

<https://doi.org/10.47183/mes.2025-405>

УДК 616.71-007.234



## ПАРАМЕТРЫ МЕТАБОЛИЗМА КОСТНОЙ ТКАНИ И ГОРМОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСОВЕРШЕННОЛЕТНИХ СПОРТСМЕНОВ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ГИПОГОНАДИЗМОМ

Е.П. Исаева<sup>1,4,5</sup>, П.Л. Окорочков<sup>1,2</sup>, С.А. Столярова<sup>1,4</sup>, И.В. Зябкин<sup>1,4</sup>, М.Р. Исаев<sup>3</sup><sup>1</sup> Федеральное научно-клиническое агентство для детей и подростков Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия<sup>2</sup> Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии им. академика И.И. Дедова, Москва, Россия<sup>3</sup> Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия<sup>4</sup> Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия<sup>5</sup> Российский университет медицины Минздрава России, Москва, Россия

**Введение.** Синдром относительного дефицита энергии у спортсменов мужского пола может приводить к развитию функционального гипогонадизма (ФГ), сопровождающегося дефицитом тестостерона и нарушениями процессов ремоделирования костной ткани.

**Цель.** Оценка гормонального профиля и параметров метаболизма костной ткани в сыворотке крови у несовершеннолетних спортсменов в зависимости от наличия ФГ.

**Материалы и методы.** Проведено одноцентровое одномоментное исследование, включившее 50 юных спортсменов 15–18 лет (средний возраст 16,5 [15,9; 16,9] года), входящих в состав сборных команд Российской Федерации по трем видам спорта (греко-римская борьба, дзюдо, футбол) и разделенных на две группы в зависимости от наличия ФГ (по уровню общего тестостерона  $\leq 12$  нмоль/л). В группу с ФГ включены 12 спортсменов; в группу сравнения без ФГ — 38 атлетов. У спортсменов в сыворотке крови определяли уровни паратиреоидного гормона, 25-гидроксивитамина D, маркеров метаболизма костной ткани (остеокальцин, С-концевой телопептид коллагена 1-го типа ( $\beta$ -CrossLaps), N-терминальный пропептид проколлагена 1-го типа), а также активность общей щелочной фосфатазы. Для оценки гормонального профиля исследовали уровни лютеинизирующего гормона (ЛГ), фолликулостимулирующего гормона (ФСГ), ингибина В, общего тестостерона и лептина в сыворотке крови. Оценка композиционного состава тела проведена методом биоимпедансного анализа. Половое развитие оценивали по классификации Tanner. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ Statistica v. 10.0 (StatSoftInc., США).

**Результаты.** У спортсменов с ФГ выявлено статистически значимо большее процентное содержание жировой ткани в организме по сравнению со сверстниками с нормальным уровнем общего тестостерона (13,5 [8,1; 19,9] и 10,1 [9,0; 12,2]% соответственно,  $p = 0,034$ , в то время как по количеству тощей массы тела исследуемые группы статистически значимо не различались (58,3 [46,5; 82,0] и 61,9 [55,4; 67,0] кг соответственно,  $p = 0,742$ ). У спортсменов с андрогенным дефицитом выявлен более низкий уровень ЛГ по сравнению со спортсменами без ФГ (1,6 [0,9; 2,9] и 2,7 [1,7; 3,4] МЕ/л соответственно,  $p = 0,031$ ) при сопоставимых значениях ФСГ и ингибина В (3,4 [2,2; 4,2] и 3,5 [2,1; 5,7] МЕ/л соответственно,  $p = 0,547$ ; 176,5 [147,0; 248,6] и 194,5 [166,0; 231,6] пг/мл соответственно,  $p = 0,586$ ). Уровни маркеров метаболизма костной ткани у спортсменов с ФГ статистически значимо не отличались от группы спортсменов с нормальным уровнем тестостерона.

**Выводы.** Развитие ФГ у несовершеннолетних высококвалифицированных спортсменов мужского пола сопровождается нарушением функции гонадостата и сохранной функции клеток Сертоли. Андрогенный дефицит у спортсменов ассоциирован с увеличением содержания жировой ткани в организме, но не сопровождается изменением количества тощей массы тела. У юных спортсменов мужского пола ФГ не оказывает негативного влияния на процессы ремоделирования костной ткани, учитывая отсутствие статистически значимых изменений параметров метаболизма костной ткани.

**Ключевые слова:** юные спортсмены; спортивная медицина; функциональный гипогонадизм; тестостерон; остеокальцин;  $\beta$ -CrossLaps; витамин D

**Для цитирования:** Исаева Е.П., Окорочков П.Л., Столярова С.А., Зябкин И.В., Исаев М.Р. Параметры метаболизма костной ткани и гормональные характеристики несовершеннолетних спортсменов с функциональным гипогонадизмом. *Экстремальная биомедицина*. 2026;28(2):226–233. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-405>

**Финансирование:** исследование выполнено в рамках прикладной научно-исследовательской работы «Развитие персонализированного подхода в ведении несовершеннолетних спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации» (шифр «Дети в спорте-25/27»).

