

АНАЛИЗ ПОЛОВЫХ РАЗЛИЧИЙ КОСТНОГО РЕМОДЕЛИРОВАНИЯ У СПОРТСМЕНОВ СИТУАЦИОННЫХ ВИДОВ СПОРТА

Чехлова Л.Ю.¹, Матвеева Е.Л.¹, Ловыгина О.Н.², Ерохин А.Н.³

¹«Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Курган, e-mail: alexnico59@yandex.ru;

²«Курганский государственный университет», Курган;

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Тюменский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Тюмень

В статье излагаются результаты исследования различий костного ремоделирования по признаку пола у спортсменов, занимающихся ситуационными видами спорта – волейболом и баскетболом. Опытную группу составили 30 спортсменов – 17 юношей и 13 девушек – в возрасте $22,5 \pm 1,5$ года; в контрольную группу вошли 30 студентов, не занимающихся спортом, – 18 девушек и 12 юношей в возрасте $22,7 \pm 1,8$ года. В сыворотке крови испытуемых посредством автоматического биохимического анализа определяли уровень маркеров костного ремоделирования и состояния костной ткани. Выявлено, что при регулярных занятиях ситуационными видами спорта процесс ремоделирования костной ткани протекает интенсивнее у юношей, чем у девушек. Определено, что активные занятия ситуационными видами спорта обуславливают высокий уровень интенсивности ремоделирования костной ткани у испытуемых женского и мужского пола. Подтверждено, что реализация перестройки костной ткани является сложным, многокаскадным процессом, в ходе которого активируются адаптационно-приспособительные механизмы, направленные на сохранение и повышение морфофункциональных характеристик опорно-двигательного аппарата у лиц, систематически занимающихся ситуационными видами спорта, независимо от их половой принадлежности. Определено, что одним из адаптационно-приспособительных механизмов является значительное повышение уровня витамина D в сыворотке крови у спортсменов. Констатируется факт, что при регулярных занятиях спортом повышается риск травматических повреждений опорно-двигательного аппарата, что обусловлено значительной активацией остеорезорбции и возможным дисбалансом процесса ремоделирования костной ткани. Результаты работы свидетельствуют о необходимости развития системы реабилитации и профилактики нарушения функции опорно-двигательного аппарата у лиц, регулярно занимающихся ситуационными видами спорта. Особое внимание следует уделить разработке профилактических мероприятий для предупреждения функционального срыва у девушек-спортсменок. Это обусловлено, с одной стороны, возрастанием физических нагрузок в современных ситуационных видах спорта, в которых принимают участие девушки, а с другой – половыми особенностями, ограничивающими уровень адаптационно-приспособительных реакций.

Ключевые слова: костное ремоделирование, половые различия, биохимические маркеры, ситуационные виды спорта.

ANALYSIS OF GENDER DIFFERENCES IN BONE REMODELING IN ATHLETES OF SITUATIONAL SPORTS

Chehlova L.Yu.¹, Matveeva E.L.¹, Lovygina O.N.², Erokhin A.N.³

¹National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician G.A. Ilizarov of the Ministry of Health of the Russian Federation, Kurgan, e-mail: alexnico59@yandex.ru;

²Kurgan State University, Kurgan;

³Federal State Budgetary Educational Institution «Tyumen State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Tyumen

The article presents the results of a study of differences in bone remodeling among athletes by gender engaged in situational sports such as volleyball and basketball. The experimental group consisted of thirty athletes – seventeen boys and thirteen girls aged 22.5 ± 1.5 years; the control group included thirty non-sports students - eighteen girls and twelve boys aged 22.7 ± 1.8 years. The level of markers of bone remodeling and bone tissue condition were determined in the blood serum of the subjects by automatic biochemical analysis. It was revealed that with regular practice of situational sports, the process of bone remodeling proceeds more intensively in boys than in girls. It was determined that active situational sports activities cause a high level of bone remodeling intensity in female and male subjects. It has been confirmed that the implementation of bone tissue restructuring is a complex, multi-stage process, during which adaptive mechanisms are activated aimed at preserving and improving the morphofunctional characteristics of the musculoskeletal system in people who systematically engage in situational

