

УДК 612.76+612.8]:616.71-071.2/.3(045)

## Моделювання процесів підтримки вертикальної пози

О. А. Тяжелов <sup>1</sup>, В. О. Фіщенко <sup>2</sup>, С. Ю. Яремін <sup>2</sup>, М. Ю. Карпінський <sup>1</sup>,  
О. Д. Карпінська <sup>1</sup>

<sup>1</sup> ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

<sup>2</sup> Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова. Україна

*Study the mechanisms for regulation of human posture is one of the urgent tasks of physiology of movement. This is due to significance of the results of research for development of methods for diagnosis and treatment of various disorders of the central nervous system (CNS) and the musculoskeletal system (MSS) as well as to theoretical elaborations concerning the general principles of organization of control of person's movement. Objective: To conceptually determine the role of statogram as a result of interaction of the CNS and the execution system (ES) in the evaluation of the MSS function. Results: Based on the analysis of existing physiological models for maintaining of equilibrium there was developed a conceptual model of interaction between the CNS and the MSS for the person in maintaining upright posture. The system approach to the differential assessment of the MSS on the basis of statography was proposed. The research process can be divided into three stages: I — definition of anthropometric parameters of the patient (weight, height, length of segments, bearing surface of feet); II — registration of movement of the common center of mass in the patient with natural standing, and the correlation of these parameters with the anthropometric data; III — study with using disturbances that meet location of the lesion, its nature and extent. The conclusion about the state of the MSS is formed on the basis of a comparative analysis of the results obtained in the second and third stages of the study. Conclusion: There were developed a conceptual model of the process of maintaining upright human posture as a system of automated management and justified the general direction of statographic studies when assessing the MSS function. Applying of methods of disturbances at statographic studies that allow to activate the affected elements of the MSS or block compensatory mechanisms was substantiated. Key words: human posture, musculoskeletal system, statography.*

*Исследования механизмов регуляции позы человека остаются одной из актуальных задач физиологии движения. Это связано со значимостью результатов исследования для разработки методов диагностики и лечения различных нарушений функции центральной нервной (ЦНС) и опорно-двигательной (ОДС) систем, а также с теоретическими разработками, касающимися общих принципов организации управления движением человека. Цель: концептуально определить роль статограммы как результата взаимодействия системы управления (ЦНС) и системы исполнения (ОДС) в оценке функции ОДС. Результаты: на основе анализа существующих физиологических моделей поддержания равновесия разработана концептуальная модель взаимодействия ЦНС и ОДС человека в процессе поддержания вертикальной позы. Предложен системный подход к дифференциальной оценке состояния ОДС на основе метода статографии. Процесс исследования можно разделить на три этапа: I — определение антропометрических параметров пациента (вес, рост, длина сегментов, площадь опорной поверхности стоп); II — регистрация перемещения общего центра масс пациента в условиях естественного стояния и корреляция этих показателей с антропометрическими данными; III — исследование с использованием возмущающих воздействий, которые отвечают локализации поражения, его характеру и степени. Заключение о состоянии ОДС формируется на основе сравнительного анализа результатов, полученных на II и III этапах исследования. Вывод: разработана концептуальная модель процесса поддержания вертикальной позы человека как работы системы автоматизированного управления и обосновано общее направление выполнения статографических исследований при оценке функции ОДС. Обосновано использование методов возмущающих воздействий при статографических исследованиях, которые позволяют активизировать пораженные элементы ОДС или заблокировать компенсационные механизмы. Ключевые слова: статография, физиология, вертикальное стояние, модель, возмущающие воздействия.*

**Ключові слова:** статографія, фізіологія, вертикальне стояння, модель, збуджувальні впливи

## Вступ

Серед різноманітних методів клінічної біомеханіки суттєву роль відіграє вивчення особливостей стояння, а саме підтримки вертикальної пози. Клінічний аналіз стояння давно вже отримав визнання як один з найефективніших методів діагностики різних видів уродженої та набутої патології опорно-рухової системи (ОРС) [1, 2]. Сьогодні метод оцінювання опороспроможності людини активно застосовують у клінічній практиці під час функціональної діагностики для передопераційних планувань і післяопераційних спостережень за станом пацієнта, а також у наукових дослідженнях з ортопедії, протезування, тривалої реабілітації, неврології тощо [3–7].

Визначення механізмів регуляції пози людини залишається одним з актуальних завдань фізіології руху протягом останніх 50 років [3–7]. Причина цього полягає як у високій практичній значущості результатів дослідження для розроблення методів діагностики та лікування різних порушень функції центральної нервової та опорно-рухової систем, так і в теоретичних результатах, які стосуються загальних принципів організації управління рухами людини [8–10].

