

<https://doi.org/10.47183/mes.2025-326>

УДК 616.71



ИЗУЧЕНИЕ ГОРМОНАЛЬНОГО СТАТУСА И МЕТАБОЛИЗМА КОСТНОЙ ТКАНИ У НЕСОВЕРШЕННОЛЕТНИХ СПОРТСМЕНОВ С ПЕРВИЧНОЙ АМЕНОРЕЕЙ

Е.П. Исаева^{1,4✉}, П.Л. Окорочков^{1,2}, С.А. Столярова¹, И.В. Зябкин^{1,4}, М.Р. Исаев³¹ Федеральное научно-клиническое учреждение здравоохранения «Федеральный центр детского и подросткового здоровья», Москва, Россия² Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии, Москва, Россия³ Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия⁴ Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна, Москва, Россия

Введение. Переломы, в особенности низкоэнергетические, чаще встречаются у спортсменок с олиго/аменореей по сравнению со сверстницами без нарушений менструального цикла, что связано с различными гормональными изменениями и нарушением процессов ремоделирования костной ткани.

Цель. Оценка состояния метаболизма костной ткани и гормональных показателей в сыворотке крови у высококвалифицированных спортсменок, не достигших 18-летнего возраста, с первичной аменореей и без нарушений менструального цикла.

Материалы и методы. Проведено одномоментное одноцентровое исследование с участием 111 юных спортсменок в возрасте 15–18 лет (средний возраст 15,9 [14,9; 16,6] года), входящих в состав сборных команд РФ по 5 видам спорта и проходивших углубленное медицинское обследование в ФГБУ «ФНКЦ детей и подростков ФМБА России» в период с марта 2021 по июль 2023 г. Спортсменки были разделены на 2 группы в зависимости от наличия первичной аменореи. В группу с первичной аменореей включены 23 спортсменки (средний возраст 15,8 [15,1; 16,3] года); в группу сравнения — 88 спортсменок (средний возраст 15,9 [14,9; 16,6] года) с регулярным менструальным циклом. У спортсменок определяли уровень остеокальцина, С-концевого телопептида (β -CrossLaps), проколлагена 1-го типа (P1NP), паратиреоидного гормона (ПТГ), витамина D (25(OH)D3) и активности щелочной фосфатазы (ЩФ) в сыворотке крови. Для оценки гормонального статуса проведена оценка уровней лютеинизирующего гормона (ЛГ), фолликулостимулирующего гормона (ФСГ), эстрадиола и лептина. Оценка полового развития проведена по классификации Tanner, оценка композиционного состава тела — методом биоимпедансного анализа. Статистическая обработка данных произведена с использованием пакета прикладных программ Statistica v. 10.0 (StatSoft Inc., США).

Результаты. Для спортсменок с первичной аменореей характерны более низкие значения массы тела ($p < 0,0001$) и содержания жировой ткани (%) в организме ($p < 0,0001$) по сравнению со сверстницами без нарушений менструального цикла. Анализ уровней ЛГ ($p = 0,328$) и ФСГ ($p = 0,069$) не выявлял статистически значимых различий в исследуемых группах, однако у девочек с первичной аменореей отмечали более низкие уровни эстрадиола 182,0 [123,0; 227,0] и 244,0 [143,5; 518,5] ($p = 0,002$) и лептина 2,1 [1,2; 4,1] и 9,1 [5,1; 14,9] ($p < 0,0001$) по сравнению со спортсменками без нарушений менструального цикла. У спортсменок с первичной аменореей выявлено повышение как маркеров костеобразования (P1NP, остеокальцин), так и костной резорбции (β -CrossLaps и ЩФ) по сравнению со сверстницами без нарушений менструального цикла.

Выводы. Для несовершеннолетних спортсменок с первичной аменореей характерно дисгармоничное физическое развитие за счет дефицита массы тела, сопровождающееся снижением содержания жировой ткани в организме, снижением уровня лептина и эстрадиола и сохранной функцией гонадостата, а также повышением маркеров метаболизма костной ткани. Выявленные гормональные и метаболические особенности могут являться значимым фактором риска развития нарушений ремоделирования костной ткани у данной группы спортсменок.