sports, regardless of their gender. It was determined that one of the adaptive mechanisms is a significant increase in the level of vitamin D in the blood serum of athletes. It is stated that regular exercise increases the risk of traumatic injuries to the musculoskeletal system, which is due to significant activation of osteoresorption and a possible imbalance in the process of bone remodeling. The results indicate the need to develop a system of rehabilitation and prevention of disorders of the musculoskeletal system in people who regularly engage in situational sports. Special attention should be paid to the development of preventive measures to prevent functional breakdown in female athletes. This is due, on the one hand, to the increase in physical exertion in modern situational sports in which girls participate, and, on the other, to sexual characteristics that limit the level of adaptive reactions.

Keywords: bone remodeling, sex differences, biochemical markers, situational sports.

Костная ткань является активной метаболической структурой в организме человека. В процессе мышечного напряжения происходит взаимодействие всех функциональных возможностей организма [1]. При адаптации организма к высоким интенсивным нагрузкам происходит процесс регуляции костного ремоделирования.

Определяя эффективность полезного воздействия физических упражнений на костный метаболизм, необходимо обладать информацией о составе, формировании и адаптационном потенциале костей. Под влиянием спортивной нагрузки кость становится толще, мощнее и плотнее, костномозговая полость уменьшается, и в динамике увеличивается костное вещество. При регулярных физических нагрузках происходит увеличение свойства суставного элемента, эластичности, возрастает подвижность сустава, увеличивается прочность связочного аппарата, меняется внешняя форма костей. При таких нагрузках статического типа, согласно литературным данным, костномозговая полость может фактически полностью зарости, увеличивается эластичность суставных элементов и их свойств. Физическая активность позволяет одновременно увеличить массу кости, ее прочность, физиологическое изменение микроархитектоники кости; при этом снижается риск переломов, трещин, микротравматизации кости, вырастает адаптационный потенциал кости к длительным и интенсивным нагрузкам. Малоподвижный образ жизни приводит к таким факторам риска, как остеопороз, остеопоротические переломы; качество кости становится ниже.

Физическая активность напрямую стимулирует процесс костеобразования, в результате которого происходит накопление минералов в костной ткани. Биохимические маркеры костного ремоделирования отображают в динамике изменения процессов резорбции (разрушения) и ремоделирования (обновления) костной ткани в организме спортсмена, степень изменения которых зависит, в свою очередь, от интенсивности и разнонаправленности физической нагрузки [2].

Среди литературных источников имеется достаточно большое количество работ по физиологическим изменениям костного метаболизма у спортсменов различной возрастной периодизации и разных видов спорта. Не до конца изученными остаются показатели костного метаболизма у представителей разного пола (мужчин и женщин), с разной спортивной

направленностью и в разные периоды тренировочного процесса [3, 4]. На данный период изучение особенностей костного метаболизма спортсменов в тренировочном периоде является актуальной и важной проблемой [5].

Целью исследования явилось изучение особенностей костного ремоделирования у юношей и девушек, занимающихся ситуационными видами спорта – волейболом и баскетболом.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на базе отдела доклинических и лабораторных исследований Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова Минздрава РФ, г. Курган, Россия. Были обследованы 60 испытуемых, из них 30 спортсменов, занимающихся игровыми видами спорта (волейбол и баскетбол), составившие опытную группу, которая включала 17 юношей и 13 девушек в возрасте от 18 до 25 лет, средний возраст составил $22,5 \pm 1,5$ года. Квалификационная категория по спортивному разряду имела следующее распределение: третий разряд – 11 человек (36,6%), второй разряд – 10 человек (33,3%), первый разряд – 9 человек (30,0%). Спортивный стаж занятий варьировал от 2 до 10 лет ($5,3 \pm 2,1$ года). Все испытуемые опытной группы на период исследования были допущены к спортивным занятиям в полном объеме. Контрольную группу составили 30 практически здоровых студентов гуманитарного факультета Курганского университета, из них 18 девушек и 12 юношей, в возрасте от 18 до 24 лет ($22,7 \pm 1,8$ года), которые не занимались спортом.

