

УДК [615.828+61:796/799]:611.018.4
<https://doi.org/10.32885/2220-0975-2024-1-106-117>

© К. И. Никитина, И. Т. Выходец,
Т. Ф. Абрамова, Т. М. Никитина, 2024

Влияние профессиональной спортивной деятельности на минеральную плотность кости (обзор литературы)

К. И. Никитина¹, И. Т. Выходец², Т. Ф. Абрамова³, Т. М. Никитина^{3,*}

¹ Маммологический центр (клиника женского здоровья)
Московского клинического научного центра им. А. С. Логинова
111123, Москва, шоссе Энтузиастов, д. 86

² Российский национальный исследовательский медицинский
университет им. Н. И. Пирогова
117997, Москва, ул. Островитянова, д. 1

³ Федеральный научный центр физической культуры и спорта
105005, Москва, Елизаветинский пер., д. 10, стр. 1

Введение. Положительное действие физической активности на состояние кости доказано многими исследователями. Профессиональная спортивная деятельность является моделью постоянного воздействия физической нагрузки на организм, выступая мощнейшим механизмом активации и мобилизации функциональных резервов спортсмена. Это на фоне прогрессивного увеличения объема, интенсивности и длительности воздействия проявляется увеличением случаев травматизма и стрессовых переломов, одной из ведущих причин которых является снижение минеральной плотности кости (МПК) вплоть до развития остеопороза.

Цель исследования — анализ современных научных публикаций, посвященных влиянию профессиональной спортивной деятельности на состояние МПК.

Материалы и методы. Обзор сделан на основе публикаций баз данных PubMed, Google Scholar, Cyberleninka, eLIBRARY. Предпочтение отдавали статьям, опубликованным в реферируемых источниках за последние 10 лет.

Результаты. Специфика основного соревновательного упражнения определяет асимметрию в распределении МПК у спортсменов, кроме того, уровень МПК выше в ведущей конечности по сравнению с противоположной. Повышение квалификации, стажа и возраста спортсмена показывает положительное влияние на показатели МПК, за исключением определенных специализаций. Отмечено различное влияние видов спорта на состояние МПК с высоким остеогенным эффектом ударной и весовой нагрузки по сравнению с общей популяцией. Спортсмены единоборств, силовых и игровых видов спорта отличаются более высоким уровнем МПК по сравнению с представителями велоспорта, плавания, гребли, триатлона и бега на длинные дистанции, характеризующихся ограничением гравитационной нагрузки или большим объемом

*** Для корреспонденции:**

Татьяна Михайловна Никитина

Адрес: 105005 Москва, Елизаветинский пер.,
д. 10, стр. 1, Федеральный научный центр
физической культуры и спорта
E-mail: nikitina.t.m@vniifk.ru

*** For correspondence:**

Tatyana M. Nikitina

Address: Federal Scientific Center of Physical
Culture and Sports, bld. 10/1 Elizavetinskiy lane,
Moscow, Russia 105005
E-mail: nikitina.t.m@vniifk.ru

Для цитирования: Никитина К. И., Выходец И. Т., Абрамова Т. Ф., Никитина Т. М. Влияние профессиональной спортивной деятельности на минеральную плотность кости (обзор литературы). Российский остеопатический журнал. 2024; 1: 106–117. <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2024-1-106-117>

For citation: Nikitina K. I., Vykhodets I. T., Abramova T. F., Nikitina T. M. Influence of professional sports activities on bone mineral density (literature review). Russian Osteopathic Journal. 2024; 1: 106–117. <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2024-1-106-117>

тренировочного воздействия низкой интенсивности. Сниженные показатели МПК отмечены у спортсменов спортивных специализаций с весовыми категориями, эстетических и циклических видов спорта, где актуальна проблема относительного дефицита энергии, что отражается негативно на костном метаболизме.

Заключение. У спортсменов объем и интенсивность тренировочных нагрузок, стереотип выполнения основного соревновательного упражнения, суточный баланс поступления энергии оказывают прямое влияние на формирование МПК с выделением групп риска по патологии опорно-двигательного аппарата в спорте высших достижений.

Ключевые слова: спортивная медицина, спортсмены, минеральная плотность кости, спорт, остеопороз, гравитационная нагрузка, относительный дефицит энергии в спорте

Источник финансирования. Исследование не финансировалось каким-либо источником.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Статья поступила: 24.08.2023

Статья принята в печать: 29.09.2023

Статья опубликована: 31.03.2024

UDC [615.828+61:796/799]:611.018.4
<https://doi.org/10.32885/2220-0975-2024-1-106-117>

© Ksenia I. Nikitina, Igor T. Vykhodets,
 Tatyana F. Abramova, Tatyana M. Nikitina, 2024

Influence of professional sports activities on bone mineral density (*literature review*)

Ksenia I. Nikitina¹, Igor T. Vykhodets², Tatyana F. Abramova³, Tatyana M. Nikitina^{3,*}

¹ Mammological Center (Women's Health Clinic)
 Moscow Clinical Scientific Center named after A. S. Loginova
 bld. 86 Entuziastov road, Moscow, Russia 111123

² Pirogov Russian National Research Medical University
 bld. 1 ul. Ostrovityanova, Moscow, Russia 117997

³ Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports
 bld. 10/1 Elizavetinskiy lane, Moscow, Russia 105005

Introduction. The positive effect of physical activity on the state of bone has been proven by many researchers. Professional sports activity is a model of the constant impact of physical activity on the human body, acting as the most powerful mechanism for activating and mobilizing the functional reserves of an athlete, which, against the background of a progressive increase in the volume, intensity and duration of exposure, shows an increase in the incidence of injuries and stress fractures, one of the leading causes of which is a decrease in bone mineral density (BMD) up to the development of osteoporosis. The risk factors for the development of the pathology of the musculoskeletal system, which have a direct impact on the formation of the BMD, in elite sports include the volume and intensity of training loads, the stereotype of the main competitive exercise, the daily balance of energy intake.

The aim is to study is to analyze modern scientific publications on the impact of professional sports activities on bone mineral density.

Materials and methods. The review is based on publications from the PubMed, Google Scholar, Cyberleninka, eLIBRARY databases. Preference was given to articles published in refereed sources over the past 10 years.

