



## Особенности динамики концентрации маркеров остеогенеза и резорбции костной ткани у биатлонистов высокого класса в связи с компрессионной спецификой используемых циклических средств подготовки на этапах подготовительного периода

Е.В. Федотова, Г.А. Дудко\*, П.А. Сиделев, М.А. Дикунец

ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель:** изучение динамики маркеров метаболизма костной ткани у биатлонистов высокого класса в связи с компрессионной спецификой циклических средств подготовки, преимущественно используемых на этапах подготовительного периода годичного тренировочного цикла.

**Материалы и методы:** в исследовании приняли участие биатлонисты высокого класса, проходящие централизованную подготовку в составе сборной команды Российской Федерации ( $n = 23$ ). Количественное определение маркеров костного метаболизма (остеокальцин, P1NP,  $\beta$ -CrossLaps) в сыворотке проводили на автоматизированном анализаторе cobas e411 (Roche Diagnostics, Германия).

**Результаты:** выявлены различия в динамике маркеров остеогенеза и резорбции костной ткани, измеренных в сыворотке биатлонистов на этапах подготовительного периода. Среднегрупповое содержание остеокальцина достоверно ( $p < 0,05$ ) повышалось на предсоревновательном этапе по сравнению с уровнем, измеренным на специально-подготовительном этапе подготовки. Среднегрупповая сывороточная концентрация  $\beta$ -CrossLaps достоверно снижалась при переходе от общеподготовительного этапа к специально-подготовительному ( $p < 0,05$ ). На протяжении всего подготовительного периода у спортсменов, имеющих повышенную концентрацию  $\beta$ -CrossLaps, наблюдалось одновременное увеличение уровня P1NP.

**Заключение:** характерная для подготовки биатлонистов высокого класса напряженная тренировочная деятельность оказывает значительное влияние на активность клеток костной ткани, но при этом не выходит за границы адаптационных возможностей механизмов ремоделирования кости, что постепенно повышает функциональную надежность опорно-двигательного аппарата. Оптимизация отношения циклических средств с разным уровнем компрессионной нагрузки при проведении специализированной тренировки способствует адаптивным изменениям, защищающим костную ткань от резорбции, вызванной интенсивными упражнениями.

**Ключевые слова:** метаболизм костной ткани, маркер, биатлон, специфика средств подготовки

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ ФНЦ ВНИИФК № 777-00001-24 (№ 001-22/3).

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Федотова Е.В., Дудко Г.А., Сиделев П.А., Дикунец М.А. Особенности динамики концентрации маркеров остеогенеза и резорбции костной ткани у биатлонистов высокого класса в связи с компрессионной спецификой используемых циклических средств подготовки на этапах подготовительного периода. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(1):5–13. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.2>

Поступила в редакцию: 16.04.2024

Принята к публикации: 31.05.2024

Online first: 28.06.2024

Опубликована: 26.08.2024

\* Автор, ответственный за переписку

# Aspects of the dynamics of osteogenesis and bone tissue resorption markers concentrations in elite biathlonists due to the compression specificity of the cyclic training aids used at the stages of the early season

Elena V. Fedotova, Grigorii A. Dudko\*, Petr A. Sidelev, Marina A. Dikunets

Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**Aim:** study the dynamics of osteogenesis and bone resorption markers in elite biathlonists owing to the “compression” specifics of cyclic training aids, mainly used at the stages of the early season of the annual training cycle.

**Materials and methods:** 23 elite biathlonists undergoing centralized training as the members of the Russian national team took part in the study.

**Results:** no changes in the P1NP amounts reaching a reliable level were recorded throughout the early season. The average group osteocalcin amount at the precompetition stage significantly ( $p < 0,05$ ) increased compared with that measured at the special preliminary stage. Dynamics of  $\beta$ -CrossLaps concentration showed significant ( $p < 0,05$ ) decrease during the transition from the general preliminary to the special preliminary stage.

**Conclusion:** the degree of intense training activity influence on the activity of bone cells and in turn the response of bone tissue to training loads depend on a set of exercise parameters performed by the athlete, such as duration, intensity, specificity, recovery time and mechanical stress. Optimizing the ratio of cyclic aids with different levels of compression loads during specialized training promotes adaptive changes which protect bone tissue from resorption affected by intense physical exercises. When analyzing the levels of bone metabolism markers for diagnosis and monitoring disorders associated with skeletal overload which could occur high-intensity training loads, an individual approach as well as recognition of the load specifics and parameters performed by an athlete at a specific stage of the training macrocycle are required.

**Keywords:** bone tissue metabolism, marker, biathlon, specifics of training aids

**Acknowledgements:** this work was conducted within State Assignments of the Federal Science Center of Physical Culture and Sport no. 777-00001-24 (theme no. 001-22/3).

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Fedotova E.V., Dudko G.A., Sidelev P.A., Dikunets M.A. Aspects of the dynamics of osteogenesis and bone tissue resorption markers concentrations in elite biathlonists due to the compression specificity of the cyclic training aids used at the stages of the early season. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(1):5–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.2>

Received: 16 April 2024

Accepted: 31 May 2024

Online first: 28 June 2024

Published: 26 August 2024

\*Corresponding author

## 1. Введение

Стрессовые повреждения костной ткани, в том числе стрессовые переломы, составляют около 20 % от общего количества травм в спорте высших достижений [1, 2]. Частота их возникновения зависит от вида спорта, однако наиболее часто они развиваются в видах спорта на выносливость во время подготовительного периода (ПП). Характер и объем тренировочной нагрузки является решающим фактором, провоцирующим возникновение стрессовых повреждений костной ткани (СПКТ) [3]. Реакция костной ткани на нагрузку протекает по континууму: от нормального до ускоренного ремоделирования и стрессовой реакции до законченного стрессового перелома [3].