Ключевые слова: юные спортсменки; спортивная медицина; первичная аменорея; лептин; гормоны; маркеры костного метаболизма; витамин D

Для цитирования: Исаева Е.П., Окорочков П.Л., Столярова С.А., Зябкин И.В., Исаев М.Р. Маркеры метаболизма костной ткани и показатели гормонального статуса у несовершеннолетних спортсменок с первичной аменореей. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2025. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-326>

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

Статья поступила: 09.06.2025 **После доработки:** 31.07.2025 **Принята к публикации:** 03.09.2025 **Online first:** 16.10.2025

STUDY OF HORMONAL STATUS AND BONE METABOLISM IN UNDERAGE FEMALE ATHLETES WITH PRIMARY AMENORRHEA

Elena P. Isaeva^{1,4}✉, Pavel L. Okorokov^{1,2}, Svetlana A. Stolyarova¹, Ilya V. Zيابкин^{1,4}, Maxim R. Isaev³¹ Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia² Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia³ Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia⁴ Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Introduction. Fractures, particularly low-energy ones, are more common in female athletes with oligo/amenorrhea compared to their peers without menstrual disorders. This problem is associated with various hormonal changes and impaired bone remodeling processes.

Objective. Assessment of bone metabolism and serum hormonal parameters in highly qualified under-18 female athletes both with primary amenorrhea and without menstrual cycle disorders.

Materials and methods. A single-center single-stage study involved 111 young female athletes aged 15–18 years (median age 15.9 [14.9; 16.6] years), who were members of Russian national teams in five sports. All the participants underwent comprehensive medical examination at the Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents of FMBA of Russia between March 2021 and July 2023. The athletes were divided into two groups based on the presence of primary amenorrhea. The group with primary amenorrhea included 23 athletes (median age 15.8 [15.1; 16.3] years); the comparison group consisted of 88 athletes (median age 15.9 [14.9; 16.6] years) with a regular menstrual cycle. Serum levels of osteocalcin, C-terminal telopeptide (β -CrossLaps), type 1 procollagen (P1NP), parathyroid hormone (PTH), vitamin D (25(OH)D3), and alkaline phosphatase (ALP) activity were measured. To assess hormonal status, levels of luteinizing hormone (LH), follicle-stimulating hormone (FSH), estradiol, and leptin were evaluated. Sexual maturity was assessed according to the Tanner rating, and body composition was evaluated using bioelectrical impedance analysis. Statistical data processing was performed using the Statistica v. 10.0 software package (StatSoft Inc., USA).

Results. Athletes with primary amenorrhea were characterized by lower body weight ($p < 0.0001$) and body fat percentage ($p < 0.0001$) compared to their peers without menstrual disorders. The analysis of LH ($p = 0.328$) and FSH ($p = 0.069$) levels did not reveal statistically significant differences between the study groups; however, the adolescent athletes with primary amenorrhea had lower levels of estradiol 182.0 [123.0; 227.0] and 244.0 [143.5; 518.5] ($p = 0.002$) and leptin 2.1 [1.2; 4.1] and 9.1 [5.1; 14.9] ($p < 0.0001$) compared to those without menstrual cycle disorders. The athletes with primary amenorrhea showed an increase in both bone formation markers (P1NP, osteocalcin) and bone resorption markers (β -CrossLaps and ALP) compared to their peers without menstrual disorders.

Conclusions. Minors with primary amenorrhea are characterized by disharmonious physical development due to underweight, accompanied by reduced body fat content, decreased levels of leptin and estradiol, preserved gonadostat function, and increased markers of bone metabolism. The identified hormonal and metabolic features may represent a significant risk for impaired bone remodeling in this group of athletes.

Keywords: young athletes; sports medicine; primary amenorrhea; leptin; hormones; bone metabolism markers; vitamin D

For citation: Isaeva E.P., Okorokov P.L., Stolyarova S.A., Zيابкин I.V., Isaev M.R. Study of hormonal status and bone metabolism in underage female athletes with primary amenorrhea. *Extreme Medicine*. 2025. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-326>

Funding: the study was conducted within the framework of the applied research project “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 (protocol 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

Received: 9 June 2025 **Revised:** 31 July 2025 **Accepted:** 3 Sep. 2025 **Online first:** 16 Oct. 2025