Results. The specificity of the main competitive exercise determines the presence of asymmetry in the distribution of the BMD in athletes, in addition, the level of BMD is higher in the leading limb compared to the opposite. Increasing the qualifications, experience and age of an athlete shows a positive impact on the performance of the BMD, with the exception of certain specializations. A different effect of sports with a high osteogenic effect of

shock and weight load on the state of the BMD was noted compared to the general population. Power athletes, combat and game sports athletes have higher levels BMD compared to representatives of cycling, swimming, rowing, triathlon and long-distance running, characterized by the limitation of gravitational (shock) load or a large amount of low-intensity training exposure. Lower BMD were noted in athletes in sports specializations with weight categories, aesthetic and cyclic sports, where the problem of a relative energy deficiency in sport, which negatively affects bone metabolism.

Conclusions. In athletes, the volume and intensity of training loads, the stereotype of performing the main competitive exercise, the daily balance of energy intake have a direct impact on the formation of the BMD with the allocation of risk groups for the pathology of the musculoskeletal system in elite sports.

Key words: sports medicine, athletes, bone mineral density, sport, osteoporosis, gravitational load, relative energy deficiency in sport

Funding. The study was not funded by any source.

Conflict of interest. The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

The article was received 24.08.2023

The article was accepted for publication 29.09.2023

The article was published 31.03.2024

Введение

Физическая нагрузка выступает важнейшей детерминантой костной массы [1], положительное влияние которой на состояние кости доказано многими исследованиями [1, 2]. Отсутствие регулярной физической активности может повлечь за собой потерю массы костной ткани и является фактором риска развития остеопороза и переломов [3].

Высокие тренировочные и соревновательные нагрузки спорта высших достижений, направленные на достижение максимального спортивного результата, активируют и мобилизуют функциональные и адаптационные резервы организма, значительно изменяя активность желез внутренней секреции, затрагивая в том числе костный метаболизм [4–7]. Это сопровождается повышением числа травм опорно-двигательного аппарата у спортсменов [8, 9], степень тяжести которых возрастает прямо пропорционально спортивной квалификации [10]. Спортивная травма составляет около 3% от всех видов травматизма в общей популяции [11] и 66,8% от всех заболеваний опорно-двигательного аппарата у спортсменов [12], где на долю стрессовых переломов, по данным зарубежной литературы, приходится 0,7–20% [13]. К одной из основных причин спортивных травм относятся остеопоротические изменения у профессиональных спортсменов [14, 15]. Снижение минеральной плотности кости (МПК) вплоть до остеопороза, метаболического заболевания скелета со снижением МПК в единице объема и нарушением её микроархитектоники с увеличением риска возникновения переломов при минимальной травме, можно отнести к основным проблемам общей и спортивной медицины [3, 14, 16, 17].

В спортивной субпопуляции отмечено влияние специфики основного соревновательного упражнения на распределение МПК в частях скелета, подвергающихся регулярной физической нагрузке, с выделением видов спорта, имеющих больший риск снижения МПК вплоть до развития остеопороза.

Специфика основного соревновательного упражнения определяет наличие асимметрии в распределении МПК у спортсменов обоего пола [1, 10, 16, 18–20]. В игровых видах спорта (волейбол) максимальные значения МПК ($p < 0,05$), зафиксированные с помощью двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (DXA) на аппарате «Lunar 100», характерны для костей нижних конечностей, тазовых костей и позвоночника, в силовых видах спорта (силовое трое-

борье) — для верхних конечностей, тазовых костей и позвоночника [19]. У спортивных гимнасток более высокие показатели костной массы отмечены для нижних конечностей по сравнению с верхними [10]. Выявлено повышение МПК у представителей различных спортивных специализаций обоего пола в ведущей руке (или ноге) по сравнению с противоположной конечностью [16, 18, 20, 21]. У представителей прыжков с шестом масса костной ткани в области II плюсневой кости выше в толчковой ноге по сравнению с маховой [20]. У фигуристов в одиночном и парном катании отмечена также асимметрия в распределении МПК между нижними конечностями: костная масса выше в ноге, на которую приземляется фигурист после прыжка, чем в толчковой [21].

Возрастной фактор для представителей многих видов спорта обоего пола по данным количественной ультразвуковой денситометрии на аппарате «Achilles Express» («Lunar», USA) оказывает положительное влияние на показатели минеральной плотности пяточной кости (МППК) на этапах возрастания, достижения и стабилизации пиковой костной массы с элиминацией категории «остеопения» по мере увеличения возраста спортсмена. Вместе с тем, в некоторых видах спорта отмечен существенный вклад видовой специфики спортивной деятельности, интенсивности тренировочного воздействия и выраженности вертикальной нагрузки на стопы, нивелирующих положительное действие возрастного фактора. Данная ситуация характерна для видов спорта с ограничением гравитационной нагрузки на стопы: гребля на каноэ и байдарке, велоспорт для мужчин, академическая гребля для женщин, плавание для спортсменов обоего пола. Такое же явление наблюдают в некоторых видах спорта с приоритетом гравитационной нагрузки на стопы: для мужчин — лыжное двоеборье, для женщин — баскетбол. У мужчин в академической гребле по мере увеличения возраста на фоне повышения средних значений МППК сохраняется значительное количество спортсменов со сниженным уровнем костной массы вплоть до категории «остеопения», что позволяет отнести представителей обоего пола данного вида спорта к группе риска по развитию остеопороза [16, 22].

В целом у спортсменов обоего пола, с большей выраженностью у мужчин, повышение спортивной квалификации и стажа, которые можно считать производными возраста и длительности профессиональной спортивной деятельности, чаще положительно влияет на показатели МПК [16, 22, 23]. Однако для некоторых видов спорта отмечено нивелирование данного положительного эффекта на МППК в связи с особенностями видовой специфики, отраженной в отсутствии действия гравитационного фактора на стопы при выполнении основного соревновательного упражнения. У мужчин данное явление наблюдают в гребле на байдарках, у женщин — в велоспорте и плавании. Для мужчин выявлены виды спорта с различным уровнем интенсивности воздействия гравитационной нагрузки на периферическое звено скелета, где снижение МППК происходит только после достижения определенного уровня квалификации — лыжное двоеборье, плавание, велоспорт.

Отдельно следует выделить негативное влияние на показатели МППК высокой интенсивности напряженной мышечной деятельности в случае резкого роста квалификации спортсмена или у спортсменов равного стажа, но с различным уровнем квалификации. Так, в легкой атлетике у мужчин и в биатлоне у женщин, несмотря на приоритетное положительное действие гравитационного фактора на костную ткань, наблюдается, по всей видимости, негативное влияние на состояние костной массы спортивной деятельности чрезмерной интенсивности и особенностей тренировочной специализированной подготовки [16, 22]. Изучение представителей пляжного гандбола различных возрастных групп (юниоры $16,7 \pm 0,46$ года и старшая группа $25,0 \pm 5,19$ года, $p < 0,001$) не выявило достоверных различий в МППК по данным количественной ультразвуковой денситометрии (Achilles EXP II, GE Healthcare, Chicago, IL, USA), за исключением параметров SOS (speed of sound при ультразвуковом исследовании), имеющих более низкие значения у вратарей по сравнению с крайними полузащитниками ($p < 0,05$) [24].