Наиболее частой реакцией костной ткани здоровых молодых спортсменов обоих полов на длительные, высокоинтенсивные и циклические нагрузки, особенно компрессионного характера, является регенерация и ремоделирование, повышающие ее прочность/устойчивость к последующим повреждениям. Ускоренный метаболизм клеток костной ткани может вызывать увеличение скорости обновления костной микроструктуры, обеспечивая ее

способность адаптироваться к различным видам механической нагрузки [1]. Костная ткань обладает собственным «механостатом», регулирующим функциональную адаптацию к нагрузкам [4], однако если запасов энергии и питательных веществ в костной ткани недостаточно, а процессы постнагрузочного восстановления не оптимальны, то создаются предпосылки для развития СПКТ [5].

Вызванные перенапряжением травмы костной ткани являются результатом постепенного снижения несущей способности определенных структур после регулярных нагрузок, то есть когда совокупная приложенная нагрузка превосходит предельную структурно-специфическую несущую способность [6].

Подвергающаяся регулярным аномальным нагрузкам в течение коротких периодов времени костно-хрящевая ткань склонна к возникновению микроповреждений [3], которые в случае несвоевременной коррекции тренировочных нагрузок обуславливают высокий риск развития СПКТ, вплоть до законченных стрессовых переломов [7, 8].

При этом наиболее часто применяемые в клинической практике методы диагностики СПКТ

(рентгенография, мультиспиральная компьютерная томография, магнитно-резонансная томография) позволяют верифицировать уже имеющиеся структурные изменения костной ткани. Поэтому мониторинг биохимических маркеров остеогенеза и резорбции кости, отражающих фактический метаболический статус кости и позволяющих оценить скорость и направление биологической активности, регулирующей обмен костной ткани, а также влияние физической нагрузки на метаболизм костной ткани во время высокоинтенсивных упражнений и долговременной адаптации, является важным для профилактики подобного травматизма среди спортсменов высокого уровня.

Маркеры остеогенеза являются продуктами остеобластов (остеокальцин, костный изофермент щелочной фосфатазы) или побочными продуктами неосинтеза коллагена (пропептиды проколлагена I типа). В то же время большинство маркеров резорбции связаны с продуктами распада коллагена, N- и C-телопептидами, пиридиновыми сшивками коллагена, к ним относятся ферменты, специфичные для остеокластов (тартрат-резистентная кислая фосфатаза) [9]. Следует отметить тот факт, что маркеры метаболизма костной ткани по-разному реагируют на тренировочные нагрузки. Так, костный изофермент щелочной фосфатазы чувствителен к аэробным нагрузкам, остеокальцин — к анаэробным упражнениям, а C-терминальный сшитый телопептид коллагена I типа ( $\beta$ -CrossLaps) можно считать чувствительным маркером резорбции костной ткани после быстрой нагрузки [9].

Современная система подготовки высококвалифицированных биатлонистов предусматривает выполнение в ПП значительного объема циклических нагрузок низкой и высокой интенсивности, особенностью которых является компрессионный характер воздействия на опорно-двигательный аппарат (ОДА) спортсменов [10]. При этом скорость восстановительных процессов костно-хрящевых структур существенно ниже, чем сократительных элементов скелетных мышц [11]. В результате такой адаптационной гетерохронности создается ситуация, при которой очередное тренировочное воздействие на ОДА спортсменов осуществляется на фоне относительного восстановления скелетных мышц и недовосстановления элементов костного матрикса, провоцируя тем самым риск травматизма.

В связи с этим актуальным является изучение динамики маркеров остеогенеза и резорбции костной ткани у высококвалифицированных биатлонистов с учетом компрессионной специфики тренировочных нагрузок, выполняемых на этапах ПП макроцикла подготовки.

## 2. Материалы и методы

В исследовании, одобренном этическим комитетом ФГБУ ФНЦ ВНИИФК (протокол № 2 от 01 апреля 2021 г.), приняли участие 23 спортсмена, проходящих централизованную подготовку в составе мужской

сборной команды России по биатлону. Все спортсмены добровольно подписали информированное согласие на участие в исследовании, медицинское вмешательство, использование информации в научных целях и публикацию результатов при условии соблюдения анонимности. Каждый спортсмен был проинформирован о рисках и потенциальном дискомфорте в ходе обследования. Все добровольцы были здоровы, минимум за 24 часа до проведения обследования им запрещалось выполнение развивающих нагрузок циклического и силового характера. Биохимический контроль осуществлялся на протяжении трех лет (2021–2023 гг.) на этапах ПП (апрель — октябрь,  $n = 258$ ). Антропометрические и физиологические характеристики спортсменов: возраст —  $25,29 \pm 3,20$  года; масса тела —  $76,02 \pm 7,60$  кг; длина тела —  $179,5 \pm 6,7$  см; индекс массы тела —  $23,55 \pm 1,38$  кг/м<sup>2</sup>; максимальное потребление кислорода (МПК) —  $69,61 \pm 6,65$  мл/мин/кг.

Забор крови проводился из локтевой вены в вакуумные пробирки с SiO<sub>2</sub> и гелем-сепаратором VACUETTE (Greiner Bio-One, Австрия). Образцы тщательно перемешивали, инкубировали при комнатной температуре в течение 30 минут, затем центрифугировали в течение 10 минут при относительном ускорении ротора центрифуги 1300×g Rotina 420 (Hettich, Германия). Полученные образцы сыворотки переносили в микропробирки для криоконсервации CryoPure (Sarstedt, Германия) и хранили до анализа при температуре  $-80^{\circ}\text{C}$ .