ВВЕДЕНИЕ

Синдром относительного дефицита энергии спортсменов (Relative energy deficiency in sport, RED-s) у подростков женского пола часто связан с развитием функциональной гипоталамической аменореи (ФГА) [1, 2]. Продолжительный дефицит энергии сопровождается снижением импульсной секреции гонадотропин-рилизинг гормона в гипоталамусе с последующим нарушением высвобождения лютеинизирующего (ЛГ) и фолликулостимулирующего (ФСГ) гормонов из гипофиза, что приводит к снижению уровней эстрадиола и развитию нарушений менструального цикла в виде первичной и вторичной аменореи [3]. Дефицит массы тела и в особенности жировой ткани у спортсменок с длительно существующим энергодифицитом сопровождается также снижением уровня лептина — гормона жировой

ткани, являющегося важным регулятором функциональной активности гонадостата [4].

Развитие ФГА ассоциировано со снижением интенсивности набора костной массы, нарушением микроархитектоники костной ткани и является одним из ведущих факторов риска низкоэнергетических переломов у профессиональных спортсменок, особенно не достигших 18-летнего возраста [1, 5, 6].

Работы по изучению маркеров костного метаболизма и их связи с гормональными показателями у несовершеннолетних высококвалифицированных спортсменок с первичной аменореей немногочисленны и противоречивы [5].

Цель исследования — оценка состояния метаболизма костной ткани и гормональных показателей в сыворотке крови у высококвалифицированных спортсменок, не достигших 18-летнего возраста, с первичной аменореей и без нарушений менструального цикла.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено одномоментное одноцентровое исследование, в котором участвовали юные спортсменки сборных команд Российской Федерации, проходившие углубленное медицинское обследование в ФГБУ «ФНКЦ детей и подростков ФМБА России» в период с марта 2021 по июль 2023 г. Всего в исследование было включено 111 юных спортсменок в возрасте 15–18 лет (M , среднего возраста 15,9 [14,9; 16,6] года), представительниц 5 видов спорта (художественная гимнастика, спортивная гимнастика, фигурное катание, софтбол, синхронное плавание), разделенных на две группы в зависимости от наличия первичной аменореи. Первичная аменорея диагностировалась при отсутствии менструаций в 15 лет (при условии развития вторичных половых признаков)¹.

В группу с первичной аменореей были включены 23 спортсменки (средний возраст 15,8 [15,1; 16,3] года); в группу сравнения — 88 спортсменок (средний возраст 15,9 [14,9; 16,6] года) с регулярным менструальным циклом. Исследуемые группы были сопоставимы по возрасту ($p = 0,794$) и стадии полового развития, но статистически значимо различались по основным антропометрическим показателям (табл. 1). Антропометрические измерения несовершеннолетних спортсменок включали в себя: измерение роста, массы тела, расчет индекса массы тела (ИМТ). ИМТ оценивался для конкретного возраста и пола и представлен в виде числа стандартных отклонений от среднего (SDS). Оценка композиционного состава тела осуществлялась методом биоимпедансного анализа (анализатор InBody 570, Южная Корея). Оценка полового развития несовершеннолетних спортсменок проводилась по классификации Tanner.

При оценке полового созревания 21 (92%) спортсменка исследуемой группы и 88 (100%) спортсменок группы сравнения имели завершенное или близкое к завершеному половое развитие. Оценка полового

развития проведена согласно классификации Tanner [7]. Критерии включения участников в исследование: спортсменки сборных команд РФ в возрасте 15–18 лет. Критерии включения в исследуемую группу: наличие первичной аменореи. Критерии включения в группу сравнения: регулярный менструальный цикл, гинекологический возраст >1 года.

