

УДК 612.661+616.692:577.175.6: 613.72

**Л.І. Рак, Д.А. Кашкалда, М.Л. Водолажський**

## Рівень гормонів у підлітків із фізіологічним і патологічним перебігом пубертатного періоду за різної інтенсивності фізичної активності

ДУ «Інститут охорони здоров'я дітей та підлітків НАМН України», м. Харків

Modern Pediatrics. Ukraine. (2023). 1(129): 28-34. doi 10.15574/SP.2023.129.28

**For citation:** Rak LI, Kashkalda DA, Vodolazhskiy ML. (2023). Hormone levels in adolescents with physiological and pathological course of puberty at different intensity of physical activity. Modern Pediatrics. Ukraine. 1(129): 28-34. doi 10.15574/SP.2023.129.28.

Наукові дані свідчать про глобальну пандемію рухової інертності підлітків, яка призводить до розвитку низки хронічних захворювань. Водночас регулярні фізичні вправи сприятливо впливають на ріст і статевий розвиток дітей і підлітків.

**Мета** — оцінити вплив фізичної активності (ФА) на гормональний спектр крові підлітків із фізіологічним і патологічним перебігом пубертатного періоду.

**Матеріали та методи.** Обстежено 55 хлопчиків і 46 дівчаток віком 11–17 років. Визначено концентрацію загального тестостерону, естрадіолу, кортизолу, пролактину імуноферментним методом, вміст серотоніну — флуорометричним методом. ФА підлітків оцінено за допомогою IPAQ (Міжнародний опитувальник із фізичної активності).

Залежно від перебігу пубертатного періоду підлітки поділені на дві групи: 1-ша група — діти з фізіологічним статевим розвитком; 2-га — діти з патологічним перебігом пубертату (хлопчики із затримкою статевого розвитку та дівчатка з розладами менструальної функції). За рівнем ФА підлітки поділені на дві групи: з низьким (<7 балів) і високим рівнем (>9 балів) рухової активності.

**Результати.** Встановлено, що у хлопчиків із фізіологічним перебігом пубертату висока ФА порівняно з низькою активністю призводить до збільшення концентрації тестостерону, позитивно впливає на фізичний розвиток. За патологічного перебігу пубертату висока ФА, навпаки, знижує вміст тестостерону і, можливо, погіршує статевий розвиток хлопчиків.

У дівчаток висока ФА на тлі фізіологічного перебігу пубертату призводить до збільшення вмісту серотоніну — показника стрес-лімітуючої системи. За патологічного перебігу пубертатного періоду висока ФА виявляє позитивний ефект, знижуючи рівень тестостерону і пролактину, порівняно з низькою активністю, що може сприяти нормалізації менструальної функції, а також зниженню стресових ситуацій.

**Висновки.** Фізична активність у підлітків має й надалі стимулюватися з огляду на її позитивний вплив на гормональний спектр крові. Однак слід враховувати гендерні відмінності, статус статевого розвитку та різні механізми адаптації дівчаток і хлопчиків до ФА. Дуже важливо визначити оптимальний рівень ФА, що забезпечує потреби дітей і підлітків, який сприятливо впливав би як на фізичний, так і на психоемоційний розвиток.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено Локальним етичним комітетом зазначеної в роботі установи. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків, дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** підлітки, фізіологічний та патологічний перебіг пубертату, фізична активність, гормональний спектр крові.

### Hormone levels in adolescents with physiological and pathological course of puberty at different intensity of physical activity

**L.I. Rak, D.A. Kashkalda, M.L. Vodolazhskiy**

SI «Institute of Children and Adolescents Healthcare of the NAMS of Ukraine», Kharkiv

Scientific evidence suggests a global pandemic of motor inactivity in adolescents that contributes to a number of chronic diseases. At the same time, regular physical activity has a favorable effect on the growth and sexual development of children and adolescents.

**Purpose** — to evaluate the influence of physical activity (PA) on the hormonal blood spectrum of adolescents with physiological and pathological course of puberty.

**Materials and methods.** We examined 55 boys and 46 girls aged 11–17 years old. Concentration of total testosterone, estradiol, cortisol, prolactin was determined by enzyme immunoassay, serotonin content was determined by fluorometric method. PA was studied using the questionnaire of IPAQ (International Physical Activity Questionnaire).

Depending on the course of pubertal period adolescents were divided into 2 groups: the Group 1 — with physiological course of puberty; the Group 2 — with pathological course of puberty (boys with delayed puberty and girls with menstrual disorders). Adolescents were divided into 2 groups according to their PA level: low (<7 points) and high (>9 points) levels of PA.

**Results.** It was found that in boys with a physiological course of puberty high PA compared with low activity leads to an increase in testosterone concentration and has a positive effect on physical development. High PA, on the contrary, decreases the content of testosterone in the pathological course of puberty and possibly aggravates puberty in boys.

