УДК: 612.821
DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-66-77

Володимир Сергійович Лизогуб
доктор біологічних наук, професор
директор Науково-дослідного інституту фізіології ім. М. Босого
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
v_lizogub@ukr.net
ORCID:0000-0002-3001-138X
Іван Іванович Салівончик
аспірант, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
911salivon@gmail.com
ORCID:0009-0005-5379-518X
Юлія Віталіївна Коваль
викладач, Науково-дослідний інститут фізіології ім. М. Босого
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
uyla0077@ukr.net
ORCID:0000-0001-7160-5240
Інна Олександрівна Дудник
кандидат педагогічних наук, доцент
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
innadudnik79@vu.cdu.edu.ua
ORCID:0000-0002-3479-6532

ФОРМУВАННЯ СТАТОКІНЕТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ В ОНТОГЕНЕЗІ

Методикою стабілографії у осіб 8-17 років, що займаються спортом (спортсмени) і однолітках, що не займаються систематично фізичною культурою (не спортсмени) досліджували статокінетичну стійкість та встановили особливості і закономірності її формування. За показниками коефіцієнту функції рівноваги (КФР), довжини траєкторії коливання центру тиску (Length) та швидкості переміщення центру маси (AvgSpeed) виявлено, що статокінетична стійкість у дітей, підлітків і юнаків поступово підвищується та досягає максимальних значень у 16-17 років. У групах 14-15 та 16-17 років обстежувані спортсмени характеризувались статистично значуще інтенсивним і випереджаючим вищим рівнем розвитку статокінетичної стійкості, порівняно їх однолітками не спортсменами.

Обговорюється питання про роль додаткової м'язової аферентації під час систематичних занять фізичною культурою та спортом на генетичні механізми сенсомоторної інтеграції на процеси формування статокінетичної стійкості в онтогенезі.

Ключові слова: *стабілографія; статокінетична стійкість; спортсмени; не спортсмени; коефіцієнт функції рівноваги; онтогенез.*

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки у біологічній науці відбуваються позитивні зміни до досліджень у напрямку розуміння ролі мозку та його нейромереж, що відповідають за координаційні функції та орієнтацію у просторі [1]. У європейському науковому товаристві інтенсивно розвивається проект Human Brain Project, що спрямований на мультимасштабне моделювання мозкових нейромереж, які відповідають за функції рівноваги у хворих на Альцгеймера, деменції, Паркінсона, епілепсію, інсульт, аутичного спектру. Клінічні дослідження дозволили встановити, що здатність утримувати рівновагу, підтримувати статуру у вертикальному положенні це вроджений рефлекс. Спеціалісти відмічають, що біомеханічні характеристики вертикальної пози є чутливими до змін зовнішнього та внутрішнього середовища [2]. Здатність утримувати рівновагу це динамічна характеристика, яка вимагає неперервних рухів і є результатом взаємодії різних морфо-функціональних структур, вестибулярного і зорового аналізаторів, суглобово-мязової пропріорецепції, та різних відділів нервової системи [3, 4]. Але поряд з

умовно-рефлекторними чинниками реалізації рівноваги людині необхідні постійні тренування систем які забезпечують стійкість тіла. Здатність утримувати вертикальне положення тіла, координація різних систем слугує своєрідним індикатором здоров'я, функціонального стану організму, його розвитку, фізичної підготовленості та рівня спортивної майстерності [5].

Аналіз результатів стану дослідження розвитку та удосконалення статокінетичної стійкості у осіб різного віку свідчить про недостатність його вивчення. Існують не використані можливості функцій організму у забезпеченні та збереження рівноваги за умови виконання спортивних вправ [6]. Результати аналізу літератури показали, що систематичні заняття фізичними вправами здійснювали позитивний вплив на статокінетичну стійкість дітей та підлітків [4, 7]. Враховуючи те, що більшість дослідників використовували спеціальні фізичні вправи з акцентом на статокінетичну стійкість та координацію, що супроводжувалось широким зміщенням центру ваги, то в експериментальній групі отримали додаткові позитивні зміни у кількісних і якісних характеристика вертикального положення тіла у порівнянні з контрольною групою [8]. Більше того автори показали, що нервово-мязовий контроль рівноваги, у результаті посиленого зміщення центру ваги тіла, був покращений за рахунок зорового і сомато-сенсорного сприйняття [9, 10, 11, 12]. Не дивлячись на це, виникає необхідність краще вивчати неврологічні основи статокінетичної стійкості та психомоторної інтеграції за умови дії на організм систематичних фізичних навантажень.

Ще один важливий висновок можна зробити з аналізу літератури, що коли намагалися покращити фізичними вправами статокінетичну стійкість то найбільш ефективним це виявилось серед учасників у віці 6-12 років, ніж у 13-18 років. Ці результати розширили та підтвердили дослідження про те, що найбільш критичний період у руховому розвитку для функції вертикального положення тіла та рівноваги припадає на перше десятиліття. Тоді як контроль за балансом тіла у просторі встановлюється у віці 7-10 років [13; 14]. Але, оскільки процеси, що відповідають за мільтимодальну сеносорну інтеграцію стабільності вертикального положення тіла не повністю встановлюються до 7 років [15]. Саме тому, продовження досліджень статокінетичної стійкості повинні включати дітей до 7 років і вікові групи з вищою постуральною стабільністю зрілого, підліткового та юнацького віку [8]. Що стосується тривалості навчання фізичним вправам, що сприяють підвищенню рівня статокінетичної стійкості то превагу віддають більш тривалим тренуванням, ніж менше 8 тижнів. Короткі за тривалістю тренувальні програми можуть бути недостатні для утримання фізичної і психофізіологічної інтеграції у змінах навички зберігати рівновагу [16].

Узагальнюючи огляд літератури по проблемі дослідження впливу занять фізичними вправами на статокінетичну стійкість ми прийшли до висновку, що результати які ми проаналізували у цьому огляді слід інтерпретувати обережно. Необхідні подальші дослідження у напрямку доказів ефективності довготривалих систематичних занять фізичними вправами на покращення навичок рівноваги. Разом з тим, не дивлячись на результати, що наведені вище про високу структурно-функціональну інтеграцію та пластичність сенсорних систем у формуванні статокінетичної стійкості, їх механізми на різних етапах онтогенезу все ще залишаються не розкритими. Тому з цих позицій, особливо, цікавим є пропоноване дослідження, що спрямоване на з'ясування особливостей формування статокінетичної стійкості в онтогенезі. Поки-що залишаються незрозумілим, які особливості формування структурно-функціональної сенсорно-моторної інтеграції статокінетичної стійкості за умов різної рухової активності? Як узгоджуються з загальними механізмами нейроонтогенезу процеси удосконалення статокінетичної стійкості і систематичні заняття фізичною культурою та спортом? Чи мають процеси структурно-функціональної інтеграції статокінетичної стійкості у спортсменів вікові особливості? У зв'язку з цим, метою нашої роботи було виявити особливості формування статокінетичної стійкості у осіб різного віку та з різною фізичною активністю.

