

БИОМЕХАНИКА ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ ЮНИХ СПОРТСМЕНІВ У ДИСКУРСИВНОМУ ПОЛІ НАУКОВОГО ЗНАННЯ

Ірина Хмельницька¹, Інна Асаулюк², Алла Альошина³, Наталія Носова¹

¹ Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна;

² Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Вінниця, Україна;

³ Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна, Aloshina.Alla@vnu.edu.ua

<https://doi.org/10.29038/2220-7481-2023-01-71-80>

Анотації

Актуальність. Упродовж філогенетичного розвитку людини стопа як значуща частина її тіла внаслідок пристосування до прямоногого (вертикального) ходіння зазнала значних змін, тому на сьогодні постає одним із найважливіших органів прямоходіння людини в умовах природних локомоцій і не лише виконує функцію опори, а й забезпечує організацію ресорних взаємодій тіла останньої з опорною поверхнею. Проблема оцінювання стану геометрії кістково-суглобових компонентів стопи людини належить до сфери плідних наукових пошуків теоретиків і практиків галузі протягом багатьох десятиліть. **Мета** статті – вивчення та систематизація наукових студій, спрямованих на визначення стану біомеханіки стопи юних спортсменів. **Методи.** У роботі застосовано теоретичний аналіз спеціальної науково-методичної літератури. **Результати дослідження.** Проблемне коло порушень біомеханічних властивостей стопи людини, що протягом багатьох років залишається в центрі уваги вітчизняних і зарубіжних учених, пов'язане, серед іншого, із впливом на стан опорно-ресорних властивостей юних спортсменів занять різними видами спорту. У цьому контексті та з огляду на наявність значної кількості спортсменів із порушеннями біомеханічних властивостей стопи, до негативних наслідків яких належать утрата опорно-ресорних функцій, підвищення травмонебезпечності, порушення осьових навантажень, формування стійких морфологічних змін, проблема інтеграції корекційно-профілактичних технологій у процес спортивної підготовки юних спортсменів набуває особливої актуальності. **Висновки.** Сучасний спорт із властивим йому різким зростанням обсягів та інтенсивності тренувальних навантажень, високою психоемоційною напруженістю часто негативно позначається на організмі юних спортсменів. Шкідливого впливу зазнає також стопа як лабільна ланка опорно-рухового апарату, що чутливо реагує на дії багатьох детермінант зовнішнього й внутрішнього середовищ, набула в процесі філогенезу біомеханічної поліфункціональності та відображає специфічну особливість опорно-рухового апарату людини.

Ключові слова: опорно-руховий апарат, юні спортсмени, фізичний розвиток, морфологічний профіль, порушення, біомеханіка стопи та постави.

Iryna Khmelnytska, Inna Asauliuk, Alla Aloshyna, Nataliya Nosova. Biomechanics of the Young Athletes' Musculoskeletal System in the Discursive Field of Scientific Knowledge. Topicality. During the human phylogenetic development, a foot, as a significant part of body, has undergone significant changes as a result of adaptation to straight-legged (vertical) walking. Today it is one of the most important organs of human upright walking in conditions of natural locomotion and performs not only the support function, but also ensures the organization of spring interactions of the body with a resistance surface. Assessing the human foot bone-articular components geometry belongs to fruitful scientific research by theoreticians and practitioners of the field for many decades. **The Research Papers** is to study and systematize scientific papers aimed at determining the young athletes' foot biomechanics. **Methods.** Theoretical analysis of special scientific and methodical literature has been used during the study. **Results of the Research.** The issue on human foot biomechanical properties disorders, which for many years remains in the focus of domestic and foreign scholars, is related, among other things, to the influence on the foot-spring properties of young athletes engaged in various sports. In this context, the presence of a significant number of athletes with the biomechanical properties disorders, the negative consequences of which include loss of foot-spring functions, increased risk of injury, violation of axial loads, the formation of stable morphological changes, the integration of corrective and preventive technologies into the sports training of young athletes becomes extremely significant. **Conclusions.** Modern sport, characterizing the sharp increase the intensity of physical activity and high psycho-emotional tension, often has a negative effect on the young athletes' body. Among other things, the foot is adversely affected as a labile musculoskeletal system link that responds sensitively to the actions of many determinants of the external and internal environments, acquired in the process of phylogenesis of biomechanical polyfunctionality and reflects a specific feature of the human musculoskeletal system.

Key words: musculoskeletal system, young athletes, physical development, morphological profile, disorders, biomechanics of the foot and posture.

Вступ. Руховий апарат людини, із погляду біомеханіки, являє собою систему біокінематичних ланцюгів, усі ланки котрого об'єднані в біокінематичні пари та мають між собою зв'язки, що визначають їх зовнішню свободу рухів [2; 4; 10]. До найважливіших структурних сегментів опорно-рухової системи людини належить стопа, в архітектоніці якої філогенетично передбачено певну надійність конструктивних ланок, що забезпечує стато-локомоторну функцію й відображає цілісний морфо-функціональний об'єкт – детермінант рухової функції [4; 13]. Стопа як один із найбільш значущих органів прямоходіння людини в умовах природних локомоцій не лише виконує функцію опори, а й уможливує організацію ресорних взаємодій її тіла з опорною [4; 10; 11].

Мета статті – вивчення та систематизація наукових студій, спрямованих на визначення стану біомеханіки стопи юних спортсменів.

Методи. Для досягнення поставленої мети проаналізовано низку джерел, зокрема вивчено сучасні методи та засоби визначення стану біомеханіки стопи за монографією В. Кашуби, Ю. Попадюхи [4]. Систематизовано дані таких учених: М. П. Васильєвої щодо особливостей розвитку нижніх кінцівок у гімнасток 6–7 років [1], А. Т. Данишука щодо біомеханічних показників опорно-амортизаційної функції склепінчастого апарату стопи юних спортсменів 7–11 років, які спеціалізуються в тасквон-До [3; 12], Ю. Ю. Крикуна – антропометричне дослідження дівчат-черлідерів 6–8 років [7; 8], С. С. Люгайло – дослідження опорно-рухового апарату футболістів груп початкової й попередньої базової підготовки [9], С. В. Строганова – вивчення опорно-ресорних властивостей стопи юних баскетболістів [11], О. В. Самойлюк – корекція порушень біомеханічних властивостей стопи юних спортсменів засобами фізичної реабілітації [10].

