

## ВІКОВІ І СТАТЕВІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА РЕАКЦІЇ НА ФІЗИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХАМИ У ШКОЛЯРІВ 7-16 РОКІВ

*Проведені лонгітюдальні дослідження розвитку системи керування рухами (СКР) та її реакцій на дозовані фізичні навантаження у дітей 7-16 років, (193 хлопчиків та 242 дівчаток) з використанням графоаналітичного методу. Виявлено два основні типи регулювання: нестабільний і стабільний та два варіанти відтворення – з первинними перерегулюванням і недорегулюванням. Виконання фізичних навантажень викликає перехід СКР у стан ненадійності і нестійкості у дітей 7 – 13 років і залишається стійкою і надійною у старших школярів.*

**Ключові слова:** школярі, розвиток систем керування рухами, стабільний і нестабільний режими, фізичні навантаження.

**Постановка проблеми.** Керування рухами в житті людини має не аби яке значення. Практично усі сфери діяльності вимагають високої якості виконання як професійних, так і дій побутового характеру. Якість керування рухами забезпечує не тільки успіх у розповсюджених професіях, але й у тих, що вимагають специфічної підготовки – диспетчерів, водіїв, будівельників, військовослужбовців та ін. Велику роль функціональні можливості системи керування (СКР) відіграють у повсякденній безпеці життєдіяльності та за стресових обставин. Без виключення, усіма фахівцями галузі фізичного виховання і спорту визнане надзвичайне значення високого рівня регуляції рухами у досягненні бажаних результатів у всіх видах спортивної діяльності, особливо якісного характеру – художній і спортивній гімнастиці, фігурному катанні, синхронному плаванні, стрільбі та ін., зміст дій яких і філігранність їх виконання за останні роки значно ускладнилися. Однак, до сьогодні багато питань природного розвитку та цілеспрямованого удосконалення СКР не розкрито, що гальмує практичні досягнення тренерів і спортсменів і, що демонструють результати виступу збірної України на Олімпійських іграх 2016 року. Потребують уточнення окремі загальноприйняті теорії і положення. Окремою проблемою стоїть вивчення формування СКР в онтогенезі, визначення сенситивних періодів в залежності від статевих особливостей, регіональної приналежності та інших багатьох факторів. Вимагають удосконалення і системи цілеспрямованого розвитку здібностей до керування рухами у процесі фізичного виховання і спорту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** свідчить, що теоретичним і практичним питанням проблеми розвитку системи керування рухами приділяється увага фахівцями різних галузей – генетиків, у тому числі спорту (Л.П. Сергієнко, [16]), вікової фізіології (М.М. Безруких і соавт. [2]), теорії і методики фізичного виховання (Л.В. Волков[5]), біомеханіки (А.М. Лапутін [11]) та ін.

Загальним закономірностям становлення і розвитку системи керування рухами, принципам дії та структурній її організації були присвячені роботи відомих вчених М.А. Бернштейна [3], Л.А. Орбелі [15], П.К. Анохіна [1] та ін. На сучасному етапі з позицій біокібернетичних уявлень розроблені різноманітні моделі керування рухами [6, 7, 12, 17]. У всіх цих схемах – моделях можна виділити аферентні, центральні та ефекторні елементи.

Віковим особливостям розвитку рухових якостей присвячено багато досліджень, узагальнені результати яких представлені в роботах Л.Є. Любомирського [12], В.С. Фарфеля [17], В.И. Ляха [14], Л.В. Волкова [5] проте в науковій літературі недостатньо висвітлені дані про розвиток СКР в окремих блоках структур управління рухами в онтогенезі у дітей шкільного віку.

Великий інтерес представляють дослідження впливу фізичних навантажень різного характеру на СКР в онтогенезі, в залежності від статі і рівня мотивації [1, 2], в залежності від спортивної спеціалізації [5, 17]. В той же час відмічається, що означена проблема гостро стоїть у фізичному вихованні і спорті представниць жіночої статі [18].