Для решения задач данного исследования были выбраны следующие биохимические маркеры:

— N-терминальный пропептид проколлагена I типа (P1NP), уровни которого при высвобождении во внутриклеточное пространство отражают количество новообразованных молекул коллагена [9];

— N-MID фрагмент молекулы остеокальцина (остеокальцин) — маркер минерализации синтезированного коллагена и витамин К-зависимый неколлагиновый белок, синтезируемый остеобластами, одонтобластами и гипертрофированными хондроцитами [9];

—  $\beta$ -CrossLaps — маркер деструкции коллагена I типа и продукт начального этапа ферментативной деградации коллагена I, являющийся одним из наиболее чувствительных и специфических маркеров опосредованной остеокластами деградации коллагена [9].

Также в качестве меры количественной оценки баланса остеогенеза/резорбции костной ткани нами рассматривалось отношение P1NP/ $\beta$ -CrossLaps [12].

Общепопуляционные нормы остеокальцина, P1NP и  $\beta$ -CrossLaps для молодых мужчин составляют 14–42, 22,5–120 и  $< 0,584$  нг/мл соответственно.

Количественное определение маркеров осуществляли методом гетерогенного электрохемилюминесцентного иммуноферментного анализа типа «сэндвич» с технологией магнитной сепарации реакционной смеси на автоматическом анализаторе cobas e411, Roche Diagnostics (Германия), с использованием оригинальных

наборов реагентов, калибраторов и вспомогательных растворов. Для обеспечения контроля качества измерений использовали контрольную сыворотку PerciControl Varia (Roche Diagnostics, Германия).

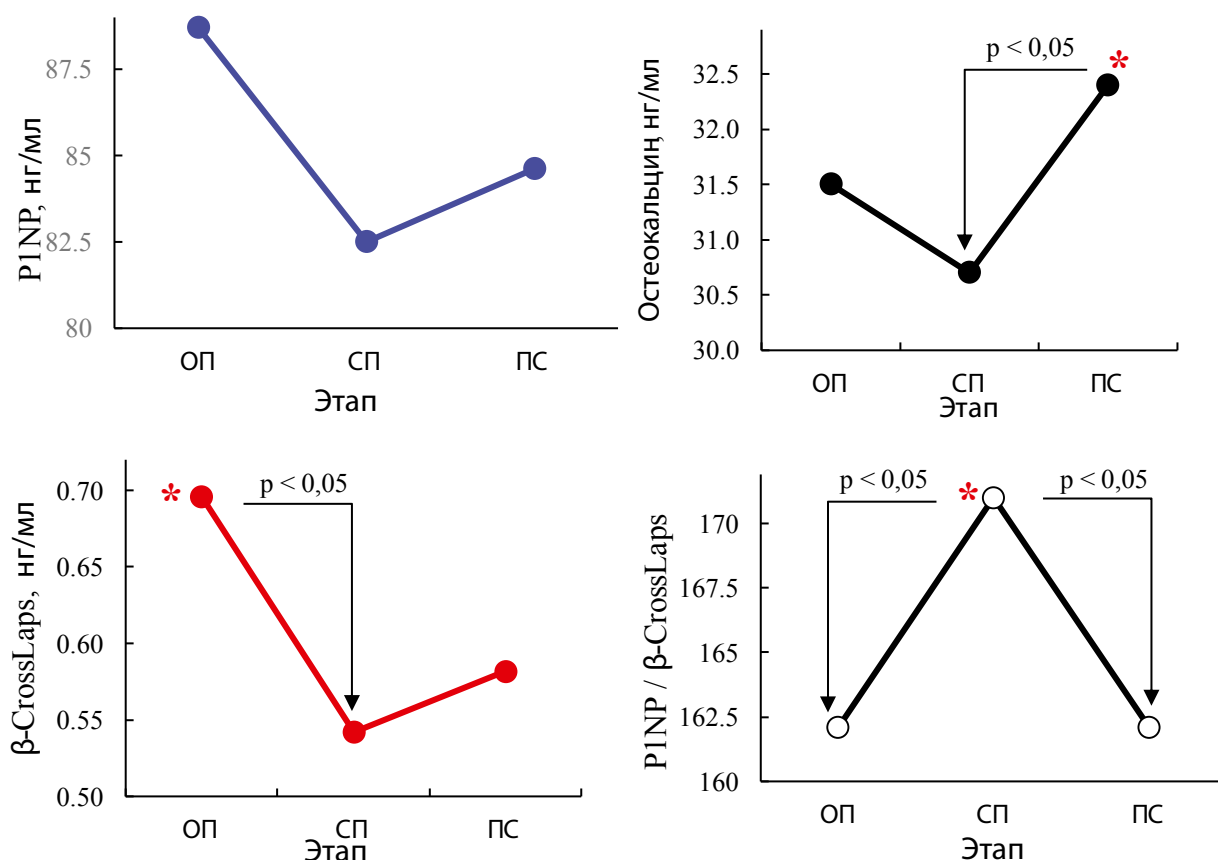
Исходные данные документировались в Excel (Microsoft Corporation, 2019). Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения Statistica, версия 10 (StatSoft, Tulsa, OK, USA). При проведении статистического анализа все параметры были проверены на нормальность распределения с использованием теста Колмогорова — Смирнова. Достоверность различий содержания остеокальцина, P1NP и  $\beta$ -CrossLaps между этапами ПП оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) при уровне значимости, равном 0,05. Для выявления зависимости между переменными и оценки ее тесноты использовался корреляционный анализ, количественной мерой взаимосвязи являлась величина коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Оценка достоверности рассчитанных коэффициентов проводилась по  $t$ -критерию на уровне значимости 0,05. Исключение выбросов выполнялось с применением подхода, предложенного Turkey и доработанного Horn,

согласно которому выбросы идентифицируются в квартилях [13, 14]. Для этого рассчитывали значения нижнего Q1 (25%) и верхнего Q3 (75%) квартилей, а также межквартильный размах (IQR), равный разнице между значениями верхнего и нижнего квартилей ( $Q3 - Q1$ ).