**Соответствие принципам этики:** исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ «ФНКЦ детей и подростков ФМБА России» (протокол № 1 от 13.02.2025). Родители/опекуны или законные представители спортсменов подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

**Потенциальный конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

✉ Исаева Елена Петровна [dora7474@mail.ru](mailto:dora7474@mail.ru)

**Статья поступила:** 29.09.2025 **После доработки:** 28.11.2025 **Принята к публикации:** 02.12.2025 **Online first:** 02.02.2026

## PARAMETERS OF BONE TISSUE METABOLISM AND HORMONAL CHARACTERISTICS IN ADOLESCENT ATHLETES WITH FUNCTIONAL HYPOGONADISM

Elena P. Isaeva<sup>1,4,5✉</sup>, Pavel L. Okorokov<sup>1,2</sup>, Svetlana A. Stolyarova<sup>1,4</sup>, Ilya V. Zabkin<sup>1,4</sup>, Maxim R. Isaev<sup>3</sup><sup>1</sup> Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia<sup>2</sup> Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia<sup>3</sup> Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia<sup>4</sup> Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia<sup>5</sup> Russian University of Medicine, Moscow, Russia

**Introduction.** The syndrome of relative energy deficiency (RED-S) in male athletes can lead to the development of functional hypogonadism (FH), characterized by testosterone deficiency and impairments in bone tissue remodeling processes.

**Objective.** Assessment of the hormonal profile and parameters of bone tissue metabolism in blood serum in adolescent athletes in the setting of FH presence/absence.

**Materials and methods.** A single-center, cross-sectional study involved 50 adolescent athletes aged 15–18 years (median age 16.5 [15.9; 16.9] years), all members of Russian national teams in three kinds of sport (Greco-Roman wrestling, judo, and football). The participants were divided into two groups based on FH presence (according to the total testosterone level  $\leq 12$  nmol/L). The FH group included 12 athletes; the comparison group without FH comprised 38 athletes. Serum levels of parathyroid hormone, 25-hydroxyvitamin D, and bone metabolism markers (osteocalcin, C-terminal telopeptide of type I collagen ( $\beta$ -CrossLaps), N-terminal propeptide of type I procollagen), as well as total alkaline phosphatase activity, were determined in all athletes. To assess the hormonal profile, serum levels of luteinizing hormone (LH), follicle-stimulating hormone (FSH), inhibin B, total testosterone, and leptin were investigated. Body composition assessment was performed using bioelectrical impedance analysis. Sexual development was assessed according to the Tanner rating. Statistical data processing was carried out using the Statistica v. 10.0 software package (StatSoft Inc.; USA).

**Results.** Athletes with FH exhibited a statistically significantly higher percentage of body fat compared to their peers with normal total testosterone levels (13.5 [8.1; 19.9]% and 10.1 [9.0; 12.2]%, respectively,  $p = 0.034$ ). Conversely, the groups did not differ statistically significantly in terms of lean body mass (58.3 [46.5; 82.0] kg and 61.9 [55.4; 67.0] kg, respectively,  $p = 0.742$ ). Athletes with androgen deficiency showed a lower level of LH compared to athletes without FH (1.6 [0.9; 2.9] IU/L and 2.7 [1.7; 3.4] IU/L, respectively,  $p = 0.031$ ), while FSH and inhibin B levels were comparable (3.4 [2.2; 4.2] IU/L and 3.5 [2.1; 5.7] IU/L, respectively,  $p = 0.547$ ; 176.5 [147.0; 248.6] pg/mL and 194.5 [166.0; 231.6] pg/mL, respectively,  $p = 0.586$ ). The levels of bone metabolism markers in athletes with FH did not differ statistically significantly from those in the group of athletes with normal testosterone levels.

**Conclusions.** The FH development in adolescent male high-performance athletes can be accompanied by gonadostat dysfunction and preserved Sertoli cell function. Androgen deficiency in athletes is associated with an increase in body fat percentage, without changes in lean body mass. In young male athletes, FH does not have a negative impact on bone tissue remodeling processes, given the absence of statistically significant changes in bone metabolism parameters.

**Keywords:** adolescent athletes; sports medicine; functional hypogonadism; testosterone; osteocalcin;  $\beta$ -CrossLaps; vitamin D

**For citing:** Isaeva E.P., Okorokov P.L., Stolyarova S.A., Zabkin I.V., Isaev M.R. Parameters of bone tissue metabolism and hormonal characteristics in adolescent athletes with functional hypogonadism. *Extreme Medicine*. 2026;28(2):226–233. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-405>

**Funding:** the study was conducted within the framework of the applied research project entitled Development of a Personalized Approach in Managing Underage Athletes of Russian National Sports Teams (code “Children in Sports-25/27”).

**Compliance with the ethical principles:** the study was approved by the ethical committee of the Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents of FMBA (Minutes No. 1 of 13.02.2025). Parents/guardians or legal representatives of the athletes signed voluntary informed consent for participation in the study.

**Potential conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

✉ Elena P. Isaeva [dora7474@mail.ru](mailto:dora7474@mail.ru)

**Received:** 29 Sep. 2025 **Revised:** 28 Nov. 2025 **Accepted:** 2 Dec. 2025 **Online first:** 2 Feb. 2026

## ВВЕДЕНИЕ

Качественное и сбалансированное по количеству и составу питание важно для полноценного восстановления после тренировок, адаптации к интенсивным физическим нагрузкам и профилактики спортивного травматизма. Недостаточное потребление с пищей энергетических субстратов, необходимых для поддержания оптимального функционирования организма при занятиях спортом, может приводить к развитию синдрома относительного дефицита энергии спортсменов (Relative energy deficiency in sport, RED-s) [1]. Риск возникновения энергодифицита у спортсменов мужского пола является максимальным в видах спорта на выносливость (марафон, велогонки) и видах спорта с весовыми категориями (дзюдо, бокс, борьба

и другие единоборства). Данная закономерность обусловлена крайне высокими энергозатратами (виды спорта на выносливость) и повышенными требованиями к массе тела (спортивные единоборства) в вышеописанных спортивных специализациях [2].