В науковій літературі представлені як традиційні, так і оригінальні, дискусійні теорії керування рухами, в яких виказуються дискусійні положення щодо багатьох позицій і понять (В.Б. Коренберг [9,10]). Вище зазначене визначає актуальність і перспективність обраного напрямку досліджень.

**Мета роботи.** Метою роботи було вивчення розвитку системи керування рухами у дітей шкільного віку від 7 до 16 років в нормі та під впливом дозованих фізичних навантажень.

Відповідно до мети досліджень були поставлені наступні **завдання:**

1. Виявити вікові та статеві закономірності розвитку СКР у дітей 7-16 років.

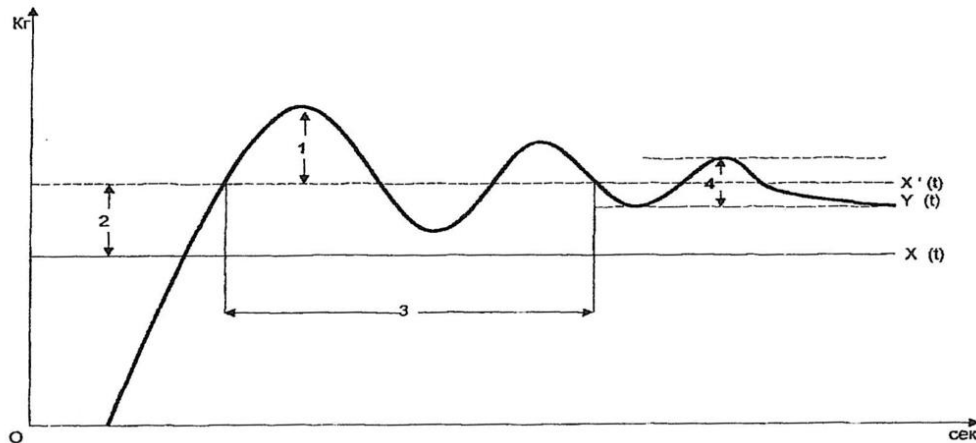
2. Виявити вікові та статеві особливості реакції СКР школярів 7-16 років на фізичне навантаження за замкнутим циклом.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дослідження входить до тематичного плану науково-дослідної роботи кафедри біології і основ здоров'я ПНПУ імені К.Д. Ушинського. Державний реєстраційний номер 0109U000206 за темою: "Системна адаптація до фізичних і розумових навантажень на окремих етапах онтогенезу людини".

**Організація і методи досліджень.** Під спостереженням на протязі дев'яти років знаходились школярі чоловічої ( $n = 193$ ) та жіночої ( $n = 242$ ) статті, відповідно, 1-9 класів. Оцінка функціонального стану системи керування рухами здійснювалась графоаналітичним методом (Голубєв В.М. [6,7].), сенс якого полягає в аналізі просторово-часової характеристики кривої відтворення заданої величини м'язового зусилля, що розвивається випробовуванням на кистьовому динамометрі. Визначення здібності до керування рухами проводилось у стані відносного м'язового спокою та після виконання дозованого фізичного навантаження за замкнутим циклом (Давиденко Д.М. [8]).

За представленою авторами методикою, аналізу піддавалась крива відтворення м'язового зусилля, що складало 50% від максимального, оскільки саме такі умови визначають найбільш високу якість регулювання і стійкість функціонування СКР. Графічно крива при такій величині заданого зусилля має характерний вигляд так званого перехідного процесу (рис. 1), кількісна і якісна оцінка якого визначається наступними показниками:

1. Перерегулювання – показник перерегулювання в %.
2. Помилка регулювання – показник помилки регулювання в %.
3. Час регулювання – час переходу на новий рівень регулювання, при відхиленні від нього не більше як на 5 %.
4. Коливальність системи – число коливань за час регулювання.
5. Стійкість регулювання – час, упродовж якого помилка регулювання не збільшується.