Одним із найменш вивчених та найскладніших питань регуляції пози є забезпечення вертикального стояння в стані спокою. Під спокійним стоянням розуміють підтримку вертикальної пози у відсутності значних зовнішніх збуджень. Особливість організації системи регуляції пози така, що у відповідь на будь-яке ідентифіковане збудження запускається стереотипна програма його компенсації. Остання ускладнює дослідження проблеми. На сьогодні існують дві головні конкурентні думки щодо механізмів підтримки спокійного стояння [11–13]. За однією з них головну роль у стабілізації відіграє рефлекторна м'язова жорсткість, яка підтримується наявним в організмі людини зворотнім зв'язком, що забезпечує приріст зусиль у м'язах у разі їх подовження. Згідно з іншою гіпотезою рефлекторна м'язова жорсткість недостатня для забезпечення стійкості, і стабілізація потребує додаткових механізмів. Суперечливість між двома гіпотезами пов'язана з відсутністю на сьогодні методик, які дають змогу достовірно оцінити рефлекторну жорсткість м'язів. Наявні оцінки можуть відрізнятись більш ніж на порядок [3, 14].

*Мета роботи:* концептуально визначити роль статограми як результату взаємодії системи управління, зокрема центральної нервової системи (ЦНС), та системи виконання (ОРС) в оцінюванні функції опорно-рухової системи.

## Матеріал та методи

Для створення концептуальної моделі процесу підтримки вертикальної пози людини як системи автоматизованого керування, а також розроблення нових тестів під час виконання статографічних досліджень проаналізовано фізіологічні моделі організації рухової системи за Дж. Дуделом [13], механізму організації руху за А. С. Батуєвим, О. П. Таїровим [11] та кібернетичну схему постуральної системи.

## Результати та їх обговорення

Існує два типи рухових функцій: підтримка вертикального положення (пози) і власне руху [13, 14]. У природних умовах відокремити їх один від одного неможливо. Водночас, аналізуючи рухову активність, корисно розподіляти такі функції:

- підтримка означеної пози,
- орієнтація на джерело зовнішнього сигналу для його найкращого сприйняття, а також підтримка рівноваги тіла,
- переміщення тіла в просторі,
- маніпулювання.

Ієрархія рівнів мозкового керування рухами також залежить від вимог до структури руху. Якщо підкорковий рівень пов'язаний з набором уроджених або автоматизованих програм, то корковий рівень організує спинномозковий моторний апарат для виконання довільних і тонких рухів.

Здатність зберігати рівновагу у вертикальному положенні — одна з важливіших умов при взаємодії людини і зовнішнього середовища. Для виконання цього завдання в процесі філогенезу створена складна система тонкого автоматичного регулювання положення тіла [3, 4].

Структури, які відповідають за нервову регуляцію пози та руху, розміщуються у різних відділах ЦНС — спинному та головному мозку. В їх організації спостерігається чітка ієрархія, яка відображає повільне ускладнення рухових функцій у процесі еволюції.

Найнижчий рівень в організації рухів пов'язаний з руховими системами спинного мозку, в якому між чутливими нейронами та мотонейронами, що безпосередньо керують м'язами, розташовані вставні нейрони, які створюють багато контактів з іншими нервовими клітинами. Від збудження вставних нейронів залежить, чи буде рух прискореним, чи загальмованим.

Нейронні ланки, або рефлекторні дуги, які є основою спінальних рефлексів, — це анатомічні структури, що забезпечують найпростіші рухові функції, але їх діяльність значною мірою залежить