Для проведения клинико-лабораторного анализа забор крови осуществляли из периферической вены утром натощак. У всех юных спортсменок определяли уровень остеокальцина (Roche, Швейцария), N-терминального пропептида человеческого проколлагена 1-го типа (P1NP) (Roche, Швейцария), C-концевого телопептида (β -CrossLaps) (Roche, Швейцария), витамина D (25 гидроксикальциферола-25(OH)D3) (Roche, Швейцария) в сыворотке крови (нг/мл); паратиреоидного гормона (ПТГ) (Roche, Швейцария) в сыворотке крови (пмоль/л). Исследование лептина (нг/мл), лютеинизирующего гормона (ЛГ) (МЕ/л), фолликулостимулирующего гормона (ФСГ) (в МЕ/л) и эстрадиола (пмоль/л) произведено методом иммуноферментного анализа (производитель Bender MedSystems, Австрия). Исследование β -Cross laps выполнено методом электрохемилюминесценции на анализаторе Cobas e411 (Roche Diagnostics, Германия). Исследование P1NP, остеокальцина, ПТГ, 25(OH)D3 осуществлялось методом твердофазного иммуноферментного анализа. Исследование активности ЩФ в сыворотке крови (Ед/л) выполнено кинетическим калориметрическим методом.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ Statistica v. 10.0 (StatSoft Inc., США). Так как изучаемые количественные показатели имели ненормальное распределение (согласно критерию Колмогорова – Смирнова), все данные представлены в виде медианы (M) и 1-го и 3-го квартилей [Q_1 ; Q_3]. Для оценки статистической значимости различий количественных признаков применяли критерий

Таблица 1. Клиническая характеристика исследуемых групп

Показатели	Группа с первичной аменореей ($n = 23$)	Группа с регулярным менструальным циклом ($n = 88$)	Уровень статистической значимости, p
Возраст, лет	15,8 [15,1; 16,3]	15,9 [14,9; 6,6]	0,794
Рост, м	1,63 [1,56; 1,67]	1,66 [1,61; 1,71]	0,023
SDS роста	0,15 [-1,17; 0,87]	0,66 [-0,06; 1,5]	0,016
Масса тела, кг	46,8 [40,5; 48,8]	60,6 [54,2; 67,7]	<0,0001
ИМТ	17,4 [16,6; 18,2]	21,8 [19,7; 24,0]	<0,0001
SDS ИМТ	-1,34 [-1,69; -0,88]	0,5 [-0,07; 1,14]	<0,0001
Половое развитие: Таннер II–III Таннер IV–V	2 (8%) 21 (92%)	– (–) 88 (100%)	0,059

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание: n – количество спортсменок; «–» — отсутствие спортсменок со II–III стадиями полового развития по классификации Tanner в данной группе.

¹ Клинические рекомендации «Аменорея и олигоменорея»; 2024. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/644_2?ysclid=mdyiwyzayq766941934

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 (χ^2) Пирсона с поправкой Йейтса. Корреляционный анализ выполнен с использованием критерия Спирмена. Статистический уровень значимости различий принимали при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для спортсменок с первичной аменореей характерны более низкие значения роста ($p = 0,023$), массы тела ($p < 0,0001$), ИМТ ($p < 0,0001$) и SDS ИМТ ($p < 0,0001$) по сравнению со сверстницами без нарушений менструального цикла.

Анализ уровней гонадотропинов (табл. 2) не выявил статистически значимых различий в исследуемых группах ($p = 0,328$ для ЛГ; $p = 0,069$ для ФСГ), однако у девочек с первичной аменореей отмечали более низкие уровни эстрадиола 182,0 [123,0; 227,0] и лептина 2,1 [1,2; 4,1] по сравнению со спортсменками без нарушений менструального цикла: 244,0 [143,5; 518,5] ($p = 0,002$) и 9,1 [5,1; 14,9] ($p < 0,0001$) соответственно.

При проведении корреляционного анализа установлена сильная положительная корреляционная взаимосвязь между уровнем лептина и процентным содержанием жировой ткани в организме ($r_s = 0,74$; $p < 0,05$), уровнем ЛГ ($r_s = 0,16$; $p < 0,05$) и эстрадиола ($r_s = 0,24$; $p < 0,05$).

Оценка параметров метаболизма в костной ткани продемонстрировала, что у спортсменок с первичной аменореей выявлено повышение как маркеров костеобразования P1NP в 2,5 раза и остеокальцина практически в 2 раза, так и показателей костной резорбции β -CrossLaps и ЩФ по сравнению

со сверстницами без нарушений менструального цикла; соответствующие данные представлены в таблице 2. По уровню ПТГ исследуемые группы статистически значимо не различались ($p = 0,242$). Однако при оценке обеспеченности витамином D у спортсменок с регулярным менструальным циклом зафиксирован более низкий уровень 25(ОН)D3 по сравнению с группой первичной аменореи ($p = 0,001$).