Тому метою роботи було дослідити вплив систематичних занять фізичними вправами на процес формування статокінетичної стійкості у дітей, підлітків та юнаків.

Матеріали та методи дослідження. Методика стабилографії, відіграє важливу роль у протезуванні, психології, фізіології праці, у вимірах і оцінці статичної і динамічної рівноваги у спорті і, особливо у тих видах для яких вміння утримувати рівновагу визначає спортивний результат [6, 17, 18, 19]. Поряд з цим біомеханічна оцінка статокінетичної стійкості використовується і як дослідження функціонального стану організму спортсмена та показники за якими можна здійснювати профорієнтацію та профвідбір.

Здібність утримувати рівновагу можна досліджувати у статичних умовах, коли тіло знаходиться у нерухомому стані чи за умови виконання рухів, а також в обох станах. Для оцінки статокінетичної стійкості використовують різні методи, але найбільшого розповсюдження отримала методика комп'ютерної стабілографії точного і якісного просторово-часового аналізу положення тіла. Вона дозволяє точно отримати надійні кількісні і якісні характеристики стійкості тіла [4, 20]. Традиційно визначають момент стійкості тіла, коефіцієнт стійкості [5,6].

У дослідженні прийняли участь 174 особи 8-17 років, які додатково до шкільної програми фізичної культури відвідували заняття спортивних секцій (група спортсменів) і 134 практично здорових однолітків, що займалися фізичною культурою по програмі школи (не спортсмени). Для дослідження особливостей формування статокінетичної стійкості порівнювали результати дітей, підлітків та юнаків обох груп. Участь в експерименті була добровільною і відповідала нормам біоетики Хельсінської декларації (1964 р та всіх її редакцій включно з останньою 2000 р.). Обстежувані були поінформовані і самі та їх батьки дали згоду на участь у дослідженні.

Статокінетичну стійкість визначали на платформі (40х40 см) стабілографа («МПФИ стабилограф-1») і пакету програмного забезпечення StabiliS. Під час тестування обстежувані упродовж 1хв. повинні були підтримували вертикальну позу. За цих умов пальці стопи обстежуваних були розгорнуті на кут 20^0, а між п'ятами зберігалась відстань у 6 см. З кожним обстежуваним проводили три проби, обирали найкращий результат.

Статокінетичну стійкість, як показник функціонального стану систем регуляції вертикального положення та протистояння до коливань, оцінювали за показником коефіцієнту функції рівноваги (КФР, %), довжини траєкторії коливання центру тиску (Length, мм) та швидкості переміщення центру маси тіла (AvgSpeed, мм/с.). У стандартному записі обробляли сигнали тривалістю 60 секунд, отримані з дискретністю в 25 1 $\Delta\tau$ = секунди. Результати наведені у одиницях відповідно до розмірності аналого-цифрового перетворювача.

Статистичну обробку даних здійснювали, застосовуючи статистичний пакет ANOVA. Використовували тест Т'юкі з поправкою Бонферроні для визначення значущих відмінностей ($p < 0,05$) між середніми значеннями, які отримані для кожної вікової групи. Результати у таблицях представлені як (X±m). Аналіз даних проводився за допомогою статистичних пакетів для медичних та біологічних досліджень (SPSS, версія 21, IBM, США).

Результати дослідження. Для виміру і оцінки статокінетичної стійкості у дітей підлітків та юнаків ми дослідили показники КФР, %, Length, мм та AvgSpeed, мм/с. В таблиці 1 наведені результати оцінки статичної рівноваги у дітей, підлітків та юнаків з різною руховою активністю, не спортсмени та спортсмени. У всіх випадках при переміщеннях тіла у просторі відбувається подразнення комплексу аналізаторів, що беруть участь у підтриманні вертикального положення тіла. Вважали, що чим вище сенсомоторна інтеграція, тим менша ступінь коливання тіла і вищі показники статокінетичної стійкості.

В ході наших досліджень статокінетичної стійкості на стабілографі у дітей, підлітків та юнаків спортсменів та у не спортсменів виявили значну індивідуальну варіацію показників КФР у діапазоні від 46% до 87%. Низький показник КФР був встановлений у обстежуваного

8-ми років у групі не спортсменів, який становив 46%. Високим цей показник виявився у обстежуваного юнака 17-ти років з групи спортсменів та дорівнював 87%.

В табл. 1 представлено результати виконання обстежуваними різних вікових груп та фізичної активності завдання, яке полягало в утриманні вертикального положення тіла стоячи на стабільній платформі.

Таблиця 1

Результати стабілографії у спортсменів та не спортсменів різного віку

Вік. роки	Групи обстежуваних	Показники стабілографії (X±m)		
		KFR, %	Length, мм	AvgSpeed, мм/с
8-9	Спортсмени (n = 18)	67,9±3,4	666,2±36,7	11,3±2,4
	Не спортсмени (n = 21)	64,5±3,5	647,2±33,4	11,3±3,1
10–11	Спортсмени (n = 21)	72,3±2,6	545,3±26,3	9,4±2,3
	Не спортсмени (n = 19)	73,9±2,5	541,2±21,3	10,4±2,8
12-13	Спортсмени (n = 23)	75,2±3,4	488,1±20,2	8,9±1,7
	Не спортсмени (n = 21)	74,6±3,3	538,8±25,6	9,8±1,6
14-15	Спортсмени (n = 22)	83,8±2,3	429,1±23,4	6,8±1,4
	Не спортсмени (n = 18)	74,6±2,1*	498,7±24,5*	9,2±1,3
16-17	Спортсмени (n = 24)	87,4±2,3	417,6±20,1	6,3±1,1
	Не спортсмени (n = 21)	75,1±2,2*	488,1±23,2*	8,9±1,1*

*Примітка. * - вірогідність різниць p<0,05 між показниками у групах спортсменів та не спортсменів.*

За показниками середніх значень коефіцієнту функції рівноваги, довжини траєкторії коливання центру тиску та швидкості переміщення центру маси були встановлені загальні закономірності та особливості динаміки статокінетичної стійкості у дітей, підлітків і юнаків спортсменів та їх однолітків не спортсменів. Наведені результати демонструють залежність статокінетичної стійкості від вікових особливостей та стану рухової активності обстежуваних.