In girls high PA against the physiological course of puberty leads to an increase in serotonin, an indicator of the stress-limiting system. In the pathological course of puberty high PA has a positive effect, reducing the levels of testosterone and prolactin compared with low activity, which may contribute to the normalization of menstrual function, as well as reducing stress levels.

**Conclusions.** Physical activity in adolescents should continue to be encouraged, given its positive effect on the hormonal blood spectrum. However, gender differences, pubertal development status and different mechanisms of adaptation to PA of girls and boys should be taken into account. It is very important to determine the optimal level of PA to meet the needs of children and adolescents, which would have a beneficial effect on both physical and psycho-emotional development.

The research was carried out in accordance with the principles of the Helsinki Declaration. The study protocol was approved by the Local Ethics Committee of the participating institution. The informed consent of the patient was obtained for conducting the studies.

No conflict of interests was declared by the authors.

**Keywords:** adolescents, physiological and pathological puberty, physical activity, hormonal blood spectrum.

## Вступ

Статеве дозрівання може бути стресовим і тривожним для підлітків, оскільки воно є періодом значних гормональних, емоційних і фізичних змін в організмі. Перебіг статевого розвитку залежить від багатьох ендогенних та екзогенних факторів, несприятливий вплив яких призводить до порушення гіпоталамо-гіпофізарно-гонадної осі та формування патології репродуктивної системи [3,9].

Важливу роль зміцнення здоров'я та емоційного благополуччя підлітків відіграє фізична активність (ФА), яка чинить сприятливий вплив на зростання й статевий розвиток [6]. Регулярні фізичні вправи тісно пов'язані зі зниженням рівня смертності від серцево-судинних захворювань, сприяють зниженню артеріального тиску, частоти серцевих скорочень, маси тіла та жирової маси, зниженню рівня холестерину та сприятливому профілю ліпопротеїнів плазми крові [18,30]. Все частіше зустрічаються наукові роботи, що свідчать про позитивний зв'язок між ФА та психічним здоров'ям. Регулярна рухова активність сприяє зміцненню тіла та розуму, зниженню симптомів тривожності та депресії, формуванню позитивного фізичного самосприйняття, впевненості в собі, дружнім стосункам з однолітками [32]. Рухова активність є фактором, що захищає підлітків від невдоволеності власним тілом. У недавньому кроссекційному дослідженні J. Murphy та співавт. (2020) [22] встановлено, що ірландські підлітки, які займаються спортом, мають вищий рівень добробуту та нижчі симптоми тривожності та депресії.

Незважаючи на зростання доказів користі ФА, продовжують накопичуватися наукові дані, що свідчать про глобальну пандемію рухової інертності, яка призводить до розвитку низки хронічних захворювань і відповідає майже за 9% передчасної смертності [10].

Понад 80% підлітків шкільного віку в усьому світі фізично не активні. Причому час, який діти віком від 7 до 15 років проводять у сидячому положенні, збільшився на 25% [14]. Не дивно, що неактивні підлітки нерідко стають неактивними дорослими [14].

Дотепер не до кінця вивчено вплив рухової активності на нейроендокринний контроль гіпофіза в період статевого розвитку дитини, оскільки безліч детермінант впливають на адаптивні гіпоталамо-гіпофізарні секреторні відповіді на

фізичне навантаження, а саме: інтенсивність і тривалість рухової активності, харчування та енергетичний баланс, стать, вік, статус статевого дозрівання, фізичний розвиток [25]. Залишаються не з'ясованими питання, пов'язані з впливом ФА на гормональний статус дітей шкільного віку з фізіологічним і патологічним перебігом пубертатного періоду.

**Мета** дослідження — оцінити вплив ФА на гормональний спектр крові підлітків із фізіологічним і патологічним перебігом пубертатного періоду.

## Матеріали та методи дослідження

Обстежено 101 підлітка (57 хлопчиків і 44 дівчинки) віком 11–17 років. У сироватці крові визначено концентрацію загального тестостерону, естрадіолу, кортизолу, пролактину імуноферментним методом (реактиви фірми «Бест Діагностік», Україна), у цілісній крові виміряно вміст серотоніну флуориметричним методом [15]. Оцінено статевий розвиток хлопчиків [24]. ФА підлітків досліджено за допомогою анкети IPAQ (Міжнародний опитувальник із фізичної активності) [21]. Враховано тривалість фізичних вправ різної інтенсивності (ходьба, ранкова зарядка, уроки фізичної культури в школі, тренування в спортивних секціях) протягом доби. ФА оцінено за 7 діб. Усіх пацієнтів оглянуто педіатром, ендокринологом і гінекологом.