Результати дослідження. Біомеханічні властивості стопи характеризуються такими кутівими показниками: кут α – плюсневий кут (кут між лінією опорної частини склепіння стопи (l) і прямою, яка з'єднує головку першої плесневої кістки з точкою максимальної висоти склепіння) відображає ресорні властивості стопи, пов'язані з утриманням склепіння активними компонентами-м'язами; кут β – п'ятковий кут (кут між лінією (l) та прямою, яка з'єднує опорну точку горба п'яткової кістки з максимальною висотою склепіння), відображає опорні властивості стопи, пов'язаний із пасивними компонентами ОРА, що обумовлюють особливості з'єднання кісток і зв'язкового апарату стопи; кут γ , який характеризує опорно-ресорні властивості стопи загалом ($180-(\alpha+\beta)$) [4].

Силові можливості тих та інших м'язів повинні бути рівнозначними. Тому в процесі спортивного вдосконалення потрібно звертати однакову увагу як на зміцнення м'язів, що керують стопою, так і власних м'язів стопи. Чим більше виражені порушення м'язової гармонії, тим більше передумов для прояву патології й тим важчі явища декомпенсації стопи, оскільки слабкі ланки найбільш схильні до перевантажень [4; 11].

Під час перевантажень систем, що підтримують склепіння, порушується функція стопи, спотворюється загалом руховий стереотип, відбуваються небажаний перерозподіл сил і перевантаження в інших відділах ОРА, у результаті чого й з'являється патологія. Така стопа працює не як пружно-еластична система, а як пружно-пластична із властивою їй остаточною деформацією [4].

Найбільш поширеною причиною її виникнення є перевантаження, пов'язані з функціональною неповноцінністю склепін'я стопи, тобто рекомпенсація склепін'я стопи конкретно виражається в тій чи іншій травмі. Дослідженнями встановлено, що за рік у середньому 27–70 % людей, котрі займаються бігом, травмують нижні кінцівки (на стопу доводиться 7 % травм) [4].

С. С. Люгайло [9] відзначений той факт, що в загальній структурі діагностованих порушень переважали функціональні форми, які діагностовано в 34 (53,97 %) обстежених футболістів (табл. 1).

С. В. Строгановим [11] висвітлено результати експерименту щодо особливостей взаємодій між стопою й опорою під час рухових дій у баскетболі, а також представлено експериментальні дані про стан опорно-ресорних властивостей стопи юних баскетболістів, вивчено опорну реакцію в процесі виконання спеціальних рухових тестів та оцінено вплив опорно-ресорних характеристик стопи юних спортсменів на ефективність реалізації рухових дій у баскетболі.

Фахівцем [11] встановлено, що в юних баскетболістів 8–9 років з нормальною стопою статистично значуще більша довжина стопи, висота склепіння, висота гомілковостопного суглоба й підйому стоп, більший плюсневий кут альфа та п'ятковий кут бета, а також більший коефіцієнт Козирева й індекс Фрідланда в порівнянні зі спортсменами з порушеннями опорно-ресорної функції стопи ($p < 0,01$). Виявлено, що навантаження на стопу юних баскетболістів становить від 986 Н під час виконання стрибка вперед-угору з розбігу поштовхом однією ногою, до 2518 Н у процесі виконання зупинки стрибком. Мінімальні середньостатистичні показники результатної максимальної сили

реакції опори, що становили 933,29 Н, зареєстровані під час виконання юними баскетболістами стрибка вперед-угору з розбігу поштовхом однією ногою, а максимальні, які дорівнюють 2518,64 Н, зафіксовано в юних спортсменів під час виконання зупинки стрибком [11].

Таблиця 1

Дані про стан системи ОРА футболістів груп початкової та попередньої базової підготовки [9]

Лікарський діагноз	Кількість спортсменів із відхиленнями функції ОРА відповідно до вікової групи (осіб)			
	9–11 років (n = 42)	12 років (n = 39)	13 років (n = 29)	14 років (n = 41)
Функціональні порушення ОРА				
Порушення постави (сагітальна площина)	7 (16,67 %)	5 (12,82 %)	3 (10,34 %)	11 (26,83 %)
Сколіотична постава	2 (4,76 %)	2 (5,13 %)	2 (6,90 %)	4 (9,76 %)
Фіксовані порушення ОРА				
Сколіоз грудного відділу	2 (4,76 %)	2 (5,13 %)	1 (3,45 %)	3 (7,32 %)
Кіфосколіоз грудного відділу хребта	–	2 (5,13 %)	2 (6,90 %)	2 (4,88 %)
Кіфосколіоз грудно-поперекового відділу хребта	–	–	2 (6,90 %)	2 (4,88 %)
Деформації грудної клітки	1 (2,38 %)	1 (2,56 %)	–	2 (4,88 %)
Плоскостопість 1 ступеня	1 (2,38 %)	2 (5,13 %)	1 (3,45 %)	3 (7,32 %)
Усього з відхиленнями функції ОРА у віковій групі	13 (30,92 %)	14 (35,90 %)	11 (37,93 %)	25 (60,98 %)

Також встановлено, що значною є горизонтальна складова частина сили реакції опори, що в окремих випадках досягає 1833 Н. Так, середньостатистичне максимальне значення горизонтальної максимальної сили реакції опори, яке було зафіксоване під час виконання спортсменами 8–9 років зупинки кроком, становило 1578,53 Н [11]. При цьому максимальне значення вертикальної максимальної сили реакції опори 749,76 Н спостерігали в дітей під час здійснення зупинки кроком [11] (табл. 2).