Статистичний аналіз та співставлення КФР, довжини траєкторії коливання центру тиску та швидкості переміщення центру маси між групами спортсменів та не спортсменів показав, що виконання завдання на рівновагу на стабільній платформі стабілографа характеризується високим моторним автоматизмом. Встановлено поступове підвищення з віком показників коефіцієнту функції рівноваги (КФР, %), та зниження довжини траєкторії коливання центру тиску (Length, мм), а також швидкості переміщення центру маси тіла (AvgSpeed, мм/с.), що свідчить про підвищення статокінетичної стійкості з віком. Необхідно відмітити, що покращання характеристик функції рівноваги, як у дітей, підлітків та юнаків спортсменів, так і не спортсменів мало схожу вікову динаміку. Встановили, що здатність утримувати рівновагу як спортсменів так і не спортсменів на стабільній платформі стабілографа з віком поступово зростає, про що свідчать результати поступового підвищення КФР та зменшення значень довжини траєкторії коливання центру тиску та швидкості переміщення центру маси (рис. 1).

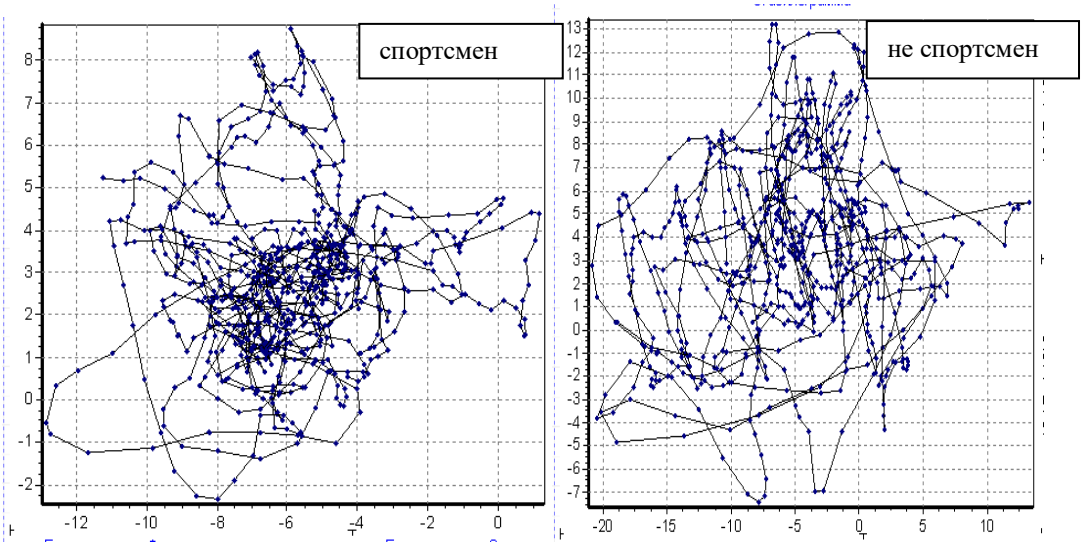

Рис. 1 Стабілограма спортсмена 16 років (зліва, КФР = 87 %) та не спортсмена (справа, КФР= 46 %) 17 років

У спортсменів показники КФР у всіх обстежуваних вікових групах були вищими, а довжина траєкторії коливання центру тиску та швидкості переміщення центру маси нижчими, ніж у однолітків не спортсменів (рис. 2).

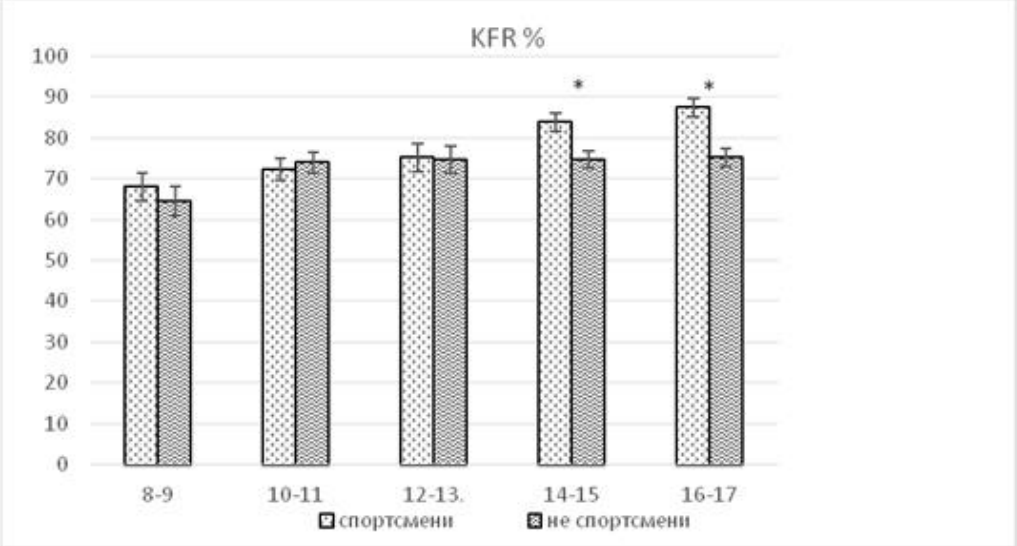

Рис. 2 Статокінетична стійкості за показником коефіцієнту функції рівноваги дітей, підлітків та юнаків спортсменів та їх однолітків не спортсменів; * – *статистична вірогідність різниць між віковими групами на рівні p<0,05.*

За показниками довжини траєкторії коливання центру тиску у обстежуваних спортсменів 8-9, 10-11 та 12-13 років і їх однолітків не спортсменів не виявили відмінностей (рис. 3).