Оценка изменений МПК на фоне физической нагрузки у спортсменов показала неоднозначность динамики костной массы с учетом возраста и спортивной специализации с большей положительной динамикой МПК для спортсменов в возрасте, не соответствующем пиковым значениям массы костной ткани, 90% которой достигается к 20-летнему возрасту с завершением формирования к 30 годам [17]. Изучение динамики показателей МППК на этапах трехгодичного предолимпийского цикла подготовки выявило неоднозначность влияния напряженной мышечной деятельности на костную массу спортсменов с учетом их возраста. У взрослых высококвалифицированных спортсменов в велосипедном спорте максимальные по мощности и объему специализированные нагрузки обуславливали выраженную отрицательную динамику МППК на этапах олимпийского цикла подготовки, особенно проявляющуюся в подготовительном периоде. У представителей велоспорта в возрасте до 20 лет, не достигших пиковых значений костной массы, тренировочные нагрузки юниорского плана подготовки, напротив, способствовали увеличению МППК на всем периоде трехгодичного цикла предолимпийской подготовки [16, 22]. Для представителей академической гребли отмечена положительная динамика МППК независимо от возраста [22]. Схожая динамика костной массы отмечена у представителей триатлона и трека по данным DXA. Тренировки в течение года у женщин-спринтеров (трек) позднего подросткового возраста приводили к повышению МПК [25]. Уровень МПК также возрастал у мужчин — представителей триатлона 18–20-летнего возраста после сезона тренировок (32 нед) по сравнению с предсоревновательным периодом [26]. Снижение показателей МПК по данным DXA до значений «остеопения» у спортсменов-любителей ($22,7 \pm 4,1$ года) спустя 8 мес после 9 нед тренировок выявлено только у лиц с генетическим полиморфизмом генов, кодирующих костные белки (гены рецепторов *VDR*, *CALCR*, *Co/1a1*) [27, 28].

Отмечено различное влияние на состояние МПК спортивной специализации по сравнению с общей популяцией. У профессиональных футболистов-мужчин и спортсменов обоего пола, занимающихся спортивной гимнастикой, данные виды физической нагрузки оказывают положительное действие на уровень МПК по сравнению с лицами, не занимающимися спортом на систематической основе [10, 21, 29, 30–32]. При этом футболисты дополнительно характеризовались более высокими показателями витамина *D* по сравнению с контрольной группой [32]. У представителей спортивной гимнастики показатели МППК, исследованные на аппарате «Achilles+», превышали среднестатистические нормы для девушек схожего возраста из общей популяции [10]. У гимнасток-студенток выявлено повышение МПК во время 8- и 12-месячного исследований по сравнению со спортсменами, соревнующимися в беге и плавании, и контрольной группой, ведущей сидячий образ жизни [33]. В лыжных видах спорта показатели МПК по данным DXA во всех отделах скелета не различались по сравнению с лицами, не занимающимися спортом профессионально [19]. Для марафонцев характерны более низкие показатели МПК по сравнению с общей популяцией [34], как и у профессиональных велосипедистов, вплоть до развития остеопороза, по сравнению с любителями [35].

Несколько исследований показали, что упражнения с весовой нагрузкой (дзюдо, пауэрлифтинг) и спорт с ударными нагрузками (футбол, волейбол, командный гандбол, теннис) связаны с более высоким уровнем МПК по сравнению с неактивной контрольной группой [36]. У представителей плавания женского пола МПК, по данным DXA, выше в поясничном отделе позвоночника и проксимальном отделе бедренной кости, чем у лиц контрольной группы ($p < 0,001$) [37]. У спортсменов, занимающихся прыжками с шестом, костная масса в области II плюсневой кости и пяточной кости выше по сравнению с подростками той же возрастной группы, не занимающихся спортом регулярно [20]. Можно заключить, что в видах спорта с высокой вертикальной опорной ударной и механической нагрузкой МПК выше предположительно на 5–30%, чем у лиц соответствующего возраста, не занимающихся спортом на регулярной основе, тогда как у спортсменов, занимающихся видами спорта с низкой вертикальной опорной ударной нагрузкой, такие как плавание и езда на велосипеде, уровень МПК не превышает нормальные значения [38].

Особенности двигательного стереотипа и степень интенсивности физической нагрузки являются специфическими факторами в спортивной субпопуляции с выделением групп риска по развитию патологии кости [16, 22, 33, 35, 36, 39–43]. Представители плавания, велоспорта, гребли отличаются наименьшими и сниженными значениями МПК по сравнению с представителями других видов спорта [16, 22]. У спортсменов веложоссе МПК ниже, чем у спортсменов-мужчин, специализирующихся в беге на длинные дистанции [44], с встречаемостью остеопении в позвоночном отделе скелета в 7 раз чаще у мужчин-велосипедистов по сравнению с представителями бега [39]. Следует отметить, что распространённость остеопении в велоспорте не ассоциирована с полом спортсмена [41]. Для мужчин, представителей плавания и велоспорта, отмечены более близкие и сниженные значения МПК по сравнению с футболистами [40] со схожей тенденцией для женщин-пловцов по сравнению с представителями волейбола и баскетбола [42]. Каноисты характеризуются более высоким уровнем МПК, чем велосипедисты [36]. У гимнасток вне зависимости от регулярности менструального цикла МПК выше, чем у бегунов по пересеченной местности [45]. Для спортсменов-мужчин, занимающихся регби, футболом и боевыми искусствами, отмечены более высокие значения МПК по сравнению с другими спортсменами. Однако для пловцов, представителей гребли и бодибилдеров характерны более низкие значения МПК по сравнению с другими видами спорта [33]. У женщин-спортсменок представителей бега на длинные дистанции, баскетбола и волейбола показатели МПК по данным DXA выше в поясничном отделе позвоночника и проксимальном отделе бедренной кости по сравнению со спортсменами, занимающимися плаванием ($p < 0,05$) [37]. У бегунов, велосипедистов, представителей триатлона и лиц, не занимающихся спортом регулярно, показатели МПК ниже по сравнению со спортсменами единоборств, силовых и игровых видов спорта, что характерно для лиц обоего пола. Данная особенность МПК взаимосвязана с различным остеогенным эффектом режимов тренировки: более положительное влияние на показатели массы кости оказывают короткие и высокоинтенсивные нагрузки, чем тренировки большого объемом, но низкой интенсивности [36].