Таблиця 2

Показники тесту «Стрибок угору з місця відштовхування двома ногами» в юних баскетболістів залежно від порушення рухової функції стопи (n = 29) [11]

Вимірюваний показник	Наявність порушень рухової функції			
	не встановлено (n=17)		встановлено (n=12)	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S
Вага спортсмена (H)	269,98	31,90	272,12	18,07
Макс. сила реакції опори під час відштовхування (H)	971,25**	34,59	896,81	42,30
Градiєнт сили (H·c ⁻¹)	2624,32*	495,97	2491,13	420,81
Імпульс сили (H·c)	359,27*	31,13	322,85	56,18
Макс. сила реакції опори під час приземлення (H)	2026,92*	129,25	2106,67	161,12
Тривалість фази амортизації (c)	0,19	0,02	0,20	0,02
Тривалість фази відштовхування (c)	0,37	0,04	0,36	0,04
Висота стрибка (m)	0,31*	0,02	0,27	0,04

Примітка. * – $p < 0,05$ (** – $p < 0,01$) статистично значущі відмінності під час порівняння показників юних баскетболістів із нормальною стопою з показниками баскетболістів-початківців із порушеннями опорно-ресорної функції стопи.

У табл. 2 представлено показники тесту «Стрибок угору з місця відштовхування двома ногами» в юних баскетболістів залежно від стану опорно-ресорної функції стопи. Як показало дослідження, показники, що характеризують величину навантаження, перевищують вагу спортсмена у 2,8 і в

6,0 раза. Крім того, значення градієнта сили свідчить про виражений швидкодію-силовий характер навантаження [11]. Проте потрібно зауважити, що навантаження відносно рівномірно розподіляється на обидві ноги й спрямоване практично вертикально, отож частково амортизується склепіннями обох стоп. Згідно з результатами дослідження, максимальна сила реакції опори під час відштовхування в дітей із нормальною стопою перевищувала вагу спортсменів у 3,6 раза, а максимальна сила реакції опори під час приземлення – у 7,5 раза. Потрібно звернути увагу, що висота стрибка в цієї групи випробуваних була вищою в порівнянні з висотою стрибка юних баскетболістів, у яких спостерігали порушення опорно-ресорних функцій стопи [11].

Під час компаративного аналізу показників розвитку висоти склепінь досліджуваних хлопчиків 7–10 років у площині застосовуваних фахівцями норм оцінювання таких О. В. Самойлюк [10] окреслено тенденцію особливо несприятливого розвитку висоти склепінь стопи, притаманну хлопчикам 10 років: серед хлопчиків, які не займаються спортом, частка осіб із дуже низьким рівнем розвитку висоти склепінь на 7,87 % менша в порівнянні з юними футболістами та на 33,87 % менша в зіставленні з юними баскетболістами.

З огляду на вищевикладене О. В. Самойлюк [10] акцентує на тому, що максимальний відсоток осіб із дуже низьким і низьким рівнями розвитку висоти склепінь стопи виявився в середовищі юних баскетболістів, тоді як серед останніх найменшою була частка осіб із середнім рівнем розвитку висоти склепінь стопи (на 12,9 % меншою в порівнянні з хлопчиками, котрі не займаються спортом, і на 16,0 % нижчою в зіставленні з юними футболістами). Таке становище з розвитком висоти склепінь стопи гіпотетично могли спричинити надмірні навантаження на стопу юних баскетболістів під час виконання стрибків, характерних для занять баскетболом [10].

У контексті пропонованих досліджень належного осмислення потребували кутові характеристики стопи охоплених експериментом хлопчиків 7–10 років. Розкриємо особливості останніх [10] (рис. 1).

Так, хлопчики, які не займаються спортом, продемонстрували найбільший приріст плюсового кута α – на рівні 5,17 % (усього $0,94^\circ$) в інтервалі 8–9 років, дещо менше, проте все ж зростання – на рівні 2,44 % (усього $0,46^\circ$) в інтервалі 9–10 років, тоді як, навпаки, зменшення – на 4,44 % (усього $0,84^\circ$) в інтервалі 7–8 років [10].

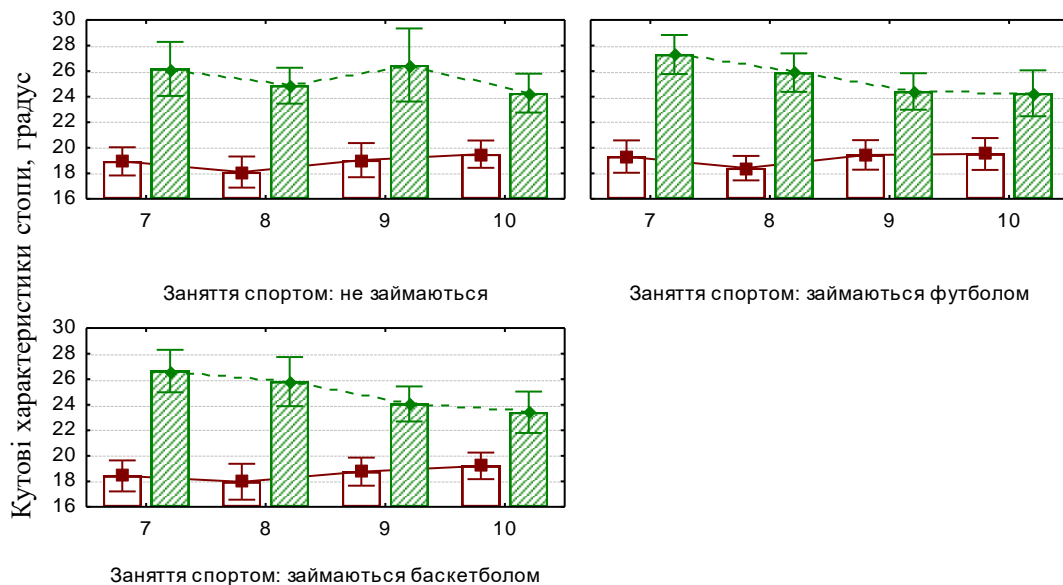


Рис. 1. Характеристика кутових параметрів стопи хлопчиків 7–10 років залежно від занять спортом ($n=270$) [10]:

■ - Кут альфа; ■ - Кут бета

На противагу приросту плюсового кута α приріст кута β підлягав послідовному зменшенню в інтервалах 7–8 і 9–10 років на рівнях 5,01 % (усього $1,31^\circ$) та 8,31 % (усього $2,20^\circ$) відповідно [10].