### 3. Результаты

Анализ среднегрупповых концентраций маркеров остеогенеза и резорбции костной ткани и отношения P1NP/ $\beta$ -CrossLaps, измеренных в сыворотке высококвалифицированных биатлонистов на этапах ПП годичного цикла подготовки, продемонстрировал их статистически значимые изменения в зависимости от этапа подготовки (рис. 1).

При анализе среднегрупповых уровней сывороточной концентрации остеокальцина достоверных различий между общеподготовительным этапом (ОП) ( $31,5 \pm 8,4$  нг/мл) и специально-подготовительным этапом (СП) ( $30,7 \pm 9,1$  нг/мл) не выявлено ( $p = 0,12$ ), однако его концентрация достоверно увеличивалась на предсоревновательном этапе (ПС) подготовки ( $32,4 \pm 9,5$  нг/мл) ( $p < 0,05$ ). Статистически достоверных различий содержания P1NP, измеренного в сыворотке



**Рис. 1.** Изменение средних концентраций маркеров метаболизма костной ткани и P1NP/ $\beta$ -CrossLaps, измеренных в крови биатлонистов на этапах подготовительного периода, где ОП — общеподготовительный, СП — специально-подготовительный, ПС — предсоревновательный

**Fig. 1.** Changes in average concentrations of bone tissue metabolism markers and P1NP/ $\beta$ -CrossLaps, measured in biathletes at the stages of the early season, GP — general preliminary stage, SP — special preliminary stage, PS — precompetition stage

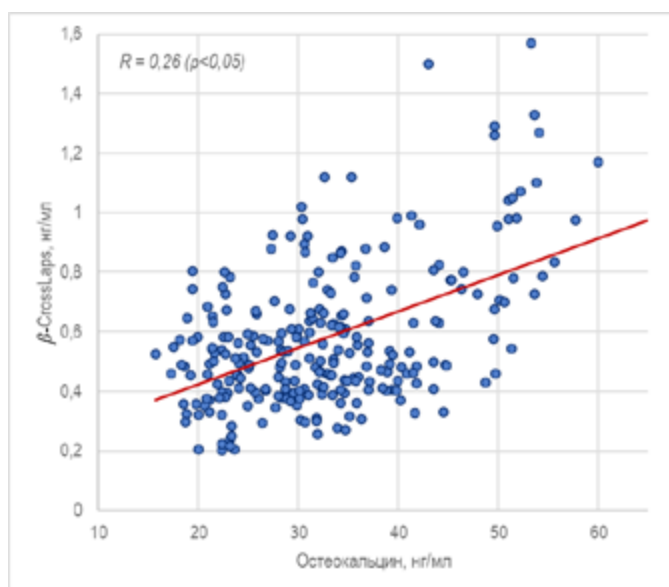
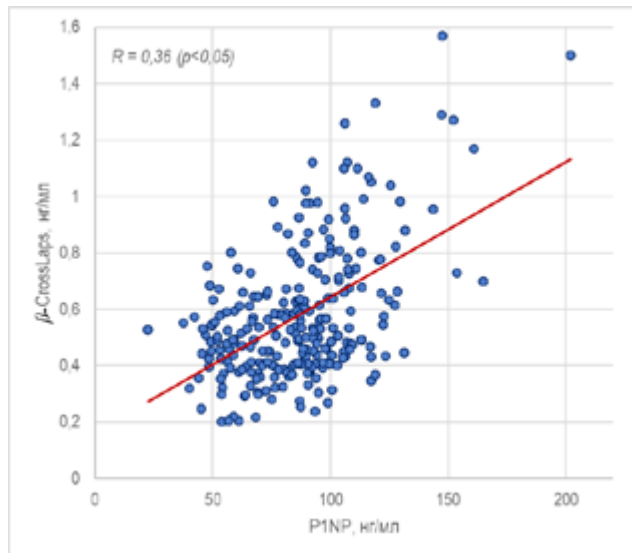
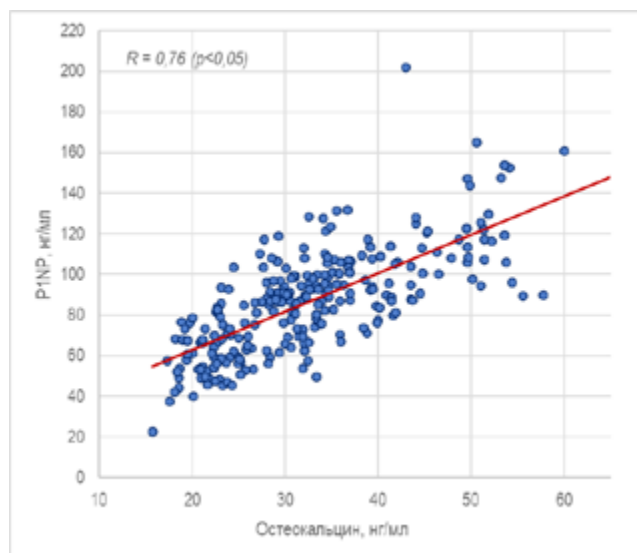
биатлонистов на различных этапах ПП, не выявлено ( $p = 0,17$ ). Среднегрупповая концентрация  $\beta$ -CrossLaps достоверно снижалась при переходе от ОП ( $0,696 \pm 0,234$  нг/мл) к СП ( $0,542 \pm 0,204$  нг/мл) ( $p < 0,05$ ). Отношение концентраций P1NP к  $\beta$ -CrossLaps на СП было достоверно ( $p < 0,05$ ) выше по сравнению с прочими этапами ПП.