Риск переломов, ассоциированных с остеопоротическими изменениями, у ветеранов спорта взаимосвязан со спортивной специализацией и ниже у спортсменов, ранее занимавшихся единоборствами или тяжелой атлетикой, чем циклическими и скоростно-силовыми видами спорта [46]. В детском возрасте занятия футболом положительно влияют на показатели МПК по сравнению с малоподвижным образом жизни и другими видами спорта, такими как теннис, тяжелая атлетика или плавание [47].

Многими исследованиями показано, что ударная и прыжковая нагрузка положительно влияет на МПК [17, 33, 45, 48], поэтому плавание можно отнести к видам спорта, не стимулирующим повышение костной массы из-за ограничения действия гравитационного фактора [43], однако добавление ударных нагрузок нивелирует данный эффект. Введение в программу подготовки женщинам-олимпийцам по синхронному плаванию дополнительных тренировок в течение 20 мин 2 раза в неделю на протяжении 22 нед, содержащих прыжки со скакалкой и упражнения на вибрацию всего тела, способствовало повышению МПК в поясничном отделе позвоночника (2,10 %, $p = 0,002$), бедренной кости (2,07 %, $p = 0,001$) и шейке бедра (2,39 %, $p = 0,02$) [48]. Положительное влияние именно прыжковой нагрузки на костный метаболизм выявлено и у физически активных женщин [49]. В спортивных специализациях, где есть высокие ударные нагрузки и разнонаправленные движения, например регби, футбол, волейбол, хоккей и спортивные единоборства, МПК выше, чем в беге на длинные дистанции, веложоссе и плавании [17]. Однако контроль и при необходимости изменение биомеханической модели в беге на длинные дистанции с повышением коэффициента вертикальной нагрузки — учитывая, что четкий удар передней частью стопы наряду с выраженным ударом задней частью стопы обеспечивает относительно низкую пиковую нагрузку, — положительно влияют на МПК у марафонцев. Таким образом, в условиях бега на ровной поверхности выраженный и мягкий задний толчок может быть потенциальной двигательной стра-

тегией, направленной на улучшение состояния МПК, в условиях относительно низкой силы вертикальной нагрузки [50].

Особое внимание следует уделить риску развития низкой МПК у спортсменок, увеличивающей вероятность остеопороза, который часто ассоциируется с отсутствием или подавлением менструального цикла в молодом возрасте. Это приводит к низкой пиковой массе кости и, наряду с высокими спортивными нагрузками, повышает риск возникновения стрессовых переломов [15, 51]. Снижение МПК является составляющей частью триады спортсменок — взаимосвязанного многофакторного синдрома, введенного в литературу с 1977 г. Триада спортсменок (The female athlete triad, FAT), включающая дополнительно низкое поступление энергии и нарушение менструального цикла, относится к серьезной проблеме спортивной медицины [52]. Вся триада встречается у 1,2–4,3 % спортсменок в зависимости от объема включённых в исследование видов спорта [51].

Клинические проявления триады включают расстройства пищевого поведения, аменорею и остеопороз [52]. Распространенность аменореи максимальна у бегуний на длинные дистанции (60–65 %) [51]. Частота аменореи у представительниц бега возрастает с 3 до 60 % с увеличением продолжительности дистанции с <13 до >113 км, что сопровождается снижением массы тела с >60 кг до <50 кг [53]. По данным рандомизированного контролируемого исследования REFUEL, у спортсменок с олигоменореей и аменореей повышение суточной энергетической ценности питания примерно на 352 ккал/сут в течение 12 мес оказалось достаточным для увеличения частоты менструации, но не для увеличения показателей МПК, что требует дальнейших исследований для уточнения диетических рекомендаций, направленных на повышение костной массы [54].

По данным систематических обзоров, снижение МПК у спортсменок до остеопении (T -критерий от -1 до $-2,5$) встречается у 22–50 %, до остеопороза (T -критерий $<-2,5$) — у 0–13 % по сравнению с 12 и 2,3 % соответственно в общей популяции [51]. На данный момент Американский колледж спортивной медицины (the American College of Sports Medicine, ACSM) и Международный олимпийский комитет предлагают оценивать состояние костной ткани у спортсменов по Z -критерию (отклонение от возрастной нормы) и считают нормальными показатели МПК по данным Z -критерия ≥ -1 , в отличие от ≥ -2 в общей популяции. У спортсменов рекомендовано дальнейшее наблюдение и клиническое обследование на вторичные факторы риска при значениях Z -критерия <-1 [38]. Также ведется дискуссия об изменении диапазона референсных значений МПК по Z -критерию у спортсменов в сторону повышения [55].

Частота стрессовых переломов у спортсменок с аменореей выше в 2–4 раза, чем у спортсменок без нарушения менструального цикла [51]. Однако у спортсменок 15–30 лет с дефицитом поступления энергии и уровнем Z -критерия по данным DXA <-1 высокий риск стрессовых переломов не связан с нарушениями менструального цикла как на момент исследования, так и в анамнезе [56]. Стрессовые переломы в 3 раза чаще регистрируют у женщин-спортсменок по сравнению с мужчинами, у которых также наблюдают нарушение метаболизма костной ткани вследствие ограничения поступления энергии [57]. Учитывая, что это ограничение нарушает костный метаболизм у профессиональных спортсменов обоего пола, триаду спортсменок на данный момент определяют как относительный дефицит энергии в спорте. Относительный дефицит энергии в спорте вызывает нарушение физиологических функций, включая скорость метаболизма и синтез белка, менструальную функцию, состояние сердечно-сосудистой, костной и иммунной систем [58]. Порог ограничения поступления энергии составляет 30 ккал/кг безжировой массы тела в сутки [57]. Потребление выше указанной суточной энергетической ценности питания необходимо для минимизации негативного воздействия на костную ткань дефицита энергии [17]. Суточная энергетическая ценность питания на уровне 45 ккал/кг безжировой массы тела является оптимальной для поддержания костного метаболизма и защиты от костной травмы [17]. Проблема относительного дефицита энергии в спорте наиболее актуальна для спортсменов единоборств с весовыми категориями (борцы, боксеры) и эстетических видов спорта, представителей

бега на длинные дистанции, плавания, велоспорта, гребли и триатлона, а также для жокеев и артистов балета [14, 17, 51, 57–59]. По данным исследования, у спортсменов мужчин 20–50 лет, специализирующихся в беге на длинные дистанции, общая масса кости выше на 66% в области большеберцовой кости (по данным DXA, Z-критерий), чем у представителей велощоссе ($p \leq 0,05$). Данные различия в показателях МПК двух специализаций, входящих в зону риска по снижению МПК вследствие ограничения поступления энергии, обусловлены механической нагрузкой, а не относительным дефицитом поступления энергии [44].