Юні футболісти спочатку, тобто в інтервалі 7–8 років, виявили негативну динаміку приросту плюсового кута α на рівні 4,68 % (усього $0,90^\circ$), а в наступні вікові інтервали, а саме 9–10 і 8–9 років – позитивну динаміку на рівнях 0,39 % (усього $0,08^\circ$) та 5,61% (усього $1,03^\circ$) відповідно. На відміну

від плюсового кута α кут β зазнавав таких змін – спочатку, в інтервалі 7–8 років, зменшення на рівні 5,17 % (усього 1,41°), надалі, в інтервалі 8–9 років – зменшення на рівні 5,72 % (усього 1,48°), а насамкінець, в інтервалі 9–10 років – зменшення на рівні 0,58 % (усього 0,14°) [10].

Водночас у ході дослідження встановлено, що в баскетболістів восьми років плюсовий кут α виявився меншим як у відповідних спортсменів семи років на 2,50 % (усього 0,46°), у баскетболістів дев'яти років – більшим, як у відповідних спортсменів восьми років, на 4,42 % (усього 0,79°), у баскетболістів 10 років більшим, як у відповідних 9-річних спортсменів, на 2,39 % (усього 0,45°); у баскетболістів відбулося зменшення кута β в інтервалі 7–8 років на 3,12 % (усього 0,83°), а в інтервалах 8–9 і 9–10 років – на 6,77 % (усього 1,75°) та 2,70 % (усього 0,65°) відповідно [10].

Отримані результати слугували базисом для оцінювання величини кута γ , який дає змогу сформувати цілісну картину розвитку опорно-ресорних властивостей стопи хлопчиків 7–10 років [10]. Так, на противагу хлопчикам, котрі не займаються спортом і в яких кут γ зазнає змін без помітних закономірностей, у юних футболістів та баскетболістів кут γ відображає динаміку погіршення біомеханічних властивостей їхніх стоп. Особливо чітко означену тезу ілюструє динаміка змін величини кута γ юних баскетболістів упродовж усього аналізованого хронологічного зрізу: у період 7–8 років збільшення становило 0,96 % (усього 1,29°), 8–9 років – 0,7 % (усього 0,95°), 9–10 років – 0,15 % (усього 0,20°). У футболістів кут γ також зазнає збільшення, хоч і менш помітного – від 0,05 % (усього 0,07°) у період 9–10 років до 1,74 % (усього 2,32°) у 7–8 років. У 8-річних хлопчиків, які не займаються спортом, величина зазначеного кута більша в порівнянні з такими респондентами семи років на 1,60 % (усього 2,15°), 10 років – більша в зіставленні з відповідними спортсменами дев'яти років на 1,29 % (усього 1,74°), а також менша у 8-річних хлопчиків у порівнянні з такими 9-річними на 1,86 % (усього 2,55°) [10] (рис. 2).

Зафіксоване О. В. Самойлюк [10] у ході експерименту погіршення стану опорно-ресорних властивостей стопи (за педометричним індексом Фрідланда) юних спортсменів набуло таких виявів: мінімальну частку осіб із нормальною стопою виявлено серед 10-річних баскетболістів, із помірною плоскостопістю – серед 8-річних баскетболістів, а із плоскою стопою – серед футболістів семи років. Попри встановлене зростання з року в рік частки спортсменів із погіршенням стану біомеханічних властивостей стопи, незалежно від занять спортом, найбільш загрозливу ситуацію простежено серед юних баскетболістів [10].