У подростков мужского пола RED-s может сопровождаться андрогенным дефицитом в рамках развития функционального гипогонадизма (ФГ) [1, 3]. Кроме того, снижение уровня тестостерона у юношей-спортсменов может отмечаться при синдроме перетренированности [4].

Установлено, что развитие функциональной гипоталамической аменореи у девушек-спортсменок негативно влияет на структуру и минеральную плотность кости (МПК), является одним из ведущих факторов риска низкоэнергетических переломов [1, 5].

В то же время влияние ФГ на микроархитектонику и МПК у спортсменов мужского пола не столь ярко выражено [1, 3]. Тем не менее ряд исследований демонстрируют негативное влияние андрогенного дефицита у взрослых спортсменов на МПК, снижение работоспособности, а также повышенную усталость и сексуальную дисфункцию [6, 7].

Для оценки функционального состояния кости в клинической практике используются маркеры костного метаболизма [8]. Высокий риск развития низкоэнергетических переломов у спортсменов подчеркивает актуальность исследований по изучению маркеров костного метаболизма и их связи с гормональными показателями у несовершеннолетних спортсменов мужского пола с ФГ, учитывая недостаточную разработанность темы по данным литературы.

Цель исследования — оценка гормонального профиля и параметров метаболизма костной ткани в сыворотке крови у несовершеннолетних спортсменов в зависимости от наличия ФГ.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено одномоментное одноцентровое исследование, в которое были включены 50 юношей-спортсменов (представителей трех видов спорта: греко-римская борьба,  $n = 14$ ; дзюдо,  $n = 22$ ; футбол,  $n = 14$ ) с завершённым половым развитием (4–5 стадия полового развития по классификации Tanner) в возрасте 15–18 лет (средний возраст 16,5 [15,9; 16,9] года). В связи с завершённым половым развитием обследуемых атлетов для диагностики гипогонадизма применяли критерии диагностики нозологии для взрослых мужчин.

Все атлеты были разделены на две группы в зависимости от наличия функционального гипогонадизма, диагностированного при снижении уровня общего тестостерона  $\leq 12$  нмоль/л [9].

В группу с ФГ включены 12 спортсменов (средний возраст 16,2 [15,9; 16,9] года); в группу сравнения

с нормальным уровнем общего тестостерона — 38 атлетов (средний возраст 16,6 [15,9; 16,9] года). Антропометрические измерения несовершеннолетних спортсменов включали в себя: измерение роста и массы тела, расчет индекса массы тела (ИМТ). ИМТ оценивался для конкретного возраста и пола и был представлен в виде числа стандартных отклонений от среднего значения (SDS). Оценку композиционно-го состава тела проводили методом биоимпедансного анализа (анализатор InBody 570, Южная Корея). Оценка полового развития несовершеннолетних спортсменов проведена по классификации Tanner [10].

Критерии включения участников в исследование: юноши-спортсмены сборных команд РФ в возрасте 15–18 лет с завершённым половым развитием (4–5 стадия полового развития по классификации Tanner). Критерии включения в исследуемую группу: наличие ФГ (снижение уровня общего тестостерона  $\leq 12$  нмоль/л). Критерии включения в группу сравнения: отсутствие ФГ (нормальный уровень общего тестостерона).

Забор крови осуществляли натощак в утренние часы из периферической вены. У всех несовершеннолетних спортсменов определяли уровни остеокальцина (Roche, Швейцария), С-концевого телопептида коллагена 1 типа ( $\beta$ -CrossLaps; Roche, Швейцария), 25-гидроксивитамина D (25(OH)D; Roche, Швейцария), N-терминального пропептида проколлагена 1-го типа (P1NP; Roche, Швейцария), паратиреоидного гормона (ПТГ; Roche, Швейцария) в сыворотке крови (нг/мл) методом твердофазного иммуноферментного анализа. Также произведен расчет соотношения остеокальцин/ $\beta$ -CrossLaps [11]. Исследование лептина (нг/мл), лютеинизирующего (ЛГ, МЕ/л) и фолликулостимулирующего гормонов (ФСГ, МЕ/л), ингибина В (пг/мл) проведено в сыворотке крови методом иммуноферментного анализа (BenderMedSystems, Австрия). Исследование уровня общего тестостерона в сыворотке крови (нмоль/л) выполнено методом иммуноферментного анализа на автоматическом