Залежно від перебігу пубертатного періоду підлітків поділено на дві групи: 1-ша — діти з фізіологічним статевим розвитком (35 хлопчиків і 28 дівчаток); 2-га — діти з патологічним перебігом пубертату (20 хлопчиків із затримкою статевого розвитку (ЗПР) і 18 дівчаток із розладами менструальної функції (РМФ): пубертатна маткова кровотеча, олігоменорея та вторинна аменорея).

У дівчаток із фізіологічним перебігом пубертатного періоду забір крові здійснено на 5–7-му добу менструального циклу. За рівнем ФА підлітків поділено на дві групи: з низьким (<7 балів) і високим рівнем (>9 балів) рухової активності.

Статистичну обробку результатів проведено за допомогою пакетів програм «Excel» і «Statgraphics Plus 5.1». Для оцінки достовірності відмінностей використано критерій Вілкоксона–Манна–Уїтні. Кореляційний аналіз проведено за допомогою коефіцієнта Пірсона (r). Дані подано у вигляді середніх значень (M),

Таблиця 1

Рівень гормонів у підлітків із фізіологічним і патологічним перебігом пубертатного періоду

Показник	Група	Хлопчики		Дівчатка	
		M±m	Me	M±m	Me
Естрадіол, нмоль/л	1-ша	0,19±0,02	0,18	0,26±0,05	0,22
	2-га	0,12±0,01	0,10*	0,20±0,05	0,13
Тестостерон, нмоль/л	1-ша	25,21±1,85	25,08	1,55±0,19	1,35
	2-га	11,97±2,52	8,62*	2,23±0,25	2,16*
Кортизол, нмоль/л	1-ша	375,10±25,03	367,40	318,70±24,98	328,20
	2-га	417,14±46,25	386,00	391,41±29,23	377,95*
Пролактин, мМЕ/л	1-ша	320,62±44,43	301,80	479,43±51,49	504,70
	2-га	347,48±48,24	273,60	400,32±65,47	373,00
Серотонін, мкмоль/л	1-ша	1,09±0,13	0,88	1,01±0,14	0,86
	2-га	0,92±0,12	0,86	0,78±0,13	0,62

Примітка: \* —  $p < 0,05$  порівняно з фізіологічним перебігом пубертату.

стандартної помилки (m) і медіани (Me). Статистичну значущість прийнято при  $p \leq 0,05$ .

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено Локальним етичним комітетом для всіх учасників. На проведення досліджень отримано інформовану згоду пацієнтів і батьків дітей.

### Результати дослідження та їх обговорення

Статеві особливості гормонального статусу підлітків залежно від перебігу пубертатного періоду наведено в таблиці 1. Встановлено, що в хлопчиків із патологічним перебігом статевих розв'язок відзначалося достовірне зниження концентрації естрадіолу (на 44,4%,  $p < 0,01$ ) і тестостерону (на 65,6%,  $p < 0,001$ ) порівняно з фізіологічним перебігом пубертату. На підставі змін рівня статевих гормонів у хлопчиків із патологічним перебігом пубертатного періоду підтверджено діагноз ЗСР [24].

У дівчаток із патологічним перебігом пубертатного періоду концентрація тестостерону, навпаки, достовірно збільшувалася на 60,0% щодо фізіологічного пубертату ( $p < 0,05$ ). Відомо, що підвищений рівень тестостерону перешкоджає дозріванню яйцеклітини, спостерігається при РМФ, гіперплазії ендометрію, безплідності, полікістозі яєчників, пов'язаний з порушеннями обміну речовин [1,16].

Доведено, що на менструальну функцію негативно впливає стрес [11]. У пацієток із патологічним перебігом пубертату реєструвалося достовірне збільшення (на 15%,  $p < 0,05$ ) рівня кортизолу, одного з основних біологічних маркерів стресу та показника стрес-реалізуючої системи [4]. У деяких роботах у дівчаток-підлітків з олігоменореєю та вторинною аменореєю

підкреслюється коморбідність виникнення психологічних порушень з РМФ, показано взаємозв'язок стрес-регулюючих гормонів із психологічними особливостями [23].

Відомо, що рівень ФА знижується в підлітковому віці [7]. Нашими дослідженнями встановлено, що 45% підлітків незалежно від статі мали низьку ФА. Нами проведено порівняльну характеристику впливу рухової активності різної інтенсивності на гормональний спектр крові підлітків залежно від статі та перебігу пубертатного періоду.

У хлопчиків (табл. 2) за фізіологічного перебігу статевих розв'язок та високої ФА реєструвалося достовірне збільшення вмісту тестостерону (на 14,0%) порівняно з низькою руховою активністю ( $p < 0,008$ ). Аналогічні результати спостерігалися в юнаків віком 16–17 років на градуїований протокол фізичних вправ, коли підлітки перебували на V стадії статевих розв'язок за Таннером [13], а також за фізичних навантажень у спортсменів [25].