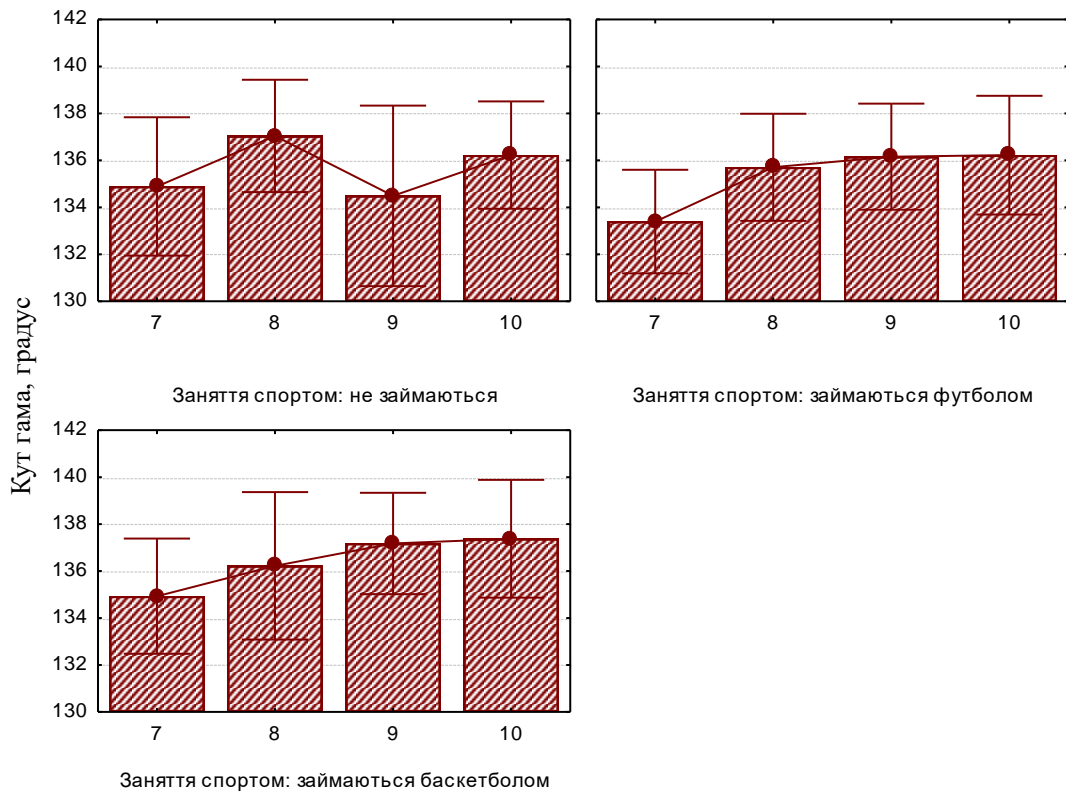


Рис. 2. Динаміка біомеханічних особливостей стопи хлопчиків 7–10 років за кутом γ залежно від занять спортом ($n=270$) [10]

Результати дослідження А. Т. Данищука [3, 12] біомеханічних показників опорно-амортизаційної функції склепінчастого апарату стопи (САС) юних спортсменів 7–11 років, які спеціалізуються в таеквон-До І.Т.Ф., представлено в табл. 3.

У ході дослідження фахівцем встановлено, що максимальний приріст довжини стопи в юних спортсменів припав на період 7–9 років (17,5 мм, або 11,79 %) ($p < 0,001$), у той час як у 9–11 років темпи приросту становили 10,8 мм, або 6,51 % ($p < 0,001$) [3; 12].

Науковцем [3; 12] встановлено, що висота склепіння стопи збільшувалася з віком – темпи збільшення становили 3,33 % (0,5 мм) у період із семи до дев'яти років і 2,76 % (0,4 мм) у 9–11 років ($p > 0,05$) [3; 12].

Таблиця 3

Показники опорно-ресорних властивостей стопи юних спортсменів 7–11 років із порушеннями САС у сагітальній площині, $\bar{x} \pm m_x$ [3, 12]

Вікова група	Показник		p*
	права нога	ліва нога	
Довжина стопи, мм			
7 років (n = 48)	148,4 ± 3,45	148,2 ± 3,38	< 0,001
9 років (n = 35)	165,9 ± 2,15	165,9 ± 2,18	
11 років (n = 33)	176,7 ± 2,33	176,8 ± 2,30	
Висота склепіння стопи, мм			
7 років (n = 48)	14,1 ± 1,27	14,0 ± 1,21	> 0,05
9 років (n = 35)	14,5 ± 1,11	14,7 ± 1,35	
11 років (n = 33)	15,0 ± 1,01	15,2 ± 1,42	
Висота верхнього краю човноподібної кістки над опорою, мм			
7 років (n = 48)	35,2 ± 1,34	35,0 ± 1,28	> 0,05
9 років (n = 35)	34,1 ± 1,15	33,9 ± 1,42	
11 років (n = 33)	33,2 ± 1,11	33,0 ± 1,22	
Плесневий кут стопи (α), град.			
7 років (n = 48)	10,4 ± 0,16	12,3 ± 0,21	> 0,05
9 років (n = 35)	11,1 ± 0,89	13,1 ± 1,05	
11 років (n = 33)	11,6 ± 1,04	13,4 ± 1,04	
«П'ятковий кут (β)», град.			
7 років (n = 48)	17,3 ± 1,71	18,0 ± 1,55	< 0,05
9 років (n = 35)	18,2 ± 0,14	19,3 ± 0,74	
11 років (n = 33)	22,0 ± 1,22	22,8 ± 1,05	
«Кут склепіння стопи (γ)», град.			
7 років (n = 48)	153,2 ± 2,44	152,5 ± 1,95	> 0,05
9 років (n = 35)	149,0 ± 2,26	143,7 ± 1,86	
11 років (n = 33)	135,1 ± 4,33	132,2 ± 2,15	

Примітка. * – відмінності статистично значущі в порівнянні зі значеннями показників у сім років.

Аналіз динаміки показників висоти верхнього краю човноподібної кістки над опорою (висота підйому стопи) засвідчив її зменшення на 5,77 % в 11 років у порівнянні із 7-річними особами ($p > 0,05$) [3; 12].

Як зазначає фахівець, у юних спортсменів простежено позитивні зміни величини плесневого кута стопи (α): збільшення на 4,31 % (0,5°) із семи до дев'яти років і на 6,31 % (0,7°) – із дев'яти до одинадцяти ($p > 0,01$), значення п'яткового кута (β) статистично значуще зросло на 4,95 % (0,9°) ($p < 0,05$) за час із семи до дев'яти років і на 17,27 % (3,8°) – у період 9- до 11-річних осіб ($p < 0,01$); значення кута склепіння стопи (γ) зменшилося на 2,82 % (4,2°) ($p > 0,05$) за період 7–9 років і на 10,29 % (13,9°) ($p < 0,01$) – у 9–11 [20; 21].

Збільшення показників п'яткового (α) та плесневого (β) кутів, а також зменшення величини кута поздовжнього склепіння стопи (γ) указують на покращення САС, яке проявляється на 9- й 11-му роках життя. Нижчі значення цих показників у 7-річних дітей свідчать про сплюснення стопи [3; 12].

У період із дев'яти до одинадцяти років бачимо тенденцію до асиметрії стоп: інтенсивніше збільшуються розміри лівої стопи в порівнянні з правою. Це вказує на менші резервні можливості

САС лівої стопи, особливо в праворуких юних спортсменів, котрі спеціалізуються в тасквон-До І.Т.Ф. [3; 12], пояснюють тим, що праворукі люди для створення опори використовують контрлатеральну кінцівку – ліву стопу, яка приймає завжди дещо більше навантаження й за недостатнього розвитку пружно-еластичних можливостей пасивних та особливо активних «затяжок» такий САС більше зазнаватиме більших поздовжньо-поперечних деформацій, ніж менш навантажена права стопа [3; 12].