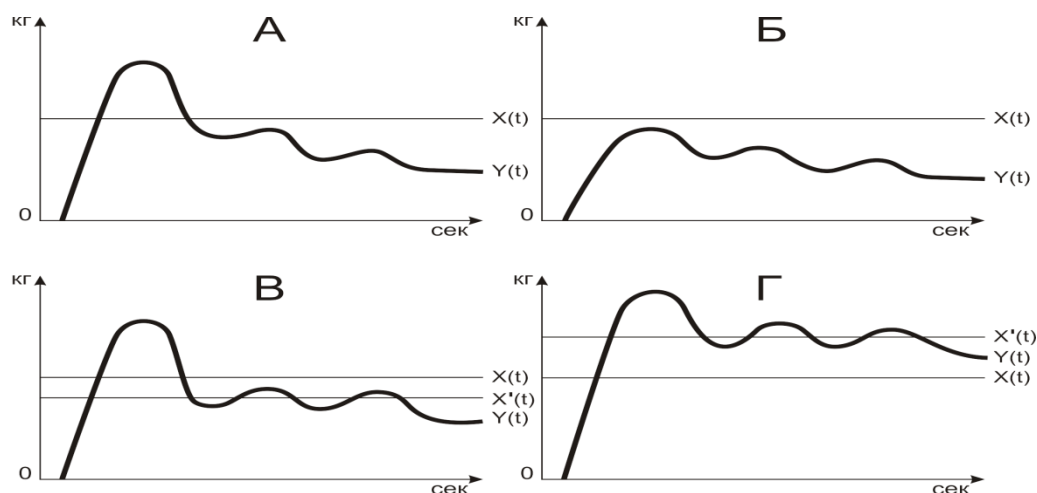


**Рис. 1. Перехідний процес в системі управління рухами:**  
 1 – перерегулювання; 2 – помилка регулювання; 3 – час регулювання;  
 4 – відхилення вихідної характеристики  $Y(t)$  від установки  $X^1(t)$ ;  
 $X(t)$  – задана величина зусилля;  $X^1(t)$  – відтворений рівень перехідного процесу;  
 $Y(t)$  – регульований сигнал (відтворення зусилля)

Аналітична характеристика приведених показників перехідного процесу дозволяє судити про морфо-функціональний стан усіх рівнів регуляції рухів, а також про вплив різних чинників на якість управління рухами, що і спонукало нас використовувати апробований авторами метод як базовий для дослідження впливу фізичного навантаження на функціональний стан СКР у дітей, підлітків і юнаків. Для оцінки впливу фізичного навантаження на СКР було вибрано велоергометричне тестування, при якому потужність навантаження збільшується із швидкістю 33 Вт/хв. від нуля до певної величини (ЧСС 150-155 уд/хв.), а потім знижується з тією ж швидкістю до нуля, тобто потужність змінюється за замкнутим циклом, або з реверсом.

**Результати досліджень** показали, що СКР у дітей і підлітків має, як мінімум, два варіанти реагування на рішення поставленої моторної програми, тобто відтворення 50% м'язового зусилля від максимального, що розвивається обстеженим.

При першому, нестійкому режимі функціонування СКР, випробовувані були не в змозі підтримувати задану величину м'язового зусилля: відбувається постійне розузгодження між заданою величиною і відтвореною у бік зменшення величини останньої. У свою чергу, для цього режиму функціонування характерні два варіанти відтворення: нестабільний тип відтворення з первинним перерегулюванням (рис. 2А) та нестабільний тип відтворення з первинним недорегулюванням (2Б).



**Рис. 2. Типи відтворення заданої величини м'язового зусилля дітьми і підлітками:**  
**А – нестабільний тип відтворення з перерегулюванням; Б – нестабільний тип відтворення з недорегулюванням; В – стабільний тип відтворення з негативною помилкою регулювання;**  
**Г – стабільний тип відтворення з позитивною помилкою регулювання**

При другому, стійкому режимі функціонування СКР з усіма характерними показниками перехідного процесу також спостерігаються два варіанти відтворення м'язового зусилля: відтворення з негативною помилкою регулювання і відтворення з позитивною помилкою регулювання (рис. 2 В, Г).

Нестійкий, нестабільний режим функціонування СКР був виявлений у 76,7% дівчаток 7-8 років, майже у половини дівчаток 8-9 років, суттєво, у 3,58 рази менше у дівчаток 9-10 років у порівнянні з 7-8-річними. У наступних вікових групах кількість випадків нестабільного регулювання продовжувало зменшуватися, але з меншою швидкістю, і склало у дівчаток 12-13 років менше восьми відсотків обстежених, що відбивало майже 10-кратне зменшення кількості такого типу регулювання. У другій половині і до кінця пубертатного періоду випадків нестійкого регулювання нами не встановлено (табл. 1).

Таблиця 1

**Кількісне співвідношення школярів 7-16 років із стабільним і нестабільним типами відтворення заданої величини м'язового зусилля**

| Вікова група | Загальна кількість, n |    | Стабільний тип відтворення |                           | Нестабільний тип відтворення |                           |
|--------------|-----------------------|----|----------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
|              |                       |    | Кількість, n               | % від загальної кількості | Кількість, n                 | % від загальної кількості |
| 7-8 років    | Д*                    | 30 | 7                          | 23,3                      | 23                           | 76,7                      |
|              | Х*                    | 33 | 7                          | 21,2                      | 26                           | 78,8                      |
| 8-9 років    | Д                     | 28 | 16                         | 57,1                      | 12                           | 42,9                      |
|              | Х                     | 16 | 9                          | 56,25                     | 7                            | 43,75                     |
| 9-10 років   | Д                     | 28 | 22                         | 78,6                      | 6                            | 21,4                      |
|              | Х                     | 28 | 22                         | 78,6                      | 6                            | 21,4                      |
| 10-11 років  | Д                     | 26 | 22                         | 84,6                      | 4                            | 15,4                      |
|              | Х                     | 24 | 20                         | 83,4                      | 4                            | 16,6                      |
| 11-12 років  | Д                     | 26 | 23                         | 88,5                      | 3                            | 11,5                      |
|              | Х                     | 22 | 19                         | 86,4                      | 3                            | 13,6                      |
| 12-13 років  | Д                     | 26 | 24                         | 92,3                      | 2                            | 7,7                       |
|              | Х                     | 19 | 17                         | 89,4                      | 2                            | 10,6                      |
| 13-14 років  | Д                     | 26 | 26                         | 100                       | -                            | -                         |
|              | Х                     | 19 | 18                         | 94,7                      | 1                            | 5,3                       |
| 14-15 років  | Д                     | 26 | 26                         | 100                       | -                            | -                         |
|              | Х                     | 16 | 16                         | 100                       | -                            | -                         |
| 15-16 років  | Д                     | 26 | 26                         | 100                       | -                            | -                         |
|              | Х                     | 16 | 16                         | 100                       | -                            | -                         |

Примітка. Д\* – дівчатка, Х\* – хлопчики

Діти молодших вікових груп відтворюють задану величину м'язового зусилля з достатньо високою помилкою регулювання, яка складає у дітей 7-8 років 38-39%, плавно зменшується у 11-12 років до 8,5-11,7% і стабілізується на рівні 5-6 відсотків в старших вікових групах, при цьому статистично достовірної статевої різниці не відмічається. Характерно, що до 9-10 років діти виконують задачу з негативним значенням помилки регулювання, котра до 12-13 років стає позитивною у більшості досліджуваних. В 13-14 років у дівчаток і в 14-15 років у хлопчиків помилка регулювання стає позитивною величиною у всіх обстежених. Крива вікової динаміки помилок регулювання носить плавний характер зниження з деяким елементом більш крутого падіння в інтервалі від 7 до 11 років.

Відповідно стійкий, стабільний режим функціонування СКР дівчаток характеризувався прогресивними позитивними змінами у віковому діапазоні від 7 до 10 років, з подальшим зменшенням темпів приросту від 10 до 13 років і повною стабілізацією у віці 13-16 років.

Аналогічна вікова динаміка відмічалась і у представників чоловічої статі.

Так, кількість дітей нездібних підтримувати задану величину м'язового зусилля прогресивно зменшується від молодших вікових до старших. Якщо у хлопчиків 7-8 років нестабільний режим функціонування системи управління рухами демонструють 78,8% обстежених, то у підлітків 13-14 років такий тип регуляції відмічається у 5,3%. Вираженою статевою особливістю є те, що стабілізація регуляторних процесів у хлопчиків відбувається на рік пізніше, ніж у дівчаток, лише у 14-15 років.