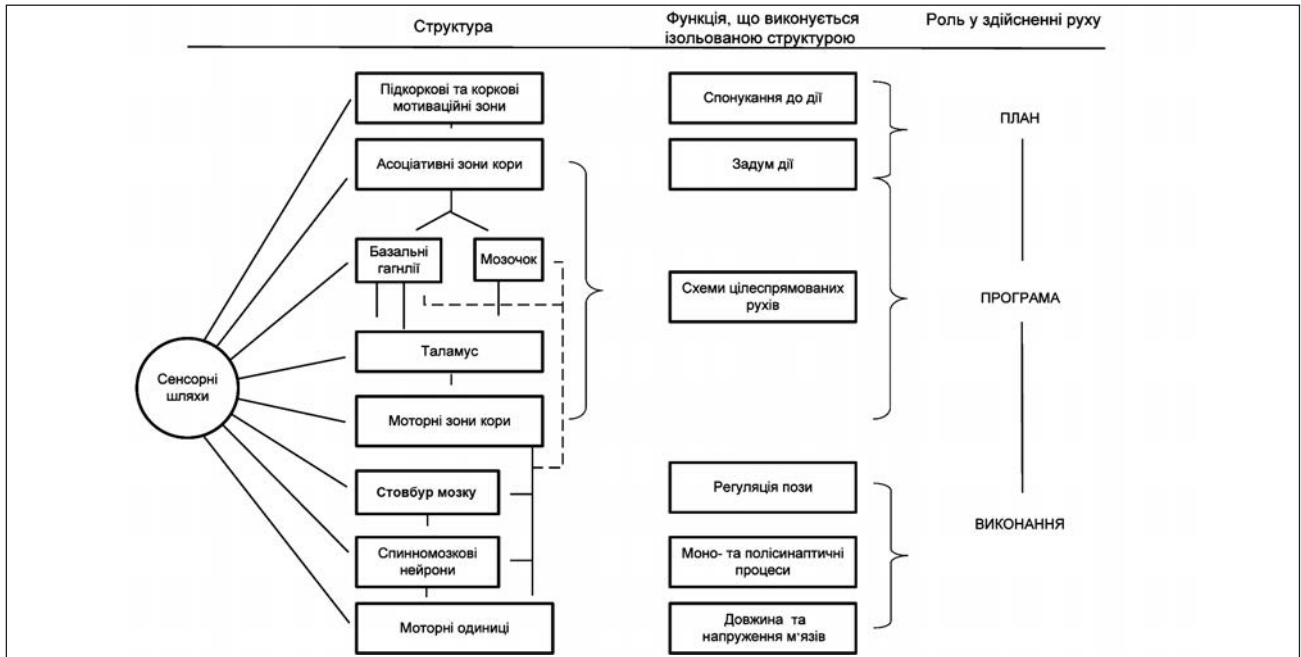


Рис. 1. Загальний план організації рухової системи (за Дж. Дуделом і співавт. [13])

від регулювальних впливів розташованих вище центрів.

Вищі рухові центри розміщуються в головному мозку і забезпечують організацію та регуляцію рухів. Рухові акти, направлені на підтримку пози, і їх координація з цілеспрямованими рухами здійснюється в основному структурами стовбура мозку, водночас цілеспрямовані рухи потребують участі вищих нервових центрів (рис. 1).

На схемі організації рухової системи найважливіші рухові структури та їх основні взаємозв'язки вказані в лівому стовпчику, всі чутливі шляхи об'єднані разом (круг зліва). У середньому стовпці розміщено головні та твердо встановлені функції, знайдені під час вивчення кожної з цих структур. У правому стовпчику вказано, як ці функції пов'язані з виникненням та виконанням рухів. Зауважимо, що базальні ганглії та мозочок розташовані на одному рівні, а моторні зони кори беруть участь у здійсненні програми рухів.

Поза тіла визначається сукупністю значень кутів, які утворюються суглобами тіла людини в результаті орієнтації в полі тяжіння. Механізм пози складається з фіксації визначених положень тіла й кінцівок та орієнтації частин тіла відносно зовнішніх координат (підтримка рівноваги). Початкова поза тіла накладає деякі обмеження на подальші рухи. До нижчих механізмів керування позою відносять спінальні, шийні установчі та деякі інші рефлексії, до вищих — механізми формування «схеми тіла».

Терміном «схема тіла» позначають систему узагальненої чутливості власного тіла в спокої та

під час руху, просторових координат і взаємовідношень окремих частин тіла. Топографічно розподілена по всій поверхні кори чутливість тіла є тією основою, із якої шляхом поєднання формуються цілісні функціональні блоки сегментів тіла. Ці інтегративні процеси завершуються в дорослому організмі та представляють собою закодований опис взаємного розташування частин тіла, які використовуються під час виконання автоматизованих стереотипних рухів.

Підґрунтям цих процесів служить анатомічно закріплена «карта» тіла, тому такі процеси становлять лише основу статичного образу тіла. Для його формування необхідно співвідносити цю інформацію з положенням тіла по відношенню до земного тяжіння і взаєморозташуванням функціональних блоків тіла в системі трьох просторових площин. Вестибулярна система сприймає переміщення тіла вперед-назад, вправо-вліво, вверх-вниз, а відповідна інформація поступає в тім'яні зони кори, де об'єднується з інформацією скелетно-м'язової системи для створення на безсвідомому рівні особливого психофізичного утворення — статичного образу тіла [13].

Таким чином, статичний образ тіла є системою внутрішньомозкових зв'язків, які базуються на вроджених механізмах та удосконалені й уточнені в онтогенезі. У процесі діяльності людина змінює взаєморозташування частин та сегментів тіла, а опановуючи нові рухи, формує нові просторові моделі тіла, які й складають основу динамічного образу тіла. На відміну від статичного, динамічний

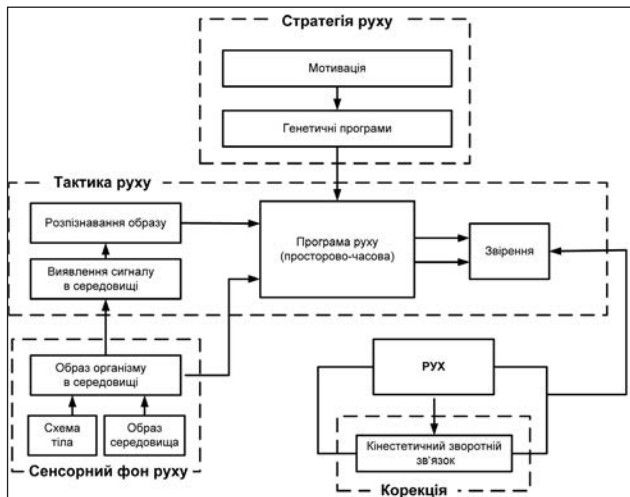


Рис. 2. Модель механізму організації руху (А. С. Батуєв, О. П. Таїров [11])

образ тіла має значення лише для конкретної точки часу і ситуації, зі зміною якої він перетворюється на новий. Динамічний образ базується на постійно змінній імпульсації від чутливих елементів шкіри, м'язів, суглобів, вестибулярного апарату, органів зору та слуху. Не виключено, що швидкість та точність формування динамічного образу тіла — фактор, який визначає спроможність людини швидко оволодіти новими руховими навичками.