**Таблица. Клиническая характеристика исследуемых групп спортсменов**

Исследуемый показатель, единицы измерения	Группа с ФГ ( $n = 12$ )	Группа без ФГ ( $n = 38$ )	Уровень статистической значимости, $p$
Возраст, лет	16,2 [15,9; 16,9]	16,6 [15,9; 16,9]	0,682
Рост, м	1,70 [1,63; 1,85]	1,73 [1,67; 1,80]	0,733
SDS роста	-0,41 [-1,11; 1,58]	0,32 [-0,85; 0,94]	0,785
Масса тела, кг	74,6 [55,2; 105,1]	70,2 [62,3; 75,6]	0,716
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	24,6 [20,1; 29,9]	23,1 [21,4; 24,1]	0,785
SDS ИМТ	1,04 [-1,65; 2,50]	0,91 [-0,53; 1,35]	0,665
Вид спорта:			
дзюдо	5 (46%)	17 (44%)	0,851
греко-римская борьба	6 (50%)	8 (22%)	0,051
футбол	1 (4%)	13 (34%)	0,081

Таблица составлена авторами по собственным данным

**Примечание:**  $n$  — количество спортсменов; ФГ — функциональный гипогонадизм; SDS — стандартное отклонение от среднего значения; ИМТ — индекс массы тела; SDS ИМТ — стандартное отклонение индекса массы тела.

анализаторе Lazurit (США). Исследование активности общей щелочной фосфатазы (ЩФ) в сыворотке крови (Ед/л) выполнено кинетическим калориметрическим методом.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ Statistica v. 10.0 (StatSoftInc., США). Так как изучаемые количественные показатели имели ненормальное распределение (согласно критерию Колмогорова — Смирнова), все данные представлены в виде медианы ( $M_0$ ) и верхнего и нижнего квартилей [ $Q_1$ ;  $Q_3$ ], соответствующих 25 и 75 перцентилем распределения. Для оценки статистической значимости различий количественных признаков применяли критерий Манна — Уитни. Качественные признаки представлены в виде долей (%) с указанием абсолютного значения. Для оценки различий между качественными признаками построены таблицы сопряженности с последующей оценкой по критерию хи-квадрата ( $\chi^2$ ) Пирсона с поправкой Йейтса. Корреляционный анализ проведен с использованием критерия Спирмена. Статистический уровень значимости различий принимали при  $p \leq 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемые группы статистически значимо не различались и были сопоставимы по возрасту ( $p = 0,682$ ) и основным антропометрическим показателям (табл.). Структура по видам спорта в группах с ФГ и без андрогенного дефицита представлена в таблице.

Анализ уровня гонадотропинов у юношей-спортсменов не выявил статистически значимых различий в исследуемых группах по уровню ФСГ (3,4 [2,2; 4,2] и 3,5 [2,1; 5,7] МЕ/л для групп с ФГ и без андрогенного дефицита соответственно,  $p = 0,547$ ), однако у юношей с андрогенным дефицитом отмечали статистически значимо более низкие уровни ЛГ и общего тестостерона по сравнению со спортсменами без ФГ (1,6 [0,9; 2,9] и 2,7 [1,7; 3,4] МЕ/л соответственно,  $p = 0,031$  и 9,3 [8,4; 11,0] против 21,6 [15,6; 25,9] нмоль/л соответственно,  $p < 0,001$ ).

В исследуемых группах при оценке функциональной активности клеток Сертоли тестикулярной ткани у юношей-спортсменов не выявлено статистически значимых различий по уровню ингибина В (176,5 [147,0; 248,6] и 194,5 [166,0; 231,6] пг/мл соответственно).

Для несовершеннолетних спортсменов с ФГ характерны статистически значимо более высокие уровни лептина 2,1 [0,8; 5,1] нг/мл по сравнению с группой атлетов без дефицита тестостерона — 0,8 [0,5; 1,5] нг/мл ( $p = 0,017$ ).

Корреляционный анализ выявил статистически значимую отрицательную взаимосвязь между уровнем лептина и общего тестостерона ( $r_s = -0,48$ ;  $p < 0,05$ ), а также ингибина В и ФСГ ( $r_s = -0,51$ ;  $p < 0,001$ ).

При оценке параметров метаболизма костной ткани установлено, что наличие андрогенного дефицита не приводило к изменению значений маркеров костеобразования (P1NP, остеокальцина, ЩФ) и костной резорбции ( $\beta$ -CrossLaps) по сравнению со сверстниками без ФГ.

Так, в группе с ФГ уровень остеокальцина составил 71,0 [38,1; 104,5] нг/мл, P1NP 245,1 [193,4; 516,9] нг/мл, ЩФ общая 150,7 [108,9; 196,7] Ед/л,  $\beta$ -CrossLaps 1,51 [1,28; 2,3] нг/мл. У спортсменов без андрогенного дефицита уровень остеокальцина определялся на уровне 68,0 [53,7; 88,0] нг/мл, P1NP 322,7 [260,7; 496,0] нг/мл, ЩФ общая 147,2 [114,9; 181,5] Ед/л,  $\beta$ -CrossLaps 1,82 [1,41; 2,29] нг/мл. Соотношение Остеокальцин/ $\beta$ -CrossLaps у спортсменов с ФГ составило 38,3 [35,8; 42,2] и статистически значимо не отличалось от значений у спортсменов без андрогенного дефицита (42,3 [32,5; 49,4];  $p = 0,375$ ). Полученные значения параметров метаболизма костной ткани соответствовали референсным интервалам, разработанным для спортсменов [11].

При оценке обеспеченности витамином D у всех спортсменов, независимо от наличия ФГ, выявлен низкий уровень 25(OH)D, соответствующий его дефициту в организме [12]. По уровню ПТГ исследуемые группы статистически значимо не различались (4,8 [3,3; 7,0] и 4,3 [3,6; 5,4] пмоль/л соответственно,  $p = 0,699$ ).