Заключение

У спортсменов прямое влияние на формирование минеральной плотности кости оказывают объем и интенсивность тренировочных нагрузок, стереотип выполнения основного соревновательного упражнения и суточный баланс потребления и расхода энергии. Для представителей спортивной субпопуляции характерно наличие асимметрии в распределении минеральной плотности кости у спортсменов обоего пола, обусловленной спецификой основного соревновательного упражнения с повышением костной массы в ведущей конечности. Чаще отмечено положительное влияние на показатели минеральной плотности кости роста спортивной квалификации, стажа и возраста спортсмена, за исключением определенных специализаций, включающих гребные виды спорта, плавание, велоспорт и лыжное двоеборье. Тренировки с отягощением и виды спорта с наличием ударной вертикальной опорной физической нагрузки оказывают положительный остеогенный эффект на состояние минеральной плотности кости по сравнению с малоподвижным образом жизни и спортивными специализациями с ограничением гравитационной нагрузки на осевые звенья скелета, в которых отсутствие положительного влияния гравитационного фактора нивелируется добавлением тренировок, содержащих прыжки со скакалкой и упражнения на вибрацию тела. Для спортсменов силовых (единоборства) и игровых видов спорта (регби, футбол, волейбол, баскетбол, хоккей) характерны более высокие значения минеральной плотности кости по сравнению с представителями велоспорта, плавания, гребли, триатлона и бега на длинные дистанции, характеризующихся ограничением гравитационной нагрузки или большим объемом тренировочного воздействия низкой интенсивности. Относительный дефицит энергии в спорте, более характерный для спортивных специализаций с весовыми категориями (борцы, боксеры), эстетических (гимнастика, танцы, фигурное катание) и циклических (бег на длинные дистанции, плавание, велоспорт, гребля, триатлон) видов спорта, оказывает негативное влияние на костный метаболизм и количество костной массы, что проявляется увеличением стрессовых переломов и остеопороза у спортсменов.

Таким образом, ограничение гравитационной, ударной и весовой нагрузки на осевые звенья скелета, длительные тренировки, особенно низкой интенсивности, относительный дефицит поступления энергии выступают факторами риска снижения минеральной плотности кости у спортсменов с выделением групп риска по развитию патологии опорно-двигательного аппарата в спорте высших достижений.

Вклад авторов:

К. И. Никитина — сбор и анализ данных литературы, написание статьи

И. Т. Выходец — сбор и анализ данных литературы, написание и редактирование статьи

Т. Ф. Абрамова — разработка дизайна исследования, сбор и анализ данных литературы, написание и редактирование статьи

Т. М. Никитина — сбор и анализ данных литературы, написание статьи

Авторы одобрили финальную версию статьи для публикации, согласны нести ответственность за все аспекты работы и обеспечить гарантию, что все вопросы относительно точности и достоверности любого фрагмента работы надлежащим образом исследованы и решены.

Authors' contributions:

Ksenia I. Nikitina — collection and analysis of literature data, writing the text of the article

Igor T. Vykhodets — collection and analysis of literature data, writing and editing the text of the article

Tatyana F. Abramova — development of research design, collection and analysis of literature data, writing and editing the text of the article

Tatyana M. Nikitina — collection and analysis of literature data, writing the text of the article

The authors have approved the final version of the article for publication, agree to be responsible for all aspects of the work and ensure that all questions regarding the accuracy and reliability of any fragment of the work are properly investigated and resolved.

Литература/References

1. Свешников А.А., Смотров Л.А., Обанина Н.Ф. Роль физической культуры в профилактике остеопороза. *Гений ортопедии*. 2003; 3: 151–158.
[Sveshnikov A.A., Smotrova L.A., Obanina N.F. The role of physical culture in osteoporosis prevention. *Orthopedic Genius*. 2003; 3: 151–158 (in russ.)].
2. Bolam K.A., Skinner T.L., Jenkins D.G., Galvão D.A., Taaffe D.R. The Osteogenic Effect of Impact-Loading and Resistance Exercise on Bone Mineral Density in Middle-Aged and Older Men: A Pilot Study. *Gerontology*. 2015; 62 (1): 22–32. <https://doi.org/10.1159/000435837>.
3. Лесняк О.М., Баранова И.А., Белая Ж.Е. Остеопороз: Рук. для врачей. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2016; 464 с.
[Lesnyak O.M., Baranova I.A., Belaya Zh.Ye. Osteoporosis: Guide for doctors. M.: GEOTAR-Media; 2016; 464 p. (in russ.)].
4. Иорданская Ф.А., Цепкова Н.К. Костный и минеральный обмен в системе мониторинга функциональной подготовленности высококвалифицированных спортсменов. М.: Спорт; 2022; 152 с.
[Iordanskaya F.A., Tsepikova N.K. Bone and mineral metabolism in the system of monitoring the functional readiness of highly qualified athletes. M.: Sport; 2022; 152 p. (in russ.)].
5. Кулиненко О.С., Лапшин И.А. Биохимия в практике спорта. М.: Спорт; 2018; 184 с.
[Kulinenkov O.S., Lapshin I.A. Biochemistry in the practice of sports. M.: Sport; 2018; 184 p. (in russ.)].
6. Никитина К.И., Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М. Минеральная плотность костной ткани и показатели костного ремоделирования у спортсменов высокой квалификации на этапах годового цикла подготовки. *Человек. Спорт. Медицина*. 2019; 4 (19): 43–49. <https://doi.org/10.14529/hsm190406>
[Nikitina K.I., Abramova T.F., Nikitina T.M. Mineral Density of Bone Tissue and Indicators of Bone Remodeling in Highly Skilled Athletes in the Annual Training Cycle. *Human. Sport. Medicine*. 2019; 4 (19): 43–49. <https://doi.org/10.14529/hsm190406> (in russ.)].
7. Никитина К.И., Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М., Овчаренко Л.Н. Динамика показателей минеральной плотности костной ткани и гормонального профиля у спортсменов велоспорта на этапах годового цикла подготовки. *Вестн. спорт. науки*. 2019; 5: 46–51.
[Nikitina K.I., Abramova T.F., Nikitina T.M., Ovcharenko L.N. The dynamics of indicators of bone mineral density and hormonal profile in cycling athletes at the stages of the annual training cycle. *Bull. Sports Sci*. 2019; 5: 46–51 (in russ.)].
8. Miyamoto T., Oguma Y., Sato Y., Kobayashi T., Ito E., Tani M., Miyamoto K., Nishiwaki Y., Ishida H., Otani T., Matsumoto H., Matsumoto M., Nakamura M. Elevated Creatine Kinase and Lactic Acid Dehydrogenase and Decreased Osteocalcin and Uncarboxylated Osteocalcin are Associated with Bone Stress Injuries in Young Female Athletes. *Sci. Rep*. 2018; 8 (1): 18019. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36982-0>
9. Иорданская Ф.А., Цепкова Н.К. Метаболизм костной ткани у высококвалифицированных спортсменов на предсоревновательном этапе подготовки. *Вестн. спорт. науки*. 2016; 6: 35–40.
[Iordanskaya F.A., Tsepikova N.K. Bone metabolism in elite athletes at the precompetitive stage of preparation. *Bull. Sports Sci*. 2016; 6: 35–40 (in russ.)].
10. Захарченко И.В. Адаптация костной ткани спортсменов высокой квалификации к физическим нагрузкам: Дис. канд. наук по физическому воспитанию и спорту: 24.00.01. Киев, 2011; 160 с.
[Zakharchenko I.V. Adaptation of the bone tissue of highly qualified athletes to physical loads: Dis. Cand. Sci. in Physical Education and Sports: 24.00.01. Kyiv, 2011; 160 p. (in russ.)].
11. Тарасов А.В., Беличенко О.И., Смоленский А.В. Травмы и заболевания опорно-двигательного аппарата у спортсменов (обзор литературы). *Терапевт*. 2019; 5: 4–14.
[Tarasov A.V., Belichenko O.I., Smolensky A.V. Injuries and diseases of the musculoskeletal system in athletes (literature review). *Therapist*. 2019; 5: 4–14 (in russ.)].
12. Макаров Г.А. Спортивная медицина. М.: Сов. спорт, 2003; 480 с.
[Makarov G.A. Sports medicine. M.: Sov. sport, 2003; 480 p. (in russ.)].