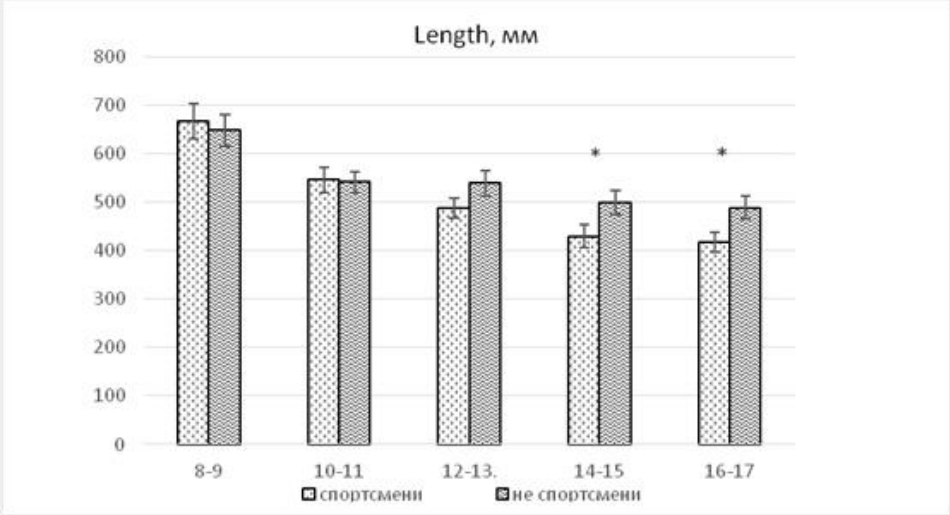

Рис. 3 Статокінетична стійкості за показником довжини траєкторії коливання центру тиску дітей, підлітків та юнаків спортсменів та їх однолітків не спортсменів; * – *статистична вірогідність різниць між віковими групами на рівні p<0,05.*

Показники Length у цих вікових групах спортсменів та не спортсменів статистично значущих відмінностей не мали (p>0,05). Тоді як у не спортсменів 14-15 та 16-17 років показники довжини траєкторії коливання центру тиску були статистично вірогідно вищими, ніж у їх однолітків спортсменів, що вказувало на нижчу статокінетичну стійкість (p<0,05).

Співставлення показників швидкості переміщення центру маси у спортсменів та не спортсменів 8-9, 10-11, 12-13 та 14-15 років не виявили суттєвих відмінностей у статокінетичній стійкості за цим показником (p>0,05). Швидкість відновлення відхилення від вертикального положення тіла у дітей 8-9 років як у групі спортсменів, так і не спортсменів була найнижча і відбувалась у середньому за 11,3 мм/с, тоді як у обстежуваних 16-17 років цей показник становив 8-6 мм/с.(рис.4).

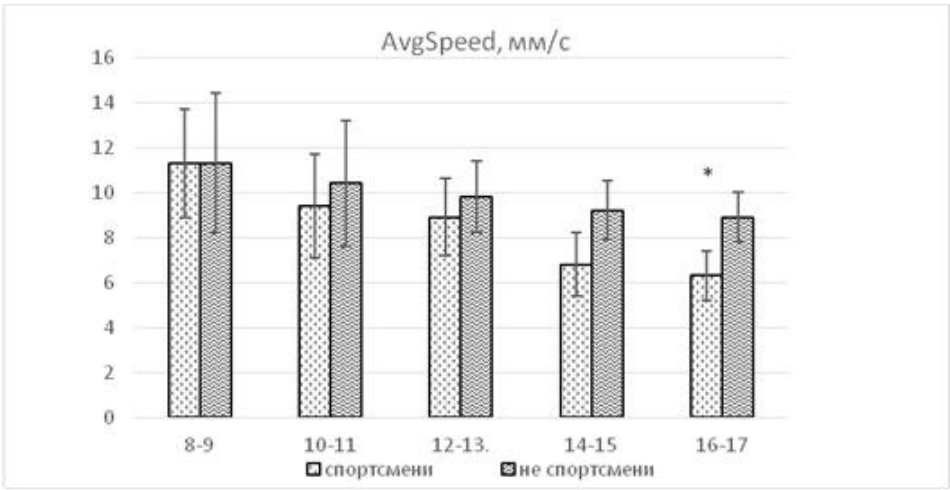

Рис. 4 Статокінетична стійкості за показником швидкості переміщення центру маси у дітей, підлітків та юнаків спортсменів та їх однолітків не спортсменів; * – *статистична вірогідність різниць між віковими групами на рівні p<0,05.*

Тоді як у обстежуваних не спортсменів 16-17 років показник AvgSpeed був статистично вірогідно вищий, ніж у їх однолітків спортсменів (p<0,05). Встановлені нижчі значення

швидкості переміщення центру маси у спортсменів 16-17 років свідчать про більш високу швидкість відновлення стійкості пози і їх вищу статокінетичну стійкість у порівнянні з не спортсменами.

Отже, проведені дослідження показали, що обстежувані спортсмени 14-15 та 16-17 років характеризуються вищою статокінетичною стійкістю, ніж їх однолітки не спортсмени. Підвищену стійкість вертикального положення тіла у спортсменів зв'язують з підвищеною чутливістю пропріорецептивного аналізатора [21]. Одним із показників вищої спортивної майстерності може бути тонке диференціювання просторової та часової і силової характеристики рухів [22]. Високо кваліфіковані плавці показують високі сенсорно-перцептивні здібності для оцінки параметрів регуляції різних рухів [6]. Імовірно, вплив підвищеного аферентного потоку від пропріорецеторів у разі підвищеної рухової активності обстежуваних, що займаються спортом буде позитивно впливати на формування механізмів регуляції вертикального положення тіла. Відомо, що зміна чутливості під стопою приводить до перебудови системи регуляції пози, що проявляється за рахунок зміни активності м'язів ніг [23, 24]. Із експериментів в умовах невагомості відомо, що зниження аферентації з опорної поверхні стопи під час космічних польотів приводить до цілого спектру розладів сенсорних, соматосенсорних, вестибуломоторних та вегетативних розладів. Навпаки, імітація опори, що обумовлена тиском на рецептори стопи, викликала дискомфорт, що супроводжувалось появою відчуттям «важкості» у нижніх кінцівках. Також показано, що стимуляція опорних зон стопи активують структури локомоторного генератора і, що таке подразнення запускає не тільки ритмічні, а і не ритмічні компоненти ходьби [25, 26].