Дослідження перехідних процесів із стабільним типом відтворення заданої величини м'язового зусилля показує, що як хлопчики, так і дівчатка молодшого шкільного віку виконують встановлену задачу з дуже високим значенням величини перерегулювання, котре відносно зменшується у старших вікових групах і стабілізується в обох групах у 13-14 років на рівні 17-20 відсотків. Так, у хлопчиків 7-8 років величина перерегулювання складає  $143,85 \pm 9,74\%$ , 8-9 років –  $119 \pm 7,95\%$ , 9-10 років –  $70,19 \pm 6,79\%$ , 10-11 років –  $52,39 \pm 4,72\%$ , 11-12 років –  $34,41 \pm 3,45\%$ , 12-13 років –  $25,56 \pm 3,16\%$ , 13-14 років –  $20,57 \pm 2,12\%$ , 14-15 років –  $19,32 \pm 1,3\%$ . Графічна ілюстрація вікової динаміки перерегулювання демонструє, що в 11 років відбувається круте падіння величини даного показника із плавним зниженням до 14-15 років.

Час регулювання перехідного процесу різко скорочується від 7 до 13-14 років з 11-12 до 2-3 секунд.

Децю інший характер носить вікова динаміка коливальності системи управління рухами, яка характеризується значним зниженням у дітей від 7 до 9 років, з наступним незначним зменшенням до 15 років. В цифровій інтерпретації показники коливальності системи виглядають у хлопчиків таким чином: у 7-8 років  $2,71 \pm 0,31$ , у 11-12 років –  $1,59 \pm 0,11$ , у 12-13 років –  $1,57 \pm 0,14$ , у 15-16 років –  $1,5 \pm 0,12$  коливань (статеві відмінності недостовірні).

Стійкість регулювання також прогресивно зростає з віком, причому основний приріст, у чотири рази, припадає на молодший шкільний вік (з 3,7 до 17,5 секунд) Середній і старший шкільний періоди характеризуються річними позитивними зрушеннями на рівні 19-20 процентів.

Після виконання навантаження з реверсом як у дівчаток, так і у хлопчиків 7-8 років відбувається перенапруження в усіх блоках структур, що забезпечують управління рухами, у дітей 8-13 років – перенапруження в блоці структур, що забезпечують вихід СКР на заданий рівень (моторні області кори півкуль великого мозку) і напруга в блоці структур, що забезпечують корекцію м'язового зусилля. У вікових групах 13-14 років, 14-15 років і 15-16 років обидва блоки СКР переходять в стан напруги з найбільшими значеннями функціональних зрушень в першому блоці. Це вказує на значну стійкість до фізичних навантажень механізмів корекції м'язового зусилля у порівнянні з механізмами запуску моторної програми. В цілому СКР у дітей молодших вікових груп від 7 до 13 років переходить в стан ненадійності і нестійкості, зміни у СКР дівчаток 13-16 років і хлопчиків 14-16 років після виконання навантаження з реверсом відбуваються із збереженням стійкості і надійності функціонування. Зміни стійкості регулювання від 7 до 13 років демонструють обернену залежність між віком і зрушеннями її значень у бік зменшення. У вказаному віковому періоді процентне зрушення цього показника після виконання навантаження зменшується удвічі, а у віковому періоді від 13 до 16 років зберігає постійне значення. За деякими даними це пов'язано з тим, що стійкість регулювання у дітей молодших вікових груп більше пов'язана з периферичними механізмами: неспівмірністю енергетичних витрат виконаного рухового завдання (Бернштейн Н.А. [4]).

У технічних системах автоматичного регулювання прийнято, що система задовольняє критеріям надійності і стійкості функціонування, якщо перерегулювання складає 18-20% і за час регулювання система переходить в стаціонарний стан, маючи не більше трьох коливань за час перехідного процесу що відповідає параметрам відтворення заданої величини м'язового зусилля у дорослого контингенту обстежених (Голубев В.Н. [6,7]).