Інша картина спостерігалася в підлітків із патологічним перебігом пубертатного періоду. За високої ФА вміст чоловічого статевих гормону, навпаки, був зниженим (на 59,4%) порівняно з низькою активністю ( $p < 0,05$ ). Відомо, що у фізичному та статевому дозріванні хлопчиків ключову роль відіграє тестостерон, концентрація якого поступово збільшується, доки не досягне рівня дорослих. Значна кількість доклінічних даних переконливо доводить, що андрогени є потенційними кандидатами, які роблять внесок у біологічну основу регулювання фізичної активності чоловіків. Тестостерон може впливати як на мотивацію, так і на здатність брати участь у фізичній діяльності [2]. Імовірно, низький рівень чоловічого гор-

**Рівень гормонів у хлопчиків із фізіологічним і патологічним перебігом пубертату з урахуванням їхньої фізичної активності**

Таблиця 2

Показник	Пубертат	Фізіологічний		Патологічний	
	ФА	М±м	Me	М±м	Me
Естрадіол, нмоль/л	низька	0,19±0,03	0,16	0,14±0,02	0,17
	висока	0,19±0,03	0,18	0,12±0,02	0,08**
Тестостерон, нмоль/л	низька	20,17±3,20	23,70	17,60±4,53	14,46
	висока	28,61±2,26	27,00*	8,14±2,29	5,87*,**
Кортизол, нмоль/л	низька	364,22±26,31	352,05	471,08±125,28	410,40
	висока	403,47±46,48	406,95	384,78±12,77	386,00
Пролактин, мМЕ/л	низька	334,03±52,33	342,55	437,53±128,64	319,50
	висока	302,75±82,18	225,90	305,92±38,27	273,60
Серотонін, мкмоль/л	низька	1,06±0,19	0,88	0,62±0,12	0,50
	висока	1,18±0,21	0,99	1,12±0,17	1,35*

Примітки: \* —  $p < 0,05$  порівняно з низькою ФА; \*\* —  $p < 0,05$  порівняно з фізіологічним перебігом пубертату.

**Рівень гормонів у дівчаток із фізіологічним і патологічним перебігом пубертату з урахуванням їхньої фізичної активності**

Таблиця 3

Показник	Пубертат	Фізіологічний		Патологічний	
	ФА	М±м	Me	М±м	Me
Естрадіол, нмоль/л	низька	0,23±0,07	0,18	0,19±0,04	0,16
	висока	0,20±0,03	0,24	0,15±0,04	0,12
Тестостерон, нмоль/л	низька	1,77±0,29	1,62	2,89±0,27	2,60**
	висока	1,38±0,25	1,19	1,52±0,26	1,36*
Кортизол, нмоль/л	низька	381,44±38,95	357,40	373,5±40,82	380,70
	висока	384,75±85,86	311,70	395,74±47,86	377,95
Пролактин, мМЕ/л	низька	476,76±75,51	540,10	574,14±97,42	513,70
	висока	481,65±76,94	466,50	290,45±52,44	343,00*,**
Серотонін, мкмоль/л	низька	0,72±0,12	0,67	0,72±0,18	0,62
	висока	1,39±0,25	1,17*	0,84±0,20	0,62**

Примітки: \* —  $p < 0,05$  порівняно з низькою ФА; \*\* —  $p < 0,05$  порівняно з фізіологічним перебігом пубертату.

мона в хлопчиків із ЗСР негативно впливає на їхню рухову активність.

Слід зазначити, що в осіб чоловічої статі з патологічним перебігом статевого дозрівання за високої ФА концентрація серотоніну збільшувалася в 2,7 раза порівняно з низькою ФА ( $p < 0,05$ ). Відомо, що фізичні вправи впливають на нейробіологічну систему організму, завдяки підвищенню рівня серотоніну в крові, що позитивно впливає на настрій. Серотонін називають «гормоном щастя» [20,31]. Цей нейромедіатор є також показником стрес-лімітуючої системи. Серотонін обмежує збудження адренергічних центрів і в такий спосіб лімітує розвиток стрес-реакції [5]. Враховуючи вищезазначене, можна припустити, що збільшений рівень серотоніну у хлопчиків за патологічного перебігу пубертатного періоду на тлі високої ФА є компенсаторно-пристосувальною реакцією на стресовий стан і сприяє формуванню позитивного настрою та фізичного самосприйняття в цих умовах.