При оценке взаимосвязи между концентрациями маркеров метаболизма костной ткани, измеренными в сыворотке биатлонистов, коэффициент корреляции Спирмена между концентрациями P1NP и остеокальцином составил  $0,76$  ( $p < 0,05$ ), что характеризует выявленную взаимосвязь как сильную. В то же время между содержаниями P1NP и  $\beta$ -CrossLaps наблюдалась умеренная теснота связи ( $r = 0,36$ ,  $p < 0,05$ ), а между остеокальцином

и  $\beta$ -CrossLaps — слабая ( $r = 0,26$ ,  $p < 0,05$ ). При включении в анализ только тех случаев, при которых концентрация  $\beta$ -CrossLaps превышала верхнюю границу физиологической нормы, теснота связи между уровнями P1NP и  $\beta$ -CrossLaps достоверно повышалась ( $r = 0,55$ ,  $p < 0,05$ ). Аналогичная тенденция была зафиксирована при оценке взаимосвязи между уровнями остеокальцина и  $\beta$ -CrossLaps ( $r = 0,35$ ,  $p < 0,05$ ) (рис. 2).

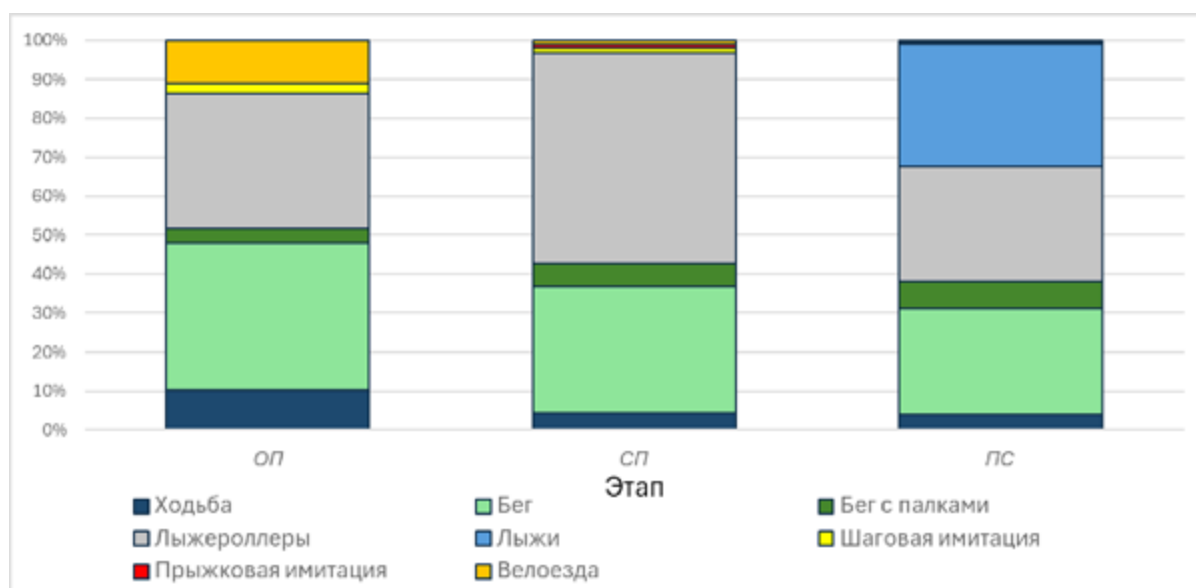
#### 4. Обсуждение полученных результатов

Относительное распределение основных циклических средств подготовки биатлонистов высокого класса, используемых на этапах ПП и различающихся величиной компрессионного воздействия на ОДА, представлено на рис. 3 и 4.



**Рис. 2.** Корреляционная взаимосвязь между маркерами остеогенеза и резорбции костного матрикса у элитных биатлонистов в подготовительном периоде годичного макроцикла

**Fig. 2.** Correlation between markers of osteogenesis and bone matrix resorption in elite biathlonists in the preparatory period of the annual macrocycle



**Рис. 3.** Относительное распределение основных циклических средств подготовки биатлонистов высокого класса на этапах подготовительного периода годичного макроцикла, где ОП — общеподготовительный этап, СП — специально-подготовительный этап, ПС — предсоревновательный этап

**Fig. 3.** Relative distribution of the main cyclic training aids in elite biathlonsists at the stages of the early season of the annual macrocycle, GP — general preliminary stage, SP — special preliminary stage, PS — precompetition stage



**Рис. 4.** Динамика отношения объемов циклических средств с разным уровнем компрессионной нагрузки в подготовительном периоде биатлонистов высокого класса (медианные значения группы), где ОП — общеподготовительный этап, СП — специально-подготовительный этап, ПС — предсоревновательный этап

**Fig. 4.** Dynamics of cyclic aids volumes ratio with different levels of compression load in elite biathlonsists during the early season (median group values), GP — general preliminary stage, SP — special preliminary stage, PS — precompetition stage

К основным средствам подготовки с повышенной компрессионной нагрузкой можно отнести бег, бег с палками и прыжковую имитацию. В перечень средств подготовки с низкой компрессионной нагрузкой можно отнести шаговую имитацию, ходьбу, велоезду, а также передвижение спортсменов на лыжероллерах (в эту группу не была включена лыжегоночная подготовка биатлонистов). Разделение роллерной и лыжной подготовки обусловлено в данном случае спецификой перехода к подготовке на снегу: хотя перемещение