Згідно з приведеними критеріями СКР у осіб із стабільним функціональним рівнем регулювання не відповідає вимогам надійності і стійкості за показником перерегулювання у вікових групах від 7 до 13 років. Для усіх вікових груп від 7 до 12 років характерне відтворення м'язового зусилля з крутим зростанням амплітуди переднього фронту хвилі перерегулювання, що свідчить про імпульсивний вихід першого блоку

СКР на запрограмований функціональний рівень регуляції. Велика величина перерегулювання значною мірою пов'язана з високим значенням негативної помилки регулювання, яка за використаною методикою підсумовується величиною відхилення хвилі перерегулювання від заданого рівня регуляції. У обстежених дітей 13-14 років і старше СКР переходить на режим регулювання з позитивною помилкою, величина перерегулювання наближається до такої у дорослих і повністю відповідає за цим показником критерію надійності і стійкості.

Спільність вікової динаміки показників перерегулювання, помилки регулювання і часу регулювання вказує на те, що морфо-функціональне дозрівання блоку запуску моторної програми і апарату зворотного зв'язку протікає в паралельному часовому режимі. Проте, низька коливальність перехідного процесу в усіх вікових групах (не більше трьох коливань) може свідчити про те, що апарат зворотного зв'язку дозріває дещо раніше за коркові рухові області великого мозку.

Узагальнюючи вищевикладені дані і порівнюючи їх з літературними, отриманими в обстеженнях дорослих осіб (Голубев В.Н. [7]), можна дійти висновку, що морфо-функціональне дозрівання СКР, яке визначається високою якістю регулювання, надійністю і стійкістю функціонування, настає у дівчаток в онтогенезі у віці 13-14 років, а у хлопчиків – у 14-15 років.

#### **Висновки**

1. СКР у дівчаток і хлопчиків в онтогенезі (7-16 років) проявляє два режими функціонування: нестабільний режим функціонування, що характеризується нездатністю відтворити задану величину м'язового зусилля, і стабільний режим функціонування з усіма показниками перехідного процесу.

Кількість дітей з нестабільним режимом функціонування СКР прогресивно зменшується від 7 до 13 років. У вікових групах дівчаток 13-14 років і хлопчиків 14-15 років СКР переходить на стабільний режим функціонування з високими значеннями якості регулювання, надійності і стійкості, що свідчить про закінчення дозрівання СКР у дівчаток в онтогенезі до 13-14 років, а у хлопчиків – до 14-15 років.

2. Дозрівання СКР в онтогенезі протікає з деяким тимчасовим випередженням розвитку апарату корекції м'язового зусилля у порівнянні з блоком запуску моторної програми.

3. Виконання фізичного навантаження з реверсом викликає перехід СКР у дітей 7-13 років в стан ненадійності і нестійкості функціонування, у представників старших вікових груп СКР зберігає надійність і стійкість. Механізми корекції м'язового зусилля в усіх вікових групах проявляють більшу стійкість до фізичних навантажень у порівнянні з механізмами запуску моторної програми.

**Перспективи подальших досліджень** у цьому напрямі полягають у розробці і апробації методів та засобів удосконалення системи керування рухами у школярів у процесі занять фізичною культурою та розширення вікового діапазону контингенту обстежених.