Зміни концентрації серотоніну спостерігалися і в дівчаток (табл. 3). Так, за фізіологічного

перебігу пубертату за високої ФА реєструвалося достовірне збільшення (в 1,7 раза) цього показника порівняно з низькою активністю ( $p < 0,01$ ). Причому значення показника були достовірно вищими порівняно з аналогічною групою дівчаток за патологічного перебігу пубертатного періоду (в 1,9 раза,  $p < 0,01$ ). Виявлені зміни узгоджуються з науковими дослідженнями, в яких показано, що фізичні вправи підвищують концентрацію серотоніну в крові осіб жіночої статі та позитивно впливають на настрій, успішність, дівчатка рідше страждають від емоційних і поведінкових проблем [2].

Під час оцінювання гормонального статусу в дівчаток із низькою ФА на тлі патологічного перебігу пубертатного періоду відмічався підвищений рівень тестостерону (в 1,6 раза) порівняно з аналогічною ФА дівчаток із фізіологічним пубертатом ( $p < 0,05$ ). Водночас за патологічного перебігу пубертатного періоду висока ФА призводила до зниження вмісту тестостерону (майже в 1,5 раза) порівняно з низькою руховою активністю ( $p < 0,001$ ).

Відомо, що в спортсменок інтенсивні фізичні вправи збільшують синтез андрогенів [25]. У наших дослідженнях висока ФА сприяла зниженню концентрації тестостерону, значення якого були ідентичними показникам в аналогічній групі дівчат із фізіологічним пубертатом.

Доведено, що залежно від інтенсивності та тривалості фізичні вправи можуть впливати на рівень пролактину, одного з найбільш багатогранних гормонів [8]. Звертає увагу (табл. 3), що в дівчаток із патологічним перебігом пубертатного періоду за високої ФА знижується концентрація пролактину (на 33,2%) порівняно з низькою ФА ( $p < 0,05$ ). Отримані дані узгоджуються з науковими дослідженнями, які показують, що фізичні вправи можуть призводити до зниження секреції гормону [28]. Вважають також, що пролактин відіграє ключову роль у модуляції реакції на стрес і регуляції емоцій [17]. Виявлені зміни свідчать про позитивний вплив ФА на вміст пролактину в крові дівчаток із патологічним перебігом пубертатного періоду, що може сприяти зниженню стресової реакції та поліпшенню адаптації до фізичних навантажень.

Вплив ФА на гормональний спектр крові підлітків підтверджено під час кореляційного аналізу. У хлопчиків на тлі фізіологічного перебігу пубертату простежено прямий зв'язок рівня тестостерону з ФА ( $r = 0,56$ ;  $p < 0,03$ ) і кортизолом ( $r = 0,72$ ;  $p < 0,003$ ), що свідчить про хорошу адаптацію організму до фізичного навантаження. За патологічного перебігу пубертатного періоду відмічено негативний кореляційний взаємозв'язок рівня ФА лише з одним гормоном — естрадіолом ( $r = -0,56$ ;  $p < 0,03$ ). При цьому спектр взаємовідносин між гормонами розширюється. Виявлено позитивну залежність концентрації пролактину з естрадіолом ( $r = 0,56$ ;  $p < 0,03$ ) і кортизолом ( $r = 0,70$ ;  $p < 0,05$ ), тестостерону з естрадіолом ( $r = 0,52$ ;  $p < 0,03$ ) і кортизолом ( $r = 0,67$ ;  $p < 0,009$ ), що свідчить про активацію стрес-реалізуючих гормонів та їхній вплив на рівень статевих стероїдів у регуляції статевого дозрівання [29].

У дівчаток простежено інший характер кореляційних взаємозв'язків між ФА та концентрацією гормонів. На відміну від хлопчиків, за фізіологічного статевого розвитку в них кореляційних зв'язків не виявлено. За патологічного перебігу пубертату виявлено множинні зв'язки, що підкреслюють вплив ФА на гормональний

спектр крові пацієнток. Встановлено негативні кореляційні зв'язки високої щільності рівня ФА з пролактином ( $r = -0,84$ ;  $p < 0,004$ ), кортизолом ( $r = -0,81$ ;  $p < 0,008$ ) і тестостероном ( $r = -0,72$ ;  $p < 0,02$ ) і позитивний зв'язок із концентрацією серотоніну ( $r = 0,65$ ;  $p < 0,05$ ).

Також виявлено досить сильні кореляційні взаємозв'язки безпосередньо між гормонами. Зокрема, зареєстровано позитивний зв'язок вмісту пролактину з кортизолом ( $r = 0,76$ ;  $p < 0,01$ ) і тестостероном ( $r = 0,74$ ;  $p < 0,02$ ), а негативний — з рівнем серотоніну ( $r = -0,84$ ;  $p < 0,004$ ); а це відображає, на наш погляд, роль стресових гормонів у формуванні гіперпролактинемії [27] та гіперандрогенії [1] за менструальної дисфункції. Відзначено негативний зв'язок концентрації серотоніну з рівнем кортизолу ( $r = -0,65$ ;  $p < 0,05$ ) і тестостерону ( $r = -0,71$ ;  $p < 0,03$ ), що не суперечить результатам наукових досліджень [19] і свідчить про суттєву роль нейротрансмітерів у регуляції стресу.