Корреляционный анализ показал наличие отрицательных взаимосвязей между количеством тощей массы тела в организме спортсменов и уровнями P1NP ( $r_s = -0,56$ ;  $p < 0,001$ ), остеокальцина ( $r_s = -0,42$ ;  $p = 0,002$ ),  $\beta$ -CrossLaps ( $r_s = -0,43$ ;  $p = 0,002$ ).

При оценке композиционного состава тела у несовершеннолетних спортсменов с ФГ (рис.) выявлено статистически значимо большее процентное 13,5 [8,1; 19,9] и 10,1 [9,0; 12,2]% ( $p = 0,034$ ) и абсолютное 11,7 [5,9; 16,4] и 6,6 [5,9; 8,4] кг ( $p = 0,021$ ) содержание жировой ткани в организме по сравнению с группой без андрогенного дефицита. По количеству тощей и скелетно-мышечной массы исследуемые группы статистически значимо не отличались (рис.).

При проведении корреляционного анализа выявлена положительная взаимосвязь ЛГ и лептина с процентным содержанием жировой ткани в организме спортсменов ( $r_s = 0,58$ ;  $p < 0,001$  и  $r_s = 0,38$ ;  $p = 0,006$  соответственно) и отрицательная — между уровнем общего тестостерона и абсолютным количеством жировой ткани в организме юных спортсменов ( $r_s = -0,34$ ;  $p < 0,05$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Развитие RED-s ассоциировано с эндокринными нарушениями и изменениями костного метаболизма, которые повышают риск переломов как у мальчиков, так и у девочек [11]. В настоящее время снижение уровней общего или свободного тестостерона рассматривается советом экспертов Международного олимпийского комитета в качестве значимого фактора риска развития синдрома RED-s и нарушения ремоделирования костной ткани у несовершеннолетних спортсменов мужского пола [1].

В нашем исследовании продемонстрировано, что у несовершеннолетних юношей-спортсменов с ФГ уровни основных маркеров костного метаболизма статистически значимо не отличались от сверстников без дефицита тестостерона, что косвенно подтверждает клинические данные об ограниченном влиянии андрогенного дефицита на механизмы развития

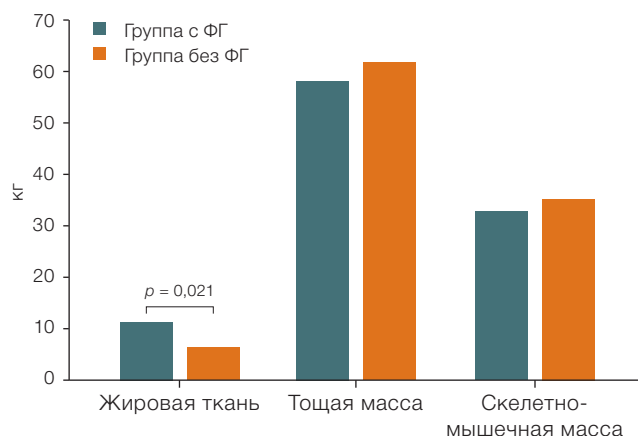
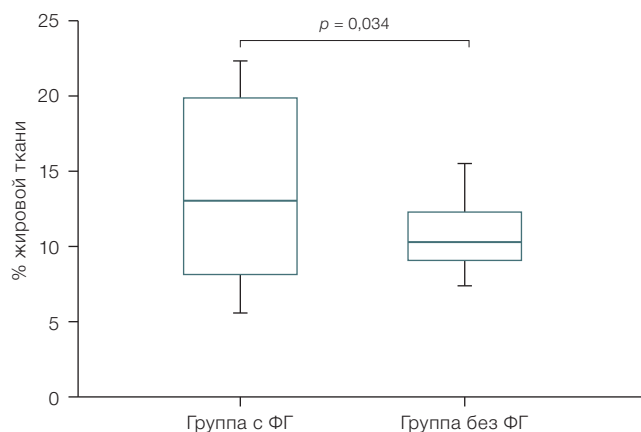


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

**Рис.** Параметры композиционного состава тела у несовершеннолетних спортсменов в зависимости от наличия функционального гипогонадизма

нарушений ремоделирования костной ткани у спортсменов мужского пола. Значения изучаемых маркеров метаболизма костной ткани в обеих исследуемых группах находились в пределах референсных интервалов, предложенных для несовершеннолетних спортсменов с завершённым или близким к завершению половым развитием [13]. Соотношение остеокальцин/ $\beta$ -CrossLaps может отражать баланс синтеза и резорбции костной ткани у спортсменов [11]. В нашем исследовании соотношение показателей костных маркеров статистически значимо не различалось в группах с ФГ и без андрогенного дефицита и соответствовало референтным интервалам, предложенным К.И. Никитиной и соавт. [11]. Полученные данные косвенно могут свидетельствовать об отсутствии нарушений ремоделирования костной ткани у несовершеннолетних спортсменов независимо от наличия синдрома гипогонадизма.

По данным J.L. Areta и соавт., частота низкоэнергетических переломов у спортсменов мужского пола в три раза ниже по сравнению с женщинами [14]. Нарушение процессов ремоделирования костной ткани у девушек обусловлено гипозастрогенией на фоне функциональной гипоталамической аменореи, в то время как развитие ФГ у юношей приводит к незначительному снижению уровня циркулирующих эстрогенов за счет уменьшения активности ароматизации [3]. Учитывая более низкий физиологический уровень эстрогенов у мужчин по сравнению с женщинами, развитие выраженных нарушений процессов ремоделирования костной ткани для них не характерно.