Посредством автоматического анализатора «ILab 650» Instrumentation Laboratory (Италия) и анализатора MAGLUMI® 800 (Shenzhen New Industries Biomedical Engineering Co., Ltd) регистрировали уровень показателей С-термин. пропептида проколлагена I типа, N-термин. пропептида проколлагена I типа, а также остеокальцина и содержание 25-ОН-D3.

В сыворотке крови были исследованы показатели кальция (Ca), фосфора (P), активность щелочной фосфатазы (ЩФ), кислой фосфатазы (КФ), которые являются одними из основных маркеров костного ремоделирования, а также маркеры состояния костной ткани, такие как остеокальцин, 25 – ОН – D3, (PINP) – маркер формирования костного матрикса, (В - СТх) – маркер костной резорбции, (СТ - II) – кальцитонин (PTH II)- паратгормон.

Статистическую обработку результатов проводили общепринятыми методами вариационной статистики при помощи пакета прикладных программ «Microsoft Excel 2007», AtteStat версия 15.0 (2002 г.). Вычисляли медиану, двадцать пятый и семьдесят пятый перцентили. Использовали непараметрический критерий Вилкоксона. Нулевая гипотеза отвергалась при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

При анализе выявлен более высокий уровень показателей, отражающих интенсивность процесса ремоделирования костной ткани у юношей в опытной группе, чем у девушек в этой же группе. Так, уровень щелочной фосфатазы и кальция у юношей статистически достоверно превысил таковой у девушек (рис. 1). По-видимому, данное обстоятельство объясняется общепризнанным фактом о влиянии интенсивной физической нагрузки на уровень костного метаболизма. Кроме того, в понимание выявленного феномена полового различия испытуемых опытной группы вписывается и генетическая предрасположенность представителей женского пола к состоянию, сопровождающемуся снижением минеральной плотности костной ткани. Уровень щелочной фосфатазы у юношей опытной группы статистически достоверно превысил таковой у юношей контрольной группы (рис. 2). Данный факт согласуется с литературными данными, отмечающими ускорение процесса ремоделирования костной ткани под влиянием физической нагрузки, включающего изменение архитектоники кости, ее объема, плотности костной структуры и формы [6, с. 188; 7].