Виявлений досить широкий спектр кореляційних взаємовідносин у дівчат-підлітків із патологічним перебігом пубертату свідчить про позитивний ефект ФА на гормональний спектр крові пацієнток. Причому, чим вища рухова активність дівчаток, тим нижчий рівень чоловічого статевого гормону і показники стрес-реалізуючих систем (пролактин, кортизол), але вища концентрація серотоніну — показник стрес-лімітуючої системи.

Також підкреслюється вплив стрес-реалізуючих систем на формування РМФ. Звертає увагу важлива роль серотонінергічної системи як у регуляції стресу [26], так і в адаптивних реакціях до фізичного навантаження [20]. Розглянуті тут дані узгоджуються з даними про те, що фізичні вправи підвищують стійкість до стресу, викликаючи нейропластичність у різних ділянках центральної серотонінергічної системи шляхом збільшення синтезу, концентрації та метаболізму серотоніну в мозку [2]. Рухова активність знижує частоту психічних розладів, пов'язаних зі стресом, і діє як антидепресант [12].

### Висновки

Встановлено, що зміни гормонального спектра крові підлітків мають статеві особливості й залежать від перебігу статевого дозрівання та інтенсивності ФА. За патологічного перебігу пубертатного періоду у хлопчиків реєструється зниження концентрації статевих гормонів

порівняно з фізіологічним пубертатом, що підтверджує затримку статевого розвитку. У дівчаток збільшується концентрація тестостерону та кортизолу, що проявляється РМФ та, очевидно, наявністю емоційного стресу.

У хлопчиків із фізіологічним статевим розвитком висока ФА порівняно з низькою активністю призводить до збільшення концентрації тестостерону, позитивно впливає на фізичний розвиток і свідчить про хорошу адаптацію організму підлітків до фізичних вправ. За патологічного перебігу пубертату висока ФА, навпаки, знижує вміст тестостерону і, можливо, уповільнює статевий розвиток хлопчиків.

У дівчат висока ФА на тлі фізіологічного пубертату призводить до збільшення вмісту серотоніну — показника стрес-лімітуючої системи. За патологічного перебігу пубертатного періоду висока ФА має позитивний ефект, знижуючи рівні тестостерону та пролактину, порівняно з низькою активністю, що може сприяти нормалі-

зації менструальної функції, а також зниженню стресових ситуацій.

Отримані дані підтверджує проведений кореляційний аналіз. Виявлені кореляційні взаємодієносини в хлопчиків і дівчат із патологічним перебігом пубертату свідчать про роль стрес-залежних гормонів у механізмах регуляції статевого дозрівання, а також підкреслюють вплив ФА на гормональний статус підлітків, особливо осіб жіночої статі.

**Перспективи подальших досліджень.** Надалі слід провести додаткові дослідження щодо з'ясування впливу ФА на гормональний спектр крові хлопчиків і дівчаток із порушеннями статевого розвитку, враховуючи хронологічний вік і масу тіла підлітка для розроблення ефективніших заходів щодо стимулювання фізичної активності та диференційованого підходу до вибору фізичних навантажень.

*Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.*

## REFERENCES/ЛІТЕРАТУРА

1. ACOG. (2019, Oct). Screening and Management of the Hyperandrogenic Adolescent: ACOG Committee Opinion, Number 789. *Obstet Gynecol.* 134 (4): 106–114. doi: 10.1097/AOG.0000000000003475.
2. Alghadir AH, Gabr SA, Iqbal ZA. (2020). Effect of Gender, Physical Activity and Stress-Related Hormones on Adolescent's Academic Achievements. *Int. J. Environ Res. Public Health.* 17 (11): 41–43. doi: 10.3390/ijerph17114143.
3. Arain M, Haque M, Johal L et al. (2013). Maturation of the adolescent brain. *Neuropsychiatr Dis Treat.* 9: 449–461. doi: 10.2147/NDT.S39776.
4. Bandelow B, Baldwin D, Abelli M et al. (2017). Biological markers for anxiety disorders, OCD and PTSD: A consensus statement. Part II: Neurochemistry, neurophysiology and neurocognition. *World J. Biol. Psychiatry.* 18 (3): 162–214. doi: 10.1080/15622975.2016.1190867.
5. Buuse M, Hale MW. (2019). Stress: Physiology, Biochemistry, and Pathology. *Handbook of Stress Series.* 3: 115–123.
6. Campos C. (2021). Physical activity and adolescent sexual maturity: a systematic review. *Cien Saude Colet.* 26 (5): 1823–1832. doi: 10.1590/1413-81232021265.17622019.
7. Damjanovic V, Salcin L, Zenic N et al. (2019). Identifying Predictors of Changes in Physical Activity Level in Adolescence: A Prospective Analysis in Bosnia and Herzegovina. *Int J Environ Res Public Health.* 16 (14): 2573. Published online. doi: 10.3390/ijerph16142573.
8. Dey M, Samiran M, Chatterjee S, Borman AS. (2014). Effect of Regular Exercise on Prolactin Secretion: A Pilot Study. *IOSR Journal of Sports and Physical Education (IOSR-JSPE).* 1 (7): 2347–6745.
9. Dziombac VB, Makarchuk OM. (2017). Characteristics features of puberty in adolescent girls from the Precarpathian region and the main factors of reproductive potential decline. *Health of Women.* 6: 93–96. [Дзьомбак ВБ, Макачук ОМ. (2017). Характеристика перебігу пубертатного періоду у дівчаток-підлітків Прикарпатського регіону та основні чинники зниження репродуктивного потенціалу. *Здоров'я жінчини.* 6: 93–96]. doi: 10.15574/HW.2017.122.93.
10. Faigenbaum AD, MacDonald JP, Carvalho C et al. (2020). The pediatric inactivity triad: a triple jeopardy for modern day youth. *ACSMS Health & Fitness Journal.* 24: 10–17. doi: 10.1249/FIT.0000000000000584.
11. Gajapriya M, Jothipriya A, Gayathri R. (2019). Impact of stress on menstrual cycle. *Devi Drug Invention Today.* 12 (7): 1547–1549.
12. Greenwood BN, Fleshner M. (2011). Exercise, stress resistance, and central serotonergic systems. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 39 (3): 140–149. doi: 10.1097/JES.0b013e31821f7e45.
13. Hackney A, Viru M, VanBruggen M et al. (2011). Comparison of the hormonal responses to exhaustive incremental exercise in adolescent and young adult males. *Arq Bras Endocrinol Metabol.* 55: 213–218. doi: 10.1590/s0004-27302011000300006.
14. Janssen X, Mann KD, Basterfield L et al. (2016). Development of sedentary behavior across childhood and adolescence: longitudinal analysis of the Gateshead Millennium Study. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 13: 88. doi: 10.1186/s12966-016-0413-7.
15. Kulinskij VI, Kostyukovskaya AS. (1969). Opredelenie serotoninina v cel'noj krvi cheloveka i laboratornyh zhivotnyh. *Laboratornoe delo.* 7: 390–394. [Кулинский ВИ, Костюковская АС. (1969). Определение серотонина в цельной крови человека и лабораторных животных. *Лабораторное дело.* 7: 390–394].
16. Levenets SA, Verkhoshanova OH, Udovikova NA, Kashkald DA. (2017). Conventional stimulation and regulation therapy: its efficiency in adolescent girls with hypomenstrual syndrome. *Health of Women.* 3 (119): 37–40. [Левенець СО, Верхошанова ОГ, Удовікова НО, Кашкалда ДА. (2017). Ефективність загальностимулювальної регулювальної терапії у дівчаток-підлітків із гіпоменструальним синдромом. *Здоров'я жінчини.* 3 (119): 37–40]. doi: 10.15574/HW.2017.119.37.
17. Levine S, Muneeyirci-Delale O. (2018). Stress-Induced Hyperprolactinemia: Pathophysiology and Clinical Approach. *Obstet Gynecol Int.* Article ID 9253083, 6 pages. doi: 10.1155/2018/9253083.
18. Matraguna N, Bichir-Thoreac L, Cojocari S. (2019). Contribution of behavioral risk factors in the implementation of arterial hypertension in children. *Modern pediatrics. Ukraine.* 5 (101): 49–56. [Мэтрэгунэ НГ, Бикир ЛИ, Кожокарь СВ. (2019). Влияние поведенческих факторов риска на развитие артериальной гипертензии у детей. *Modern pediatrics. Ukraine.* 5 (101): 49–56]. doi: 10.15574/SP.2019.101.49.
19. McHenry J, Carrier N, Hull E, Kabbaj M. (2014). Stress, serotonin, and hippocampal neurogenesis in relation to depression and