13. de la Puente Yagüe M., Luis Collado Yurrita, Maria J Ciudad Cabañas, Marioa A Cuadrado Cenxual. Role of Vitamin D in Athletes and Their Performance: Current Concepts and New Trends. *Nutrients*. 2020; 12 (2): 579–591. <https://doi.org/10.3390/nu12020579>
14. Wilson D. J. Osteoporosis and sport. *Europ. J. Radiol.* 2019; 110: 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.11.010>
15. MacKnight J. M. Osteopenia and Osteoporosis in Female Athletes. *Clin. Sports Med.* 2017; 36 (4): 687–702. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2017.05.006>
16. Абрамова Т. Ф., Никитина Т. М., Кочеткова Н. И., Студеникина Н. В., Никитина К. И. Остеопороз и физическая активность: Науч.-метод. пособие. М.: ООО «Скайпринт»; 2013; 112 с.
[Abramova T. F., Nikitina T. M., Kochetkova N. I., Studenikina N. V., Nikitina K. I. Osteoporosis and physical activity: Sci. and method. manual. M.: ООО «Skyprint»; 2013; 112 p. (in russ.)].
17. Sale C., Elliott-Sale K. J. Nutrition and Athlete Bone Health. *Sports Med.* 2019; 49 (Suppl. 2): 139–151. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01161-2>
18. Huddleston A. L., Rockwell D., Kulund D. N., Harrison R. B. Bone mass in lifetime tennis athlete. *J. Amer. Med. Ass.* 1980; 244 (10): 1107–1109. <https://doi.org/10.1001/jama.1980.03310100025022>
19. Черницына Н. В., Нененко Н. Д., Кучин Р. В. Оценка минеральной плотности костной ткани спортсменов различных специализаций методом двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. *Педагог.-психол. и медико-биол. пробл. физ. культуры и спорта*. 2014; 4 (33): 133–139.
[Chernitsyna N. V., Nenenko N. D., Kuchin R. V. Skeletal bone mineral density evaluation of sportsmen of different specializations with the help of dual-energy X-ray absorptiometry method. *Pedagog.-psychol. med.-biol. Probl. phys. Culture Sports*. 2014; 4 (33): 133–139 (in russ.)].
20. Абрамова Т. Ф., Никитина Т. М., Комиссарова Е. Н. Показатели минеральной плотности костной ткани лиц мужского пола 13–35 лет в условиях напряженной мышечной деятельности. *Морфол. ведомости*. 2021; 29 (4): 59–64. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2021.29\(4\).647](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2021.29(4).647)
[Abramova T. F., Nikitina T. M., Komissarova E. N. Indicators of mineral density of bone tissue of men 13–35 years old in conditions of stressed muscular activity. *Morphol. Newsletter*. 2021; 29 (4): 59–64. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2021.29\(4\).647](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2021.29(4).647) (in russ.)].
21. Burt L. A., Groves E. M., Quipp K., Boyd S. K. Bone density, microarchitecture and strength in elite figure skaters is discipline dependent. *J. Sci. Med. Sport*. 2022; 25(2): v173–177. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.09.001>
22. Студеникина Н. Н. Изменение минеральной плотности пяточной кости спортсменов под влиянием спортивной деятельности: Дис. канд. биол. наук, 14.00.51. М.: 2005; 139 с.
[Studenikina N. N. Changes in the mineral density of the calcaneus of athletes under the influence of sports activities: Diss. Cand. Biol. Sci., 14.00.51. M.: 2005; 139 p. (in russ.)].
23. Черницына Н. В., Нененко Н. Д., Домрачева С. В., Давлетзянов А. Е. Минеральная плотность костной ткани у спортсменов различных специализаций. *Вестн. Югорского гос. университета*. 2007; 6: 95–97.
[Chernitsyna N. V., Nenenko N. D., Domracheva S. V., Davletzyanov A. Ye. Bone mineral density in athletes of various specializations. *Bull. Yugra State University*. 2007; 6: 95–97 (in russ.)].
24. Martínez-Rodríguez A., Sánchez-Sánchez J., Vicente-Martínez M., Martínez-Olcina M., Miralles-Amorós L., Sánchez-Sáez J. A. Anthropometric Dimensions and Bone Quality in International Male Beach Handball Players: Junior vs. Senior Comparison. *Nutrients*. 2021; 13 (6): 1817. <https://doi.org/10.3390/nu13061817>
25. Tsukahara Y., Torii S., Yamasawa F., Iwamoto J., Otsuka T., Goto H., Kusakabe T., Matsumoto H., Akama T. Bone Metabolism, Bone Mineral Content, and Density in Elite Late Teen Female Sprinters. *Int. J. Sports Med.* 2021; 42 (13): 1228–1233. <https://doi.org/10.1055/a-1432-2587>
26. Maimoun L., Galy O., Manetta J., Coste O., Peruchon E., Micallef J. P.; Mariano-Goulart D., Couret I., Sultan C., Rossi M. Competitive season of triathlon does not alter bone metabolism and bone mineral status in male triathletes. *Int. J. Sports Med.* 2004; 25 (3): 230–234. <https://doi.org/10.1055/s-2003-45257>
27. Оганов В. С., Виноградова О. Л., Дудов Н. С., Баранов В. С., Миненков А. С., Бакулин А. В., Новиков В. Е., Кабицкая О. Е., Москаленко М. В., Глотов А. С., Глотов О. С., Попов Д. В. Анализ ассоциации костной массы у спортсменов с биохимическими и молекулярно-генетическими маркерами ремоделирования костной ткани. *Физиология человека*. 2008; 34 (2): 56–65.
[Oganov V. S., Vinogradova O. L., Bakulin A. V., Novikov V. E., Kabitskaya O. E., Popov D. V., Dudov N. S., Baranov V. S., Moskalenko M. V., Glotov A. S., Glotov O. S., Minenkov A. S. Correlation between the bone mass of athletes and biochemical genetic markers of bone tissue remodeling. *Hum. Physiol.* 2008. 34 (2): 182–190 (in russ.)].
28. Оганов В. С., Виноградова О. Л., Дудов Н. С., Баранов В. С., Миненков А. С., Бакулин А. В., Новиков В. Е., Кабицкая О. Е., Москаленко М. В., Глотов А. С., Глотов О. С., Попов Д. В. О возможной связи развития остеопении с биохимическими и генетическими маркерами костного метаболизма у спортсменов после интенсивной физической нагрузки. Часть I. Остеопороз и остеопатии. 2008; 11 (1): 2–5.
[Oganov V. S., Vinogradova O. L., Dudov N. S., Baranov V. S., Minenkov A. S., Bakulin A. V., Novikov V. E., Kabitskaya O. E., Moskalenko M. V., Glotov A. S., Glotov O. S., Popov D. V. On the possible relationship between the development of osteo-