Результати дослідження, що представлені на рис 2, 3 і 4 демонструють, що у обстежуваних 8-9 років були зареєстровані високі показники довжини та швидкості амплітуди коливань тіла і низькі показники коефіцієнту рівноваги під час виконання завдання на утримання рівноваги. За умови розвитку організму у дітей підлітків та юнаків швидкість амплітуди коливань та довжина траєкторії центру тиску поступово зменшується, а коефіцієнт рівноваги підвищується і досягає найвищого рівня у осіб 16-17 років. На рис.1, 2, 3 та 4 показано, що у спортсменів 14-15 та 16-17 років зареєстровані нижчі показники швидкості переміщення центру маси та довжини траєкторії центру тиску, ніж у обстежуваних одноліткв з групи не спортсменів і вищий рівень коефіцієнту координації рівноваги. Таким чином, за умови занять спортом швидкість коливання амплітуди зменшується, а коефіцієнт рівноваги підвищується, що може вказувати на удосконалення координаційних процесів та інтеграції різних структур, що беруть участь у регуляції функції рівноваги. Було показано, що за умови онтогенезу та росту спортивно-технічної майстерності спортсменів амплітуда коливань тіла зменшується, підвищується частота корекції і фіксації рівноваги. У призерів Олімпійських ігор зареєстровані мала амплітуда і частота коливань тіла, тривалий час фіксації рівноваги [5, 6].

Таким чином, нами доведено, що статокінетична стійкість знаходиться у залежності від вікових морфо-функціональних особливостей та фізичної активності обстежуваних. Встановлено, що з віком у дітей 8-9 і 10-11 років та підлітків 12-13 і 14-15 років статокінетична стійкість поступово підвищується і досягає найвищого рівня у юнаків 16-17 років. У групі спортсменів та не спортсменів виявлена схожа вікова динаміка формування статокінетичної стійкості у дітей, підлітків та юнаків. Низькі значення статокінетичної стійкості були виявлені у дітей 8-9 років, а високі у юнаків 16-17 років. Проте, слід підкреслити, що у групі спортсменів формування статокінетичної стійкості, починаючи з 14-15 років, характеризувалось випереджаючим характером і проходило більш інтенсивно та досягало вищого рівня розвитку у юнаків 16-17 років, на відміну від не спортсменів. Схожа вікова динаміка формування статокінетичної стійкості у групах спортсменів та не спортсменів може вказувати на те, що удосконалення статокінетичної стійкості знаходиться під контролем генорегуляторних механізмів онтогенезу [27]. Разом з тим, встановлений нами однаковий

характер удосконалення статокінетичної стійкості у дітей 8-9 і 10-11 та підлітків 12-13 років у групах спортсменів так і не спортсменів, а також вищий рівень та випереджаючу вікову динаміку формування цієї властивості для підлітків 14-15 та юнаків 16-17 років у спортсменів, порівняно з не спортсменами може вказувати на те, що систематична підвищена рухова активність вносить корективи у генетичну програму розвитку та удосконалення функції рівноваги [27].

Таким чином, особливості розвитку функції рівноваги, які були нами виявлені під час дослідження вказують на те, що статокінетична стійкість від 8-9 і до 12-13 років забезпечується однаковими механізмами, що змінюються в онтогенезі. На нашу думку, удосконалення статокінетичної стійкості в онтогенезі являє собою узгоджену генетично детерміновану програму, що її забезпечує. Тоді як у підлітків 14-15 та юнаків 16-17 років заняття спортом чинить позитивний вплив на вікову динаміку, розвиток та удосконалення статокінетичної стійкості.

Ми спробували пояснити позитивний корегуючий вплив додаткової сенсорної аферентації з м'язів у спортсменів на формування статокінетичної стійкості в онтогенезі? Можна вважати, що під час виконання завдання на утримання рівноваги на стабілографі у підтриманні статокінетичної стійкості у нейромережах головного мозку для виконання завдання у обстежуваних формується функціональна система, що дозволяє утримувати рівновагу на платформі стабілографа. Для формування функціональної системи статокінетичної стійкості залучаються інтеграційні процеси різних сенсорних систем зорового, вестибулярного та сенсомоторного аналізаторів, що беруть участь в обробці інформації. Враховуючи те, що показники статокінетичної стійкості у вікових групах дітей 8-13 років були аналогічними, як для спортсменів та і не спортсменів, а також те, що вони з віком поступово підвищувались, можна вважати, що статокінетична стійкість обумовлена посиленням ролі інтеграційних процесів у нейромережах функціональної системи статокінетичної стійкості. Відмінності, що встановлені в обробці статокінетичної інформації, що з'являються у спортсменів підлітків 14-15 та юнаків 16-17 років імовірно можуть бути зв'язані з посиленим впливом аферентної інформації з м'язів, що беруть участь у спортивному тренуванні та формуванні специфічної функціональної нейромережі статокінетичної стійкості. До цього фактору можна добавити підвищення соматосенсорної чутливості та ефективності рухових реакцій поступальних м'язів нижніх кінцівок. Це проявляється у високих координаційних властивостях, оскільки вони реалізуються за високої просторової і часової організації роботи сенсорних систем, які беруть участь у керуванні рухами. Тому високі специфічні координаційні здібності у осіб 14-15 та юнаків 16-17 років у групі спортсменів формують більш досконалу функціональну системи з високим рівнем інтеграційних та просторово-часових внутрішньо сенсорних та між сенсорних координаційних механізмів, що проявляються у вищому рівні здатності орієнтуватися у просторі, диференціювати параметри рухів, підтримувати рівновагу, ритм і вестибулярну стійкість.

Отже, наведені результати та узагальнення дозволяють стверджувати, що систематичні фізичні навантаження у групі спортсменів призводить до функціональної мультисенсороної та сенсорно-моторної інтеграції нейромереж, що беруть участь у підтриманні рівноваги, статокінетичної стійкості дітей, підлітків та юнаків.

Висновки:

1. Методом стабілографії за показниками коефіцієнту функції рівноваги, довжини траєкторії коливання центру тиску, швидкості переміщення центру маси встановлено вікові особливості та закономірності формування координації вертикального положення тіла під час стояння, що знаходяться у залежності від генетичних механізмів онтогенезу та рівня рухової активності обстежуваних.