При оценке композиционного состава тела у несовершеннолетних спортсменок с первичной аменореей обнаружено статистически значимое снижение содержания жировой ткани в организме (%) по сравнению с группой спортсменок с регулярным менструальным циклом: 10,8 [9,3; 12,8] и 20,5 [16,1; 24,4] ($p < 0,0001$).

При проведении корреляционного анализа установлена отрицательная взаимосвязь умеренной степени выраженности между уровнем лептина и остеокальцина ($r_s = -0,33$), P1NP ($r_s = -0,39$), β -CrossLaps ($r_s = -0,45$) и ЩФ ($r_s = -0,43$). При этом маркеры метаболизма костной ткани у несовершеннолетних спортсменок не зависели от уровней эстрадиола и гонадотропинов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что переломы, в особенности низкоэнергетические, чаще встречаются у спортсменок с олиго/аменореей по сравнению со сверстницами без нарушений менструального цикла и обычным уровнем физической активности [8]. В настоящее время наличие первичной аменореи рассматривается советом экспертов Международного олимпийского комитета в качестве важного фактора риска, применяемого для стратификации рисков развития синдрома RED-s, в том числе у несовершеннолетних спортсменок [1].

Таблица 2. Гормональные показатели и маркеры метаболизма костной ткани у несовершеннолетних высококвалифицированных спортсменок в зависимости от наличия первичной аменореи

Исследуемые показатели	Группа с первичной аменореей (n = 23)	Группа с регулярным менструальным циклом (n = 88)	Уровень статистической значимости, p
Остеокальцин, нг/мл	92,2 [60,0; 110,0]	49,0 [37,0; 65,0]	<0,0001
P1NP, нг/мл	505,3 [406,8; 750,8]	200,7 [136,0; 244,9]	<0,0001
ЩФ, Ед/л	200,2 [161,7; 285,1]	92,7 [75,3; 127,3]	<0,0001
β -CrossLaps, нг/мл	1,78 [1,39; 2,11]	1,27 [0,98; 1,51]	0,0001
ПТГ, пмоль/л	4,6 [2,7; 5,4]	5,0 [3,6; 6,6]	0,242
25(ОН)D3, нг/мл	23,5 [13,3; 32,8]	14,3 [11,1; 19,8]	0,001
ЛГ, МЕ/л	2,8 [2,3; 4,1]	3,4 [2,0; 5,8]	0,328
ФСГ, МЕ/л	5,4 [4,6; 6,5]	4,8 [3,5; 6,1]	0,069
Эстрадиол, пмоль/л	182,0 [123,0; 227,0]	244,0 [143,5; 518,5]	0,002
Лептин, нг/мл	2,1 [1,2; 4,1]	9,1 [5,1; 14,9]	<0,0001

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание: n = количество спортсменок.

Одним из эффективных диагностических инструментов для оценки функционального состояния костной системы в клинической практике является исследование маркеров костного метаболизма [9]. В нашей работе продемонстрировано, что у несовершеннолетних спортсменок с первичной аменореей уровни основных маркеров костного метаболизма оказались повышенными по сравнению со спортсменками без нарушений менструального цикла. Известно, что эстрогены способствуют ингибированию процессов костной резорбции [10], а их дефицит, выявленный у спортсменок с первичной аменореей, приводит к повышению маркеров костной резорбции. В то же время полученные нами результаты не согласуются с данными K. Christo и соавт., которые выявили снижение уровней N-терминального телопептида (NTX) и P1NP у спортсменок с аменореей и низкой минеральной плотностью костной ткани (МПКТ), объяснив это «замедлением» метаболизма в костной ткани на фоне хронического дефицита энергии у спортсменок [5].

Некоторыми авторами показано, что наличие нарушений менструального цикла у юных спортсменок сопровождается снижением МПКТ, определяемым при проведении рентгеновской денситометрии [5]. Снижение минерализации костной ткани у высококвалифицированных юных спортсменок происходит, несмотря на наличие силовых и интенсивных физических нагрузок, которые оказывают протективный эффект на костную ткань [11].