Це висуває підвищені вимоги до морфофункціонального стану САС, а найважливішого біомеханічного значення набуває правильний перерозподіл маси тіла на різні відділи стопи [3; 12]. У результаті кореляційного аналізу А. Т. Данищуком [3; 12] встановлено, що показник висоти склепіння стопи має високий ступінь взаємозв'язку з лінійними розмірами стопи й кутівими характеристиками суглобових утворень: довжиною стопи ($r = 0,58$, $p < 0,05$), довжиною опорної частини склепіння стопи ($r = 0,56$, $p < 0,05$), величиною плесневого (α) ($r = 0,80$, $p < 0,05$), п'яtkового (β) ($r = 0,84$, $p < 0,05$) кутів, а також з величиною кута поздовжнього склепіння стопи (γ) ($r = 0,83$, $p < 0,05$), що можна використовувати з діагностичною метою під час визначення ступеня порушень САС (рис. 3).



Рис. 3. Взаємозв'язок висоти склепіння стопи з лінійними та кутівими характеристиками стопи [3; 12]

Результати свідчать, що загалом немає різниці в розподілі за характером порушень стопи між правою й лівою ногами. Однак у двох дітей справа переважає плосковальгусна деформація (5,17%), у трьох зліва переважає помірна плоскостопість (36,21%) і двох – плоска стопа (12,93%). Різні зміни САС формуються як на одній, так і на двох стопах одночасно [3; 12].

Під час дослідження особливостей розвитку нижніх кінцівок у гімнасток 6–7 років М. П. Васильєвої [1] проведено вимірювання окремих показників (довжини нижньої кінцівки та розрахункового індексу довжини ноги) (табл. 4).

Фахівцем [1] встановлено, що довжина нижніх кінцівок у гімнасток 6–7 років (\bar{x} ; s) становить (72,8; 3,5), індекс довжини ноги – 56,0%. Цей показник можна інтерпретувати як характеристику метріоскелії (середня нога – 55,0–56,9%). Згідно з отриманими даними [1], величина плесневого кута α , що відображає ресорні властивості стопи, пов'язані з утриманням склепінь активними компонентами – м'язами, у гімнасток 6–7-ми років дорівнює в середньому 18,4 град. (табл. 5).

Таблиця 4

Характеристика довжини нижніх кінцівок у юних гімнасток (n = 20) [1]

Вік, років	Довжина нижньої кінцівки, см		Індекс довжини ноги, %
	\bar{X}	s	
Середньостатистичні показники			
6–7	72,8	3,5	56,0

Показники стану опорно-ресорних властивостей стопи гімнасток 6–7 (n = 20) [1]

Назва показника	Середньостатистичні показники				
	\bar{x}	Me	25 %	75 %	S
Довжина опорної частини стопи, мм	120,6	120,0	118,5	122,0	3,7
Висота гомілково-ступеневого суглоба, мм	50,1	50,5	48,5	51,5	2,9
Висота верхнього краю човноподібної кістки, мм	29,6	29,5	28,5	31,5	2,5
Плесневий кут α , град.	18,4	18,5	16,5	20,0	1,9
П'ятковий кут β , град.	20,5	20,5	19,5	21,5	1,6
Кут γ , град.	141,1	141,5	139,5	142,5	1,6

Величина цього кута і є показником ступеня розвитку висоти склепіння, хоча абсолютна величина зводу не залежить від довжини стопи, проте ступінь розвитку зводу прямо пропорційний висоті й обернено пропорційний довжині хорди, тобто відстані між опорними точками зводу. Вельми важливо, що в цьому випадку величина кута як показник висоти склепіння перебуває в прямій залежності від абсолютної величини зводу та зворотного – від відстані відрізка прямої висоти склепіння до точки опори 1-ї плесневої кістки [4]. Потрібно відзначити, що величини п'яткового кута β , який характеризує ресорні властивості, пов'язані з пасивними компонентами, зумовленими особливостями зчленування кісток і зв'язковим апаратом стопи в гімнасток 6–7 років дорівнює в середньому 20,5 град. [1].

Як свідчать одержані дані, значення кута γ , що характеризує ресорні властивості стопи загалом ($180-(\alpha+\beta)$), у юних спортсменок дорівнює в середньому 141,1 град. [1].

Ю. Ю. Крикуном проведено антропометричне дослідження серед 27 дівчат-черлідерів 6–8 років CheerNika (м. Київ) щодо оцінки їхніх показників морфологічного профілю як фенотипічних маркерів синдрому дисплазії сполучної тканини. У дослідженнях брали участь 10 дітей шести років, вісім дітей семи років й дев'ять осіб восьми років [7; 8]. Ю. Ю. Крикуном [7; 8] визначено ті показники, які в подальшому дали змогу розрахувати антропометричні індекси з позиції верифікації ознаки астенічності юних спортсменок (табл. 6).

Таблиця 6

Показники середніх величин антропометричних індексів юних дівчат черлідерів (n=27) [7, 8]

Індекс	Вік, років		
	6	7	8
Індекс Вервека	1,13±0,09	1,11±0,12	1,08±0,07
Трохантерний індекс	2,01±0,04	1,98±0,06	1,96±0,05
Індекс Пірке	89,67±5,04	89,21±7,00	89,10±2,84
Індекс Бругша	48,33±1,92	47,83±4,14	47,47±1,61
Індекс Ерісмана	-2±2,33	-2,75±5,23	-3,30±2,09
Індекс Варге	1,61±0,22	1,62±0,26	1,63±0,17
Індекс Піньє	37,78±	39±9,03	39,21±4,33

Розрахунок трохантерного індекса дав змогу фахівцю [7; 8] встановити астенічний тип тілобудови з характерним відносним подовженням нижніх кінцівок у 12 % юних черлідерів семи років і 22 % – у 8-річних спортсменок.