У мозку відбувається постійна взаємодія образів тіла, здійснюється порівняння динамічного образу з його статичним аналогом. У результаті цього формується суб'єктивне відчуття пози, яке відображає не тільки положення тіла в певний відрізок часу, а й можливі його зміни в найближчому майбутньому. Якщо узгодження не досягнуто, то починають діяти активні механізми перебудови пози. Отже, для того, щоб змінити позу, необхідно порівняти закодований у пам'яті статичний образ тіла з конкретною варіацією — динамічним образом тіла.

Відповідно до наведених положень, А. Батуєв і О. Таїров [11] (рис. 2) створили біокібернетичну модель управління рухом. Система вміщує «блок пам'яті», який зберігає вроджені генетичні (наприклад ходьба) або здобуті програми рухів; «блок контролю», який збирає інформацію про зміни навколишнього середовища та положення тіла в ньому; «блок корекції», що здійснює зворотній зв'язок рухової системи з «системою управління»; а також «блок обробки даних», який знаходить необхідну програму «блоку пам'яті», порівнює її із «зовнішньою інформацією», виробляє за необхідності «параметри корекції» та створює таким чином «робочу програму» для рухового апарату і контролює її виконання.

Тіло людини зазнає дії закону мінімального поглинання енергії, тобто скелетна система, урівноважуючи себе, зводить до мінімуму витрати енергії, що підвищує її функціональність та працездатність. Отже, в організмі людини закладена програма — будь-що зберегти свою рівновагу, витрачаючи на це мінімальну кількість енергії [16].

Рівновага тіла людини регулюється трьома основними силовими векторами (рис. 3). Передньо-задній силовий вектор піднімається догори від переднього краю великого потиличного отвору і прямує вниз через тіла хребців  $Th_x - Th_{xII}$ , закінчуючись на рівні куприка [17, 18].

Два задньо-передніх вектори спрямовані від заднього краю великого потиличного отвору до протилежних кульшових западин, проходячи по зовнішньому краю тіл хребців  $Th_{III} - L_{II}$ . Поєднання кінців цих векторів утворює два силових трикутники. Передня точка верхнього трикутника є точкою кріплення передньої поздовжньої зв'язки, задні точки цього трикутника відповідають підпотиличним м'язам та виросткам хребця  $C_1$ . Як видно з аналізу цих силових векторів, порушення у верхньому силовому трикутнику призведе до змін положення в нижньому (силова адаптація).

Сума цих векторів визначатиме лінію центра ваги тіла, яка проходить через тім'я, зуб тіла хребця  $C_{II}$ , тіла  $Th_{IV}$  й  $L_{III}$ , тазове дно, середину промежини та проектуватиметься на опорну поверхню позаду від лінії щиколоток.

Завдання всіх силових векторів — забезпечити рівновагу всіх частин скелета та урівноважити

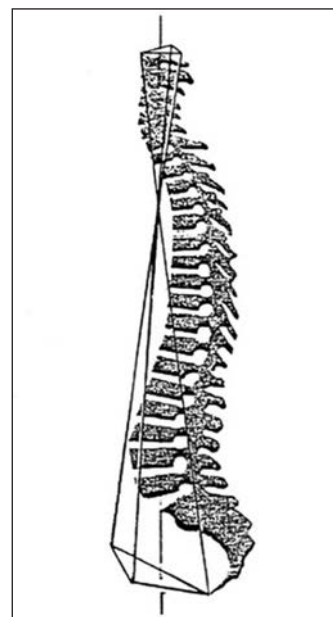


Рис. 3. Силові вектори хребта

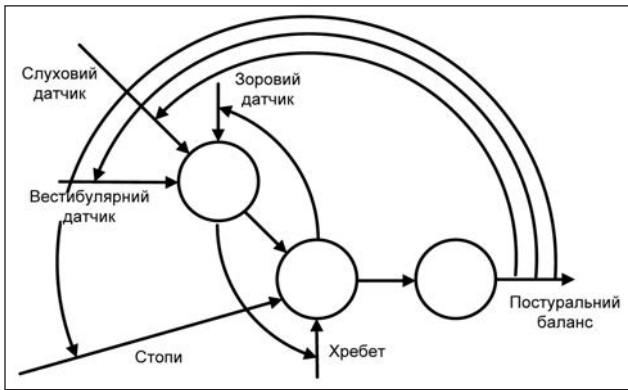


Рис. 4. Елементарна кібернетична схема постуральної системи

фізіологічний тиск в грудній та очеревинній порожнинах [18].

Фронтальна площина, яка проходить через центр тяжіння тіла людини, ділить його на дві частини, причому попереду від неї розташовано дві третини тіла, а позаду — хребет з м'язами спини та поперекового відділу. У нормі рівновага тіла людини підтримується тільки локальними м'язами хребта. У разі порушення імпульсації, що надходить від будь-якого датчика постуральної системи, та у випадку загрози порушення рівноваги до роботи залучаються фазичні м'язи спини та поперекового відділу, які не витримують тривалого напруження і, як наслідок, це призводить до порушення рівноваги і розвитку різних больових синдромів та нейровегетативних розладів [17].