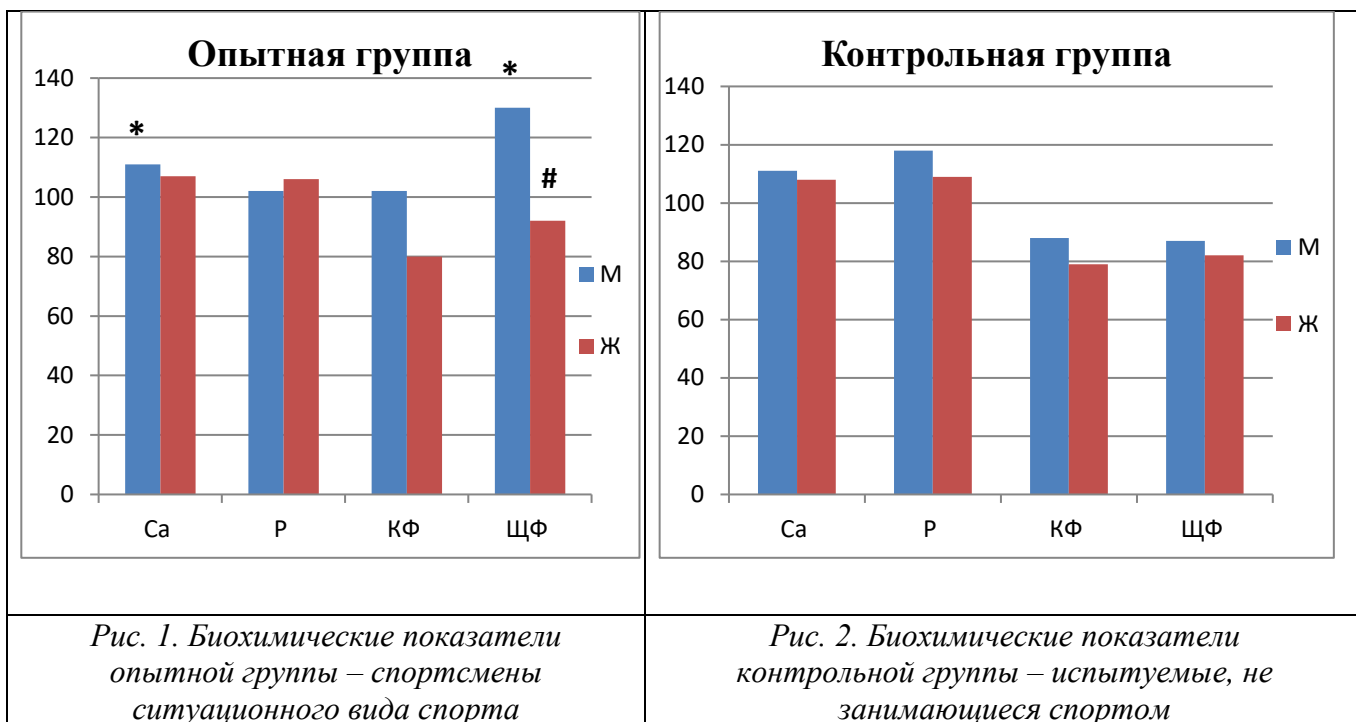
Как отражение половых различий в процессе ремоделирования костной ткани, затрагивающем целый каскад физиологических составляющих, были выявлены статистически значимые различия в биохимических показателях сыворотки крови (В-СТх – С концевой пропептид проколлагена 1-го типа) в опытной группе между юношами и девушками (BGR – остеокальцин) и в контрольной группе между юношами и девушками, данные представлены в таблице.

Биохимические показатели сыворотки крови испытуемых
опытной и контрольной групп

Показатель	Опытная группа		Контрольная группа		Норма
	Юноши	Девушки	Юноши	Девушки	
Остеокальцин (нг/мл)	33,01 (31,17;67,83)	31,86 (25,47;34,05)#	32,81 (27,45;35,3)*	24,39 (19,77;30,50)	3–65
Витамин D (нг/мл)	30,81 (25,00;33,83)#	27,11 (21,30;33,80)	13,52 (11,85;15,55)	16,22 (14,12;24,17)	30–100
РINP (нг/мл)	103,16 (87,73;194,00)	80,71 (66,00;93,37)	90,33 (79,80;111,00)	79,73 (71,60;85,30)	15–76,5
В-СТх (нг/мл)	0,66 (0,44;1,01)*	0,42 (0,34;0,45)	0,63 (0,54;0,66)	0,45 (0,33;0,54)	0,-1,017
СТ II (пг/мл)	0,43 (0,30;0,60)	0,33 (0,30;0,71)	2,47 (0,85;3,36)	1,56 (0,33;1,91)	0,-9,72
PTH II (пг/мл)	30,26 (15,83;32,43)	21,92 (16,20;26,93)	29,59 (21,55;50,15)	24,97 (18,10;33,63)	15–65

* – выделены показатели, имеющие статистически значимые различия в группе между мужчинами и женщинами, с 95%-ным доверительным интервалом.

– выделены показатели, имеющие статистически значимые различия между опытной и контрольной группами, с 95%-ным доверительным интервалом.



* – выделены показатели, имеющие статистически значимые различия между группами мужчин и женщин, с 95%-ным доверительным интервалом.

– выделены показатели, имеющие статистически значимые различия между опытной и контрольной группами, с 95%-ным доверительным интервалом.