Оценка функции гонадостата у спортсменов с андрогенным дефицитом выявила статистически значимо более низкий уровень ЛГ по сравнению с группой без ФГ. Снижение импульсной секреции ЛГ гонадотрофами аденогипофиза описано в качестве одного из ключевых механизмов развития функционального гипогонадизма в рамках синдрома хронического дефицита энергии у спортсменов [1]. В норме, взаимодействуя с клетками Лейдига, ЛГ стимулирует синтез тестостерона, а снижение уровня ЛГ обуславливает андрогенный дефицит, выявленный в исследуемой группе с наличием ФГ. Длительный и некомпенсированный

синдром гипогонадизма у мужчин может приводить к уменьшению количества клеток Лейдига, снижению числа рецепторов ЛГ на их поверхности с уменьшением их чувствительности, что может способствовать снижению фертильности [15].

Ингибин В секретируется клетками Сертоли под действием ФСГ, выступая в роли регулятора секреции данного гормона по принципу отрицательной обратной связи. Таким образом, ингибин В может использоваться в качестве маркера сперматогенеза и функции клеток Сертоли, а его снижение выявляется у мужчин с различными нарушениями сперматогенеза (олигоспермия, азооспермия и др.). Пиковых значений уровень ингибина В достигает в период пубертата, к 12–17 годам [16].

В нашей работе уровни ингибина В и ФСГ в исследуемых группах юных атлетов статистически значимо не различались, что указывает на отсутствие влияния андрогенного дефицита на функцию клеток Сертоли у несовершеннолетних спортсменов. Дизайн исследования не позволил нам оценить стойкость и длительность выявленного андрогенного дефицита у спортсменов, в связи с чем отсутствие изменений функциональной активности клеток Сертоли может быть обусловлено кратковременным или нестойким снижением уровня тестостерона.

По данным N. Meyer и соавт., низкое содержание жировой ткани (<5%) в организме юношей-спортсменов по результатам анализа композиционного состава тела можно расценивать в качестве косвенного признака недостаточного потребления энергии [17]. Ни у одного из обследованных нами спортсменов не определялось низкого содержания жировой ткани в организме. У юных спортсменов с андрогенным дефицитом выявлено статистически значимо большее количество жировой ткани по сравнению со сверстниками без ФГ. Полученные результаты согласуются с данными, полученными другими исследователями, демонстрирующими снижение количества жировой ткани в организме у мужчин с нормальным или повышенным уровнем тестостерона [18].

Количество жировой ткани у юношей-спортсменов положительно коррелировало с уровнем

циркулирующего лептина. Данный адипокин (гормон жировой ткани) в настоящее время рассматривается в качестве эндогенного регулятора и модулятора функций репродуктивной системы, однако у спортсменов мужского пола лептин, по всей видимости, в большей степени отражает динамику содержания жировой ткани в организме и не оказывает существенного влияния на функцию гонадостата [19]. В нашем исследовании медиана уровня лептина у юношей-спортсменов без андрогенного дефицита оказалась ниже по сравнению с общепопуляционной нормой, что связано с более низким содержанием жировой ткани в организме спортсменов.

В то же время по количеству скелетно-мышечной массы тела исследуемые группы значительно не различались, что не согласуется с данными Н.В. Аксеновой и соавт., демонстрирующими прямую взаимосвязь между уровнем тестостерона и увеличением количества скелетной мускулатуры у несовершеннолетних спортсменов [20].

Важным ограничением нашего исследования является то, что подавляющее большинство спортсменов в обеих изучаемых группах имели дефицит или недостаточность витамина D, что могло повлиять на уровни анализируемых маркеров метаболизма костной ткани. Известно, что длительно некомпенсированный дефицит витамина D приводит к повышению секреции ПТГ для поддержания гомеостаза кальция, что происходит за счет увеличения интенсивности резорбтивных процессов в костной ткани и сопровождается повышением маркеров костной резорбции в сыворотке крови [21]. Оценка маркеров метаболизма костной ткани на фоне достаточной обеспеченности витамином D у спортсменов мужского пола с ФГ позволит более точно определить влияние андрогенного дефицита на процессы ремоделирования кости.

В рамках работы нами не проводилось изучение влияния вида спорта, уровня спортивного мастерства и этапа тренировочного цикла на уровни исследуемых маркеров метаболизма костной ткани в связи с небольшим объемом выборки спортсменов с ФГ. Кроме того, уровень общего тестостерона сыворотки крови в рамках углубленного медицинского обследования определялся однократно, что не позволяет судить о стойкости и длительности выявленного андрогенного дефицита.

Можно предположить, что снижение уровня общего тестостерона у несовершеннолетних спортсменов является адаптивным механизмом к высоким физическим нагрузкам или краткосрочному энергодефициту

(при резком снижении массы тела у представителей спортивных единоборств), что объясняет отсутствие взаимосвязей андрогенного дефицита с показателями композиционного состава тела и маркерами метаболизма костной ткани. Учитывая, что снижение уровня тестостерона может выступать маркером синдрома перетренированности у спортсменов [4], необходимо обратить особое внимание на юных атлетов с ФГ для уточнения переносимости тренировочного воздействия в данной группе.