Розрахунок індексу Пірке, який відображає співвідношення верхнього й нижнього сегментів тіла, дав змогу визначити ознаки астенічності в 100 % досліджуваних 6–7 років та 11 % 8-річних дітей [7; 8].

Дискусія. Виділяють три основні функції нормальної стопи, як-от: здатність до пружного розпластання під дією навантаження (ресорна функція), головна участь у регуляції позоної активності (балансувальна функція) й надання прискорення загального центру мас (ЗЦМ) тіла при локомоціях (поштовхова функція) [4, 12, 13]. Прямоходіння, яке притаманне лише людині, різко скоротило площу опори з одночасним підвищенням ЗЦМ тіла, що призвело до зменшення її вертикальної стійкості. За збереження «важливого» способу пересування (ходьба, біг, стрибки) різко збільшилось ударне (поштовхове) навантаження, сконцентрувавшись на опорних поверхнях стоп (на підшвах). Поштовхова функція стопи є найбільш складною, тому що під час надання прискорення ЗЦМ тіла вико-

ристовується також ресорність стопи й здатність її до балансування [4, 12, 13]. Учені [3; 4; 10] завжди плідно опрацьовували проблему виникнення патології стопи. З огляду на те, що стопа, яка повноцінно функціонує, постає пружно-еластичною системою, що припускає ефективний розподіл зусиль на всі ланки ОРА складної рухової діяльності людини, саме перевантаження систем, котрі підтримують склепіння, призводить до порушення функції стопи, руйнування рухового стереотипу, виникнення негативного перерозподілу сил і перевантаження в інших відділах ОРА, а отже – до формування патології [10]. Як наслідок, така стопа починає функціонувати не як пружно-еластична система, а як пружно-пластична із притаманною їй остаточною деформацією [4; 9]. Дані наукової спільноти [4; 9; 10] слугують підставою для констатації того, що дослідження проблем біодинаміки ОРА людини, зокрема морфофункціональних властивостей стоп, передбачає потребу використання в сучасній спортивній і реабілітаційній практиці новітніх засобів та технологій управління.

Висновки. Під час аналізу літературних джерел простежено складну динаміку формування біомеханічних властивостей стопи юних спортсменів. На основі узагальнення даних численних наукових розвідок стає очевидним, що винесення питання вдосконалення процесу підготовки юних спортсменів в епіцентр уваги зацікавленої спільноти, зокрема педагогів, лікарів, психологів, батьків, зумовлене насамперед тим, що саме на дитячо-юнацький вік припадає закладення основного фонду рухових умінь і навичок, інтенсивний розвиток фізичних якостей, важливих для освоєння основних техніко-тактичних дій, а також виховання особистісних, морально-вольових якостей.

Джерела та література

1. Васильєва М. П. Біомеханічні властивості стопи спортсменок у художній гімнастиці на етапі початкової підготовки Київ: [б. в.], 2021. К.: 57 с. URL: <https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/geoprozitari>
2. Випасняк І., Самойлюк О., Мицкан Т. Порівняльний аналіз фізичного розвитку юних спортсменів. *Вісник Прикарпатського університету. Серія: Фізична культура*. 2019. № 34. С. 60–68.
3. Данищук А. Т. Корекція порушень склепінчастого апарату стопи юних спортсменів, що спеціалізуються в таеквон-До: [дисертація]. Івано-Франківськ, 2021. 217 с.
4. Кашуба В., Попадюха Ю. Біомеханіка просторової організації тіла людини: сучасні методи та засоби діагностики і відновлення порушень: монографія. Київ: Центр учб. літ., 2018. 768 с.
5. Кашуба В., Ярмолинський Л., Альошина А., Бичук О., Бичук І. Морфобіомеханічні особливості юних спортсменів на початковому етапі підготовки. *Молодіжний науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2018. № 30. С. 175–84.
6. Кашуба В. А., Ярош Г., Крикун Ю., Хабінець Т., Домашенко Н., Шанковський А. Стан просторової організації тіла юних спортсменів як передумова розроблення й запровадження корекційно-профілактичних заходів у тренувальний процес. *Вісник Прикарпатського університету. Серія: Фізична культура*. 2020. Листоп. 24. № 36. С. 16–25. doi: 10.15330/fcult.36.16-25
7. Крикун Ю. Морфобіомеханічний профіль черлідерів на етапі початкової підготовки. *Фізична культура, спорт та здоров'я нації*. 2022. № 11 (30). С. 188–97. DOI: 10.31652/2071-5285-2022-13(32)-188-197.
8. Крикун Ю. Морфологічні показники як фенотипічні маркери синдрому дисплазії сполучної тканини у юних спортсменів. *Фізична культура, спорт та здоров'я нації*. 2022. № 14 (33). С. 109–114. DOI: [https://doi.org/10.31652/2071-5285-2022-14\(33\)-109-114](https://doi.org/10.31652/2071-5285-2022-14(33)-109-114).
9. Люгайло С. С. Теоретико-методичні основи фізичної реабілітації при дисфункціях соматичних систем в юних спортсменів в процесі багаторічної підготовки: [дисертація]. Київ, 2017. 45 с.
10. Самойлюк О. В. Корекція порушень біомеханічних властивостей стопи юних спортсменів засобами фізичної реабілітації: [дисертація]. Київ, 2021. 245 с.
11. Строганов С. В. Профілактика порушень опорно-ресорних властивостей стопи юних баскетболістів: [дисертація]. Київ, 2019. 234 с.
12. Danyshchuk A., Ivanyshyn I. Effectiveness of a program of the comprehensive correction of foot arch disorders in young athletes aged 7–8 years specialised in taekwon-Do I.T.F. *Journal of Education, Health and Sport*. 2020. № 11(1). P. 400–411. eISSN 2391-8306. DOI <http://dx.doi.org/10.12775/JEHS.2021.11.01.040>.
13. Kashuba V., Andriieva O., Yarmolinsky L., Karp I., Kyrychenko V., Goncharenko Y., Rychok T., Nosova N. Measures to prevent functional muscular disorders in sports training of 7-9-year-old football players. *Journal of Physical Education and Sport (JPES)*. Vol. 20 (Supplement issue 1). Art 52. P. 366–371. 2020. online ISSN: 2247 - 806X; p-ISSN: 2247 – 8051; ISSN - L = 2247 - 8051 © JPES

References

1. Vasylijeva, M. P. (2021). Biomechanical properties of the female rhythmic gymnasts' foot at the initial training stage. Kyiv, 57. URL: <https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/geoprozitari> (in Ukrainian).