Следует отметить тот факт, что показатели фосфат-ионов, общего кальция сыворотки крови и отношения Са/Р у испытуемых обеих групп были в пределах значений контрольной группы. Эти показатели не имели статистически значимых различий по половому признаку в опытной и контрольной группах. При сравнении данных опытной и контрольной групп также не было получено статистически достоверных различий. Маркеры костного ремоделирования (паратгормон и остеокальцин) находились в пределах нормативных значений в обеих группах. По биохимическому показателю сыворотки крови маркеры костного метаболизма, такие как BGR и РТН II, не имели достоверных отличий по половому признаку как внутри каждой группы, так и при межгрупповом сравнении. По-видимому, это объясняется, с одной стороны, сложностью и многокаскадностью процесса ремоделирования костной ткани, а с другой – активацией адаптивных процессов, направленных на достижение требуемого результата при высоких физических нагрузках – поддержание опороспособности и функциональной активности опорно-двигательного аппарата. Определенные свидетельства можно в связи с этим утверждением отметить в той роли, которую выполняют кальций и фосфор в процессе восстановления мышечного и костного метаболизма [7], а также в важности кальция как ведущего костеобразующего элемента, принимающего участие в формировании кристаллов гидроксиапатита, составляющих основу морфофункционального статуса кости [8].

Несмотря на высокий уровень физической нагрузки и интенсификации в связи с этим обмена веществ в целом, в опытной группе не было выявлено признаков дефицита витамина

D. Однако уровень витамина D в сыворотке крови опытной группы превысил таковой в контрольной группе в 2,5 раза. По-видимому, высокий уровень витамина D в сыворотке крови испытуемых опытной группы объясняется его особой ролью в процессе костного метаболизма. Так, в период длительного физического напряжения и утомления морфофункциональный статус костей может ухудшаться [9]. Поскольку витамин D повышает уровень вработываемости (т.е. всасывания) общего кальция и увеличивает объем содержания общего кальция в крови, то при снижении уровня кальция и увеличении скорости процесса резорбции и активном выведении кальция из костной ткани повышение в сыворотке крови уровня витамина D способствует восстановлению морфофункционального гомеостаза костной ткани [10].

Особо следует отметить, что в случае деструктурирования микроархитектоники кости повышается риск возникновения патологических состояний в виде стрессовых переломов костей, увеличения степени возможного травматизма; возникает необходимость последующей длительной реабилитации для восстановления функциональных возможностей спортсмена. В литературе отмечено, что мышечная сила напрямую зависит от уровня содержания в организме витамина D, а также от скорости и мощности выполняемого спортивного упражнения. При регулярном снижении уровня витамина D происходит процесс остеомалиции (размягчения костных тканей), который препятствует регенерации костной ткани, что может привести, в свою очередь, к развитию остеопороза, стрессовым переломам и микротрещинам в костной структуре [11, с. 236]. Таким образом, зарегистрированное повышение уровня витамина D в сыворотке крови опытной группы является частью адаптационно-приспособительного механизма, предотвращающего функциональный срыв, обусловленный повышенной физической нагрузкой. Аналогичные данные приводятся в литературных источниках [12]. Важная роль витамина D в поддержании постоянного уровня содержания кальция и фосфатов в организме, а также его весомая роль в регуляции морфофункционального статуса костной ткани и скелетных мышц неоднократно подчеркивается в публикациях [13].

В процессе исследования было выявлено статистически достоверное повышение активности щелочной фосфатазы у юношей опытной группы в сравнении с аналогичным показателем у девушек этой же группы. Кроме того, у испытуемых опытной группы было выявлено повышение интегрального показателя ЩФ/КФ, статистически достоверно отличающееся от такового у испытуемых юношей контрольной группы. Этот факт объясняется тем, что при дисбалансе процессов, обеспечивающих ремоделирование костной ткани, на фоне уменьшения остеосинтетических процессов значительно возрастает остеорезорбция, на что указывают снижение содержания остеокальцина,

повышение активности кислой фосфатазы и уменьшение индекса минерализации в сыворотке крови. Также в ходе исследования были обнаружены статистически достоверное различие в показателе, отражающем уровень остеокальцина, между опытной и контрольной группами, и внутригрупповые различия между юношами и девушками как опытной, так и контрольной группы.

