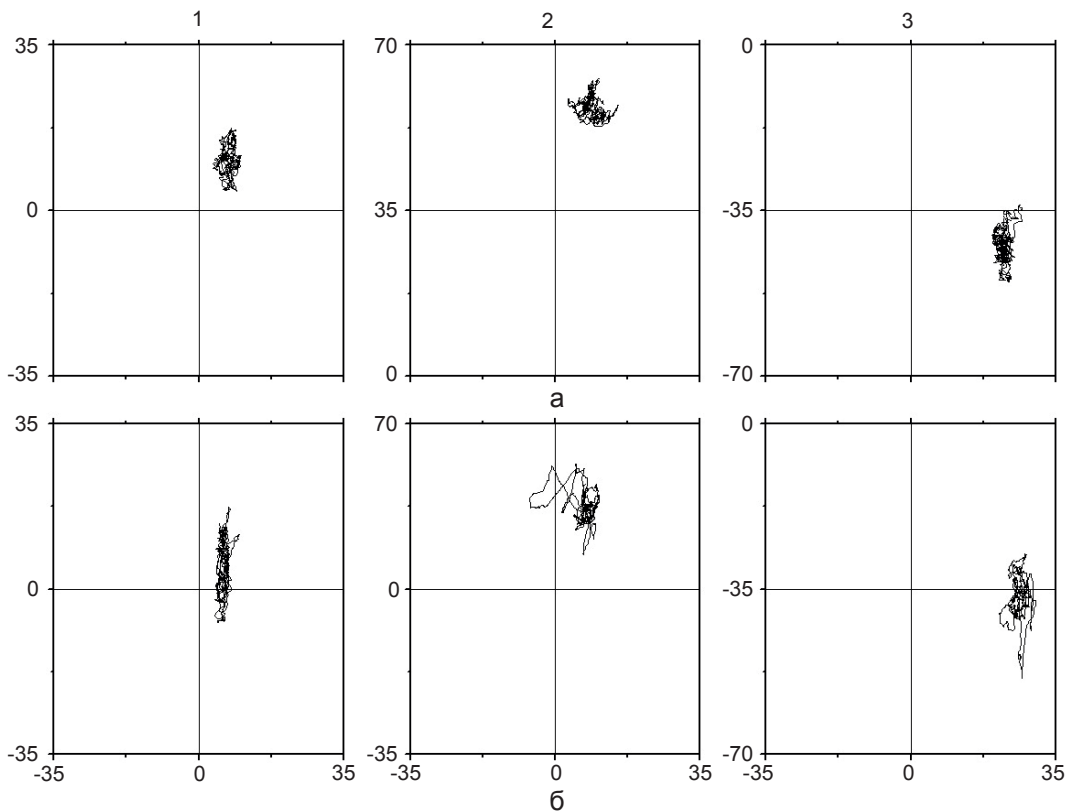


Рис.1. Траєкторії переміщення центру тиску стоп (статокінезіограми), зареєстровані під час дослідження одного з обстежуваних при відкритих (а) і закритих (б) очах: 1 – основна стійка, 2 – нахил вперед, 3 – нахил назад

щення спостерігалось в 4 (0-0,2; 0,2-0,5; 0,5-1,0; 2,0-3,0 Гц), а для НН в 5 з 6 (за винятком 0,2-0,5 Гц) діапазонів спектра. Потужності сагітальних коливань при нахилах вперед і назад за умов відкритих очей також перевищували величини для основної стійки в 5 (за винятком 0-0,2 Гц) і 4 (0,5-1,0; 1,0-2,0; 2,0-3,0; 3,0-6,0 Гц) діапазонах. При закритих очах спектральна потужність бічних коливань при нахилах також була більшою щодо показників для основної стійки, при нахилах вперед – істотно для 3 діапазонів (0-0,2; 0,2-0,5; 1,0-2,0), тоді як при нахилах назад - у всіх 6 діапазонах. Для сагітальних коливань при закритих очах за умов НВ перевищення спектральної потужності щодо основної стійки спостерігалось у 2 діапазонах (2,0-3,0; 3,0-6,0 Гц), а при НН – в 5 з 6 (за винятком 0-0,2 Гц). Певні відмінності виявлені і

між значеннями потужності коливань при НВ і НН. За умов відкритих очей при НН потужність Х-коливань була більшою, ніж при НВ, в діапазоні 3,0-6,0 Гц. Однак в умовах закритих очей вона при НВ була більшою, ніж при НН, у діапазоні 0-0,2 Гц. Порівняння між НВ і НН за потужністю У-коливань показало її більш високі значення при НН: в діапазоні 0,2-0,5 Гц при відкритих очах і в діапазоні 0,5-1,0 Гц при закритих. Таким чином, при порівнянні позицій нахилів і основної стійки було показано, що спектральна потужність як У-, так і Х-коливань у декількох частотних діапазонах у разі нахилів була істотно більшою, ніж в основній стійці, а різниця залежала від наявності зорового контролю.

Обчислювали різницю між значеннями потужності коливань в позі нахилу (в обох варіантах) і в основній стійці при проведенні

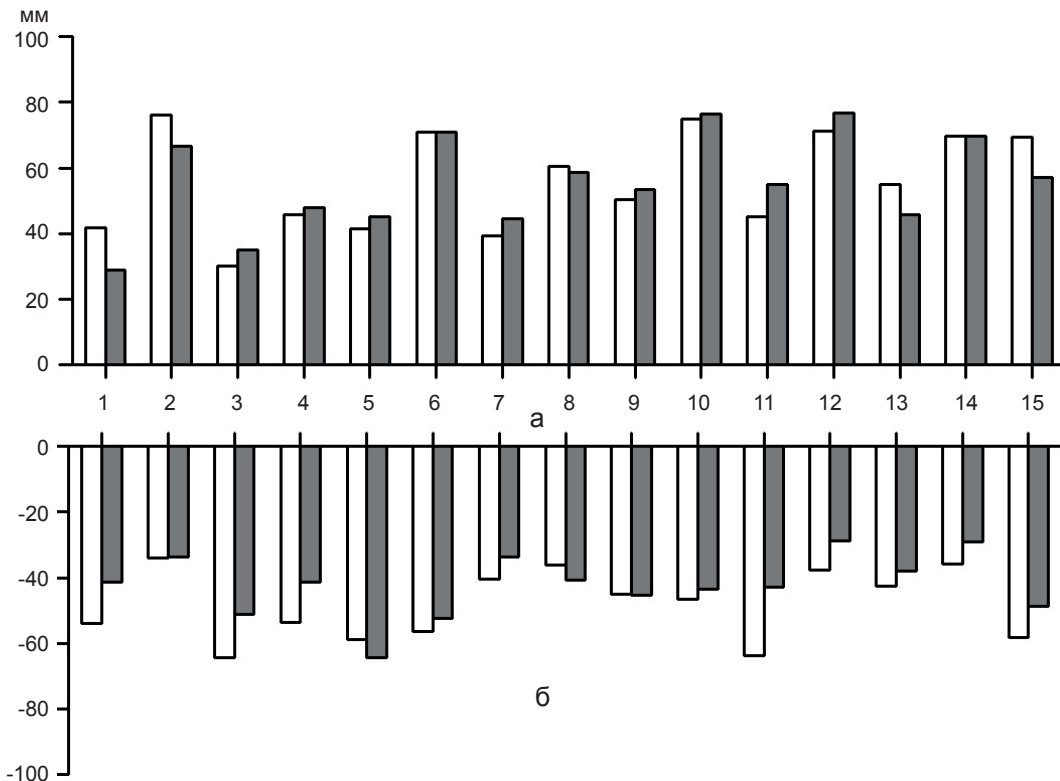


Рис.2. Зміни положення центру тиску стоп (ЦТС) при нахилах у сагітальній площині (а – нахил вперед; б – нахил назад) у різних обстежуваних за умов відкритих та закритих очей. За горизонталлю – порядкові номери обстежуваних (1–15); за вертикаллю – значення різниці між усередненими положеннями ЦТС при нахилах та в основній стійці; позитивні значення відповідають зміщенню ЦТС вперед, а негативні – назад. Світлі та темні стовпчики – значення зміщення ЦТС при відкритих та при закритих очах

тестів за умов відкритих очей і за відсутності зорового контролю. При нахилах вперед і назад різниця за умов закритих очей була більшою, ніж при відкритих очах. Для Х-коливань у разі відкритих і закритих очей відмінності були істотними при НВ у діапазонах 0-0,2 і 0,2-0,5 Гц та при НН в діапазоні 0,2-0,5 Гц, тоді як для У-коливань при НВ тільки в діапазоні 3,0-6,0 Гц, а при НН – в 5 з 6 діапазонів, за винятком самого низькочастотного (0-0,2 Гц).

Проведений також аналіз різниці потужності стабілографічних коливань в одній і тій самій позі при закритих і відкритих очах. Для Х-коливань збільшення потужності при закритих очах відносно умов відкритих очей у позиціях НВ і НН виявилось неістотним. Водночас збільшення потужності при закритих очах для У-коливань в діапазоні 0,5-1,0 Гц при нахилах назад виявилось значно більшим, ніж при НВ ($P < 0,05$).

Отримані результати дають змогу стверджувати, що фактор зорового контролю має істотний вплив на параметри постуральних коливань при обох варіантах нахилів тіла. При цьому змінюється спектральна потужність Х-коливань за умов НВ і НН у відносно низькочастотних діапазонах; водночас зміна потужності У-коливань за умов НН помітно більш виражена порівняно з НВ. Збільшення У-коливань при відсутності зорового контролю в позиції НН щодо НВ відображає більш високий рівень складності утримання пози відхилення назад, що, вочевидь, зумовлено особливостями пропріорецептивної аферентації при утриманні рівноваги. Особливості виконання нахилу назад, можливо, пов'язані з певним психологічним фактором, а саме, більш високим рівнем відчуття суб'єктивної безпеки в ситуації нахилів вперед [15, 16], навіть в умовах страхування. Можливо, саме цим фактором значною мірою спричинено зменшення зміщення ЦТС при НН за умов закритих очей.

Нахили вперед і назад, безумовно, відрізняються системою активації пропріорецепторів

різних частин тіла і супроводжуються складною взаємодією м'язів - згиначів і розгиначів. Вважається, що в таких умовах задіяні насамперед гомілковостопні та кульшові суглоби. В наших дослідженнях при виконанні нахилів тіла ми намагалися мінімізувати зміни кутів у кульшових суглобах. В обох випадках, як при нахилах вперед і нахилах назад, протилежних за напрямком, спостерігається істотне збільшення фронтальних коливань. Аналогічне підвищення було показано раніше в дослідженнях при нахилах поверхні опори в сагітальній площині протилежної спрямованості (вперед та назад) [8].

Зміни бічних коливань у разі нахилів тіла і нахилів поверхні опори в сагітальній площині свідчать про істотну роль пропріорецепторів системи гомілковостопних суглобів у генезі фронтальних коливань при утриманні рівноваги під час стояння. Цей висновок узгоджується з іншими даними літератури [17].

Отримані результати аналізу спектральних характеристик постуральних коливань при відкритих і закритих очах вказують на істотну взаємодію пропріорецептивної та зорової аферентації при нахилах тіла відносно основної стійки.

¹В.В. Гаркавенко, ¹Е.В. Колосова,
²В.Д. Максимова

СТАБИЛОГРАФИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ У ЧЕЛОВЕКА В ПОЗИЦИЯХ НАКЛОНОВ ТЕЛА ВПЕРЕД И НАЗАД

В группе из 15 обследуемых с использованием стабیلграфической методики сравнивали постурологические характеристики в трех позах: прямая вертикальная стойка, наклон тела вперед и наклон назад. Исследовали изменения положения центра давления стоп (ЦДС) на горизонтальной плоскости опоры и спектральные характеристики постуральных колебаний в сагитальной и фронтальной плоскостях (У- и Х-колебаний). Тесты проводили при открытых и закрытых глазах. Спектральная мощность колебаний существенно зависела от позы, а именно, увеличивалась при наклонах. Во всех трех позах блокировка зрительного входа приводила к увеличению спектральной мощности как У-, так и Х-колебаний в нескольких частотных диапазонах. Показана существенная зависимость от зрительного контроля и для среднего

значения ЦДС при наклоне назад. Сравнительный анализ спектральных характеристик постуральных фронтальных и сагиттальных колебаний при открытых и закрытых глазах указывает на существенное взаимодействие проприоцептивной и зрительной афферентации при удержании равновесия в условиях наклонов тела относительно прямой вертикальной стойки.

Ключевые слова: стабилосография; спектральная мощность; прямая вертикальная стойка; позы наклонов тела вперед и назад; сагиттальные колебания; фронтальные колебания.