В нашей работе продемонстрировано, что у спортсменок с первичной аменореей выявлено более низкое значение SDS IMT, которое, по данным литературы, является предиктором снижения МПКТ [12]. В группе спортсменок с первичной аменореей преобладали представительницы художественной гимнастики и фигурного катания. В данных видах спорта одним из ключевых факторов достижения успеха является низкая масса тела, ради которой спортсменкам часто приходится прибегать к гипокалорийным несбалансированным диетам, что является одной из причин развития ФГА в рамках RED-s и объясняет наличие первичной аменореи [13]. Так, при обследовании спортсменок 11–17 лет, занимающихся художественной гимнастикой, было выявлено дисгармоничное физическое развитие за счет дефицита массы тела, сопровождающееся уменьшением количества жировой ткани в организме и высокой распространенностью первичной аменореи (38%) [14].

Таким образом, именно SDS IMT и дефицит эстрогенов являются ведущими независимыми факторами, способствующими нарушению минерализации и микроархитектоники костной ткани у спортсменок с ФГА. Дефицит массы тела у спортсменок связан с уменьшением количества жировой ткани и циркулирующего в крови лептина. В норме лептин, воздействуя на секреторную активность гонадотрофов, повышает импульсную секрецию ЛГ и в меньшей степени ФСГ [15]. В настоящее время лептин рассматривается в качестве важнейшего эндогенного регулятора и модулятора функций репродуктивной системы, дисфункция которой является ведущим звеном нарушений

ремоделирования костной ткани и снижения МПКТ у спортсменок с RED-s синдромом [1, 17].

Помимо дефицита веса, у спортсменок с нарушениями менструального цикла зафиксированы более низкие показатели роста и SDS роста, что может быть обусловлено снижением секреции инсулиноподобного фактора роста-1 и развитием парциальной резистентности к гормону роста [1, 2].

Важным ограничением данного исследования является то, что большинство спортсменок в обеих исследуемых группах имели дефицит или недостаточность витамина D, что могло повлиять на уровни изучаемых маркеров метаболизма костной ткани. В рамках работы не оценивалось влияние вида спорта на уровни исследуемых маркеров метаболизма костной ткани в связи с небольшим объемом выборки спортсменок с первичной аменореей. Кроме того, несовершеннолетним спортсменкам не проводилось исследование биологического (костного) возраста методом рентгенографии кистей рук. Известно, что именно костный возраст является независимым предиктором уровня маркеров ремоделирования костной ткани, для которых характерно физиологическое повышение на фоне активного роста в период полового созревания [17–19]. Чем больше значения костного созревания, тем меньше ростовой потенциал ребенка и тем ниже уровни маркеров ремоделирования костной ткани.

Дальнейшее изучение особенностей гормонального статуса и маркеров ремоделирования костной ткани и их влияние на МПКТ может иметь большое практическое значение для разработки индивидуального подхода к диагностике нарушений ремодуляции костной ткани и стратификации рисков низкоэнергетических переломов у несовершеннолетних спортсменок с ФГА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие первичной аменореи у несовершеннолетних высококвалифицированных спортсменок с ФГА сопровождается снижением уровней эстрогенов, но не связано с нарушением функции гонадостата. Дефицит массы тела, выявленный у спортсменок с первичной аменореей, обусловлен дефицитом жировой ткани в организме и сопровождается снижением уровня лептина в крови, что может вносить вклад в прогрессирование нарушений репродуктивной системы.

Повышение маркеров метаболизма костной ткани у спортсменок с ФГА может свидетельствовать о нарушениях процессов ремоделирования костной ткани или же является отражением процессов продолжающегося роста и развития подростка. Учитывая данные о негативном влиянии дефицита эстрогенов на МПКТ, несовершеннолетние спортсменки с дефицитом массы тела и ФГА составляют группу риска по развитию низкоэнергетических переломов.

Уточнение влияния повышенных уровней метаболитов костной ткани у спортсменок с аменореей на минеральную плотность и структуру костной ткани, а также риск повышенного травматизма требует проведения дальнейших исследований.