на лыжероллерах обеспечивает паттерны движения и приложение сил, сходные с теми, которые используются спортсменами при перемещениях на лыжах по снегу, в большей степени это относится к классическим ходам, применяемым в лыжных гонках. Что касается видов конькового хода, используемых биатлонистами, при их использовании аппроксимация «роллеры — лыжи» не всегда оптимальна, и, как следствие, существует риск закрепления неправильных паттернов движения и иннервации, которые нередко приходится

устранять на предсоревновательном этапе подготовки. Особенностью перемещения на лыжах в современном биатлоне является и изменение в технике отталкивания, в той мере, с которой биатлонист переносит вес тела на лыжные палки: большая часть веса тела и естественной инерции переносится на палки для выполнения более сильного, мощного, взрывного толчка палками. К таким особенностям можно отнести и технику одновременного двухшажного конькового хода, позволяющую сильнейшим биатлонистам повысить эффективность забегания в подъем. Этот вид локомоции биомеханически и с точки зрения компрессионного воздействия схож с используемой в бесснежный период подготовки прыжковой имитацией, нагрузка которой в данном случае возрастает за счет неустойчивости опоры, вариативности условий скольжения и рельефа. В связи с этим лыжную подготовку биатлонистов более корректно было бы рассматривать как отдельную группу средств подготовки — с комбинированной нагрузкой.

В дополнение к циклическим тренировочным средствам было решено добавить прыжковые упражнения, используемые в подготовке биатлонистов (прыжки из глубокого приседа и прыжки из неглубокого приседа), объемы которых на различных этапах ПП биатлонистов высокого уровня достаточно велики (рис. 5). Такой подход целесообразен для оптимизации тренировочных программ с учетом повышенного уровня компрессионной нагрузки, вызываемой этими упражнениями.

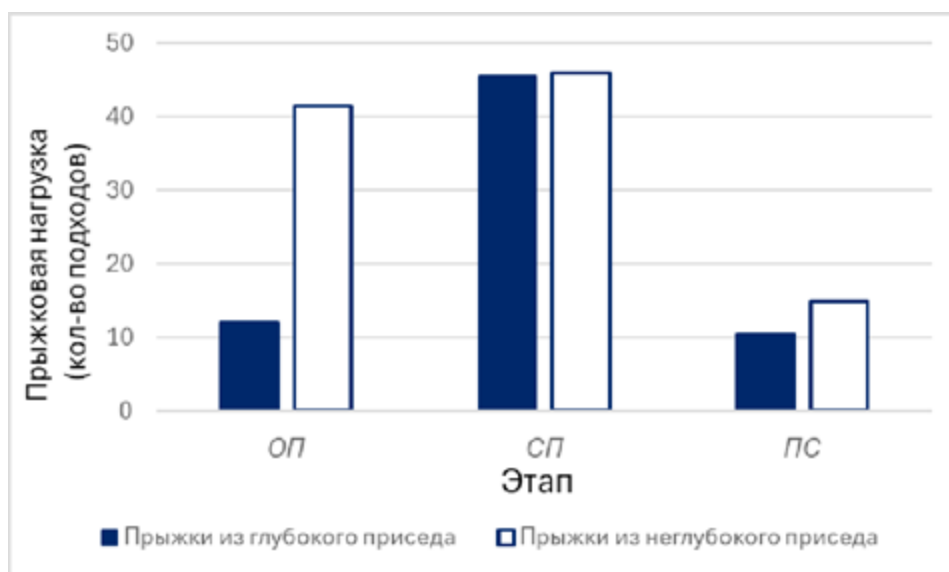
Следует отметить, что на всех этапах подготовительного периода в подготовке биатлонистов преобладают циклические средства с невысокой компрессионной нагрузкой. Тем не менее видны и различия в отношении используемых средств, связанные с выбором тех из них,

которые наиболее эффективны для последовательного решения конкретных задач спортивной подготовки.

ОП характеризуется значительной долей упражнений с повышенной компрессионной нагрузкой (бег, бег с палками) в общем объеме используемых циклических средств. На данном этапе в подготовку также включается большой объем прыжковых упражнений. Причем именно для этого этапа характерно существенное преобладание прыжков из неглубокого приседа, выполнение которых связано с «жесткой» амортизацией в фазе подседа, сопровождающейся значительной нагрузкой на сухожильную часть растягиваемых мышц и костно-хрящевые структуры нижних конечностей.

Для СП характерно увеличение объема выполняемой нагрузки и повышение «специализированности» используемых средств. Соответственно, наблюдается постепенное снижение объема неспецифичной беговой нагрузки и возрастание абсолютного и относительного объемов лыжероллерной подготовки — упражнений с «мягкой» амортизацией в уступающей фазе движения, при выполнении которых основную нагрузку несут скелетные мышцы, а не суставные поверхности. Такое перераспределение приводит к некоторому снижению суммарного компрессионного воздействия циклических средств на ОДА. Вместе с тем на этот период приходится выполнение значительной прыжковой нагрузки, хотя по сравнению с ОП можно отметить выравнивание количества подходов при выполнении прыжков из глубокого и неглубокого приседа.

В рамках ПС в еще большей степени возрастает объем «специализированных» нагрузок, сопровождающийся снижением доли лыжероллерной подготовки и переходом к использованию в большом объеме средств



**Рис. 5.** Объемы прыжковой нагрузки, выполняемой биатлонистами высокого класса на этапах подготовительного периода (медианные значения группы), где ОП — общеподготовительный, СП — специально-подготовительный, ПС — предсоревновательный

**Fig. 5.** Volumes of jumping load performed by elite biathletes at the stages of the early season (median group values), GP — general preliminary stage, SP — special preliminary stage, PS — precompetition stage

подготовки лыжной, с точки зрения «компрессионности» воздействия классифицируемой нами как «комбинированная». Объем средств прыжковой подготовки, отличающихся высокой величиной компрессионного воздействия, на этом этапе снижается до минимума.