#### **Використані джерела**

1. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем / П.К. Анохин. – М. : Медицина, 1975. – 243 с.
2. Безруких М.М. Возрастная физиология (физиология развития ребенка) / М.М. Безруких, В.Д. Сонькин, Д.А. Фарбер. – М. : Издательский центр "Академия", 2008. – 416 с.
3. Бернштейн Н.А. О построении движений / Н.А. Бернштейн. – М. : Медиздат, 1947. – 436 с.
4. Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность / Н.А. Бернштейн. – М. : Наука, 1990. – 495 с.
5. Волков Л.В. Теория и методика детского и юношеского спорта: учебник / Л.В. Волков. – К. : Олимп. литература, 2002. – 295 с.
6. Голубев В.Н. Метод количественной оценки функционального состояния двигательного аппарата / В.Н. Голубев // Физиол. журн. СССР. – 1972. – Т. 58. – № 8. – С. 1306-1309.
7. Голубев В.Н. Управление двигательной активностью человека при экстремальных состояниях : автореф. дис. ... докт. мед. наук / В.Н. Голубев. – С.-Пб., 1991. – 44 с.
8. Давиденко Д.Н. Методика оценки мобилизации функциональных резервов организма по его реакции на дозированную нагрузку / Д.Н. Давиденко // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – В. 12 (70). – С.-Пб., 2011. – С. 52-57.
9. Коренберг В.Б. Двигательные навыки и умения как деятельностные категории // На рубеже XXI века, 2003, Научный альманах МГАФК, Т. 5 / Редактор-составитель В.Б. Коренберг – Малаховка, 2004. – С. 352-360.
10. Коренберг В.Б. Спортивная метрология : учебник / В.Б. Коренберг. – М. : Физическая культура, 2008. – 368 с.
11. Лапутин А.М. Практическая биомеханика / А.Н. Лапутин, В.В. Гамалий, А.А. Архипов и др. / Под общ. ред. А.Н. Лапутина. – К. : Наук. світ, 2000. – 298 с.
12. Любомирский Л.Е. Возрастные особенности движений у детей и подростков / Л.Е. Любомирский. – М. : Педагогика, 1979. – 96 с.

13. Любомирский Л.Е. Управление движениями у детей и подростков / Л.Е. Любомирский. – М. : Педагогика, 1974. – 230 с.
14. Лях В.И. Координационные способности школьников / В.И. Лях. – Минск : Полымя, 1989. – 169 с.
15. Орбели Л.А. Новые представления о функциях мозжечка / Л.А. Орбели // Успехи совр. биол. – 1940. – Т. 13, вып. 2. – С. 207-219.
16. Сергиенко Л.П. Основы спортивной генетики / Л.П. Сергиенко. – К. : Вища шк., 2004. – 631 с.
17. Фарфель В.С. Управление движениями в спорте / В.С. Фарфель. – М. : ФиС, 1975. – 201 с.
18. Шахлина Л.Г. Половое созревание девочек и его роль в спортивной подготовке женщин / Л.Г. Шахлина // Спортивная медицина. – 2008. – № 2. – С. 6-15.

Bosenko A.

#### AGE- AND GENDER-SPECIFIC STRUCTURES AND RESPONSES OF THE MOTION CONTROL SYSTEM TO PHYSICAL LOADS IN SCHOOLCHILDREN AGED 7 TO 16

*The article deals with the results of the longitudinal study of development of the motion control system and its response to dosed physical loads in children ages 7 to 16. The total of 193 boys and 242 girls from forms 1 to 9 have been under supervision for 9 years. The estimation of the functional condition of their motion control systems were carried out using the grapho-analytical method (V. M. Golubev, 1991), which consists in the analysis of the space-and-time curve of the given (50 % of the maximum value) muscular effort measured using hand dynamometer. The ability to control motions was assessed at relatively loose muscles and after dosed physical exercise in cycles (D. M. Davidenko, 2011). The study shows that the motion control system in children and adolescents has two major responses to the motion programme used. The first, unstable, mode of action is characterised by two variants of action: the unstable action with primary overcontrol and the unstable action with primary undercontrol. The second, sustainable, mode also reveals two variants of muscular effort: the action with negative control error and the action with positive control error. The non-sustainable unstable mode of the motion control system was detected in more than a third of boys and girls aged 7 to 8 with its incidence rate progressively lowering by the age of 12 to 13, and almost absent at the age of 13 to 14, when the motion control system becomes stable and sustains its mode. The application of dosed physical exercise switches the motion control system of the children ages 7 to 13 to the non-sustainable and unreliable state, whereas the adaptive changes in schoolchildren aged 13 to 16 occur with the stability and reliability of operation preserved.*

**Key words:** schoolchildren, motion control system development, stable and unstable modes, physical load.

Стаття надійшла до редакції 23.09.2016