Людина утримує вертикальне положення завдяки системі чуття. Термін «система» передбачає поняття входу та виходу. Вихід (тобто результат роботи постуральної системи) — це утримання положення рівноваги. Входи у постуральну систему — очі, внутрішнє вухо, стопа. Вони мають прямий зв'язок із зовнішнім середовищем, можуть прямо керувати рухами тіла у відношенні до навколишнього середовища. Тільки органи чуття у співвідношенні з зовнішнім середовищем можуть забезпечити точну стабілізацію людини в ньому. Простіша кібернетична схема постурального балансу враховує щонайменш усі ці три входи (рис. 4).

Три ендодатчики (зір, слух, стопа) можуть розпізнати зміну положення тіла стоячи у зовнішньому середовищі. Встановлено [19], що порушення діяльності хоча б одного з датчиків призводить до порушення постурального тону з розвитком функціональної патології.

На підставі проведеного аналізу наявних моделей ОРС ми розробили нову концептуальну модель системи забезпечення оптимального розташування тіла в просторі (рис. 5), яка дає змогу зрозуміти фізіологічні аспекти підтримки вертикальної пози людини.

Згідно з нашою концепцією система забезпечення оптимального розташування тіла в просторі є замкнутою системою керування, частиною якої є ЦНС. Вона представлена елементами, які відповідають за зберігання програм руху (генетично закладених та придбаних у результаті життєдіяльності)

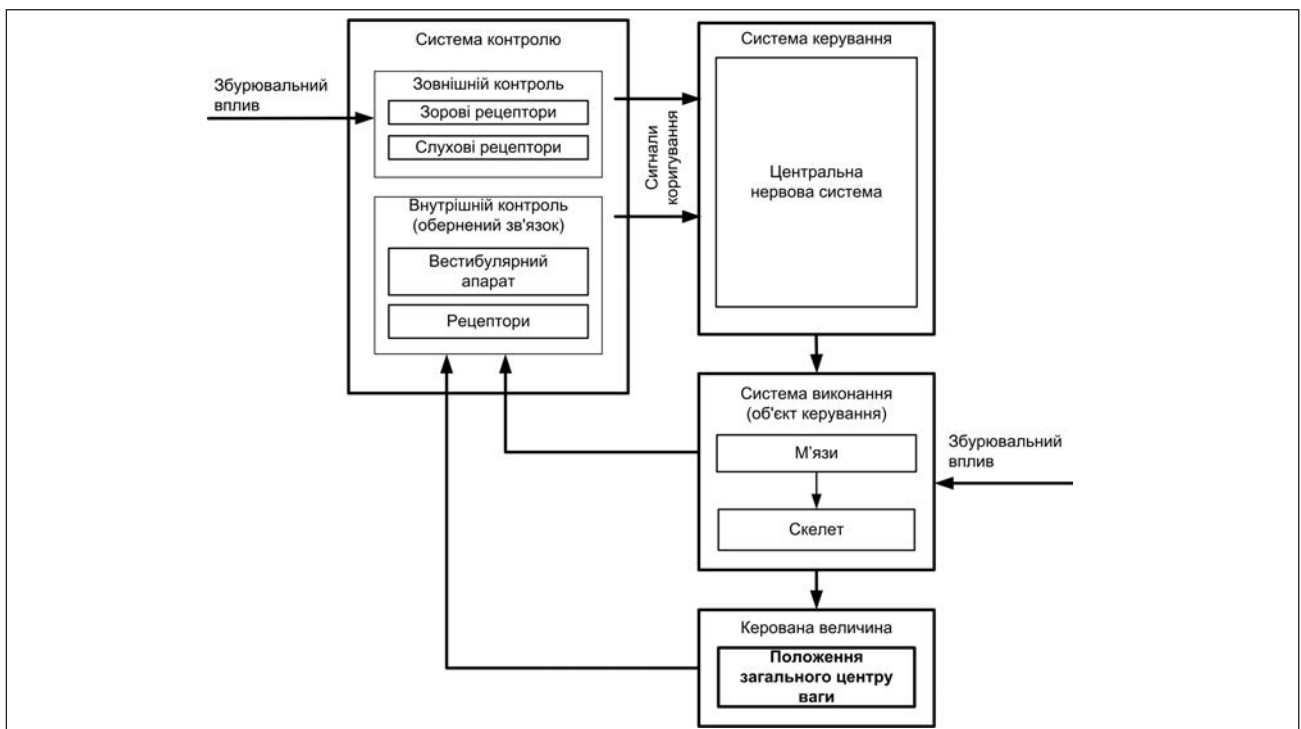


Рис. 5. Концептуальна модель системи забезпечення оптимального розташування тіла в просторі

Таблиця

## Збурювальні впливи під час дослідження ОРС

Збурювальні впливи	
збуджувальні	блокувальні
сполохи	закриті очі
спостереження за об'єктом, який рухається	
чорні та білі смуги, які мерехтять	
поштовхи	фіксація суглобів тупором, гіпсовою пов'язкою тощо
повороти, нахили голови і тулуба	фіксація різних відділів хребта ортезами
перехід від одного типу руху до іншого	
функціональні навантаження (присідання, біг на місці, ходьба сходами тощо)	

і корекцію цих програм залежно від змін довкілля, стану організму, ситуативної необхідності. У нашій моделі умовно об'єднано ці елементи в систему керування рухами.