2. У дітей 8-9 років, що займаються спортом та їх однолітків не спортсменів статодинамічна функція неперервно та поступово розвивається і досягає найвищого рівня у юнаків 16-17 років.
3. У групі спортсменів на відміну від не спортсменів вікова динаміка статодинамічної стійкості характеризується випереджаючим та більш інтенсивним розвитком. У спортсменів підлітків 14-15 та юнаків 16-17 років у порівнянні з однолітками не спортсменами за показниками коефіцієнту функції рівноваги та довжини траєкторії коливання центру тиску встановлені статистично значущі вищі характеристики стабілографії, що свідчить на користь корегуючого впливу підвищеної рухової активності на генетичні механізми формування функції рівноваги в онтогенезі.
4. Отримані результати підтверджують думку про існування високого рівня сенсомоторної інтеграції та пластичності за умови систематичних занять спортом. У дітей, підлітків та юнаків спортсменів додаткова нервово-м'язова активність та сенсомоторнарна аферентація забезпечує більш високий рівень сенсорної інтеграції та статокінетичної стійкості та удосконалює функцію рівноваги в онтогензі.
5. Виявлені вікові особливості та закономірності формування статокінетичної стійкості дітей, підлітків та юнаків необхідно враховувати під час організації освітнього процесу, фізичного виховання, проведення медичних оглядів і оцінці рухового розвитку та підготовленості.

Список використаної літератури

1. Mozer I.M. The 2014 Nobel Prize in Physiology or Medicine. Nobel Committee. 06.10.2014.
2. Zhou, Y., & Qi, J. (2022). Effectiveness of Interventions on Improving Balance in Children and Adolescents With Hearing Impairment: A Systematic Review. Frontiers in physiology, 13, 876974. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.876974
3. Гурфинкель В.С., Липшиц М.И., Мори С. и др. Стабилизация положения тела - основная задача позной регуляции. Физиология человека. 1981. №7 (3), С.400-410.
4. Лях Ю., Усова О., Романюк А., Мельничук В., Лях М., Антипов А. Комп'ютерна стабілометрія в оцінці функціонального стану людини. Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві. 2019. № 2, С. 66-72. DOI: https://doi.org/10.29038/2220-7481-2019-02-66-72
5. Балобан В. Сенсомоторная координация как основа технической подготовки. Наука в олимпийском спорте. 2019. №4, С. 75-84.
6. Коваленко Я., Балобан В. Статодинамическая устойчивость тела спортсменок, занимающихся художественной гимнастикой, на этапе специализированной базовой підготовки. Наука в олимпийской спорте. 2018. № 4, С.70-78. DOI:10.32652/olympic2018.
7. Альошина А., Іваніцький Р., Бичук О. Розвиток та корекція рухової сфери дітей із вадами слуху в процесі фізичного виховання. Сучасний етап. Молодіжний науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. 2017. № 27, С. 98–103.
8. Melo, R. S., Lemos, A., Paiva, G. S., Ithamar, L., Lima, M. C., Eickmann, S. H., Ferraz, K. M., & Belian, R. B. (2019). Vestibular rehabilitation exercises programs to improve the postural control, balance and gait of children with sensorineural hearing loss: A systematic review. International journal of pediatric otorhinolaryngology, 127, 109650. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.109650
9. Ebrahimi, A. A., Jamshidi, A. A., Movallali, G., Rahgozar, M., & Haghgoo, H. A. (2017). The Effect of Vestibular Rehabilitation Therapy Program on Sensory Organization of Deaf Children With Bilateral Vestibular Dysfunction. Acta medica Iranica, 55(11), 683–689.
10. Rajendran V., Roy F. G., & Jeevanantham D. (2013). A Preliminary Randomized Controlled Study on the Effectiveness of Vestibular-specific Neuromuscular Training in Children with Hearing Impairment. *Clin. Rehabil.* 27, 459–467. doi:10.1177/0269215512462909
11. Rine R. M., Braswell J., Fisher D., Joyce K., Kalar K., & Shaffer M. (2004). Improvement of Motor Development and Postural Control Following Intervention in Children with Sensorineural Hearing Loss and Vestibular Impairment. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngology* 68, 1141–1148. doi:10.1016/j.ijporl.2004.04.007
12. Shah J., Rao K., Malawade M., & Khatri S. (2013). Effect of Motor Control Program in Improving Gross Motor Function and Postural Control in Children with Sensorineural Hearing Loss-A Pilot Study. *Pediat. Ther.* 03, 1–4. doi:10.4172/2161-0665.1000141

13. Ferdjallah M., Harris G. F., Smith P., & Wertsch J. J. (2002). Analysis of Postural Control Synergies during Quiet Standing in Healthy Children and Children with Cerebral Palsy. *Clin. Biomech.* 17, 203–210. doi:10.1016/S0268-0033(01)00121-8
14. Roncesvalles M. N. C., Woollacott M. H., & Jensen J. L. (2001). Development of Lower Extremity Kinetics for Balance Control in Infants and Young Children. *J. Mot. Behav.* 33, 180–192. doi:10.1080/00222890109603149
15. Demirel, N. (2018). The Impact of Therapeutic Recreational Gymnastic Exercise on Basic Motor Skills of Hearing-Impaired Children Aged Between 6 and 9 Years. *Journal of education and training studies, 6*, 147-151. https://doi.org/10.11114/jets.v6i3.3048
16. Maiano C., Hue O., Morin A. J. S., Lepage G., Tracey D., & Moullec G. (2019). Exercise Interventions to Improve Balance for Young People with Intellectual Disabilities: a Systematic Review and Meta-analysis. *Dev. Med. Child. Neurol.* 61, 406–418. doi:10.1111/dmcn.14023
17. Скворцов Д. В. Методика исследования кинематики движений и современные стандарты. Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2013. №1 (109), С. 4–9.
18. Салєєва А. Д. та ін. Методичні аспекти біомеханічної оцінки реабілітації хворих з патологією опорнорухової системи. Ортопедія, травматологія і протезування. 2013. № 1, С. 98–100.
19. Hamzehpour, F., Absalan, A., Pirasteh, E., Sharafi, Z., & Arbabsarjoo, H. (2021). Investigating the Effect of Hearing Aid Use on the Balance Status of Children with Severe to Profound Congenital Hearing Loss Using the Pediatric Clinical Test of Sensory Interaction for Balance. Journal of the American Academy of Audiology, 32(5), 303–307. https://doi.org/10.1055/s-0041-1728754
20. Лях Ю. Е. та ін. Стабілометричні критерії в прогнозуванні функціональних станів людини. Клінічна інформатика і телемедицина. 2012. №8 (9), С. 24–29.
21. Джевага В. В. Корекція порушень координаційних здібностей дітей молодшого шкільного віку з вадами слуху в процесі фізичного виховання: дис. канд. наук з фіз. виховання і спорту: 24.00.02 «Фізична культура, фізичне виховання різних груп населення». К. 2017. 20 с.
22. Гуринович Х. Є. Фізичний стан глухих дітей молодшого шкільного віку та його корекція засобами фізичного виховання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. наук із фіз. вих. і спорту: спец. 24.00.02. «Фізична культура, фізичне виховання різних груп населення». Львів: ЛДУФК. 2017. 18 с.
23. Billot, M., Handrigan, G. A., Simoneau, M., & Teasdale, N. (2015). Reduced plantar sole sensitivity induces balance control modifications to compensate ankle tendon vibration and vision deprivation. Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology, 25(1), 155–160. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.06.003
24. Vaillant, J., Vuillerme, N., Janvey, A., Louis, F., Braujou, R., Juvin, R., & Nougier, V. (2008). Effect of manipulation of the feet and ankles on postural control in elderly adults. Brain research bulletin, 75(1), 18–22. https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2007.07.009
25. Томиловская Е.С., Мошонкина Т.Р., Городничев Р.М. и др. Механическая стимуляция опорных зон стоп: неинвазивный способ активации генераторов шагательных движений у человека. Физиология человека. 2013. Т. 39. № 5. С. 34.
26. Казенников О.В., Киреева Т.Б., Шлыков Б.Ю. Влияние структурной поверхности под стопой на поддержание вертикальной позы при распределении нагрузки между ногами // Физиология человека, 2016. Т. 42. № 4. С. 61-68.
27. Коваль, Ю.В., Юхименко, Л.І., Чистовська, Ю.Ю., Палійчук, О.В. Вікові особливості формування статокінетичної стійкості у осіб з депривацією слухової функції. Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки. 2023, №1, С. 46-57. https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-46-57