Комментируя этот факт, следует отметить, что, по данным литературы, остеокальцин играет важную роль в формировании костного матрикса. Остеокальцин – неколлагенный белок костного матрикса, выделяемый остеобластами, связывающий между собой кальций и гидроксиапатит. Вновь синтезируемый остеокальцин встраивается в костный матрикс, и лишь небольшое его количество выделяется в циркуляцию, что отражает позднюю стадию костеобразования [14]. В процессе диагностики остеокальцин-(BGR) служит маркером образования новой костной ткани.

В ходе исследования было выявлено статистически достоверное превышение (в 1,8 раза) содержания С-концевого телопептида коллагена у испытуемых юношей опытной группы в сравнении с девушками. У испытуемых юношей опытной группы содержание как N-, так С-концевых телопептидов коллагена первого типа оказалось выше в сравнении с аналогичными показателями контрольной группы. Кроме того, вышеуказанные показатели юношей испытуемой группы статистически достоверно превысили таковые у девушек, что свидетельствует о более интенсивных процессах костного ремоделирования, реализующихся у юношей испытуемой группы, в отличие от девушек-спортсменок.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование показало, что процесс ремоделирования костной ткани протекает интенсивнее у юношей, чем у девушек, при регулярных занятиях ситуационными видами спорта, такими как волейбол и баскетбол. Вместе с тем, активные занятия ситуационными видами спорта обуславливают высокий уровень интенсивности ремоделирования костной ткани как у юношей, так и у девушек, о чем свидетельствуют статистически достоверные различия показателей, отражающих активность процесса ремоделирования костной ткани, между испытуемыми опытной и контрольной групп между юношами и девушками в избранном возрастном периоде 18–25 лет. Исследование подтвердило тот факт, что реализация перестройки костной ткани является сложным, многокаскадным процессом, в ходе которого активируются адаптационно-приспособительные механизмы, направленные на сохранение и повышение морфофункциональных характеристик опорно-двигательного аппарата у лиц, систематически занимающихся ситуационными видами спорта, независимо от их половой принадлежности (юноша или девушка). Определено, что одним из адаптационно-приспособительных

механизмов является значительное повышение уровня витамина D в сыворотке крови у спортсменов (в 2,5 раза) в сравнении с испытуемыми, не занимающимися спортом. Данный факт обусловлен многоплановой ролью витамина D в поддержании морфофункционального гомеостаза костной ткани. При регулярных занятиях спортом повышается риск травматических повреждений опорно-двигательного аппарата, что обусловлено значительной активацией остеорезорбции и возможным дисбалансом процесса ремоделирования костной ткани. Риск подобных осложнений подтверждается выявленным снижением содержания остеокальцина, повышением активности кислой фосфатазы и уменьшением индекса минерализации в сыворотке крови испытуемых опытной группы. Результаты, полученные в ходе проведенного исследования, свидетельствуют о необходимости развития системы реабилитации и профилактики нарушения функции опорно-двигательного аппарата у лиц, регулярно занимающихся ситуационными видами спорта. Особенное внимание следует уделить разработке профилактических мероприятий для предупреждения функционального срыва у девушек-спортсменок. Это обусловлено возрастанием физических нагрузок в спорте и физиологическими перестройками, связанными с половыми особенностями, уровень адаптационно-приспособительных реакций у юношей и девушек разный. Более низкий потенциал адаптационно-приспособительных возможностей девушек-спортсменок, при котором повышается риск травматических повреждений опорно-двигательного аппарата, подтверждается более низкой интенсивностью перестроечных процессов, обеспечивающих реализацию конечного результата – формирования прочной кости, способной выдерживать предъявляемые физические нагрузки.