- penia and biochemical and genetic markers of bone metabolism in athletes after intense physical activity. Part I. Osteoporos. Osteopath. 2008; 11 (1): 2–5 (in russ.).
29. Nebigh A., Abed M., Borji R., Sahli S., Sellami S., Tabka Z., Rebai H. Bone Turnover Markers and Lean Mass in Pubescent Boys: Comparison Between Elite Soccer Players and Controls. *Pediat. Sci.* 2017; 29 (4): 513–519. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0090>
30. Burt L.A., Greene D.A., Naughton G.A. Bone Health of Young Male Gymnasts: A Systematic Review. *Pediat. Exerc. Sci.* 2017; 29 (4): 456–464. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0046>
31. Gaudio A., Rapisarda R., Xourafa A., Zanolli L., Manfrè V., Catalano A., Signorelli S.S., Castellino P. Effects of competitive physical activity on serum irisin levels and bone turnover markers. *J. Endocr. Invest.* 2021; 44 (10): 2235–2241. <https://doi.org/10.1007/s40618-021-01529-0>
32. Melin A.K., Heikura I.A., Tenforde A., Mountjoy M. Bone Health of Young Male Gymnasts: A Systematic Review. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2019; 29 (2): 152–164. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0201>
33. Banfi G., Lombardi G., Colombini A., Lippi G. Bone metabolism markers in sports medicine. *Sports Med.* 2010; 8: 697–714. <https://doi.org/10.2165/11533090-000000000-00000>
34. Ishikawa T., Sakuraba K. Biochemical markers of bone turnover. New aspect. Bone metabolism movement in various sports and physical activities. *Clin. Calcium.* 2009; 19 (8): 1125–1131. <https://doi.org/CliCa090811251131>
35. Mojock C.D., Ormsbee M., Kim J.S., Arjmandi B.H., Louw G.A., Contreras R.J., Panton L.B. Comparisons of Bone Mineral Density Between Recreational and Trained Male Road Cyclists. *Clin. J. Sport. Med.* 2016; 26 (2): 152–156. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000186>
36. Hinrichs T., Chae E.H., Lehmann R., Allolio B., Platen P. Bone Mineral Density in Athletes of Different Disciplines: a Cross-Sectional Study. *Open Sports Sci. J.* 2010; 3: 129–133. <https://doi.org/10.2174/1875399X01003010129>
37. Gheitasi M., Imeri B., Khaledi A., Mozafaripour E. The Effect of Professional Sports Participation on Bone Content and Density in Elite Female Athletes. *Asian J. Sports Med.* 2022; 13 (2): e119683. <https://doi.org/10.5812/asjms-119683>
38. Jonvik K.L., Torstveit M.K., Sundgot-Borgen J., Mathisen T.F. Do we need to change the guideline values for determining low bone mineral density in athletes? *J. appl. Physiol.* 2022; 132 (5): 1320–1322. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00851.2021>
39. Rector R., Rogers R., Ruebel M., Hinton P. Participation in road cycling vs running is associated with lower bone mineral density in men. *Metabolism.* 2008; 57 (2): 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2007.09.005>
40. Vlachopoulos D., Barker A., Ubago-Guisado E., Ortega F., Krstrup P., Metcalf B., Castro Pinero J., Ruiz J., Knapp K., Williams C., Moreno L., Gracia-Marco L. The effect of 12-month participation in osteogenic and non-osteogenic sports on bone development in adolescent male athletes. The PRO-BONE study. *J. Sci. Med. Sport.* 2018; 21 (4): 404–409. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.08.018>
41. Klomsten A., Clarsen B., Garthe I., Mørland M., Stensrud T. Bone health in elite Norwegian endurance cyclists and runners: a cross-sectional study. *Brit. med. J. Open Sport Exerc. Med.* 2018; 7; 4 (1): e000449. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000449>
42. Creighton D., Morgan A., Boardley D., Brolinson P. Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *J. appl. Physiol.* 2001; 90 (2): 565–570. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.2.565>
43. Gómez-Bruton A., González-Agüero A., Gómez-Cabello A., Casajús J.A., Vicente-Rodríguez G. Is bone tissue really affected by swimming? A systematic review. *PLoS One.* 2013; 8 (8): e70119. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070119>
44. Chen Z., Sherk V., Sharma-Ghimire P., Bemben M., Bemben D. Site-Specific Bone Differences and Energy Status in Male Competitive Runners and Road Cyclists. *J. clin. Densitom.* 2022; 25 (2): 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2021.11.002>
45. Bemben D.A., Buchanan T.D., Bemben M.G., Knehans A.W. Influence of type of mechanical loading, menstrual status, and training season on bone density in young women athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2004; 18 (2): 220–226. <https://doi.org/10.1519/R-12652.1>
46. Теняева Е.А., Турова Е.А., Головач А.В., Бадтиева В.А., Артикулова И.Н. Исследование факторов риска остеопоротических переломов у ветеранов спорта. *Человек. Спорт. Медицина.* 2021; 21 (1): 177–182. <https://doi.org/10.14529/hsm210122>
[Tenyaeva E.A., Turova E.A., Golovach A.V., Badtieva V.A., Artikulova I.N. Risk Factors of Osteoporotic Fractures in Master Athletes. *Human. Sport. Medicine.* 2021; 21 (1): 177–182. <https://doi.org/10.14529/hsm210122> (in russ.).]
47. Lozano-Berges G., Matute-Llorente Á., González-Agüero A., Gómez-Bruton A., Gómez-Cabello A., Vicente-Rodríguez G., Casajús J.A. Soccer helps build strong bones during growth: a systematic review and meta-analysis. *Europ. J. Pediat.* 2018; 177 (3): 295–310. <https://doi.org/10.1007/s00431-017-3060-3>
48. Bellver M., Drobnic F., Jovell E., Ferrer-Roca V., Abalos X., Del Rio L., Trilla A. Jumping rope and whole-body vibration program effects on bone values in Olympic artistic swimmers. *J. Bone Miner. Metab.* 2021; 39 (5): 858–867. <https://doi.org/10.1007/s00774-021-01224-3>
49. Shibata Y., Ohsawa I., Watanabe T., Miura T., Sato Y. Effects of physical training on bone mineral density and bone metabolism. *J. physiol. Anthropol. appl. Hum. Sci.* 2003; 22 (4): 203–208. PMID: 12939536