Система працює так. Інформація про зовнішнє середовище та положення тіла в просторі потрапляє в систему управління (асоціативну кору головного мозку), де генерується сигнал вибору відповідної програми руху. Ця інформація, загалом з обраною програмою, поступає у відділ, який відповідає за корекцію програм руху. У цій зоні відбувається порівняння наявної програми із зовнішньою інформацією та генерується сигнал корекції. Наприклад, людина йде і бачить перед собою перешкоду. Коли це широка яма, генератор команд змінить програму ходьби на програму стрибка. Коли це невелика калюжа, то відбудеться корекція програми ходьби, і наступний крок буде дещо довшим. Майже так само працює й система внутрішнього контролю. Коли тнуть черевики, то програма постави стопи буде скоригована згідно з умовами оптимізації швидкості руху та рівнем больового синдрому.

Враховуючи складність будови ОРС людини і те, що в процесі формування постави задіяні практично всі органи й системи організму, а також його широкі компенсаторні можливості, природно припустити, що результати прямих вимірювань параметрів ходьби або переміщень загального центру мас (ЗЦМ) під час стояння мало що можуть свідчити про функціональний стан ОРС загалом і тим більше про стан її окремих елементів. Навіть за тяжких порушень функції ОРС організм дуже швидко виробляє скориговану програму та підмінює втрачену функцію ураженого елемента системи надлишком функції здорових, і переводить такий спосіб руху в розряд локомоторного акту. Це підтверджується досвідом нашої роботи. Показники, які відповідають нормі, часто спостерігають у пацієнтів із захворюваннями хребта, під час компенсації нестачі опорності в хребцевих сегментах [20–28].

Завдання дослідника полягає в тому, щоб внести «збій» у встановлену програму руху, змусити

систему працювати в нехарактерному для неї режимі. Іншими словами, процес дослідження має здійснюватися за принципом: «Що буде, коли ...?» Відповідно до нашої концептуальної моделі, такий «збій» програми можна здійснити дією безпосередньо на елементи системи виконання (власне ОРС) або опосередковано, впливаючи на систему контролю. Ці дії отримали назву «збурювальні впливи». На підставі наукових джерел та власного досвіду розроблено класифікацію «збурювальних впливів», які використовують під час дослідження ОРС (таблиця). Умовно всі збурювальні впливи можна поділити на дві групи: збуджувальні та блокувальні. До збуджувальних належать сполохи, спостереження за об'єктами, які рухаються повз пацієнта або мерехтять, поштовхи різних відділів ОРС в будь-яких напрямках, повороти, нахили голови і тулуба, пальпація тригерних точок.

Кожному зі збуджувальних впливів відповідає блокувальний. Це тести, які виконують із закритими очима, фіксація суглобів кінцівок тупорами або гіпсовими пов'язками тощо, фіксація різних відділів хребта корсетами або ортезами. Тести з впливом на зоровий аналізатор найчастіше використовують невропатологи для оцінювання функції ЦНС (система керування), але їх можна застосувати і в ортопедії для диференційної діагностики розладів функції ОРС.

У деяких випадках можуть бути ефективними функціональні навантаження — біг на місці, присідання, нахили голови та тулуба, ходьба сходами тощо. Подібні тести доцільно використовувати, коли необхідно визначити межу витривалості елементів ОРС.

У результаті виконаної роботи створено загальну концепцію проведення стагографічних досліджень під час оцінювання функції ОРС (рис. 6).

Реєстрацію ЗЦМ необхідно проводити у двох варіантах — відображення переміщень проекції ЗЦМ на координатній площині та їх розгортка за часом у фронтальній та сагітальній площинах, оскільки кожен із цих методів несе власне інформаційне

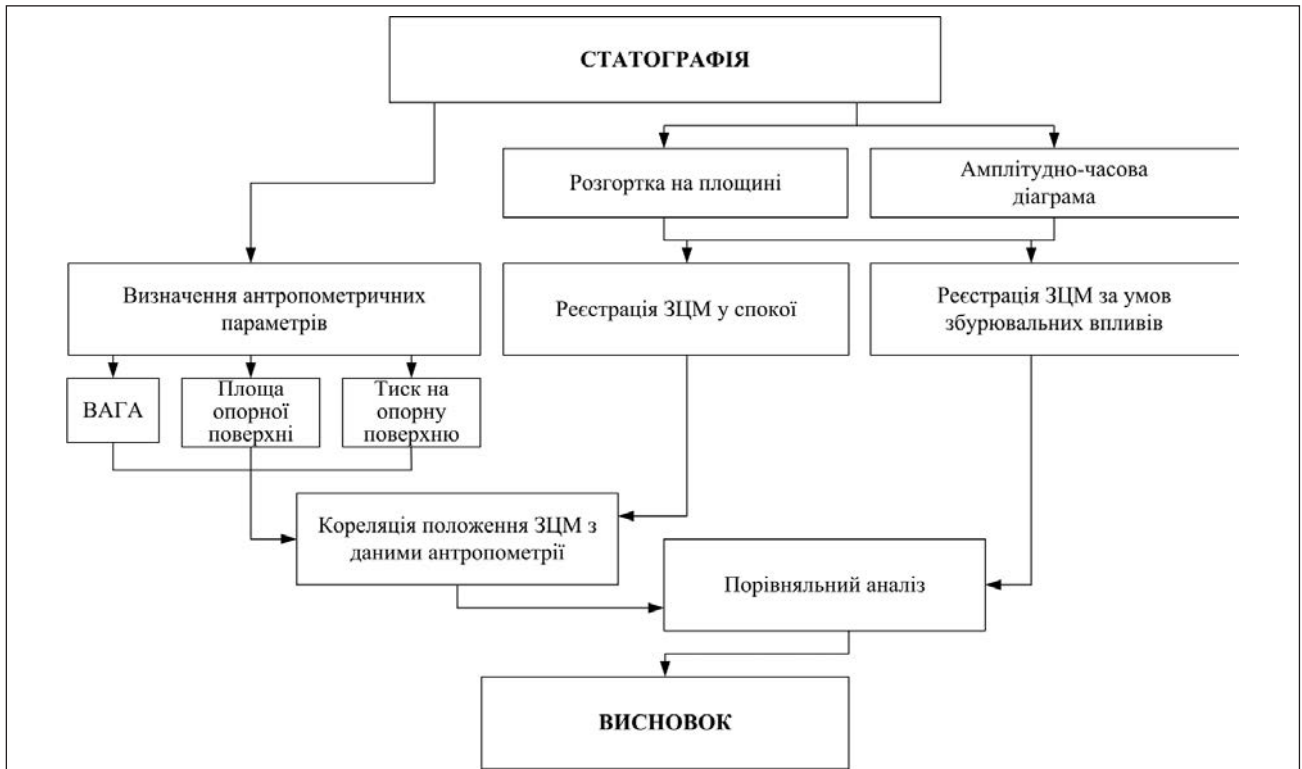


Рис. 6. Схема проведення стадиографічних досліджень під час оцінювання функції ОРС

навантаження. Сумісне використання двох методів реєстрації розширює діагностичні можливості стадиографії.

Увесь процес дослідження можна поділити на три основних етапи:

- на першому визначають головні антропометричні параметри пацієнта — масу, зріст, довжину сегментів тіла, площу опорної поверхні стоп;
- на другому реєструють переміщення ЗЦМ пацієнта в умовах природного стояння і виконують кореляцію цих показників з антропометричними даними;
- на третьому виконують дослідження з використанням збурювальних впливів, які відповідають локалізації ураження, його характеру та ступеня.

Висновок про стан ОРС формується на порівняльному аналізі результатів, отриманих на другому й третьому етапах дослідження.

Таким чином, можна визначити основні напрямки вдосконалення методу стадиографії для оцінювання функції ОРС:

- а) реєстрація ЗЦМ у двох варіантах:
  - розгортка проєкції ЗЦМ на площині опори,
  - амплітудно-часова діаграма,
- б) поєднання реєстрації переміщень ЗЦМ з визначенням площі опорної поверхні стопи,
- в) виконання вимірювальної платформи у вигляді декількох незалежних платформ,

г) розроблення нових діагностичних методик із використанням різних збурювальних впливів, які дають змогу активізувати уражені елементи ОРС або блокувати компенсаторні механізми.

## Висновки

За результатами теоретичного дослідження розроблено концептуальну модель процесу підтримки вертикальної пози людини як роботи системи автоматизованого керування та обґрунтовано загальний напрямок проведення стадиографічних досліджень для оцінювання функції ОРС. Аргументовано застосування методів збурювальних впливів у стадиографічних дослідженнях, які дають змогу активізувати уражені елементи ОРС або блокувати компенсаторні механізми.

## Список літератури

1. Петров И. Р. Общее учение о болезни / И. Р. Петров, В. Б. Лемус // Многотомное руководство по патологической физиологии. — Т. 1. — М., 1966. — С. 9–15.
2. Norr M. E. Posture testing (posturography) in the diagnosis of peripheral vestibular pathology / M. E. Norr, G. Forrez // Arch. Otorhinolaryngol. — 1986. — Vol. 243. — P. 186–189.
3. Клиническая биомеханика / Под ред. В. И. Филатова. — Л.: Медицина, 1980. — 59 с.
4. Бернштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности / Н. А. Бернштейн. — М., 1966. — 345 с.
5. Гурфинкель В. С. Регуляция позы человека / В. С. Гурфинкель, Я. М. Коц, М. Л. Шик. — М.: Наука, 1965. — 256 с.

6. Бернштейн Н. А. О построении движений / Н. А. Бернштейн. — М.: Соцэкгиз, 1949. — 255 с.
7. Гурфинкель В. С. Мышечная рецепция и обобщенное описание положения тела / В. С. Гурфинкель, Ю. С. Левик // Физиология человека. — 1999. — Т. 25, № 1. — С. 87–91.
8. Бернштейн Н. А. Современные изыскания в физиологии нервного процесса / Под ред. И. М. Фейгенберга, И. Е. Сироткиной. — М.: Смысл, 2003. — 330 с.
9. Гурфинкель В. С. Система отсчета и интерпретация проприоцептивных сигналов / В. С. Гурфинкель, Ю. С. Левик // Физиология человека. — 1998. — Т. 24, № 1. — С. 53–58.
10. Freitas S. Two kinematic synergies in voluntary whole-body movements during standing / S. Freitas, M. Duarte, M. L. Latash // J. Neurophysiol. — 2006. — Vol. 95 (2). — P. 636–645.
11. Батуев А. С. Мозг и организация движений: концептуальные модели / А. С. Батуев, О. П. Таиров. — Л.: Наука, 1978. — 138 с.
12. Батуев А. С. Высшая нервная деятельность / А. С. Батуев. — М.: Высшая школа, 1991. — 138 с.
13. Марютина Т. М. Психофизиология: электронный учебник / Т. М. Марютина, И. М. Кондаков. — М.: Московский городской психолого-педагогический университет, 2005.
14. Гурфинкель В. С. Пороги кинестетической чувствительности в вертикальной позе / В. С. Гурфинкель, М. И. Липшиц, К. Е. Попов // Физиология человека. — 1982. — Т. 8, № 6. — С. 981–988.
15. Физиология человека / И. Дж. Рюэрг, Р. Шмидт, В. Яниг — Т. 1. — М.: Мир, 1985. — 231 с.
16. Caporossi R. Concept osteopathique de l'équilibre postural du système musculo-squelettique pour la prévention de la santé / R. Caporossi: congrès intern. de Problematique Medicale Interdisc. — Venise, 1991. — P. 38–41.
17. Kendall F. P. Muscles: testing and function with posture and pain / F. P. Kendall, E. K. McCreary, P. G. Provance. — Lippincott Williams & Wilkins, 2005. — 480 p.
18. Keegan J. J. Alterations of the lumbar curve related to posture and seating / J. J. Keegan // J. Bone Joint Surg. Am. — 1953. — Vol. 35-A (3). — P. 589–603.
19. Fukuda T. Statokinetic reflexes in equilibrium and movement / T. Fukuda. — Tokyo: Univer. Press, 1983. — 390 p.
20. Miteleva Z. M. Static datas of Hip-spine syndrome patient / Z. M. Miteleva, M. Y. Karpinsky, E. V. Chertenkova // School and Fundamental Medicine Journal. — 1997. — № 1. — P. 79.
21. Алексеева О. Ю. Методы анализа стабилотрограмм в оценке функционального состояния человека / О. Ю. Алексеева, М. Ю. Карпинский // Медицина и ... — 2002. — № 1. — С. 48–53.
22. Мителев Д. А. Неврологические проявления стаато-локомоторных нарушений у подростков с системной дисплазией соединительной ткани / Д. А. Мителев, М. Ю. Карпинский, И. А. Суббота // Медицина и ... — 2007. — № 1 (16). — С. 62–65.
23. Kizilova N. Computerized posturography examination for data analysis and mathematical modeling of postural sway during different two-legged and one-legged human stance / N. Kizilova, M. Karpinsky // Journal of Vibroengineering. — 2007. — Vol. 9, № 3. — P. 118–124.
24. Кизилова Н. Н. Автоматическая регистрация и анализ стабилотрограмм на основе математической модели тела человека как многозвенной системы / Н. Н. Кизилова, М. Ю. Карпинский // Прикладная электроника. — 2007. — № 1. — С. 10–18.
25. Posturographic study of the human body vibrations for clinical diagnostics of the spine and joint pathology / Kizilova N., Karpinsky M., Griškevičius J., Daunoravičienė K. // Mechanika. — 2009. — Vol. 80. — P. 37–41.
26. Анализ стабилотрограмм на основе математической модели тела человека, как многозвенной системы / А. А. Тяжелов, М. Ю. Карпинский, Н. Н. Кизилова [и др.] // Травма. — 2012. — Т. 13, № 4. — С. 17–25.
27. Особливості динамічних характеристик стаатограм при фіксації суглобів нижньої кінцівки / О. А. Тяжелов, М. Ю. Карпинський, О. Д. Карпинська, С. Ю. Яремін // Травма. — 2014. — Т. 15, № 2. — С. 88–93.
28. Обґрунтування та аналіз геометричних параметрів стаатограм для оцінювання стану опорно-рухової системи людини / О. А. Тяжелов, М. Ю. Карпинський, О. Д. Карпинська, С. Ю. Яремін // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2014. — № 3. — С. 62–68, doi: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872014362-67>.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872015142-49>

Стаття надійшла до редакції 13.01.2015

## MODELING OF PROCESSES FOR VERTICAL POSTURE SUPPORT

O. A. Tyazhelov<sup>1</sup>, V. O. Fischenko<sup>2</sup>, S. Yu. Iaremyn<sup>2</sup>, M. Yu. Karpinsky<sup>1</sup>, O. D. Karpinska<sup>1</sup><sup>1</sup> SI «Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Science of Ukraine», Kharkiv<sup>2</sup> Pirogov Vinnitsa National Medical University, Ukraine