Список литературы

1. Иорданская Ф.А., Цепкова Н.К. Метаболизм костной ткани у высококвалифицированных спортсменов на предсоревновательном этапе подготовки // Медико-биологические проблемы спорта. Вестник спортивной науки. 2016. № 6. С. 35-40. URL: <https://rucont.ru/efd/549144> (дата обращения: 20.11.2024).
2. Самойлов А.С., Жолинский А.В., Рылов Н.В., Большаков И.В. Алиментарные факторы здоровья костной ткани у спортсменов // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 3. С. 25-35. DOI: 10.33029/ISSN0042-8833.2023.92.3.25.35.
3. Мавлиев Ф.А., Назаренко А.С., Хаснутдинов Ш.Н., Можаяв Э.Л. Морфофункциональные особенности циклических и ситуационных видов спорта // Ученые записи университета имени П.Ф. Лесгафта. 2017. № 2. С. 144.

4. Иорданская Ф.А. Функциональная подготовленность спортсменов игровых видов спорта с учетом их игрового амплуа // Вестник спортивной науки. 2018. № 1. С.34–44.
5. Самойлов А.С., Величко М.Н., Терсков А.Ю., Доможирова А.С., Белякова А.М., Разумец Е.И., Волченко Д.В., Созонов О.А., Шпиз Е.Я. Анализ физических, генетических и психологических методов профилактики травм опорно-двигательной системы у высококвалифицированных спортсменов // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. № 10. Т. 1. С. 46-57. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.1.46.
6. Herbert A.J. The interactions of physical activit exercise and generatics and their associations with bone mineral density: implicatios for injury risk in elite athletes // Eur. J. Appl. Physiol. 2018. 119. P. 29-47. DOI: 10.1007/s00421-018-4007-8.
7. Кулиненко О.С., Лапшин И.А. Биохимия в практике спорта. М.: Спорт. 2018. 184 с.
8. Иорданская Ф.А., Цепкова Н.К. Костный и минеральный обмен в системе мониторинга функциональной подготовленности высококвалифицированных спортсменов. М.: Спорт. 2022. 154 с.
9. Sale C., Elliott-Sale K.J. Nutrition and Athlete Bone Health // Sports medicine (Auckland, N.Z.). 2019. 49 (Suppl 2). P. 139–151. DOI: 10.1007/s40279-019-01161-2.
10. Кобец Е.В., Морозик П.М., Руденко Э.В., Самоховец О.Ю., Руденко Е.В., Шулинский Р.С. Генетические маркеры предрасположенности к остеопорозу, выявленные методом NGS. Остеопороз и остеопатии // 2022. 25. № 3. С. 65-66. <https://doi.org/10.14341/osteo13033>
11. Borg S.A., Buckley H., Owen R., Marin A.C., Lu Y., Eyles D., Lacroix D., Reilly G.C., Skerry T. M., Bishop N.J. Early life vitamin D depletion alters the postnatal response to skeletal loading in growing and mature bone // PloS one. 2018. №. 13. Т. 1. e0190675. DOI: 10.1371/journal.pone.0190675.
12. Anderson P.H. Vitamin D Activity and Metabolism // Curr. Osteoporos. 2017. №15. P. 443-449.
13. Иванов Я.А., Мининков Д.С., Гущина Д.А., Ельцин А.Г.. Сравнение различных методик определения «костного возраста» по рентгенограммам кисти у пациентов с активными зонами роста с антеромедиальной нестабильностью коленного сустава // Гений ортопедии. 2024. Т. 30. № 1. С.67-75. DOI 10.18019/1028-4427-2024-30-1-67-75.
14. Herrmann M., Rodriguez-Blanco G., Balasso M., Sobolewska K., Semeraro M.D., Alonso N., Herrmann W. The role of bile acid metabolism in bone and muscle: from analytics to mechanisms // Crit. Rev. Clin. Lab. Sci. 2024. № 61. Т. 6. P. 510-528. DOI: 10.1080/10408363.2024.2323132.