References

1. Mozer I.M. The 2014 Nobel Prize in Physiology or Medicine. Nobel Committee. 06.10.2014.
2. Zhou, Y., & Qi, J. (2022). Effectiveness of Interventions on Improving Balance in Children and Adolescents With Hearing Impairment: A Systematic Review. Frontiers in physiology, 13, 876974. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.876974
3. Gurfinkel', V. S., Lipshits, M. I., Mori, S., & Popov, K. E. (1981). Stabilization of body position as the main task of postural regulation. Human physiology, 7(3), 400-410.
4. Lyakh, Y., Usova, O., Romaniuk, A., Melnychuk, V., Lyakh, M., & Antipov, A. (2019). Computer Stabilometry in the Assessment of Functional State of Humans. Physical Education, Sport and Health Culture in Modern Society, (2(46), 66–72. https://doi.org/10.29038/2220-7481-2019-02-66-72
5. Baloban V. (2019). Sensorimotor coordination as the basis of technical training. Science in Olympic Sports, 4,:75-84.
6. Kovalenko Y., & Boloban V. (2018). Static dynamic stability of the body of rhythmic gymnastics female athletes at the stage of specialized basic training. Science in Olympic Sport, 70–78. doi:10.32652/olympic2018.4_9.

7. Aloschina A., Ivanitsky R., & Bychuk O. (2017). Development and correction of the motor sphere of children with hearing impairments in the process of physical education. Modern Stage. Youth Scientific Bulletin of Lesya Ukrainka Eastern European National University, 27, 98–103.
8. Melo, R. S., Lemos, A., Paiva, G. S., Ithamar, L., Lima, M. C., Eickmann, S. H., Ferraz, K. M., & Belian, R. B. (2019). Vestibular rehabilitation exercises programs to improve the postural control, balance and gait of children with sensorineural hearing loss: A systematic review. International journal of pediatric otorhinolaryngology, 127, 109650. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.109650
9. Ebrahimi, A. A., Jamshidi, A. A., Movallali, G., Rahgozar, M., & Haghgoo, H. A. (2017). The Effect of Vestibular Rehabilitation Therapy Program on Sensory Organization of Deaf Children With Bilateral Vestibular Dysfunction. Acta medica Iranica, 55(11), 683–689.
10. Rajendran V., Roy F. G., & Jeevanantham D. (2013). A Preliminary Randomized Controlled Study on the Effectiveness of Vestibular-specific Neuromuscular Training in Children with Hearing Impairment. *Clin. Rehabil.* 27, 459–467. doi:10.1177/0269215512462909
11. Rine R. M., Braswell J., Fisher D., Joyce K., Kalar K., & Shaffer M. (2004). Improvement of Motor Development and Postural Control Following Intervention in Children with Sensorineural Hearing Loss and Vestibular Impairment. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngology* 68, 1141–1148. doi:10.1016/j.ijporl.2004.04.007
12. Shah J., Rao K., Malawade M., & Khatri S. (2013). Effect of Motor Control Program in Improving Gross Motor Function and Postural Control in Children with Sensorineural Hearing Loss-A Pilot Study. *Pediat. Ther.* 03, 1–4. doi:10.4172/2161-0665.1000141
13. Ferdjallah M., Harris G. F., Smith P., & Wertsch J. J. (2002). Analysis of Postural Control Synergies during Quiet Standing in Healthy Children and Children with Cerebral Palsy. *Clin. Biomech.* 17, 203–210. doi:10.1016/S0268-0033(01)00121-8
14. Roncesvalles M. N. C., Woollacott M. H., & Jensen J. L. (2001). Development of Lower Extremity Kinetics for Balance Control in Infants and Young Children. *J. Mot. Behav.* 33, 180–192. doi:10.1080/00222890109603149
15. Demirel, N. (2018). The Impact of Therapeutic Recreational Gymnastic Exercise on Basic Motor Skills of Hearing-Impaired Children Aged Between 6 and 9 Years. *Journal of education and training studies, 6*, 147-151. https://doi.org/10.11114/jets.v6i3.3048
16. Maiano C., Hue O., Morin A. J. S., Lepage G., Tracey D., & Moullec G. (2019). Exercise Interventions to Improve Balance for Young People with Intellectual Disabilities: a Systematic Review and Meta-analysis. *Dev. Med. Child. Neurol.* 61, 406–418. doi:10.1111/dmcn.14023
17. Skvorczov, D. V. (2013). Metodika issledovaniya kinematiki dvizhenij i sovremenny`e standarty`. Lechebnaya fizkul`tura i sportivnaya mediczina, 1(109), 4–9.
18. Salyeyeva, A. D. i dr. (2013). Metodichni` aspekti bi`omekhani`chnoyi oczi`nki reabi`li`taczi`yi khvorikh z patologi`yeyu oporno-rukhovoyi sistemi. Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie, 1, 98–100.
19. Hamzehpour, F., Absalan, A., Pirasteh, E., Sharafi, Z., & Arbabsarjoo, H. (2021). Investigating the Effect of Hearing Aid Use on the Balance Status of Children with Severe to Profound Congenital Hearing Loss Using the Pediatric Clinical Test of Sensory Interaction for Balance. Journal of the American Academy of Audiology, 32(5), 303–307. https://doi.org/10.1055/s-0041-1728754
20. Lyakh, Yu. E. i dr. (2012). Stabi`lometrichni` kriteri`yi v prognozuvanni` funkczi`onal`nikh stani`v lyudini. Klinicheskaya informatika i telemediczina, 8(9), 24–29.
21. Dzhevaga V. V. (2017). Correction of violations of coordination abilities of children of primary school age with hearing impairments in the process of physical education: dissertation. Ph.D. sciences in physics education and sports: 24.00.02 "Physical culture, physical education of different population groups". K. 20 p.
22. Ghurynovych Kh. Je. (2017). Physical condition of deaf children of primary school age and its correction by means of physical education. Extended abstract of candidate's thesis. Lviv: LDUFK (in Ukr.).
23. Billot, M., Handrigan, G. A., Simoneau, M., & Teasdale, N. (2015). Reduced plantar sole sensitivity induces balance control modifications to compensate ankle tendon vibration and vision deprivation. Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology, 25(1), 155–160. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.06.003
24. Vaillant, J., Vuillerme, N., Janvey, A., Louis, F., Braujou, R., Juvin, R., & Nougier, V. (2008). Effect of manipulation of the feet and ankles on postural control in elderly adults. Brain research bulletin, 75(1), 18–22. https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2007.07.009
25. Tomilovskaia, E. S., Moshonkina, T. R., Gorodnichev, R. M., Shigueva, T. A., Zakirova, A. Z., Pivovarova, E. A., Savokhin, A. A., Selionov, V. A., Semenov, I.uS., Brevnov, V. V., Kitov, V. V., Gerasimenko, I.uP., & Kozlovskaia, I. B. (2013). Fiziologiia cheloveka, 39(5), 34–41.
26. Kazennikov O. V., Kireeva T. B., & Shlykov B. Yu. (2016). Influence of the structural surface under the foot on maintaining a vertical posture when distributing the load between the legs. Human Physiology, 42, (4), 61-68. https://doi.org/10.7868/s0131164616040044