Полученные данные позволяют сопоставить изменения концентраций изучаемых маркеров и особенности содержания и направленности подготовки биатлонистов на отдельных этапах ПП. Отношения концентраций остеокальцина к  $\beta$ -CrossLaps и P1NP к  $\beta$ -CrossLaps используются для оценки баланса процессов синтеза-деградация и ремоделирования костной ткани [12]. Можно отметить, что в процессе выполнения программы ПП — от ОП к ПС — наблюдается тенденция к увеличению остеогенеза в ответ на тренировочную нагрузку, а процесс ремоделирования достоверно преобладает над процессом деградации костного матрикса на СП ( $p < 0,05$ ). Концентрации маркеров остеогенеза и резорбции у биатлонистов свидетельствуют о повышенном уровне костного обмена и ремоделирования ткани в ответ на тренировочные стимулы, при этом на СП процесс ремоделирования преобладает над процессом деградации. Механическая нагрузка при использовании роллеров и лыжной подготовки более щадяще воздействует на костную ткань, вызывая остеогенный ответ и активацию костных клеток.

В проведенном исследовании были проанализированы случаи превышения верхних границ клинической нормы концентраций остеокальцина и P1NP, указывающие на высокий уровень процесса образования костного матрикса у спортсменов. Обнаружено, что на ОП выходы за пределы физиологических норм остеокальцина и P1NP наблюдаются в 11,3% случаев, на СП — в 8,9 и 2,0% случаев, на ПС — в 16,3 и 4,7% случаев, среди которых однонаправленное превышение концентраций данных маркеров соответствующих верхних границ референтных диапазонов на ОП, СП и ПС зафиксировано в 75,0, 25,0 и 28,6% случаев соответственно. На ОП концентрации  $\beta$ -CrossLaps выходили за пределы верхней границы популяционных норм в 38,0% случаев, на СП и ПС — в 31,1 и 37,2% случаев соответственно. В 90% случаев повышенные концентрации  $\beta$ -CrossLaps сопровождались высокими концентрациями маркеров остеогенеза (выше верхних Q (75%) квартилей или выходящими за верхние границы референтных интервалов, что указывает на высокий уровень

процесса ремоделирования костной ткани. При оценке взаимосвязи сывороточных концентраций маркеров формирования костного матрикса, проведенной с использованием ранговой корреляции Спирмена, рассчитаны коэффициенты корреляции, которые указывают на наличие сильной связи между переменными.

Таким образом, напряженные тренировки и вызываемый ими физический стресс в значительной степени влияют на активность клеток костной ткани биатлонистов высокого уровня. Оптимизация отношения циклических средств с разным уровнем компрессионной нагрузки при проведении специализированной тренировки способствует адаптивным изменениям, защищающим костную ткань от резорбции, вызванной интенсивными упражнениями. Ответная реакция костной ткани на физическую нагрузку зависит от характеристик выполненных спортсменом нагрузок (продолжительность, интенсивность, время восстановления, механическое напряжение). На протяжении всего этапа подготовки у спортсменов, имеющих повышенные концентрации  $\beta$ -CrossLaps, наблюдалось одновременное увеличение уровня P1NP, что указывает на ремоделирование костной ткани. Отсутствие однонаправленного и синхронизированного изменения маркеров костного метаболизма у спортсменов в совокупности с высоким уровнем их внутри- и межиндивидуальной вариативности несколько осложняют интерпретацию результатов. При проведении анализа концентрации маркеров костного метаболизма для диагностики и мониторинга нарушений, связанных с перегрузкой скелета при выполнении высокоинтенсивных тренировочных нагрузок, необходим индивидуальный подход с обязательным учетом специфики и параметров нагрузки, выполненной спортсменом на конкретном этапе макроцикла подготовки.

## 5. Заключение

Использование на ОП умеренного объема циклических упражнений с низкой компрессионной нагрузкой на ОДА и повышенного объема высокоинтенсивных упражнений с «жесткой» фазой амортизации усиливает процесс повреждения костно-хрящевых структур, но при этом не выходит за границы адаптационных возможностей механизмов ремоделирования кости, что постепенно повышает функциональную надежность ОДА биатлонистов.