Литература / References

- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- Christo K, Prabhakaran R, Lamparello B, Cord J, Miller KK, Goldstein MA, et al. Bone metabolism in adolescent athletes with amenorrhea, athletes with eumenorrhea, and control subjects. *Pediatrics*. 2008;121(6):1127–36. <https://doi.org/10.1542/peds.2007-2392>
- Kaga M, Takahashi K, Ishihara T, Suzuki H, Tanaka H, Seino Y, et al. Bone assessment of female long-distance runners. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*. 2004;22(5):509–13. <https://doi.org/10.1007/s00774-004-0515-1>
- 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. <https://doi.org/10.1136/adc.51.3.170>
- Ackerman KE, Cano Sokoloff N, de Nardo Maffazioli G, Clarke HM, Lee H, Misra M. Fractures in relation to menstrual status and bone parameters in young athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2015;47(8):1577–86. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000574>
- 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>
- Riggs BL, Khosla S, Melton LJ. Sex steroids and the construction and conservation of the adult skeleton. *Endocrine Reviews*. 2002;23(3):279–302. <https://doi.org/10.1210/edrv.23.3.0465>
- Duncan CS, Blimkie CJ, Cowell CT, Burke ST, Briody JN, Howman-Giles R. Bone mineral density in adolescent female athletes: relationship to exercise type and muscle strength. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2002;34(2):286–94. <https://doi.org/10.1097/00005768-200202000-00017>
- Markou KB, Mylonas P, Theodoropoulou A, Kontogiannis A, Leglise M, Vagenakis A, et al. The influence of intensive physical exercise on bone acquisition in adolescent elite female and male artistic gymnasts. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2004;89(9):4383–7. <https://doi.org/10.1210/jc.2003-031865>
- Безуглов ЭН, Лазарев АМ, Хайтин ВЮ, Барскова ЕМ, Колода ЮА. Влияние занятий профессиональным спортом на менструальную функцию. *Проблемы Репродукции*. 2020;26(4):37–47. Bezuglov EN, Lazarev AM, Khaitin VYu, Barskova EM, Koloda YuA. The impact of professional sports on menstrual function. *Russian Journal of Human Reproduction*. 2020;26(4):37–47 (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/repro20202604137>
- Евдокимова НВ, Бодрова МВ, Соловьева АС, Салкова ПД, Москвина АР. Особенности физического развития, менструальной функции и композиционного состава тела у детей, занимающихся профессиональным спортом (художественная гимнастика). *Медицина: Теория и Практика*. 2024;9(2):32–9. Evdokimova NV, Bodrova MV, Solovyova AS, Salikova PD, Moskvina AR. Features of physical development, menstrual function and body composition in children engaged in professional sports (rhythmic gymnastics). *Medicine: Theory and Practice*. 2024;9(2):32–9 (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/MTP.2024.58.20.004>
- Odle AK, Akhter N, Syed MM, Allensworth-James ML, Beneš H, Melgar Castillo AI, et al. Leptin regulation of gonadotropin-releasing hormone receptors as a metabolic checkpoint and gateway to reproductive competence. *Frontiers in Endocrinology*. 2018;8:367. <https://doi.org/10.3389/fendo.2017.00367>
- Mathew H, Castracane VD, Mantzoros C. Adipose tissue and reproductive health. *Metabolism: Clinical and Experimental*. 2018;86:18–32. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.11.006>
- Chubb SAP, Vasikaran SD, Gillett MJ. Reference intervals for plasma β -CTX and P1NP in children: A systematic review and pooled estimates. *Clinical Biochemistry*. 2023;118:110582. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2023.05.001>
- Bayer M. Reference values of osteocalcin and procollagen type I N-propeptide plasma levels in a healthy Central European population aged 0–18 years. *Osteoporosis International*. 2014;25(2):729–36. <https://doi.org/10.1007/s00198-013-2485-4>
- Crofton PM, Evans N, Taylor MR, Holland CV. Serum CrossLaps: pediatric reference intervals from birth to 19 years of age. *Clinical Chemistry*. 2002;48(4):671–3.

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. Окорочков — сбор материала, критическая интерпретация результатов, редактирование рукописи; С.А. Столярова — создание графических материалов, курация спортсменов на этапе 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
<https://orcid.org/0000-0003-0927-0288>
dora7474@mail.ru

Окорочков Павел Леонидович, канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0001-9834-727X>
pokorokov@gmail.com

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

Зябкин Илья Владимирович, д-р мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-9717-5872>
dr.zyabkin@gmail.com

Исаев Максим Ростиславович
<https://orcid.org/0009-0009-9177-1292>
maxim_isaev2903@mail.ru