Дальнейшее изучение особенностей гормонального профиля и маркеров ремоделирования кости и их влияния на МПК может иметь большое практическое значение для разработки индивидуального подхода к диагностике нарушений ремодуляции костной ткани и стратификации рисков низкоэнергетических переломов у несовершеннолетних спортсменов мужского пола с функциональным гипогонадизмом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Функциональный гипогонадизм у несовершеннолетних спортсменов мужского пола не приводит к изменению параметров метаболизма костной ткани и не оказывает негативного влияния на процессы ремоделирования кости. Развитие андрогенного дефицита у юных атлетов связано с нарушением функции гонадостата, но не сопровождается изменением функциональной активности клеток Сертоли. Дефицит андрогенов, выявленный у спортсменов мужского пола с ФГ, ассоциирован с увеличением содержания жировой ткани в организме, но не сопровождается снижением количества тощей и скелетно-мышечной массы тела. Учитывая функциональный характер андрогенного дефицита и отсутствие его влияния на процессы ремоделирования кости и прогноз фертильности, по нашему мнению, нет необходимости в ограничении для занятий спортом юных спортсменов с ФГ. Однако для продолжения продуктивных тренировок необходимо уделить особое внимание исключению развития у юных спортсменов синдрома перетренированности. Кроме того, целесообразно в данной группе спортсменов продолжить контроль гормональных показателей в динамике с оценкой дополнительных маркеров перетренированности.

Уточнение стойкости выявленных нарушений функции гонадостата и андрогенного дефицита у спортсменов мужского пола с ФГ требует проведения дальнейших исследований с целью определения тактики их медико-биологического сопровождения.

## Литература / References

1. Mountjoy M, Ackerman KE, Bailey DM, Burke LM, Constantini N, Hackney AC, et al. 2023 International Olympic Committee's (IOC) consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). *British Journal of Sports Medicine*. 2023;57(17):1073–97. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106994>
2. Burke LM, Close GL, Lundy B, Mooses M, Morton JP, Tenforde AS. Relative energy deficiency in sport in male athletes: a commentary on its presentation among selected groups of male athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2018;28(4):364–74. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0182>
3. Hackney AC, Constantini NW. *Endocrinology of Physical Activity and Sport*. 3rd ed. Cham: Humana press; 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33376-8>
4. Костина ОВ, Галова ЕА, Преснякова МВ. Особенности влияния гормонов на увеличение риска спортивного травматизма и развитие синдрома перетренированности.