27. Koval, Yu. V., Yukhymenko, L. I., Chistovska, Yu. Yu. & Paliychuk, O. V. (2023) Age-specific features of the formation of statokinetic stability in persons with hearing loss. Herald of Cherkasy University. Biological sciences series, 46-57. https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-46-57

V.S. Lyzohub, I.I. Salivonchyk, Y.V. Koval, I.O. Dudnyk Formation of statokinetic stability in ontogenesis

Introductionю. *The study proposes to explore the specifics of statokinetic stability formation in ontogenesis. Questions remain unanswered, such as the characteristics of structurally-functional sensorimotor integration in statokinetic stability formation under different levels of physical activity. It is yet unclear how neuroontogenetic processes align with general mechanisms in the improvement of statokinetic stability through systematic engagement in physical culture and sports.*

Purpose. *The study aims to identify the features of statokinetic stability formation in individuals of different ages and with varying physical activity levels.*

Methods. *The biomechanical assessment of statokinetic stability is utilized for functional state evaluation and sports orientation. The ability to maintain balance is examined in static conditions, where the body is stationary or during movements, using computer stabilography for precise spatial-temporal analysis of body position.*

The study includes 174 participants aged 8-17, divided into athletes attending sports sections and non-athletes participating in school physical education programs. The voluntary participation adheres to ethical norms. Statokinetic stability is assessed through stabilography, considering parameters like equilibrium function coefficient (EFC), length of the oscillation trajectory (Length), and center of mass displacement speed (AvgSpeed).

Statistical analysis employs ANOVA and Tukey's test to determine significant differences. The results indicate the need for further research to understand the intricacies of statokinetic stability formation, especially in terms of sensory-motor integration, neuroontogenesis processes, and age-specific characteristics in athletes.

Results. *Results show that statokinetic stability gradually increases in children, adolescents, and youths, reaching maximum values at 16-17 years. Athletes in the 14-15 and 16-17 age groups exhibited significantly higher development of statokinetic stability compared to their non-athlete peers.*

Originality. *The role of additional muscle afferentation during systematic physical exercises and sports on genetic mechanisms of sensorimotor integration in the formation of statokinetic stability in ontogenesis is discussed.*

Conclusion. *Using stabilography indicators such as the equilibrium function coefficient, length of the pressure center oscillation trajectory, and center of mass displacement speed, age-specific features and patterns of vertical body position coordination during standing were established. These are dependent on the genetic mechanisms of ontogenesis and the level of physical activity of the subjects. In children aged 8-9 engaged in sports and their non-athlete peers, statodynamic function continuously and gradually develops, reaching its peak in 16-17-year-old males. In the athlete group, unlike the non-athlete group, the age dynamics of statodynamic stability are characterized by advanced and more intensive development. Among adolescent athletes aged 14-15 and males aged 16-17, statistically significant higher stabilography characteristics were identified compared to non-athlete peers. This suggests the corrective influence of increased physical activity on the genetic mechanisms of balance function formation during ontogenesis. The results support the notion of a high level of sensorimotor integration and plasticity with systematic sports training. In children, adolescents, and youth athletes, additional neuromuscular activity and sensorimotor afferentation provide a higher level of sensorial integration and postural stability, improving balance function during ontogenesis. The identified age-specific features and patterns of statokinetic stability formation in children, adolescents, and youth should be considered in organizing the educational process, physical education, conducting medical examinations, and assessing motor development and preparedness.*

Keywords*: include bibliography; statokinetic stability; athletes; non-athletes; equilibrium function coefficient; ontogenesis.*

Одержано редакцією: 10.11.2023
Прийнято до публікації: 14.12.2023