2. Vypasniak, I., Samoiliuk, O., Mytskan, T. (2019). Porivnialnyi analiz fizychnoho rozvytku yunykhn sportsmeniv [Comparative analysis of the young athletes` physical development]. *Visnyk Prykarpatskoho Universytetu. Serii: Fizychna Kultura – Bulletin of the Carpathian University*, 34, 60–68 [in Ukrainian].
3. Danyshchuk, A. T. (2021). Korektsiia porushen sklepinchastoho aparatu stopy yunykhn sportsmeniv, shcho spetsializuiutsia v taekwon-Do [Vaulting apparatus correction of athletes specialized in Taekwon-Do]. Ivano-Frankivsk, 217 (in Ukrainian).
4. Kashuba, V., Popadiukha, Yu. (2018). Biomechanika prostorovoi orhanizatsii tila liudyny: suchasni metody ta zasoby diahnozyky i vidnovlennia porushen: monohrafiia [Human body biomechanics organization: modern methods and techniques for diagnosing and rehabilitating]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury, 768 (in Ukrainian).
5. Kashuba, V., Yarmolynskiy, L., Alioshyna, A., Bychum O., Bychukm I. (2018). Morfobiomekhanichni osoblyvosti yunykhn sportsmeniv na pochatkovomu etapi pidhotovky [Morphobiomechanical features of young athletes at the initial training stage]. *Molodizhnyi Naukovyi Visnyk Skhidnoievropeiskoho Natsionalnoho Universytetu imeni Lesi Ukrainky – Scientific Bulletin of the Lesya Ukrainka East European National University*, 30, 175–184 (in Ukrainian).
6. Kashuba, V. A., Yarosh, H., Krykun, Yu., Khabinets, T., Domashenko, N. Shankovskiy, A. (2020). Stan prostorovoi orhanizatsii tila yunykhn sportsmeniv yak peredumova rozroblennia y uprovdzhennia korektsiino-profilaktychnykh zakhodiv u trenuvalnyi protses [Young athletes body state organization as a way of rethinking the division and management of corrective and preventive approaches to the training]. *Visnyk Prykarpatskoho Universytetu. Serii: Fizychna Kultura – Bulletin of the Carpathian University*, 36, 16–25. doi: 10.15330/fcult.36.16-25 (in Ukrainian).
7. Krykun, Yu. (2022). Morfobiomekhanichniy profil cherlideriv na etapi pochatkovoї pidhotovky [Morphobiomechanical profile of cheerleaders at the initial training stage]. *Fizychna Kultura, Sport ta Zdorovia Natsii – Physical Culture, Sport and Healthy Nation*, 11 (30), 188–197. doi 10.31652/2071-5285-2022-13(32)-188-197 (in Ukrainian).
8. Krykun, Yu. (2022). Morfolohichni pokaznyky yak fenotypichni markery syndromu dysplazii spoluchnoi tkanyny u yunykhn sportsmeniv [Morphological indicators as phenotypic markers of young athletes` connective tissue dysplasia syndrome]. *Fizychna Kultura, Sport ta Zdorovia Natsii – Physical Culture, Sport and Healthy Nation*, 14 (33), 109–114. doi: [https://doi.org/10.31652/2071-5285-2022-14\(33\)-109-114](https://doi.org/10.31652/2071-5285-2022-14(33)-109-114) (in Ukrainian).
9. Liuhailo, S. S. (2017). Teoretyko-metodychni osnovy fizychnoi reabilitatsii pry dysfunktsiiakh somatychnykh system u yunykhn sportsmeniv v protsesi bahatorichnoi pidhotovky [Theoretical and methodological foundations of physical rehabilitation of young athletes `somatic dysfunctions during long-term training]. *Candidate`s thesis*. Kyiv, 45 (in Ukrainian).
10. Samoiliuk, O. V. (2021). Korektsiia porushen biomekhanichnykh vlastyvostei stopy yunykhn sportsmeniv zasobamy fizychnoi reabilitatsii [Feet biomechanical properties correction of young athletes through physical rehabilitation]. *Candidate`s thesis*. Kyiv, 245 (in Ukrainian).
11. Strohanov, S. V. (2019). Profilaktyka porushen oporno-resornykh vlastyvostei stopy yunykhn basketbolistiv [Prevention of the young basketball players` support-spring feet properties]. *Candidate`s thesis*. Kyiv, 234 (in Ukrainian).
12. Danyshchuk, A., Ivanyshyn, I. (2020). Effectiveness of a program of the comprehensive correction of foot arch disorders in young athletes aged 7–8 years specialised in taekwon-Do I.T.F. *Journal of Education, Health and Sport*, 11(1), 400–411. doi <http://dx.doi.org/10.12775/JEHS.2021.11.01.040> (in English).
13. Kashuba, V., Andrieieva, O., Yarmolinsky, L., Karp, I., Kyrychenko, V., Goncharenko, Y., Rychok, T., Nosova, N. (2020). Measures to prevent functional muscular disorders in sports training of 7–9-year-old football players. *Journal of Physical Education and Sport (JPES)*, vol 20 (supplement issue 1), art 52, 366–371 (in English).

Стаття надійшла до редакції 28.02.2023 р.