- antidepressant effects. *Front Neuroendocrinol.* 35 (1): 42–57. doi: 10.1016/j.yfrne.2013.09.001.
20. Melancon MO, Lorrain D, Dionne IJ. (2014). Changes in markers of brain serotonin activity in response to chronic exercise in senior men. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 39: 1250–1256. doi: 10.1139/apnm-2014-0092.
  21. Mindell JS, Coombs N, Stamatakis E. (2014). Measuring physical activity in children and adolescents for dietary surveys: practicalities, problems and pitfalls. *Proceedings of the Nutrition Society.* 73 (2): 218–225. doi: 10.1017/S0029665113003820.
  22. Murphy J, Sweeney MR, McGrane B. (2020). Physical activity and sports participation in Irish adolescents and associations with anxiety, depression and mental wellbeing. Findings from the Physical Activity and Wellbeing (Paws) study. *Physical Activity and Health.* 4 (1): 107–119. doi: 10.5334/paah.58.
  23. Nachetova TA, Belyaeva EA, Udovikova NA, Kashkalda DA. (2018). Psychological features of adolescent girls with oligomenorrhea and secondary amenorrhea and their dependence on stress-releasing hormones level. *International Journal of Pediatrics, Obstetrics and Gynecology.* 12 (1): 59–63. [Начетова ТА, Беляева ЕЭ, Удовикова НА, Кашкалда ДА. (2018). Психологические особенности девочек-подростков с олигоменореей и вторичной аменореей и их зависимость от уровней стресс-реализующих гормонов. *Міжнародний журнал педіатрії, акушерства та гінекології.* 12 (1): 59–63].
  24. Parkhomenko LK, Strashok LA, Zavelya EM et al. (2020). Assessment of physical and sexual development of adolescents in the practice of a family doctor. *Shidnoevr. z. vnutr. simejnoi med.* 1: 4–12. [Пархоменко ЛК, Страшок ЛА, Завеля ЕМ та інш. (2020). Оцінка фізичного та статевого розвитку підлітків в практиці сімейного лікаря. *Східноєвропейський журнал внутрішньої та сімейної медицини.* 1: 4–12]. doi: 10.15407/internalmed2020.01.004.
  25. Richmond EJ, Rogol AD. (2016). Endocrine Responses to Exercise in the Developing Child and Adolescent. *Frontiers of Hormone Research.* 47: 58–67. doi: 10.1159/000445157.
  26. Steinberg AL, Rubin-Falcone H, Galfalvy H, Kaufman J. (2019). Cortisol Stress Response and in Vivo PET Imaging of Human Brain Serotonin 1A Receptor Binding. *Int. J. Neuropsychopharmacology.* 22 (5): 329–338. doi: 10.1093/ijnp/pyz009.
  27. Torner L. (2016). Actions of Prolactin in the Brain: From Physiological Adaptations to Stress and Neurogenesis to Psychopathology *Front Endocrinol (Lausanne).* 7 (25): 1–14. doi: 10.3389/fendo.2016.00025.
  28. Tworoger SS, Sorensen B, Chubak J et al. (2007). Effect of 12 month randomized clinical trial of exercise on serum prolactin concentration in postmenopausal women. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 16(5): 895–899. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-06-0701.
  29. Yarbeygi H, Panahi Y, Sahraei H et al. (2017). The impact of stress on body function: A review *EXCLI J.* 16: 1057–1072. doi: 10.17179/excli-480.
  30. Ybarra M, Daniele PK, Barnett TA et al. (2021). Promoting healthy lifestyle behaviours in youth: Findings from a novel intervention for children at risk of cardiovascular disease. *Paediatr. Child Health.* 26 (8): 478–485. doi: 10.1093/pch/pxab033.
  31. Zimmer P, Stritt C, Bloch W et al. (2016). The effects of different aerobic exercise intensities on serum serotonin concentrations and their association with Stroop task performance: a randomized controlled trial. *Eur J Appl Physiol.* 116 (10): 2025–2034. doi: 10.1007/s00421-016-3456-1.
  32. Zou J. (2022). An Empirical Analysis of the Effects of Physical Exercise on Adolescent Mental Health and Its Mediating Mechanisms. *Journal of Environmental and Public Health.* 6: 1–11. doi: 10.1155/2022/2482884.

#### Відомості про авторів:

**Рак Лариса Іванівна** — д.мед.н., зав. відділення педіатрії і реабілітації ДУ «ІОЗДП НАМН України». Адреса: м. Харків, пр. Ювілейний, 52-А. ResearcherID Web of Science: GFX-0028-2022. <https://orcid.org/0000-0001-9955-2638>.

**Кашкалда Діна Андріївна** — к.біол.н., ст.н.с., пров.н.с. лабораторії вікової ендокринології й обміну речовин ДУ «ІОЗДП НАМН України». Адреса: м. Харків, пр. Ювілейний, 52-А. ResearcherID Web of Science: FCW-2121-2022. <https://orcid.org/0000-0002-3683-3915>.

**Водолажський Максим Леонідович** — к.мед.н., заст. директора ДУ «ІОЗДП НАМН України» з науково-організаційної роботи. Адреса: м. Харків, пр. Ювілейний, 52-А. ResearcherID Web of Science: AEM-6137-2022. <https://orcid.org/0000-0003-3806-6024>.

Стаття надійшла до редакції 03.12.2022 р., прийнята до друку 07.02.2023 р.