- ности у детей и подростков-спортсменов (обзор литературы). *Клиническая лабораторная диагностика*. 2025;70(2):89–96.
- Kostina OV, Galova EA, Presnyakova MV. Features of the effect of hormones on increasing the risk of sports injuries and the development of overtraining syndrome in children and adolescent athletes (review of literature). *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*. 2025;70(2):89–96 (In Russ.). <https://doi.org/10.51620/0869-2084-2025-70-2-89-96>
5. Khosla S. Update on estrogens and the skeleton. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2010;95(8):3569–77. <https://doi.org/10.1210/jc.2010-0856>
  6. Hackney AC, Lane AR, Register-Mihalik J, O’Leary CB. Endurance exercise training and male sexual libido. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2017;49(7):1383–8. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001235>
  7. Hooper DR, Tenforde AS, Hackney AC. Treating exercise-associated low testosterone and its related symptoms. *The Physician and Sportsmedicine*. 2018;46(4):427–34. <https://doi.org/10.1080/00913847.2018.1507234>
  8. Киселева НГ, Таранушенко ТЕ, Голубенко НК. Диагностика остеопороза в детском возрасте. *Медицинский совет*. 2020;1:179–86.  
Kiseleva NG, Taranushenko TE, Golubenko NK. Diagnosis of osteoporosis at an early age. *Medical Council*. 2020;1:179–86 (In Russ.). <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2020-1-186-193>
  9. Дедов ИИ, Мокрышева НГ, Мельниченко ГА, Роживанов РВ, Камалов АА, Мкртумян АМ и др. Проект клинических рекомендаций «Синдром гипогонадизма у мужчин». *Ожирение и метаболизм*. 2021;18(4):496–507.  
Dedov II, Mokrysheva NG, Melnichenko GA, Rozhivanov RV, Kamalov AA, Mkrtyunyan AM, et al. Draft of Russian Clinical Practice Guidelines «Male hypogonadism». *Obesity and metabolism*. 2021;18(4):496–507 (In Russ.). <https://doi.org/10.14341/omet12817>
  10. Tanner JM, Whitehouse RH. Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty. *Archives of Disease in Childhood*. 1976;51(3):170.
  11. Никитина КИ, Сафонов ЛВ, Абрамова ТФ, Никитина ТМ, Абдувосидов ХА. Особенности костного метаболизма у спортсменов велоспорта. *Современные проблемы науки и образования*. 2022;6(1).  
Nikitina KI, Safonov LV, Abramova TF, Nikitina TM, Abdvosidov KhA. Features of Bone Metabolism in Cycling Athletes. *Modern Problems of Science and Education*. 2022;6(1) (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/spno.32268>
  12. Пигарова ЕА, Рожинская ЛЯ, Белая ЖЕ, Дзеранова ЛК, Каронова ТЛ, Ильин АВ и др. Клинические рекомендации Российской ассоциации эндокринологов по диагностике, лечению и профилактике дефицита витамина D у взрослых. *Проблемы Эндокринологии*. 2016;62(4):60–84.  
Pigarova EA, Rozhinskaya LYa, Belaya JE, Dzeranova LK, Karonova TL, Ilyin AV, et al. Russian Association of Endocrinologists recommendations for diagnosis, treatment and prevention of vitamin D deficiency in adults. *Problems of Endocrinology*. 2016;62(4):60–84 (In Russ.). <https://doi.org/10.14341/probl201662460-84>
  13. Исаева ЕП, Окорочков ПЛ, Столярова СА, Ключников СО, Зябкин ИВ, Исаев МР и др. Маркеры метаболизма костной ткани у юных высококвалифицированных спортсменов. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2025;27(3):384–91.  
Isaeva EP, Okorokov PL, Stolyarova SA, Kluchnikov SO, Zybkin IV, Isaev MR, et al. Bone metabolism markers in young high-performance athletes. *Extreme Medicine*. 2025;27(3):384–91 (In Russ.). <https://doi.org/10.47183/mes.2025-256>
  14. Areta JL, Taylor HL, Koehler K. Low energy availability: history, definition and evidence of its endocrine, metabolic and physiological effects in prospective studies in females and males. *European Journal of Applied Physiology*. 2021;121(1):1–21. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04516-0>
  15. Пичугова СВ. Сравнительная характеристика гормонального фона у мужчин с бесплодием и у подростков с варикоцеле. *Акушерство, Гинекология и Репродукция*. 2021;15(2):156–65.  
Pichugova SV. Comparative characteristics of endocrine profile in males with infertility as well as in adolescents with varicocele. *Obstetrics, Gynecology and Reproduction*. 2021;15(2):156–65 (In Russ.). <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2021.155>
  16. Crofton PM, Evans AE, Groome NP, Taylor MR, Holland CV, Kelnar CJ. Inhibin B in boys from birth to adulthood: relationship with age, pubertal stage, FSH and testosterone. *Clinical Endocrinology*. 2002;56(2):215–21. <https://doi.org/10.1046/j.0300-0664.2001.01448.x>
  17. Meyer NL, Sundgot-Borgen J, Lohman TG, Ackland TR, Stewart AD, Maughan RJ, et al. Body composition for health and performance: a survey of body composition assessment practice carried out by the Ad Hoc Research Working Group on Body Composition, Health and Performance under the auspices of the IOC Medical Commission. *British Journal of Sports Medicine*. 2013;47(16):1044–53. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092561>
  18. Берковская МА, Эльмурзаева АА, Эдаев АЛ-А, Селыхов ТЮ, Токаев ХМ, Гурова ИД. Влияние спортивных нагрузок на работу эндокринной системы у мужчин. *Consilium Medicum*. 2024;26(4):263–68.  
Berkovskaya MA, Elmurzaeva AA, Edaev ALA, Selakhov TYu, Tokaev HM, Gurova ID. The impact of physical exercise on the endocrine system in men: A review. *Consilium Medicum*. 2024;26(4):263–68 (In Russ.). <https://doi.org/10.26442/20751753.2024.4.202697>
  19. de Assis GG, Murawska-Ciałowicz E. Exercise and Weight Management: The Role of Leptin — A Systematic Review and Update of Clinical Data from 2000–2022. *Journal of Clinical Medicine*. 2023;12(12):4490. <https://doi.org/10.3390/jcm12134490>
  20. Аксенова НВ, Мангушев ТА, Окорочков ПЛ, Бабаева ЕВ, Зябкин ИВ. Влияние уровня общего тестостерона у хоккеистов-юниоров на гематологические, биохимические показатели и уровень физической работоспособности. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2023;13(1):80–7.  
Aksenova NV, Mangushev TA, Okorokov PL, Babaeva EV, Zybkin IV. Effect of testosterone in young ice-hockey players on hematological, biochemical parameters and the level of physical performance. *Sports Medicine: Research and Practice*. 2023;13(1):80–7 (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.1.8>
  21. Мокрышева НГ, Еремкина АК, Мирная СС, Ковалева ЕВ. Трудности дифференциальной диагностики между первичной и вторичной формами гиперпаратиреоза. *Ожирение и метаболизм*. 2017;14(3):48–53.  
Mokrysheva NG, Eremkina AK, Mirnaya SS, Kovaleva EV. Challenges in differential diagnosis between primary and secondary forms of hyperparathyroidism. *Obesity and Metabolism*. 2017;14(3):48–53 (In Russ.). <https://doi.org/10.14341/omet2017348-53>

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: Е.П. Исаева — разработка протокола исследования, подготовка рукописи; П.Л. Окороков — сбор материала, критическая интерпретация результатов, редактирование рукописи; С.А. Столярова — создание графических материалов, курация спортсменов на этапах обследования; И.В. Зябкин — утверждение протокола исследования и финальной версии рукописи; М.Р. Исаев — статистическая обработка материала.

#### Об авторах:

Исаева Елена Петровна, канд. мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0927-0288>

Окороков Павел Леонидович, канд. мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9834-727X>

Столярова Светлана Анатольевна, канд. мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0199-3089>

Зябкин Илья Владимирович, д-р мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9717-5872>

Исаев Максим Ростиславович, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9177-1292>