## Author's contribution:

**Elena V. Fedotova** — conceptualization and design, original draft preparation.

**Grigori A. Dudko** — data collecting and processing, text review and editing.

**Petr A. Sidelev** — data collecting and processing, statistical analysis.

**Marina A. Dikunets** — conceptualization and design, final version approval.

## Вклад авторов:

**Федотова Елена Викторовна** — концепция и дизайн исследования, написание первого варианта рукописи.

**Дудко Григорий Алексеевич** — сбор и обработка данных, редактирование текста.

**Сиделев Петр Алексеевич** — сбор и обработка данных, статистический анализ результатов.

**Дикунец Марина Александровна** — концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта рукописи.

## Список литературы / References

1. Abbott A., Bird M.L., Wild E., Brown S.M., Stewart G., Mulcahey M.K. Part I: epidemiology and risk factors for stress fractures in female athletes. *Phys. Sportsmed.* 2019;48(1):17–24. <https://doi.org/10.1080/00913847.2019.1632158>
2. Hamstra-Wright K.L., Bliven K.C.H., Napier C. Training load capacity, cumulative risk, and bone stress injuries: a narrative review of a holistic approach. *Front Sports Act. Living.* 2021;3:665683. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.665683>
3. Kraus E., Tenforde A.S., Nattiv A., Sainani K.L., Kussman A., Deakins-Roche M., Singh S., Kim B.Y., Barrack M.T., Fredericson M. Bone stress injuries in male distance runners: higher modified female athlete triad cumulative risk assessment scores predict increased rates of injury. *Br. J. Sports Med.* 2019;53(4): 237–242. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099861>
4. Frost H.M. Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 1. Redefining Wolff's law: the bone modeling problem. *Anat. Rec.* 1990;226(4):403–413. <https://doi.org/10.1002/ar.1092260402>
5. Miller T.L., Best T.M. Taking a holistic approach to managing difficult stress fractures. *J. Orthop. Surg. Res.* 2016;11(1):98 <https://doi.org/10.1186/s13018-016-0431-9>
6. Bertelsen M.L., Hulme A., Petersen J., Brund R.K., Sorensen H., Finch C.F., Parner E.T., Nielsen R.O. A framework for the etiology of running-related injuries. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2017;27(11):1170–1180. <https://doi.org/10.1111/sms.12883>
7. Abbott A., Bird M., Brown S.M., Wild E., Stewart G., Mulcahey M.K. Part II: presentation, diagnosis, classification, treatment, and prevention of stress fractures in female athletes. *Phys. Sportsmed.* 2019;48(1):25–32. <https://doi.org/10.1080/00913847.2019.1636546>
8. Saunier J., Chapurlat R. Stress fracture in athletes. *Joint Bone Spine.* 2018;85(3):307–310. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2017.04.013>
9. Banfi G., Lombardi G., Colombini A., Lippi G. Bone metabolism markers in sports medicine. *Sports Med.* 2010;40(8):697–714. <https://doi.org/10.2165/11533090-000000000-00000>
10. Мякинченко П.Е., Крючков А.С., Адодин Н.В., Мякинченко Е.Б. Сравнение тренировочных нагрузок и показателей подготовленности биатлонистов и лыжников высокого класса. В: Современная система спортивной подготовки в биатлоне: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. Омск.: СибГУФК; 2022. [Myakinchenko P.E., Kryuchkov A.S., Adodin N.V., Myakinchenko E.B. Comparison of training loads and fitness indicators of biathlons and elite cross-country skiers. In: The modern system of sports training in biathlon: materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference. Omsk: SibGUFG Publ.; 2022. (In Russ.)].
11. Мякинченко Е.Б., Крючков А.С., Фомиченко Т.Г. Силовая подготовка спортсменов высокого класса в циклических видах спорта с преимущественным проявлением выносливости. Москва: Спорт; 2022. [Myakinchenko E.B., Kryuchkov A.S., Fomichenko T.G. Strength training of high-class athletes in cyclic sports with a predominant endurance exertion. Moscow: Sport Publ.; 2022. (In Russ.)].
12. Fisher A., Fisher L., Sriksalanukul W., Smith P.N. Bone turnover status: classification model and clinical implications. *Int. J. Med. Sci.* 2018;15(4):323–338. <https://doi.org/10.7150/ijms.22747>
13. CLSI Document C28-A3c. Defining, establishing and verifying reference intervals in the clinical laboratory; approved guideline. 3rd ed. Wayne, PA, USA: CLSI; 2008.
14. Евгина С.А., Савельев Л.И. Современные теория и практика референтных интервалов. Лабораторная служба. 2019;8(2):36–44. [Evagina S.A., Savel'ev L.I. Modern theory and practice of reference intervals. Laboratory Service. 2019;8(2):36–44. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/labs2019802136>

### Информация об авторах:

**Федотова Елена Викторовна**, доктор педагогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем спортивной подготовки ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. ORCID: 0000-0002-3725-5651 ([fedotova.e.v@vniifk.ru](mailto:fedotova.e.v@vniifk.ru))

**Дудко Григорий Алексеевич\***, старший научный сотрудник лаборатории проблем спортивной подготовки ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. ORCID: 0000-0002-1064-3283 ([dudko.g.a@vniifk.ru](mailto:dudko.g.a@vniifk.ru))

**Сиделев Петр Алексеевич**, младший научный сотрудник лаборатории проблем спортивной подготовки ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. ORCID: 0000-0001-9475-7730 ([sidelev.p.a@vniifk.ru](mailto:sidelev.p.a@vniifk.ru))

**Дикунец Марина Александровна**, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем спортивной подготовки ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, 10с1. ORCID: 0000-0002-5945-0722 ([dikunets.m.a@vniifk.ru](mailto:dikunets.m.a@vniifk.ru))

### Information about authors

**Elena V. Fedotova**, D.Sc. (Pedagogy), Docent, Leading Researcher Laboratory of Sports Performance, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Russia, 105005, Moscow, Elizavetinsky lane, 10/1. ORCID: 0000-0002-3725-5651 ([fedotova.e.v@vniifk.ru](mailto:fedotova.e.v@vniifk.ru))

**Grigori A. Dudko\***, Senior Researcher Laboratory of Sports Performance, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Russia, 105005, Moscow, Elizavetinsky lane, 10/1. ORCID: 0000-0002-1064-3283 ([dudko.g.a@vniifk.ru](mailto:dudko.g.a@vniifk.ru))

**Petr A. Sidelev**, Junior Researcher Laboratory of Sports Performance, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Russia, 105005, Moscow, Elizavetinsky lane, 10/1. ORCID: 0000-0001-9475-7730 ([sidelev.p.a@vniifk.ru](mailto:sidelev.p.a@vniifk.ru))

**Marina A. Dikunets**, Candidate of Chemistry Sciences, Leading Researcher Laboratory of Sports Performance, Federal Science Center of Physical Culture and Sport, Russia, 105005, Moscow, Elizavetinsky lane, 10/1. ORCID: 0000-0002-5945-0722 ([dikunets.m.a@vniifk.ru](mailto:dikunets.m.a@vniifk.ru))

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author