V.V. Garkavenko¹, E.V. Kolosova¹, V.D. Maksimova²

STABILOMETRIC VALUES OF HUMANS UNDER THE CONDITIONS OF FORWARD AND BACKWARD BENT POSITIONS

Using stabilometry study the center of pressure (COP) displacement over the horizontal surface and power spectrum characteristics of postural sway in the sagittal and frontal planes (Y and X- oscillations, respectively) during an upright stance (US) and under the conditions of body bents forward and backward (BF and BB, respectively) were investigated in a group of 15 volunteers. The tests were performed under the conditions of opened and closed eyes. It was demonstrated that the power spectrum of sway depended on posture, it was greater under the conditions of body bents than during the upright stance. In all three positions blocking of optical input resulted in an increase in power spectrum as well of Y- and X-oscillations in a number of frequency bands of body sway. A significant dependence on the visual control for the mean value of COP under the conditions of bents backward was also found. Data on changes in the lateral oscillations under the conditions of body bents in the sagittal plane showed the essential role of ankle proprioceptors in the genesis of the lateral oscillations at keeping balance during standing. The comparative analysis of power spectrum characteristics of postural sway in the sagittal and frontal planes under the conditions of opened and closed eyes indicated a significant interaction between proprioceptive and visual afferentation at positions of body bents relative to upright stance.

Keywords: stabilometry; power spectrum; upright stance; forward and backward body bent positions; anteroposterioroscillations; medio-lateral oscillations.

¹*O.O.Bogomoletz Institute of Physiology NAS of Ukraine, Kyiv;*

²*National University of Physical Education and Sports of Ukraine, Kyiv*

REFERENCES

1. Nakagawa H, Ohashi N, Watanabe Y, Mizukoshi K. The contribution of proprioception to posture control in normal subjects. *Acta Otolaryngol Suppl.* 1993;504:112-6.

2. Karpova EA, Ivanova-Smolenskaja IA, Chernikova LA. Clinico-stabilometric analysis of postural disorders in Parkinson's disease. *Zhurnal nevrologii i psichiatrii im. S.S.Korsakova.* 2004;104(1):37-41. [Russian].
3. Demura S, Kitabayashi T. Comparison of power spectrum characteristics of body sway during a static upright standing posture in healthy elderly people and young adults. *Percept Mot Skills.* 2006;102(2):467-76.
4. Zhang Y, Kiemel T, Jeka J. The incoordination of sensory information on two-component coordination during quiet stance. *Gait Posture.* 2006;26(2):263-71.
5. Heuvel MR, Balasubramaniam R, Daffertshofer A. Delayed visual feedback reveals distinct time scales in balance control. *Neurosci Lett.* 2009;452(1):37-41.
6. Savin AA. Relationship between stability of posture and physical performance of wrestlers during upright standing posture and in a semisquatting position. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta.* 2011;5(107):62-5. [Russian].
7. Mezzarane RA, Kohn AF. Control of upright stance over inclined surfaces. *Exp Brain Res.* 2007;180(2):377-88.
8. GarkavenkoVV, GorkovenkoAV, KolosovaEV, KorneyevVV, ShevkoAN, VasilenkoDA, Mel'nichoukAP. Modifications of the stabilogram during upright standing posture under conditions of inclines of the support surface. *Neurophysiology.* 2012;44(2):131-7.
9. Garkavenko VV, Kolosova YeV, Mel'nichouk AP, Vasilenko DA. Stabilographic indices of humans in a semi-squatting position. *Neurophysiology.* 2013;45(1):49-59.
10. Cimmerman GS. *Ear and brain.* Moscow: Medicina; 1967. [Russian].
11. Skvortcov DV. *Stabilometric research: a brief guide.* Moscow: Maska;2010. [Russian].
12. Boloban VN, Mistulova TE. *Stabilography: achievements and prospects.* Nauka v olimpijskom sporte. Special issue of Physical Culture Research Institute. 2000:5-13. [Russian].
13. Ivonina NA, Shmidt IR. Stabilometry in the diagnosis of various forms of disequilibrium. In: *Modern aspects of electroneurostimulation and new technologies in neurosurgery and neurology.* Proceedings of the Russian scientific-practical conference. Saratov; 1998. p. 103-5. [Russian].
14. Javorskij AB, Sologubov EG, Nemkova SA. Kinesthetic vertical stability characteristics of patients with cerebral palsy. *Zhurnal nevrologii i psichiatrii im S.S.Korsakova.* 2004;104(2):21-6. [Russian].
15. Gurfinkel' VS, KocJaM, ShikML. *Regulation of human posture.* Moscow: Nauka; 1965. [Russian].
16. Gurfinkel' VS, Levik JuS, Lebedev MA. The concept of body scheme and motor control. The scheme of the body in the management of postural automatisms. In: Chernavskij AV, editor. *Intelligent processes and their modelling. Spatio-temporal organization.* Moscow: Nauka; 1991. p. 24-53. [Russian].
17. Deniskina NV, Levik YS. Relative contribution of ankle and hip muscles in regulation of the human orthograde posture in a frontal plane. *Neurosci Lett.* 2001;310(2-3):165-8.

Матеріал надійшов до редакції 28.04.2015