50. Van den Berghe P., Breine B., Haecck E., De Clercq D. One hundred marathons in 100 days: Unique biomechanical signature and the evolution of force characteristics and bone density. *J. Sport Hlth Sci.* 2022; 11 (3): 347–357. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.03.009>
51. Nattiv A., Loucks A., Manore M., Sanborn C., Sundgot-Borgen J., Warren M. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007; 39 (10): 1867–1882. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318149f111>
52. Yenilmez M. I., Palamutoglu M. I. Critical thoughts and insights on the female athlete triad precedents existing challenges and prospects. *J. Manag. Inform. Decis. Sci.* 2020; 23 (4): 324–331.
53. Sanborn C. F., Martin B. J., Wagner W. W. Jr. Is athletic amenorrhea specific to runners? *Amer. J. Obstet. and Gynec.* 1982; 143 (8): 859–861. [https://doi.org/10.1016/0002-9378\(82\)90463-x](https://doi.org/10.1016/0002-9378(82)90463-x)
54. De Souza M. J., Ricker E. A., Mallinson R. J., Allaway H. C. M., Koltun K. J., Strock N. C. A., Gibbs J. C., Kuruppumullage Don P., Williams N. I. Bone mineral density in response to increased energy intake in exercising women with oligomenorrhea/amenorrhea: the REFUEL randomized controlled trial. *Amer. J. clin. Nutr.* 2022; 115 (6): 1457–1472. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac044>
55. Jonvik K. L., Torstveit M. K., Sundgot-Borgen J. K., Mathisen T. F. Last Word on Viewpoint: Do we need to change the guideline values for determining low bone mineral density in athletes? *J. appl. Physiol.* 2022; 132 (5): 1325–1326. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00227.2022>
56. Holtzman B., Popp K., Tenforde A., Parziale A., Taylor K., Ackerman K. Low energy availability surrogates associated with lower bone mineral density and bone stress injury site. *PMR.* 2022; 14 (5): 587–596. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12821>
57. Areta J., Taylor H., Koehler K. Low energy availability: history, definition and evidence of its endocrine, metabolic and physiological effects in prospective studies in females and males. *Europ. J. appl. Physiol.* 2021; 121 (1): 1–21. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04516-0>
58. Mountjoy M., Sundgot-Borgen J., Burke L., Ackerman K., Blauwet C., Constantini N., Lebrun C., Lundy B., Melin A., Meyer N. et al. IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *Brit. J. Sports Med.* 2018; 52: 687–697. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099193>
59. Kerksick C., Wilborn C., Roberts M., Smith-Ryan A., Kleiner S., Jäger R., Collins R., Cooke M., Davis J., Galvan E., Greenwood M., Lowery L., Wildman R., Antonio J., Kreider R. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2018; 15: 38. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>

Сведения об авторах:

Ксения Игоревна Никитина,

Маммологический центр (клиника женского здоровья) Московского клинического научного центра им. А. С. Логинова, врач-эндокринолог

Игорь Трифанович Выходец, канд. мед. наук, доцент кафедры реабилитации, спортивной медицины и физической культуры, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова

Тамара Федоровна Абрамова, докт. биол. наук, начальник лаборатории проблем комплексного сопровождения подготовки спортсменов, Федеральный научный центр физической культуры и спорта

Татьяна Михайловна Никитина, канд. педагог. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем комплексного сопровождения подготовки спортсменов, Федеральный научный центр физической культуры и спорта

Information about authors:

Ksenia I. Nikitina,

Mammological Center (Women's Health Clinic) of the Moscow Clinical Scientific Center named after A. S. Loginova, endocrinologist

Igor T. Vykhodets, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Rehabilitation, Sports Medicine and Physical Education, Pirogov Russian National Research Medical University

Tamara F. Abramova, Doct. Sci. (Biol.), Head of the Laboratory for the Problems of Comprehensive Support in the Training of Athletes, Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports

Tatyana M. Nikitina, Cand. Sci. (Ped.), Leading Researcher of the Laboratory for the Problems of Comprehensive Support in the Training of Athletes, Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports