



УДК 612.181+612.172+796

EDN NGWSGZ

<https://doi.org/10.33910/2687-1270-2024-5-1-32-49>

Зависимость величины RMSSD кардиоинтервалограммы от специализации тренировочного процесса, этапа годичного цикла подготовки и других факторов (обзор)

Д. А. Катаев^{1,2}, В. И. Циркин³, А. Н. Трухин^{✉1}, С. И. Трухина¹

¹Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36

²Федерация лыжных гонок Республики Татарстан, 420111, Россия, г. Казань, ул. Чернышевского, д. 26/25

³Казанский государственный медицинский университет, 420012, Россия, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 49

Сведения об авторах

Денис Анатольевич Катаев, ORCID: 0000-0002-8051-3521, e-mail: den.cataev2014@yandex.ru

Виктор Иванович Циркин, SPIN-код: 5385-0236, Scopus AuthorID: 57200906302, ResearcherID: O-1603-2017, ORCID: 0000-0003-3467-3919, e-mail: esbartsirkin@list.ru

Андрей Николаевич Трухин, SPIN-код: 4832-8232, Scopus AuthorID: 7004017343, ORCID: 0000-0001-7259-7078, e-mail: trukhinandrey@rambler.ru

Светлана Ивановна Трухина, SPIN-код: 6505-5899, Scopus AuthorID: 8707074400, ORCID: 0000-0003-3888-1993, e-mail: trukhinasvetlana@yandex.ru

Для цитирования: Катаев, Д. А., Циркин, В. И., Трухин, А. Н., Трухина, С. И. (2024) Зависимость величины RMSSD кардиоинтервалограммы от специализации тренировочного процесса, этапа годичного цикла подготовки и других факторов (обзор). *Интегративная физиология*, т. 5, № 1, с. 32–49. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2024-5-1-32-49> EDN NGWSGZ

Получена 21 марта 2024; прошла рецензирование 19 апреля 2024; принята 22 апреля 2024.

Финансирование: Исследование не имело финансовой поддержки.

Права: © Д. А. Катаев, В. И. Циркин, А. Н. Трухин, С. И. Трухина (2024). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях [лицензии CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Аннотация. Исследования variability сердечного ритма (BCP) широко востребованы в спорте, так как раскрывают механизмы адаптации человека к двигательной активности. Статья касается сведений о RMSSD, т. е. квадратном корне из среднего квадрата разностей величин последовательных пар интервалов NN (RMSSD) у спортсменов. Данные литературы и результаты наших исследований позволяют заключить, что у спортсменов величина RMSSD зависит от спортивной специализации (особенно она высока у спортсменов, тренирующих выносливость, в том числе у лыжников-гонщиков, а минимальна у спортсменов, развивающих силу (пауэрлифтинг)). Она также зависит от уровня спортивного мастерства (максимальна у элитных спортсменов), от объема и интенсивности тренировочных нагрузок (возрастает с ростом объема аэробных нагрузок). У элитных лыжников величина RMSSD относительно стабильна: в подготовительном периоде она максимальна, а в соревновательном периоде снижается, что мы объясняем формированием тревожности. Она также стабильна на протяжении каждого мезоцикла, т. е. учебно-тренировочного сбора (УТС). У элитных лыжников на протяжении всего сезона стабилен и тип вегетативной регуляции, который, согласно классификации Н. И. Шлык, относится к автономному типу, или ваготонии. Постулируется, что у элитных лыжников по мере роста их спортивного мастерства формируется антиапоптотическая система, одним из компонентов которой является ненейрональный ацетилхолин (НН-АХ). Предполагается, что величина RMSSD может отражать наличие синтеза ненейронального АХ, а ее снижение у элитных лыжников — следствие торможения этого синтеза, что может быть причиной перетренированности.

Ключевые слова: спортсмены, адаптация к физическим нагрузкам, автономная нервная система, variability сердечного ритма, RMSSD, ненейрональный ацетилхолин, антиапоптотическая система

Review of dependence of the RMSSD value in a cardiointervalogram on the specialization of the training process, stage of the annual training cycle and other factors

D. A. Kataev^{1,2}, V. I. Tsirkin³, A. N. Trukhin^{✉1}, S. I. Trukhina¹

¹ Vyatka State University, 36 Moskovskaya Str., Kirov 610000, Russia

² Federation of Ski Racing of the Republic of Tatarstan, 26/25 Chernyshevskogo Str., Kazan 420111, Russia

³ Kazan State Medical University, 49 Butlerova Str., Kazan 420012, Russia

Authors

Denis A. Kataev, ORCID: 0000-0002-8051-3521, e-mail: den.kataev2014@yandex.ru

Viktor I. Tsirkin, SPIN: 5385-0236, Scopus AuthorID: 57200906302, ResearcherID: O-1603-2017, ORCID: 0000-0003-3467-3919, e-mail: esbartsirkin@list.ru

Andrey N. Trukhin, SPIN: 4832-8232, Scopus AuthorID: 7004017343, ORCID: 0000-0001-7259-7078, e-mail: trukhinandrey@rambler.ru

Svetlana I. Trukhina, SPIN: 6505-5899, Scopus AuthorID: 8707074400, ORCID: 0000-0003-3888-1993, e-mail: trukhinasvetlana@yandex.ru

For citation: Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Trukhin, A. N., Trukhina, S. I. (2024) Review of dependence of the RMSSD value in a cardiointervalogram on the specialization of the training process, stage of the annual training cycle and other factors. *Integrative Physiology*, vol. 5, no. 1, pp. 32–49. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2024-5-1-32-49> EDN NGWSGZ

Received 21 March 2024; reviewed 19 April 2024; accepted 22 April 2024.

Funding: The study did not receive any external funding.

Copyright: © D. A. Kataev, V. I. Tsirkin, A. N. Trukhin, S. I. Trukhina (2024). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under [CC BY-NC License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Abstract. The study of heart rate variability (HRV) is common in sports as it reveals the mechanisms of human adaptation to physical activity. This article deals with information about RMSSD, i. e. the square root of the mean square of the differences in the values of successive pairs of NN intervals (RMSSD) in athletes. Literature-backed data and our research findings suggest that the RMSSD value in athletes depends on their specialization: it is especially high in athletes building endurance, including cross-country skiers, and minimal in those focusing on strength, such as powerlifters. It also correlates with the level of sportsmanship (reaching its maximum among elite athletes) and the volume and intensity of training (going up with the volume of aerobic exercise). In elite skiers, the RMSSD value is relatively stable, peaking in the preparatory period and falling in the competitive one — something that we explain by the onset of anxiety. It also remains stable throughout each mesocycle, i. e. training camp (TC). Elite skiers also have stable autonomic regulation throughout the entire season, which is classified according to N. I. Shlyk as an autonomous type, or vagotonia. It is postulated that as elite skiers build their athletic skills, they form an anti-apoptotic system, which includes non-neuronal acetylcholine (ACh) among its components. It is assumed that the RMSSD value may reflect the presence of non-neuronal ACh synthesis, and its decrease in elite skiers results from the inhibition of this synthesis, which may be the cause of overtraining.

Keywords: athletes, adaptation to physical activity, autonomic nervous system, heart rate variability, RMSSD, non-neuronal acetylcholine, anti-apoptotic system

Введение

Вариабельность сердечного ритма (ВСР) позволяет дать оценку состоянию автономной нервной системы (АНС), участвующей в процессах адаптации организма спортсмена к интенсивной мышечной деятельности (Калабин, Михайлов 2021). Среди спектральных показателей ВСР выделяют мощность HF-, LF-, VLF-волн, отражающую соответственно влияние парасимпатического отдела (ПО) АНС, симпатического отдела (СО) АНС, модулируемое

барорефлексом, и в совокупности СО и ПО АНС, а также биологически активных веществ (БАВ) на сердце (Михайлов 2017; Perek, Raz-Pasteur 2021). При этом суммарное влияние ПО, СО и БАВ отражает общая мощность спектра (TP), а относительная мощность HF-, LF- и VLF-волн, выраженная в процентах к TP, т. е. HF%, LF% и VLF%, отражает удельный вклад ПО, СО АНС и БАВ в регуляцию деятельности сердца (Катаев и др. 2023а).

Ранее нами проанализированы данные литературы и результаты собственных исследований,

касающихся спектральных показателей ВСР действующих элитных лыжников-гонщиков — шести мастеров спорта (МС) и двух мастеров спорта международного класса (МСМК), членов сборной команды Республики Татарстан. Удалось подтвердить (Катаев и др. 2023b), что величины TP, HF-, LF- и VLF-волн, а также VLF%, зарегистрированные в условиях клиностаза, отражают влияние ПО АНС на сердце. Также нами выдвинуто предположение, что величина VLF% у спортсменов, тренирующихся на выносливость, отражает интенсивность синтеза кардиомиоцитами ненеуронального ацетилхолина (НН-АХ) (Катаев и др. 2023a), а значения LF% и HF% у них отражают состояние тревоги в связи с предстоящими стартами (Катаев и др. 2023a). Выявлена прямая зависимость медианы TP и абсолютной мощности VLF-волн от объема циклической нагрузки (ОЦН), выраженного в километрах пути ($V_{км}$), а также от длительности аэробной нагрузки, выполняемой при «рабочем» пульсе ($ЧСС_{р.п.}$), равном 120–121 уд/мин (Катаев и др. 2023a).

Из временных показателей ВСР нами были рассмотрены стресс-индекс (SI) (Катаев и др. 2023b); длительность нормальных интервалов RR, т. е. RRNN (мс), отношение последовательных интервалов NN, различие между которыми превышает 50 мс, в процентах к общему числу интервалов NN, т. е. pNN50 (Kataev et al. 2024). Анализ динамики величин SI, RRNN, pNN50% подтверждает наши выводы (Катаев и др. 2023a; Kataev et al. 2024) и выводы других авторов (Pla et al. 2019) о том, что для спортсменов, развивающих выносливость, особенно для элитных лыжников-гонщиков, характерна высокая активность ПО АНС. Кроме того, на основе анализа SI и абсолютных значений VLF, по которым предложено определять тип вегетативной регуляции (ТВР) сердечной деятельности (Shlyk 2016), показано, что у элитных лыжников-гонщиков (Катаев и др. 2023b) ТВР не меняется на протяжении всего годичного макроцикла и оценивается по классификации Н. И. Шлык (Shlyk 2016) как выраженная автономная регуляция (ваготония).

Наш анализ спектральных и временных показателей ВСР действующих элитных лыжников-гонщиков позволил сформулировать представление об антиапоптической системе миокарда, формирующейся при тренировках, развивающих выносливость. С учетом данных литературы (Kakinuma 2021; Munasinghe et al. 2023), мы предполагаем, что основным компонентом этой системы является ненеурональный ацетилхолин (Катаев и др. 2023a; 2023b; 2024).

В данной статье анализируются сведения литературы в отношении квадратного корня из среднего квадрата разностей величин последовательных пар интервалов NN, т. е. RMSSD, отражающего влияние ПО ВНС на ритм сердца, в том числе синусовую аритмию, связанную с дыханием; при доминировании СО АНС величина RMSSD уменьшается, а при доминировании ПО АНС — возрастает (Михайлов 2017; Ходырев и др. 2011). При этом в обзоре мы учитывали, что величину RMSSD можно представлять в виде средней арифметической, либо в виде медианы; в ряде случаев это отмечалось при изложении материала. Цель данного обзора — предоставить сведения о величине RMSSD в зависимости от ряда факторов, в том числе от спортивной специализации, периодов подготовки, от объема тренировочной нагрузки аэробного характера.

Величина RMSSD (мс) в зависимости от уровня двигательной активности (спортсмены в сравнении с неспортсменами)

Велосипедисты и неспортсмены

У 12 велосипедистов величина RMSSD была значимо выше (71 мс), чем у 10 сверстников-неспортсменов (49 мс) (Pluim et al. 1999). У 15 велосипедистов (21 год) значения RMSSD были выше, чем у неспортсменов того же возраста (86 мс против 30 мс) (Bonaduce et al. 1998).

Легкоатлеты и неспортсмены

У элитных бегунов-мужчин (25 лет) величина RMSSD была выше, чем у неспортсменов (Jensen-Urstad et al. 1997). У 50 студентов-легкоатлетов (20 лет; 1–2 разряд) величина RMSSD была выше, чем у 26 работников (29 лет) компании ООО «Нейрософт» — 49 мс против 30 мс (Михайлов 2017). У 8 легкоатлетов-спринтеров (51 год) и 8 стайеров (53 года), значения RMSSD были статистически значимо выше, чем у 17 неспортсменов (47 лет) — соответственно 40 мс и 38 мс против 20 мс (Deus et al. 2019).

Спортсмены, тренирующиеся на выносливость, и неспортсмены

У 138 спортсменов, тренирующихся на выносливость, значения RMSSD были статистически значимо выше, чем у 100 неспортсменов того же возраста — 71 мс против 50 мс (Kiss et al. 2016). А по данным греческих исследователей (Kaltsatou et al. 2011), величина RMSSD была значимо выше у спортсменов, развивающих выносливость и силу, чем у неспортсменов.

Пауэрлифтинг (силовое троеборье) и неспортсмены

У 19 пауэрлифтеров величина RMSSD была значимо ниже, чем у неспортсменов ($n = 20$) — 32 мс против 56 мс (Калабин, Спицин 2011).

Итак, почти все цитируемые выше авторы (Михайлов 2017; Bonaduce et al. 1998; Deus et al. 2019; Jensen-Urstad et al. 1997; Kaltsatou et al. 2011; Kiss et al. 2016; Pluim et al. 1999) утверждают, что у спортсменов величина RMSSD выше, чем у неспортсменов. Это означает, что двигательная активность способствует росту величины RMSSD. Однако у спортсменов, тренирующих мышечную силу, величина RMSSD ниже, чем у неспортсменов (Калабин, Спицин 2011).

Величина RMSSD (мс) в зависимости от длительности (стажа) занятия спортом и уровня спортивного мастерства

У дзюдоистов международного класса величина RMSSD выше, чем у дзюдоистов национального уровня (Morales et al. 2013). Аналогично у элитных девяти спортсмен-ориентировщиков величина RMSSD была выше, чем у менее квалифицированных: 103 мс против 87 мс (Seiler et al. 2007). У футболистов международного уровня величина RMSSD выше, чем у футболистов второго дивизиона Италии (Proietti et al. 2017). У 12 пловцов национального уровня величина RMSSD была статистически значимо выше, чем у 16 пловцов регионального уровня (Flatt et al. 2021). У баскетболистов — МС, КМС и у разрядников величина RMSSD составила соответственно 165, 92 и 63 мс (Погодин, Алексанянц 2018). Исследуя 16 лыжников (18–25 лет), (Литвин и др. 2012) установили, что величина RMSSD в начале учебно-тренировочного сбора (УТС) у МС, КМС и у перворазрядников составила соответственно 112, 98 и 67 мс, а после завершения УТС — соответственно 125, 102 и 96 мс. Это указывает на то, что и у лыжников величина RMSSD повышается с ростом квалификации спортсмена. Ярким примером служат данные о том, что у пятикратного олимпийского чемпиона по биатлону Мартена Фуркада величины RMSSD возрастали с 2009 по 2019 год включительно с 31 мс до 114 мс (Schmitt et al. 2021).

Таким образом, у спортсменов, в том числе тренирующихся на выносливость, значения RMSSD повышаются с ростом стажа и уровня спортивного мастерства (Литвин и др. 2012; Погодин, Алексанянц 2018; Flatt et al. 2021; Morales et al. 2013; Proietti et al. 2017; Schmitt et al.

2021; Seiler 2007). Однако у спортсменов-силовиков, наоборот, с ростом мастерства значения RMSSD снижаются (Калабин, Спицин 2011) — согласно их данным, у 8 МС по пауэрлифтингу значения RMSSD были значимо ниже, чем у 11 пауэрлифтеров-разрядников (23 мс против 37 мс). Полагаем, что особенность динамики величины RMSSD (ее снижение с ростом мастерства) у спортсменов, развивающих мышечную силу, требует исследования с позиций изучения механизмов адаптации организма человека к физической активности в зависимости от ее направленности.

Величина RMSSD (мс) в зависимости от спортивного результата

У лыжников-гонщиков 16–17 лет величина RMSSD была тем выше, чем выше результат лыжной гонки (Остроумов, Викулов 2012). У пятикратного олимпийского чемпиона по биатлону Мартена Фуркада величины RMSSD за 11 лет, т. е. с 2009 по 2019 год включительно, по годам выглядят следующим образом: 31, 44, 51, 95, 89, 91, 114, 99, 99, 108, 94 мс (Schmitt et al. 2021). Авторы указывают, что число позиций топ-3 увеличилось с 2 до 24–26 с 2009 по 2018 год (пик в 2016–2018 годы) и снизилось до 6 в 2019 году. Итак, рост величины RMSSD указывает на повышение работоспособности спортсмена-лыжника и достижение высоких результатов в соревнованиях (Остроумов, Викулов 2012; Schmitt et al. 2021). Это согласуется с нашим выводом, сделанным в предыдущем разделе, согласно которому у спортсменов, в том числе тренирующихся на выносливость, значения RMSSD повышаются с ростом стажа и уровня спортивного мастерства.

Величина RMSSD (мс) в зависимости от вида спортивной специализации

Футболисты

По данным испанских исследователей (Ayuso-Moreno et al. 2021), у 13 футболисток второго дивизиона чемпионата Испании (18–28 лет) величина RMSSD составила 66 мс. У мужчин-футболистов ($n = 76$) — 77 мс (Lengyel et al. 2011). А по данным Михайлова (Михайлов 2017) у мужчин-футболистов ($n = 20$) — 54 мс. Согласно недавним исследованиям (Исмаил (Бергман) и др. 2021), у 15 юных футболистов (16 лет) средние значения RMSSD статистически значимо ниже у вратарей (38 мс), чем у полузащитников (60–91 мс) и защитников или нападающих (19–107 мс).

Хоккеисты

У 20 хоккеистов (16 лет) перед поездкой на чемпионат мира величина RMSSD составила 91 мс (Михайлов 2017).

Волейболисты

У профессионального волейболиста, олимпийского чемпиона ЗМС М. М. Михайлова величина RMSSD составила 70 мс (Калабин, Михайлов 2023).

Параютисты

У 17 парашютистов (Михайлов 2017), участвующих в специальном тренировочном сборе, величина RMSSD составила 48 мс.

Борцы

У 15 борцов греко-римского стиля величина RMSSD составила 78 мс (Сарыг и др. 2015), а у 34 элитных 23-летних женщин-борцов по дзюдо величина RMSSD составила 82 мс (Tian et al. 2013).

Пауэрлифтинг (силовое троеборье)

У 8 МС по пауэрлифтингу (Калабин, Спицин 2011) величина RMSSD составила 23 мс, а у 11 пауэрлифтеров-разрядников — 37 мс.

Шорт-трековики

У 7 спортсменов-мужчин (Кротова, Терехов 2021) (КМС, МС, 16–22 лет), занимающихся шорт-треком, величина RMSSD составляла 46 мс.

Пловцы

У 14-летних пловцов (n = 22) величина RMSSD составила 73 мс (Kamandulis et al. 2020).

Велосипедисты

У 12 велосипедистов (18–40 лет) регионального уровня величина RMSSD составила 59 мс (Oliveira-Silva et al. 2018). А по данным Плюм с соавторами (Pluim et al. 1999), у 12 велосипедистов она составила 71 мс. У 15 профессиональных велосипедистов (21 год) величина RMSSD составила 86 мс (Bonaduce et al. 1998); по данным других авторов, эта величина составила 48 мс (Barak et al. 2010) или 43 мс (Swart, Constantinou 2023).

Биатлонисты

У пятикратного олимпийского чемпиона по биатлону Мартена Фуркада (Schmitt et al. 2021) величина RMSSD достигала максимума — 114 мс.

Лыжники-гонщики

У 16 действующих элитных лыжников-гонщиков из России, Норвегии, Швейцарии величина RMSSD варьировала в пределах 99–101 мс (Schäfer et al. 2015). По нашим данным (Катаев и др. 2024), у элитных лыжников-гонщиков Республики Татарстан медиана RMSSD варьировала от 92 до 129 мс, в том числе у элитного лыжника-гонщика Д. Катаева (МС) она варьировала от 96 до 108 мс. У 10–12-летних лыжников-гонщиков (n = 46) величина RMSSD варьировала от 32 до 56 мс (Ефремова, Спицин 2017), а у 18–20-летних студентов 2–4 курсов спортивного факультета она составила 93 мс (Воронина, Сафаров 2008).

Спортсмены, тренирующиеся на выносливость

У спортсменов, развивающих выносливость, величина RMSSD была выше, чем у спортсменов, развивающих силу (Kaltsatou et al. 2011; Mal'tsev et al. 2010). Согласно швейцарским исследованиям (Sztajzel et al. 2008), спортсмены, тренирующие выносливость, имеют особенно высокие показатели RMSSD в сравнении с общей популяцией спортсменов.

Итак, анализ литературы показывает, что самые высокие величины RMSSD зарегистрированы у элитных лыжников-гонщиков (Катаев и др. 2024; Schäfer et al. 2015) и биатлонистов (Schmitt et al. 2021), а также у лыжников-гонщиков юниорского возраста (Воронина, Сафаров 2008). Более низкие величины RMSSD характерны для профессиональных велосипедистов (Bonaduce et al. 1998), хоккеистов (Михайлов 2017), борцов-дзюдо (Bonaduce et al. 1998), футболистов (Lengyel et al. 2011), волейболистов (Калабин, Михайлов 2023), а также для менее квалифицированных велосипедистов (Barak et al. 2010; Oliveira-Silva et al. 2018; Pluim et al. 1999; Swart, Constantinou 2023), пловцов (Kamandulis et al. 2020), борцов греко-римского стиля (Сарыг и др. 2015), футболистов (Михайлов 2017; Ayuso-Moreno et al. 2021), особенно вратарей (Исмаил (Бергман) и др. 2021). Самые низкие величины RMSSD характерны для лыжников-гонщиков начальных разрядов (Ефремова, Спицин 2017), парашютистов (Михайлов 2017), шорт-трековиков (Кротова, Терехов 2021) и спортсменов, тренирующихся на развитие мышечной силы (Калабин, Спицин 2011; Kaltsatou et al. 2011; Mal'tsev et al. 2010).

Величина RMSSD при перетренированности

У элитного спортсмена-триатлета в течение подготовки к старту величина RMSSD постепенно снижалась, что расценивалось как признак перетренированности (Plews et al. 2012). При исследовании 14-летних пловцов ($n = 22$) выявлено, что снижение величины RMSSD может служить симптомом перетренированности (Kamandulis et al. 2020). По мнению Тиан с соавторами (Tian et al. 2013), снижение величины RMSSD до 45 мс у дзюдоистов ($n = 34$; 23 года) отражает перетренированность. И так, снижение величины RMSSD у действующих спортсменов расценивается как срыв адаптационных процессов у спортсменов, развивающих выносливость, т. е. является симптомом перетренированности (Kamandulis et al. 2020; Plews et al. 2012; Tian et al. 2013).

Величина RMSSD (мс) в зависимости от гендера

Исследуя элитных лыжников-гонщиков (16 мужчин и 19 женщин) в начале и в конце подготовительного периода, а также в соревновательном периоде (Schäfer et al. 2015), не выявили половых различий: у мужчин величины RMSSD составили соответственно 99, 101 и 98, а у женщин 97, 100 и 100 мс. Исследуя 12 мужчин и 10 женщин лыжников-гонщиков высокой квалификации (1 взр, КМС, МС, МСМК) в возрасте 16–34 года, Солонин с соавторами (Солонин и др. 2019) не выявили статистически значимых различий между ними: у мужчин медиана RMSSD и центили составили 68 мс (56–86 мс), а у женщин — 51 мс (40–73 мс). Исследуя лыжниц и лыжников команды Республики Коми, Марков не выявил существенных половых различий в величине RMSSD: у 15–16-летних юношей она составила 80 мс, а у девушек — 77 мс; у 17–18-летних юношей — 73 мс, у девушек — 79 мс (Марков 2019). Не выявлено значимых различий у спортсменов (КМС, МС), занимающихся шорт-треком: у 7 юношей и 4 девушек в возрасте 16–22 лет величина RMSSD составляла соответственно 46 мс и 41 мс (Кротова, Терехов 2021). И лишь Гаврилова, исследовав баскетболистов, в том числе 15 женщин и 30 мужчин, установила, что у женщин величина RMSSD выше, чем у мужчин (73 мс против 57 мс) (Гаврилова 2015).

В отношении спортсменов также не выявлены статистически значимые половые различия по величине RMSSD. Так, Веневцева с соавторами, исследуя 60 женщин и 40 мужчин, студентов 6-го курса медицинского института,

показали, что величина RMSSD составила соответственно 37 мс и 44 мс ($p > 0,05$) (Веневцева и др. 2019). Исследовав 29 мальчиков и 38 девочек, учащихся 9–10-х классов (14–16 лет) общеобразовательной школы, Михайлов не выявил значимых различий в величине RMSSD, которая составила соответственно 32 мс и 40 мс (Михайлов 2017). Не выявлено различий по величине RMSSD между 366 мужчинами и 271 женщиной (Park et al. 2007). И лишь в работе Питкевич с соавторами (Питкевич и др. 2010) сообщается, что у женщин медиана RMSSD статистически значимо выше, чем у мужчин.

И так, большинство авторов не выявило половых различий по величине RMSSD у спортсменов (Кротова, Терехов 2021; Марков 2019; Солонин и др. 2019), и у спортсменов (Веневцева и др. 2019; Михайлов 2017; Park et al. 2007) и только, согласно данным Гавриловой (Гаврилова 2015), у женщин-баскетболисток величина RMSSD выше, чем у мужчин-баскетболистов, а среди спортсменов, согласно данным Питкевич с соавторами (Питкевич и др. 2010), у женщин она выше, чем у мужчин.

Величина RMSSD (мс) в зависимости от периода годового цикла (подготовительный, соревновательный, переходный)

Исследуя 15 профессиональных велосипедистов (21 год), показано, что значения RMSSD в переходном периоде (один месяц отдыха) составили 86 мс, а в конце подготовительного периода, т. е. после пяти месяцев непрерывного тренировочного процесса, они составили 96 мс, но авторы не указали статистическую значимость различий (Bonaduce et al. 1998). Барреро с соавторами исследовали ВСР у десяти элитных велосипедисток (на шоссе) во время соревнования «Тур де Франс 2017», на протяжении 21 этапа (Barrero et al. 2019). Так, перед туром величина RMSSD составила 93 мс, а после 1–9 этапов — 49 мс, после 10–15 этапов — 56 мс, а в конце многодневки, т. е. после 16–21 этапов — 57 мс. Однако после кратковременного (два дня) отдыха величина RMSSD восстанавливалась почти до исходного уровня. И так, на каждом этапе тура величина RMSSD статистически значимо снижалась, что косвенно говорит об утомлении, которое проходило в период отдыха. При исследовании 16 элитных лыжников-гонщиков из России, Норвегии, Швейцарии показано (Schäfer et al. 2015), что величина RMSSD в первой половине подготовительного периода (июнь–август) составила 99 мс, во второй

половине этого периода (сентябрь–ноябрь) — 101 мс, а в соревновательном периоде (декабрь–март) — соответственно 98 мс. Это свидетельствует о том, что на протяжении подготовительного и соревновательного периодов величины RMSSD у элитных лыжников оставались относительно стабильными, хотя имеется тенденция к снижению величины этого показателя в соревновательный период. Нами (Катаев и др. 2024) установлено, что у спортсмена Д. Катаева медиана и 25-й и 75-й центили RMSSD в подготовительном периоде составили 108 мс (97/120 мс), что статистически значимо было выше, чем в соревновательном периоде — 101 мс (94/111 мс) и в переходном периоде — 96 мс (91/107 мс) ($p < 0,05$); при этом различия между соревновательным и переходным периодами были незначимы ($p > 0,05$). У 8 членов сборной команды Татарстана (6 МС и 2 МСМК) величина RMSSD имела такую же динамику, как у спортсмена Д. Катаева — в подготовительном периоде величина RMSSD составила 110 мс (92/135 мс), а в соревновательном периоде — 96 (86/105 мс). Это говорит о том, что у всех членов сборной команды Татарстана, в том числе и у лыжника Д. Катаева величина RMSSD относительно стабильна на протяжении сезона, а незначительное (хотя и статистически значимое) снижение в соревновательном периоде можно объяснить формированием чувства тревожности, которое сопровождалось повышением активности СО АНС, регистрируемом при клиностатической КИГ.

Данные литературы также указывают на снижение величины RMSSD в соревновательном периоде, что особенно характерно для других видов спорта. Так, у 12 испанских футзалистов (23 года) в соревновательном периоде значения RMSSD были статистически значимо ниже, чем в подготовительном периоде (Nakamura et al. 2023). У 5 конькобежцев международного класса в конце соревновательного периода величина RMSSD была статистически значимо ниже, чем в начале этого периода — 42 мс против 61 мс (Iizuka et al. 2020). У легкоатлето-бегунов (24 года) регионального уровня величина RMSSD в соревновательном периоде была ниже (67 мс), чем в подготовительном периоде (83 мс), хотя различия были статистически незначимы (Raczak et al. 2006).

Таким образом, в соревновательном периоде у спортсменов (Nakamura et al. 2023), в том числе тренирующихся на выносливость (Катаев и др. 2024; Barrero et al. 2019; Bonaduce et al. 1998; Iizuka et al. 2020; Raczak et al. 2006; Schäfer et al. 2015), величина RMSSD в соревновательном периоде ниже, чем в подготовительном. Это,

как мы уже отмечали, можно объяснить формированием у спортсмена в соревновательном периоде чувства тревожности.

Величина RMSSD (мс) в зависимости от этапа мезоцикла (учебно-тренировочного сбора, УТС)

В подготовке лыжников-гонщиков, помимо макроцикла, принято выделять отдельные мезоциклы или УТС, средняя продолжительность которых обычно составляет один календарный месяц (Миссина и др. 2022). При исследовании 6 лыжников-гонщиков (18–25 лет; 1 взр, КМС, МС) показано (Литвин и др. 2012), что до начала УТС величина RMSSD у разрядников составила 67 мс, а после завершения УТС — 96 мс, у КМС соответственно 98 мс и 102 мс, у МС — 112 мс и 125 мс (статистическая значимость различий не указана). Косвенно эти данные позволяют заключить, что на протяжении одного УТС величина RMSSD у малокачественных лыжников может возрастать, а у элитных лыжников она сохраняется стабильно высокой. При исследовании легкоатлетов и триатлетов (5 мужчин и 5 женщин) показано (Baumert et al. 2006), что значения RMSSD в начале, середине и конце УТС составили соответственно 68, 52 и 61 мс, при этом все различия были статистически значимы. У команды Татарстана по лыжным гонкам, в том числе у спортсмена Д. Катаева, в сезонах 2019–2020 годов было проведено десять УТС. Медианы и центили RMSSD, зарегистрированные у спортсмена Д. Катаева в начале, середине и конце семи УТС подготовительного периода, составили соответственно 117 (104/120 мс), 118 (107/119 мс) и 98 мс (93/113 мс). При этом все эти изменения были статистически незначимы ($p > 0,05$). Это подтверждает представление о стабильности величины RMSSD у элитного лыжника на протяжении одномесечного УТС.

Итак, на основе данных литературы (Литвин и др. 2012; Baumert et al. 2006) и наших данных, полученных при исследовании лыжника-гонщика Д. Катаева (Катаев и др. 2024), можно заключить, что в структуре одного мезоцикла (УТС) величина RMSSD у элитных лыжников относительно стабильна.

Величина RMSSD в зависимости от объема и интенсивности тренировочных и соревновательных нагрузок

При исследовании элитного пловца (на открытой воде) установлено (Pla et al. 2019), что

величина RMSSD повышалась с увеличением объема нагрузки, выполняемой с низкой и средней интенсивностью. При исследовании пятикратного олимпийского чемпиона по биатлону Мартена Фуркада выявлена положительная зависимость величины RMSSD от объема аэробной нагрузки (Schmitt et al. 2021). Полагают (Buchheit 2014), что аэробные тренировки большого объема повышают величину RMSSD. Согласно нашим данным (Катаев и др. 2024), полученным при регистрации КИГ у лыжника Д. Катаева, имеется прямая зависимость медианы RMSSD от длительности аэробной нагрузки (при медиане «рабочего» пульса, равной 120–121 уд/мин). Это характерно в целом для сезона (величина коэффициента Спирмена составила 0,15; $p < 0,05$). Итак, большие по объему аэробные тренировочные нагрузки способствуют росту величины RMSSD, а тем самым — повышению влияния ПО АНС на работу сердца спортсменов (Катаев и др. 2024; Buchheit 2014; Pla et al. 2019; Schmitt et al. 2021). Сообщение (Kamandulis et al. 2020) о снижении у 14-летних пловцов величины RMSSD (до 73 мс) при увеличении объема тренировочных нагрузок, вероятно, можно расценивать как следствие перетренированности юных пловцов.

Величина RMSSD у спортсменов в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечной деятельности (ТВРСД)

Нам не удалось найти сведений, касающихся ТВРСД, оцениваемых по величине RMSSD. По мнению Н. И. Шлык (Shlyk 2016), у спортсменов, независимо от спортивной специализации, возраста и других факторов, показатели ВСР преимущественно определяются ТВРСД. Согласно Н. И. Шлык (Shlyk 2016), с учетом величины индекса напряжения (SI) и абсолютной мощности VLF (AMVLF), следует выделять четыре типа (I, II, III и IV) ТВРСД, что определяется выраженностью либо центральной, либо автономной регуляции деятельности сердца. Так, согласно Н. И. Шлык, I и II типы регуляции — это спортсмены соответственно с умеренным ($SI > 100$; $AMVLF > 240$ мс²) или выраженным ($SI > 100$; $AMVLF < 240$ мс²) преобладанием центральной регуляции, а III и IV типы — это спортсмены соответственно с умеренным ($SI = 30–100$; $AMVLF > 240$ мс²), или выраженным ($SI < 30$; $AMVLF > 500$ мс²) преобладанием автономной регуляции. По сути, центральная регуляция, согласно Н. И. Шлык, — это доминирование влияния СО АНС на сердце в условиях клиностаза, в то время как автономная регуля-

ция — это доминирование влияния ПО АНС в этих же условиях. В работе (Шлык и др. 2012) спортсмены, независимо от их возраста, квалификации и вида спорта, были разделены на четыре типа регуляции, согласно приведенным выше критериям. У спортсменов, относящихся к I, II, III и IV ТВРСД, величина RMSSD была равной соответственно 37, 32, 75 мс, 126 мс. В то же время Литвин с соавторами (Литвин и др. 2021), исследовавшие 12 пауэрлифтеров (КМС, МС), показали, что у 5 спортсменов, имеющих III ТВРСД по классификации Н. И. Шлык (на основе SI и VLF), т. е. умеренный автономный тип, величина RMSSD не отличалась от 7 спортсменов, имеющих I ТВРСД, — умеренный центральный — величина RMSSD составила соответственно 33 мс и 32 мс. Используя классификацию Н. И. Шлык (Shlyk 2016), мы оценили ТВРСД у 8 членов сборной Татарстана, включая спортсмена Д. Катаева, и установили, что у 7 из них и в подготовительном, и в соревновательном периодах имелся IV ТВРСД, а у спортсмена Г. В. в обоих периодах имелся III ТВРСД (Катаев и др. 2023b). Как уже отмечалось выше, у всех членов команды Татарстана, в том числе у спортсмена Д. Катаева медиана RMSSD в указанные периоды (а у Д. Катаева и в переходном периоде) варьировала от 96 до 110 мс, что отражает высокую активность ПО АНС. Это дает основание утверждать, что показатель RMSSD может также служить одним из критериев для выделения ТВРСД деятельности сердца.

Заключение

Ранее мы проанализировали динамику спектральных показателей ВСР в процессе годового цикла элитных лыжников, в том числе TP, абсолютную мощность (мс²) HF-, LF-, VLF-волн и относительную мощность (в процентах к TP) этих волн, т. е. HF%, LF% и VLF% (Катаев и др. 2023a), а также динамику ряда временных показателей (SI, усл. ед) (Катаев и др. 2023b); (RRNN, мс), pNN50% (Kataev et al. 2024). Мы установили, что на протяжении годового цикла значения TP, HF-, LF- и VLF-волн существенно меняются, в то время как значения SI, R-R (RRNN), pNN50% и RMSSD претерпевают небольшие изменения. Но в целом мы подтвердили, что все перечисленные спектральные и временные показатели ВСР (в условиях клиностаза) отражают влияние ПО АНС на сердце, которое достигает максимальных значений в подготовительном периоде и снижается в соревновательном периоде. При этом мы предположили, что показатель VLF% отражает

синтез кардиомиоцитами ненеуронального ацетилхолина (Катаев и др. 2023а), а величины LF% и HF% (Катаев и др. 2023а) и RRNN отражают формирование у спортсмена состояния тревоги в связи с предстоящими стартами.

Результаты данного обзора подтверждают представление о том, что величина RMSSD отражает активность ПО АНС: чем выше значения этого показателя, тем выраженнее влияние ПО АНС на деятельность сердца (Михайлов 2017; Barak et al. 2010; Bonaduce et al. 1998; Deus et al. 2019; Jensen-Urstad et al. 1997; Kaltsatou et al. 2011; Kiss et al. 2016; Pluim et al. 1999; Swart, Constantinou 2023). Это особенно характерно для элитных лыжников (Катаев и др. 2024; Литвин и др. 2012; Schäfer et al. 2015).

У спортсменов самые высокие значения RMSSD зарегистрированы у элитных лыжников-гонщиков (Катаев и др. 2024; Schäfer et al. 2015) и биатлонистов (Schmitt et al. 2021), а самые низкие — у лыжников-гонщиков начальных разрядов (Ефремова, Спицин 2017), парашютистов (Михайлов 2017), шорт-трековиков (Кротова, Терехов 2021) и спортсменов, тренирующихся на развитие мышечной силы (Калабин, Спицин 2011; Kaltsatou et al. 2011; Mal'tsev et al. 2010).

Данные литературы свидетельствуют о том, что даже у начинающих спортсменов величины RMSSD выше, чем у неспортсменов: 32–56 мс против 20–30 мс (Михайлов 2017; Bonaduce et al. 1998; Deus et al. 2019; Kaltsatou et al. 2011). Это согласуется с представлением о том, что двигательная активность способствует повышению влияния ПО АНС на сердце. Поэтому вполне объяснимы высокие значения RMSSD (96–110 мс), характерные для элитных лыжников. Яркий пример тому — данные о повышении значений RMSSD у известного биатлониста Мартена Фуркада на протяжении 11 лет, т. е. с 2009 по 2019 год (Schmitt et al. 2021). Поэтому многие авторы заключают, что рост величины RMSSD у спортсменов, тренирующихся на выносливость, служит предиктором спортивного успеха (Остроумов, Викулов 2012; Botek et al. 2014; Schmitt et al. 2021), а снижение величины RMSSD, вероятнее всего, отражает состояние перетренированности (Kamandulis et al. 2020; Plews et al. 2012; Tian et al. 2013), при котором возрастает активность СО АНС. Нами показано, что на протяжении каждого учебно-тренировочного сбора (УТС) у элитных спортсменов, в том числе у лыжников, как правило, значения RMSSD сохраняются стабильно высокими (Катаев и др. 2024). Это означает, что показатель RMSSD не обладает высокой информативностью в срав-

нении со спектральными показателями, но, очевидно, он позволяет диагностировать перетренированность (Kamandulis et al. 2020; Plews et al. 2012; Tian et al. 2013). Сведения, полученные другими авторами (Литвин и др. 2012) при исследовании лыжников на УТС, подтверждают этот вывод.

Данные литературы также свидетельствуют об относительной стабильности показателя RMSSD на протяжении годового цикла у спортсменов, тренирующихся на выносливость (Катаев и др. 2024; Barrero et al. 2019; Bonaduce et al. 1998; Liao, Li 2022; Raczak et al. 2006; Schäfer et al. 2015). Отметим, что при силовых тренировках динамика показателя RMSSD существенно иная (Калабин, Спицин 2011; Kaltsatou et al. 2011; Mal'tsev et al. 2010), чем у спортсменов, тренирующихся на выносливость. Но эта особенность касается не только показателя RMSSD, но и других временных показателей ВСР, в том числе SI (Катаев и др. 2023b); RRNN, рNN50% (Катаев et al. 2024) и RMSSD (Катаев и др. 2024).

Нами впервые установлено, что с повышением длительности тренировочных нагрузок ($V_{\text{мин}}$), проводимых в аэробном режиме, в частности, при «рабочем» пульсе, равном 120–121 уд/мин за тренировку, возрастает медиана RMSSD, что характерно в целом по сезону (Катаев и др. 2024). К аналогичному выводу приходят и другие авторы (Buchheit 2014; Pla et al. 2019; Schmitt et al. 2021).

В настоящее время существует мнение о том, что значения показателей ВСР у спортсменов зависят не от пола, стажа занятий спортом, уровня спортивного мастерства и других факторов, а определяются генетически врожденным ТВРСД (Shlyk 2016), основным критерием классификации которого являются величины SI и VLF. Согласно данной классификации, 7 членов команды Татарстана, включая Д. Катаева, отнесены к IV ТВРСД и лишь один из них — к III типу ТВРСД (Катаев и др. 2023b). По нашему мнению, показатель RMSSD может также служить одним из критериев для оценки ТВРСД. Полагаем, что вопрос о зависимости показателей ВСР от ТВРСД, поднятый в ряде работ (Ефремова, Спицин 2017; Литвин и др. 2021; Шлык и др. 2012; Shlyk 2016), заслуживает внимания, но требует дальнейших исследований. По нашему мнению, ТВРСД зависит от генома спортсмена, в том числе от способности кардиомиоцитов желудочков сердца синтезировать ненеурональный ацетилхолин (НН-АХ), что в конечном итоге и определяет его успешность в избранном виде спорта.

Установлено, что половые различия не влияли на RMSSD (Веневцева и др. 2019; Кротова, Терехов 2021; Марков 2019; Михайлов 2017; Солонин и др. 2019; Park et al. 2007; Schäfer et al. 2015).

В целом наши данные в отношении величины RMSSD (Катаев и др. 2024) не противоречат высказанному ранее предположению о том, что в процессе адаптации организма к физическим нагрузкам, требующим выносливости, в сердце формируется антиапоптотическая система, которая препятствует повреждению сердца, неизбежно возникающему под влиянием окислительного стресса и активации бета₁-адренорецепторов сердца (Катаев и др. 2023а). Одним из важных компонентов этого механизма является так называемый ненейрональный АХ (НН-АХ), который под влиянием физических нагрузок большого объема продуцируется кардиомиоцитами. В основе антиапоптотического действия АХ, по мнению Какинумы (Kakinuma 2021), лежит активация M₃-XP или альфа₇-H-XP, благодаря которой активируется транскрипционный фактор Nrf-2, регулирующий экспрессию более 500 генов, в том числе повышающий экспрессию антиоксидантов типа глутатиона и антиоксидантных ферментов. Ранее мы показали (Катаев и др. 2024), что процесс синтеза ненейронального АХ (НН-АХ) отражает такой спектральный показатель, как относительная мощность VLF-волн (VLF%), т. е. выраженная в процентах к TP (Катаев и др. 2023а). Тот факт, что высокие спортивные показатели лыжников и других спортсменов, тренирующихся на выносливость, коррелируют с ростом значений RMSSD (Остроумов, Викулов 2012; Botek et al. 2014; Schmitt et al. 2021), а перетренированность спортсмена проявляется в снижении величины RMSSD (Kamandulis et al. 2020; Plews et al. 2012; Tian et al. 2013), позволяет предположить, что величина RMSSD отражает интенсивность синтеза ненейронального АХ (НН-АХ) в желудочках миокарда в процессе тренировок и ее снижение при перетренировках. С учетом данных литературы о том, что снижение синтеза ненейронального АХ (НН-АХ) является одной из причин гипертонии (Meng et al. 2021), а также причиной развития сердечной недостаточности при сахарном диабете-1 (Munasinghe et al. 2023), полагаем, что величины спектральных и временных показателей ВСР элитных лыжников, в том числе величины относительной мощности VLF-волн и RMSSD (и вероятно, других) могут служить индикатором производства ненейронального АХ (НН-АХ) кардиомиоцитами желудочков сердца человека. Но для доказательства этого

предположения требуются дальнейшие исследования параметров ВСР лыжников, совмещенные с оценкой состояния системы синтеза ненейронального АХ, в том числе активности холинацетилтрансферазы, транспортера холина-1 и везикулярного транспортера АХ, а также состояния митохондрий как источника холина и ацетила для синтеза синаптического и ненейронального АХ.

Выводы

1. Величина RMSSD зависит от уровня двигательной активности, а у спортсменов от спортивной специализации (она максимальна у спортсменов, тренирующихся на выносливость, в частности, у лыжников-гонщиков высокой квалификации, а минимальна у спортсменов, развивающих силу, в частности, у пауэрлифтеров); от стажа занятий спортом и квалификации (у лыжников-гонщиков с повышением мастерства величина RMSSD увеличивается).

2. Величина RMSSD зависит от периодов подготовки спортсменов; в частности, у тренирующихся на выносливость, например, у элитных лыжников, она достигает максимума в подготовительный период и остается относительно стабильной на протяжении всего сезона, незначительно снижаясь в соревновательный период, что связано с формированием чувства тревожности. Она также стабильна у элитных лыжников на протяжении учебно-тренировочного сбора (УТС).

3. У спортсменов, тренирующихся на выносливость, в том числе у элитных лыжников-гонщиков, медиана RMSSD возрастает с повышением длительности аэробной тренировочной нагрузки, что косвенно говорит о повышении у них влияния парасимпатической системы на деятельность сердца.

4. Тип вегетативной регуляции сердечной деятельности (ТВРСД) у элитных лыжников-гонщиков не меняется на протяжении всего годового сезона и оценивается по классификации Н. И. Шлык как выраженная автономная регуляция, т. е. ваготония.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Соответствие принципам этики

Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 года и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Вятского государственного университета (Киров) от 11.01.2022 г., протокол № 2.

Ethics Approval

All the studies were conducted in accordance with the principles of biomedical ethics set forth in the 1964 Declaration of Helsinki and its updates, and approved by the local bioethics committee of Vyatka State University, Kirov, dated January 11, 2022, protocol No. 2.

Вклад авторов

а. Катаев Денис Анатольевич — сбор и обработка материала, анализ литературы, написание статьи;

б. Циркин Виктор Иванович — концепция и дизайн исследования, анализ литературы, написание статьи;

в. Трухин Андрей Николаевич — научное редактирование, оформление статьи и необходимой документации;

г. Трухина Светлана Ивановна — концепция и дизайн исследования, научное редактирование, оформление статьи и необходимой документации.

Author Contributions

a. Denis A. Kataev — collecting and processing the materials, literature analysis, drafting the article;

b. Viktor I. Tsirkin — study concept and design, literature analysis, drafting the article;

c. Andrey N. Trukhin — scientific editing, preparation of the article and related documentation;

d. Svetlana I. Trukhina — study concept and design, scientific editing, preparation of the article and related documentation.

Список сокращений

АНС — автономная нервная система; АХ — ацетилхолин; БАВ — биологически активные вещества; ВСП — вариабельность сердечного ритма; ЗМС — заслуженный мастер спорта; КИГ — кардиоинтервалография; КМС — кандидат в мастера спорта; МС — мастер спорта; МСМК — мастер спорта международного класса; ОЦН — объем циклической нагрузки; ПО — парасимпатический отдел АНС; СО — симпатический отдел АНС; ТВР — тип вегетативной регуляции; ТВРСД — тип вегетативной регуляции сердечной деятельности; УТС — учебно-тренировочный сбор.

Спектральные показатели ВСП: TP — общая мощность спектра; HF — мощность быстрых волн; LF — мощность медленных волн; VLF — мощность очень медленных волн; HF%, LF% и VLF% — относительная мощность HF-, LF- и VLF-волн, выраженная в процентах к TP. Временные показатели ВСП: pNN50% — отношение последовательных интервалов NN, различие между которыми превышает 50 мс, в процентах к общему числу нормальных (NN) интервалов RR; RMSSD — квадратный корень из среднего квадрата разностей величин последовательных пар интервалов NN; RRNN — длительность нормальных интервалов RR; SI — стресс-индекс, или индекс напряжения.

List of Abbreviations

ACh — acetylcholine; ANS — autonomous nervous system; BAS — biologically active substances; CIG — cardiointervalography; CLV — cyclic load volume; CMS — Candidate for Master of Sports; HMS — Honored Master of Sports; HRV — heart rate variability; IMS — International Master of Sports; MS — Master of Sports; PNS — parasympathetic nervous system; SNS — sympathetic nervous system; TAR — type of autonomic regulation; TARCA — type of autonomic regulation of cardiac activity; TC — training camp.

HRV spectral indices: TP — total spectrum power; HF — power of fast waves; LF — slow wave power; VLF — power of very slow waves; HF%, LF% and VLF% — relative power of HF-, LF- and VLF waves expressed as a percentage of TP. HRV time indicators: pNN50% — ratio of consecutive NN intervals the difference between which exceeds 50 ms as a percentage of the total number of normal (NN) RR intervals; RMSSD — square root of the mean square of the magnitude differences of consecutive pairs of NN intervals; RRNN — duration of normal RR intervals; SI — stress index or voltage index.

Литература

- Веневцева, Ю. Л., Путилин, Л. В., Прохоров, П. Ю. (2019) Гендерные особенности variability сердечного ритма и психометрического тестирования у здоровых студентов. *Современные вопросы биомедицины*, т. 3, № 3, с. 16–25.
- Воронина, Г. А., Сафарова, Р. И. (2008) Характеристика основных параметров variability сердечного ритма как показателя тренированности лыжников-гонщиков. В кн.: Р. М. Баевский, Н. И. Шлык (ред.). *Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение. Тезисы докладов IV Всероссийского симпозиума с международным участием*. Ижевск: Изд-во Удмуртского государственного университета, с. 65–68.
- Гаврилова, Е. А. (2015) *Спорт, стресс, variability*. М.: Спорт, 169 с.
- Ефремова, Р. И., Спицин, А. П. (2017) Особенности устойчивости симпатотонического типа вегетативной регуляции у юных лыжников под действием тренировочных и соревновательных нагрузок. *Журнал медико-биологических исследований*, т. 5, № 4, с. 90–92. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.4.90>
- Исмаил (Бергман), А. И., Захарьева, Н. Н., Берсенева, Е. Ю. (2021) Особенности формирования автономной регуляции сердечной деятельности у юных футболистов различного игрового амплуа. В кн.: Н. И. Шлык (ред.). *Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение в спорте и массовой физкультуре. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Ижевск: Изд-во Удмуртского государственного университета, с. 57–66.
- Калабин, О. В., Михайлов, М. М. (2021) Применение экспресс-метода анализа variability ритма сердца для коррекции тренировочного процесса в волейболе. В кн.: Н. И. Шлык (ред.). *Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение в спорте и массовой физкультуре. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Ижевск: Изд-во Удмуртского государственного университета, с. 152–157.
- Калабин, О. В., Спицин, А. П. (2011) Variability сердечного ритма у спортсменов с силовой направленностью тренировочного процесса. *Новые исследования*, т. 29, № 4, с. 124–131.
- Катаев, Д. А., Циркин, В. И., Завалин, Н. С. и др. (2023a) Динамика TP-, HF-, LF- и VLF-волн кардиоинтервалограммы (в условиях клиностаза) элитного лыжника-гонщика в подготовительном, соревновательном и переходном периодах в зависимости от объема и интенсивности тренировочных нагрузок. *Физиология человека*, т. 49, № 5, с. 87–100. <https://doi.org/10.31857/S0131164623700303>
- Катаев, Д. А., Циркин, В. И., Трухин, А. Н., Трухина, С. И. (2023b) Динамика стресс-индекса и спектральных показателей кардиоинтервалограммы элитных лыжников-гонщиков в подготовительном, соревновательном и переходном периодах в зависимости от объема и интенсивности тренировочных нагрузок. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье*, т. 13, № 6, с. 12–25. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.6.PHYS.1>
- Катаев, Д. А., Циркин, В. И., Трухина, С. И., Трухин, А. Н. (2024) Динамика RMSSD кардиоинтервалограммы у элитных лыжников-гонщиков в течение годового макроцикла (подготовительного, соревновательного и переходного периодов) в зависимости от объема и интенсивности тренировочных и соревновательных нагрузок. *Человек. Спорт. Медицина*. (В печати)
- Кротова, К. А., Терехов, П. А. (2021) Особенности variability сердечного ритма у шорт-трековиков при ортостатической пробе с учетом гендерных различий. В кн.: Н. И. Шлык (ред.). *Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение в спорте и массовой физкультуре. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Ижевск: Изд-во Удмуртского государственного университета, с. 158–162.
- Литвин, Ф. Б., Аносов, И. П., Асямолов, П. О. и др. (2012) Сердечный ритм и система микроциркуляции у лыжников в предсоревновательном периоде спортивной подготовки. *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле*, № 1, с. 67–74.
- Литвин, Ф. Б., Жигало, В. Я., Бойко, Г. М. (2021) Вариации поведения разных типов вегетативной регуляции сердечного ритма, вызванные применением биодобавки к спортивному питанию. В кн.: Н. И. Шлык (ред.). *Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение в спорте и массовой физкультуре. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Ижевск: Изд-во Удмуртского государственного университета, с. 177–182.
- Марков, А. Л. (2019) Variability сердечного ритма у лыжников-гонщиков Республики Коми 15–18 лет: возрастные и половые различия. *Журнал медико-биологических исследований*, т. 7, № 2, с. 151–160. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.151>
- Миссина, С. С., Адодин, Н. В., Крючков, А. С., Мякинченко, Е. Б. (2022) Модели периодизации нагрузок силовой направленности в мезоциклах подготовки лыжников-гонщиков высокого класса. *Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта*, т. 17, № 3, с. 23–30.
- Михайлов, В. М. (2017) *Вариабельность ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму)*. Иваново: Нейрософт, 516 с.

- Остроумов, Р. С., Викулов, А. Д. (2012) Анализ соревновательной деятельности лыжников-гонщиков с помощью прибора «Foregunner 305». *Ярославский педагогический вестник (Психолого-педагогические науки)*, т. 2, № 2, с. 125–128.
- Питкевич, Ю. Э., Лосицкий, Е. А., Загородный, Г. М., Ярошевич, О. А. (2010) *Алгоритм диагностического применения программно-аппаратного комплекса «Омега-С» в спортивной медицине*. Гомель: Гомельский государственный медицинский университет, 160 с.
- Погодин, А. А., Алексанянц, Г. Д. (2018) Симпато-парасимпатические взаимодействия в регуляции сердечного ритма баскетболистов студенческой лиги. *Физиология*, № 1, с. 62–68.
- Сарыг, С. К. О., Лопсан, А. Д. О., Будук-оол, А. К. С. (2015) Показатели variability ритма сердца у спортсменов. *Вестник Тувинского государственного университета. № 2 Естественные и сельскохозяйственные науки*, № 2 (25), с. 48–52.
- Солонин, Ю. Г., Бойко, Е. Р., Ватлин, А. В. и др. (2019) *Физиолого-биохимические механизмы обеспечения спортивной деятельности зимних циклических видов спорта*. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 256 с.
- Ходырев, Г. Н., Хлыбова, С. В., Циркин, В. И. и др. (2011) Методические аспекты анализа временных и спектральных показателей variability сердечного ритма (обзор литературы). *Вятский медицинский вестник*, № 3–4, с. 60–70.
- Шлык, Н. И., Сапожникова, Е. Н., Кириллова, Т. Г., Жужгов, А. П. (2012) Об особенностях ортостатической реакции у спортсменов с разными типами вегетативной регуляции. *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле*, № 1, с. 114–125.
- Ayuso-Moreno, R. M., Fuentes-García, J. P., Nobari, H., Villafaina, S. (2021) Impact of the result of soccer matches on the heart rate variability of women soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 17, article 9414. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179414>
- Barak, O. F., Jakovljevic, D. G., Popadic Gacesa, J. Z. et al. (2010) Heart rate variability before and after cycle exercise in relation to different body positions. *Journal of Sports Science and Medicine*, vol. 9, no. 2, pp. 176–182. PMID: 24149683
- Barrero, A., Schnell, F., Carrault, G. et al. (2019) Daily fatigue-recovery balance monitoring with heart rate variability in well-trained female cyclists on the Tour de France circuit. *PLoS One*, vol. 14, no. 3, article e0213472. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213472>
- Baumert, M., Brechtel, L., Lock, J. et al. (2006) Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, vol. 16, no. 5, pp. 412–417. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000244610.34594.07>
- Bonaduce, D., Petretta, M., Cavallaro, V. et al. (1998) Intensive training and cardiac autonomic control in high level athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 30, no. 5, pp. 691–696. <https://doi.org/10.1097/00005768-199805000-00008>
- Botek, M., McKune, A. J., Krejci, J. et al. (2014) Change in performance in response to training load adjustment based on autonomic activity. *International Journal of Sports Medicine*, vol. 35, no. 6, pp. 482–488. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1354385>
- Buchheit, M. (2014) Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, vol. 5, article 73. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- Deus, L. A., Sousa, C. V., Rosa, T. S. et al. (2019) Heart rate variability in middle-aged sprint and endurance athletes. *Physiology & Behavior*, vol. 205, pp. 39–43. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.10.018>
- Flatt, A. A., Hornikel, B., Nakamura, F. Y., Escó, M. R. (2021) Effect of competitive status and experience on heart rate variability profiles in collegiate sprint-swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 36, no. 10, pp. 2898–2904. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003992>
- Iizuka, T., Kon, M., Maegawa, T. et al. (2020) Comparison of morning heart rate variability at the beginning and end of a competition season in elite speed skaters. *Sports*, vol. 8, no. 12, article 164. <https://doi.org/10.3390/sports8120164>
- Jensen-Urstad, K., Saltin, B., Ericson, M. et al. (1997) Pronounced resting bradycardia in male elite runners is associated with high heart rate variability. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, vol. 7, no. 5, pp. 274–278. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1997.tb00152.x>
- Kakinuma, Y. (2021) Characteristic effects of the cardiac non-neuronal acetylcholine system augmentation on brain functions. *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 22, no. 2, article 545. <https://doi.org/10.3390/ijms22020545>
- Kaltsatou, A., Kouidi, E., Fotiou, D., Deligiannis, P. (2011) The use of pupillometry in the assessment of cardiac autonomic function in elite different type trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, vol. 111, no. 9, pp. 2079–2087. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1836-0>
- Kamandulis, S., Juodsnukis, A., Stanislovaitiene, J. et al. (2020) Daily resting heart rate variability in adolescent swimmers during 11 weeks of training. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 6, article 2097. <https://doi.org/10.3390/ijerph17062097>

- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Trukhin, A. N., Trukhina, S. I. (2024) Indicator PNN50% cardiointervalogram depending on the specialization of the training process, stage of the annual training cycle and other factors (literature review). *Anatomy Physiology & Biochemistry International Journal*, vol. 7, no. 2, article 555707.
- Kiss, O., Sydó, N., Vargha, P. et al. (2016) Detailed heart rate variability analysis in athletes. *Clinical Autonomic Research*, vol. 26, no. 4, pp. 245–252. <https://doi.org/10.1007/s10286-016-0360-z>
- Lengyel, C., Orosz, A., Hegyi, P. et al. (2011) Increased short-term variability of the QT interval in professional soccer players: Possible implications for arrhythmia prediction. *PLoS One*, vol. 6, no. 4, article e18751. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018751>
- Liao, L., Li, J. (2022) Research on effect of load stimulation change on heart rate variability of women volleyball athletes. *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2022, article 3917415. <https://doi.org/10.1155/2022/3917415>
- Mal'tsev, A. Iu., Mel'nikov, A. A., Vikulov, A. D., Gromova, K. S. (2010) The state of central hemodynamics and variability of heart rate in sportsmen with various direction of training process. *Human Physiology*, vol. 36, no. 1, pp. 112–118. PMID: 20196455
- Meng, Z., Sun, B., Chen, W. et al. (2021) Depression of non-neuronal cholinergic system may play a role in co-occurrence of subjective daytime sleepiness and hypertension in patients with obstructive sleep apnea syndrome. *Nature and Science of Sleep*, vol. 13, pp. 2153–2163. <https://doi.org/10.2147/NSS.S339038>
- Morales, J., Garcia, V., García-Massó, X. et al. (2013) The use of heart rate variability in assessing precompetitive stress in high-standard judo athletes. *International Journal of Sports Medicine*, vol. 34, no. 2, pp. 144–151. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1323719>
- Munasinghe, P. E., Saw, E. L., Reily-Bell, M. et al. (2023) Non-neuronal cholinergic system delays cardiac remodelling in type 1 diabetes. *Heliyon*, vol. 9, no. 6, article e17434. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17434>
- Nakamura, F. Y., Costa, J. A., Travassos, B. et al. (2023) Intraindividual relationships between training loads and heart-rate variability in high-level female futsal players: A longitudinal study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, vol. 18, no. 3, pp. 306–312. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2021-0500>
- Oliveira-Silva, I., Silva, V. A., Cunha, R. M., Foster, C. (2018) Autonomic changes induced by pre-competitive stress in cyclists in relation to physical fitness and anxiety. *PLoS One*, vol. 13, no. 12, article e0209834. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209834>
- Park, S. B., Lee, B. C., Jeong, K. S. (2007) Standardized tests of heart rate variability for autonomic function tests in healthy Koreans. *International Journal of Neuroscience*, vol. 117, no. 12, pp. 1707–1717. <https://doi.org/10.1080/00207450601050097>
- Perek, S., Raz-Pasteur, A. (2021) Heart rate variability: The age-old tool still remains current. *Harefuah*, vol. 160, no. 8, pp. 533–536. PMID: 34396730
- Pla, R., Aubry, A., Resseguier, N. et al. (2019) Training organization, physiological profile and heart rate variability changes in an open-water world champion. *International Journal of Sports Medicine*, vol. 40, no. 8, pp. 519–527. <https://doi.org/10.1055/a-0877-6981>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., Buchheit, M. (2012) Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *European Journal of Applied Physiology*, vol. 112, no. 11, pp. 3729–3741. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2354-4>
- Pluim, B. M., Swenne, C. A., Zwinderman, A. H. et al. (1999) Correlation of heart rate variability with cardiac functional and metabolic variables in cyclists with training induced left ventricular hypertrophy. *Heart*, vol. 81, no. 6, pp. 612–617. <https://doi.org/10.1136/hrt.81.6.612>
- Proietti, R., di Fronso, S., Pereira, L. A. et al. (2017) Heart rate variability discriminates competitive levels in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 31, no. 6, pp. 1719–1725. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001795>
- Raczak, G., Daniłowicz-Szymanowicz, L., Kobuszewska-Chwirot, M. et al. (2006) Long-term exercise training improves autonomic nervous system profile in professional runners. *Kardiologia Polska*, vol. 64, no. 2, pp. 135–140. PMID: 16502362
- Schäfer, D., Gjerdalen, G. F., Solberg, E. E. et al. (2015) Sex differences in heart rate variability: A longitudinal study in international elite cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology*, vol. 115, no. 10, pp. 2107–2114. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3190-0>
- Schmitt, L., Bouthiaux, S., Millet, G. P. (2021) Eleven years' monitoring of the world's most successful male biathlete of the last decade. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, vol. 16, no. 6, pp. 900–905. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2020-0148>
- Seiler, S., Haugen, O., Kuffel, E. (2007) Autonomic recovery after exercise in trained athletes: Intensity and duration effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 39, no. 8, pp. 1366–1373. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318060f17d>
- Shlyk, N. I. (2016) Management of athletic training with consideration of individual heart rate variability characteristics. *Human Physiology*, vol. 42, no. 6, pp. 81–91. PMID: 29932530
- Swart, A., Constantinou, D. (2023) The effects of a 3-day mountain bike cycling race on the autonomic nervous system (ANS) and heart rate variability in amateur cyclists: A prospective quantitative research design. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, vol. 15, no. 1, article 2. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00614-y>

- Sztajzel, J., Jung, M., Sievert, K., Bayes De Luna, A. (2008) Cardiac autonomic profile in different sports disciplines during all-day activity. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, vol. 48, no. 4, pp. 495–501. PMID: [18997654](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18997654/)
- Tian, Y., He, Z.-H., Zhao, J.-X. et al. (2013) Heart rate variability threshold values for early-warning nonfunctional overreaching in elite female wrestlers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 27, no. 6, pp. 1511–1519. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31826caef8>

References

- Ayuso-Moreno, R. M., Fuentes-García, J. P., Nobari, H., Villafaina, S. (2021) Impact of the result of soccer matches on the heart rate variability of women soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 17, article 9414. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179414> (In English)
- Barak, O. F., Jakovljevic, D. G., Popadic Gacesa, J. Z. et al. (2010) Heart rate variability before and after cycle exercise in relation to different body positions. *Journal of Sports Science and Medicine*, vol. 9, no. 2, pp. 176–182. PMID: [24149683](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24149683/) (In English)
- Barrero, A., Schnell, F., Carrault, G. et al. (2019) Daily fatigue-recovery balance monitoring with heart rate variability in well-trained female cyclists on the Tour de France circuit. *PLoS One*, vol. 14, no. 3, article e0213472. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213472> (In English)
- Baumert, M., Brechtel, L., Lock, J. et al. (2006) Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, vol. 16, no. 5, pp. 412–417. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000244610.34594.07> (In English)
- Bonaduce, D., Petretta, M., Cavallaro, V. et al. (1998) Intensive training and cardiac autonomic control in high level athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 30, no. 5, pp. 691–696. <https://doi.org/10.1097/00005768-199805000-00008> (In English)
- Botek, M., McKune, A. J., Krejci, J. et al. (2014) Change in performance in response to training load adjustment based on autonomic activity. *International Journal of Sports Medicine*, vol. 35, no. 6, pp. 482–488. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1354385> (In English)
- Buchheit, M. (2014) Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, vol. 5, article 73. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073> (In English)
- Deus, L. A., Sousa, C. V., Rosa, T. S. et al. (2019) Heart rate variability in middle-aged sprint and endurance athletes. *Physiology & Behavior*, vol. 205, pp. 39–43. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.10.018> (In English)
- Efremova, R. I., Spitsin, A. P. (2017) Osobennosti ustojchivosti simpatotonicheskogo tipa vegetativnoj regulyatsii u yunyh lyzhnikov pod dejstviem trenirovochnykh i sorevnovatel'nykh nagruzok [Stability of the sympathotonic type of autonomic regulation in young skiers under the influence of preparatory and competitive loads]. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy — Journal of Medical and Biological Researches*, vol. 5, no. 4, pp. 90–92. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.4.90> (In Russian)
- Flatt, A. A., Hornikel, B., Nakamura, F. Y., Esco, M. R. (2021) Effect of competitive status and experience on heart rate variability profiles in collegiate sprint-swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 36, no. 10, pp. 2898–2904. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003992> (In English)
- Gavrilova, E. A. (2015) *Sport, stress, variabel'nost'* [Sports, stress, variability]. Moscow: Sport Publ., 169 p. (In Russian)
- Iizuka, T., Kon, M., Maegawa, T. et al. (2020) Comparison of morning heart rate variability at the beginning and end of a competition season in elite speed skaters. *Sports*, vol. 8, no. 12, article 164. <https://doi.org/10.3390/sports8120164> (In English)
- Ismail (Bergman), A. Kh., Zakhar'eva, N. N., Bersenev, E. Yu. (2021) Osobennosti formirovaniya avtonomnoj regulyatsii serdechnoj deyatel'nosti u yunyh futbolistov razlichnogo igrovogo amplua [Features of the formation of autonomous regulation of cardiac activity in young football players of various playing roles]. In: N. I. Shlyk (ed.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primenenie v sporte i massovoj fizkul'ture. Materialy VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Heart rate variability: Theoretical aspects and practical application in sports and mass physical education. Materials of the VII All-Russian scientific and practical conference with international participation]*. Izhevsk: Udmurt State University Publ., pp. 57–66. (In Russian)
- Jensen-Urstad, K., Saltin, B., Ericson, M. et al. (1997) Pronounced resting bradycardia in male elite runners is associated with high heart rate variability. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, vol. 7, no. 5, pp. 274–278. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1997.tb00152.x> (In English)
- Kakinuma, Y. (2021) Characteristic effects of the cardiac non-neuronal acetylcholine system augmentation on brain functions. *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 22, no. 2, article 545. <https://doi.org/10.3390/ijms22020545> (In English)
- Kalabin, O. V., Mikhailov, M. M. (2021) Primenenie ekspress-metoda analiza variabel'nosti ritma serdtsa dlya korrektsii trenirovochnogo protsessa v volejbole [Application of an express method of analyzing heart rate variability to correct the training process in volleyball]. In: N. I. Shlyk (ed.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma:*

- teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primenenie v sporte i massovoj fizkul'ture. Materialy VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Heart rate variability: Theoretical aspects and practical application in sports and mass physical education. Materials of the VII All-Russian scientific and practical conference with international participation]*. Izhevsk: Udmurt State University Publ., pp. 152–157. (In Russian)
- Kalabin, O. V. Spitsin, A. P. (2011) Variabel'nost' serdechnogo ritma u sportsmenov s silovoj napravlennost'yu trenirovochnogo protsessa [Heart rate variability in athletes with a strength-oriented training process]. *Novye issledovaniya*, vol. 29, no. 4, pp.124–131. (In Russian)
- Kaltsatou, A., Kouidi, E., Fotiou, D., Deligiannis, P. (2011) The use of pupillometry in the assessment of cardiac autonomic function in elite different type trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, vol. 111, no. 9, pp. 2079–2087. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1836-0> (In English)
- Kamandulis, S., Juodsnukis, A., Stanislovaitiene, J. et al. (2020) Daily resting heart rate variability in adolescent swimmers during 11 weeks of training. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 6, article 2097. <https://doi.org/10.3390/ijerph17062097> (In English)
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Zavalin, N. S. et al. (2023a) Dinamika TP-, HF-, LF- i VLF-voln kardiointervalogrammy (v usloviyakh klinostaza) elitnogo lyzhnika-gonshchika v podgotovitel'nom, sorevnovatel'nom i perekhodnom periodakh v zavisimosti ot ob'ema i intensivnosti trenirovochnykh nagruzok [Dynamics of TP-, HF-, LF- and VLF-waves of the cardiointervalogram (in clinostasis condition) of an elite ski racer in the preparatory, competitive and transitional periods, depending on the volume and intensity of training loads]. *Fiziologiya cheloveka — Human Physiology*, vol. 49, no. 5, pp. 87–100. <https://doi.org/10.31857/S0131164623700303> (In Russian)
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Trukhin, A. N., Trukhina, S. I. (2023b) Dinamika stress-indekса i spektral'nykh pokazatelej kardiointervalogrammy elitnykh lyzhnikov-gonshchikov v podgotovitel'nom, sorevnovatel'nom i perekhodnom periodakh v zavisimosti ot ob'ema i intensivnosti trenirovochnykh nagruzok [Dynamics of the stress index and spectral indicators of the cardiointervalogram of elite cross-country skiers in the preparatory, competitive and transition periods, depending on the volume and intensity of training loads]. *Vestnik meditsinskogo instituta "REAVIZ". Reabilitatsiya, Vrach i Zdorov'e — Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ". Rehabilitation, Doctor and Health*, vol. 13, no. 6, pp. 12–25. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.6.PHYS.1> (In Russian)
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Trukhin, A. N., Trukhina, S. I. (2024) Indicator PNN50% cardiointervalogram depending on the specialization of the training process, stage of the annual training cycle and other factors (literature review). *Anatomy Physiology & Biochemistry International Journal*, vol. 7, no. 2, article 555707. (In English)
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Trukhina, S. I., Trukhin, A. N. (2024) Dinamika RMSSD kardiointervalogrammy u elitnykh lyzhnikov-gonshchikov v techenii godichnogo makrotsikla (podgotovitel'nogo, sorevnovatel'nogo i perekhodnogo periodov) v zavisimosti ot ob'ema i intensivnosti trenirovochnykh i sorevnovatel'nykh nagruzok [Dynamics of RMSSD cardiointervalogram in elite cross-country skiers during the annual macrocycle (preparatory, competitive and transition periods) depending on the volume and intensity of training and competitive loads]. *Chelovek. Sport. Meditsina — Human. Sport. Medicine*. (In press). (In Russian)
- Khodyrev, G. N., Khlybova, S. V., Cirkin, V. I. et al. (2011) Metodicheskie aspekty analiza vremennykh i spektral'nykh pokazatelej variabel'nosti serdechnogo ritma (obzor literatury) [Methodological aspects of the analysis of temporal and spectral indicators of heart rate variability (literature review)]. *Vjatskij medicinskij vestnik*, no. 3–4, pp. 60–70. (In Russian)
- Kiss, O., Sydó, N., Vargha, P. et al. (2016) Detailed heart rate variability analysis in athletes. *Clinical Autonomic Research*, vol. 26, no. 4, pp. 245–252. <https://doi.org/10.1007/s10286-016-0360-z> (In English)
- Krotova, K. A., Terekhov, P. A. (2021) Osobennosti variabel'nosti serdechnogo ritma u short-trekovikov pri ortostaticeskoy probe s uchedom gendernykh razlichij [Heart rate variability in short track speed skaters during an orthostatic test, adjusted for gender]. In: N. I. Shlyk (ed.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primenenie v sporte i massovoj fizkul'ture. Materialy VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Heart rate variability: Theoretical aspects and practical application in sports and mass physical education. Materials of the VII All-Russian scientific and practical conference with international participation]*. Izhevsk: Udmurt State University Publ., pp. 158–162. (In Russian)
- Lengyel, C., Orosz, A., Hegyi, P. et al. (2011) Increased short-term variability of the QT interval in professional soccer players: Possible implications for arrhythmia prediction. *PLoS One*, vol. 6, no. 4, article e18751. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018751> (In English)
- Liao, L., Li, J. (2022) Research on effect of load stimulation change on heart rate variability of women volleyball athletes. *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2022, article 3917415. <https://doi.org/10.1155/2022/3917415> (In English)
- Litvin, F. B., Anosov, I. P., Asyamolov, P. O. et al. (2012) Serdechnyj ritm i sistema mikrotsirkulyatsii u lyzhnikov v predsorevnovatel'nom periode sportivnoj podgotovki [Warm rhythm and microcirculation at skiers in the precompetitive period of sports preparation]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o zemle — Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, no. 1, pp. 67–74. (In Russian)
- Litvin, F. B., Zhigalo, V. Ya., Bojko, G. M. (2021) Variatsii povedeniya raznykh tipov vegetativnoj regulyatsii serdechnogo ritma, vyzvannye primeneniem biodobavki k sportivnomu pitaniyu [Variations in the behavior

- of different types of autonomic regulation of heart rate caused by the use of dietary supplements to sports nutrition]. In: N. I. Shlyk (ed.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primenenie v sporte i massovoj fizkul'ture. Materialy VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Heart rate variability: Theoretical aspects and practical application in sports and mass physical education. Materials of the VII All-Russian scientific and practical conference with international participation]*. Izhevsk: Udmurt State University Publ., pp. 177–182. (In Russian)
- Mal'tsev, A. Iu., Mel'nikov, A. A., Vikulov, A. D., Gromova, K. S. (2010) The state of central hemodynamics and variability of heart rate in sportsmen with various direction of training process. *Human Physiology*, vol. 36, no. 1, pp. 112–118. PMID: 20196455 (In English)
- Markov, A. L. (2019) Variabel'nost' serdechnogo ritma u lyzhnikov-gonshchikov Respubliki Komi 15–18 let: vozrastnye i polovye razlichiya [Heart rate variability in cross-country skiers aged 15–18 years living in the Komi Republic: Age- and sex-related differences]. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovanij — Journal of Medical and Biological Research*, vol. 7, no. 2, pp. 151–160. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.151> (In Russian)
- Meng, Z., Sun, B., Chen, W. et al. (2021) Depression of non-neuronal cholinergic system may play a role in co-occurrence of subjective daytime sleepiness and hypertension in patients with obstructive sleep apnea syndrome. *Nature and Science of Sleep*, vol. 13, pp. 2153–2163. <https://doi.org/10.2147/NSS.S339038> (In English)
- Mikhajlov, V. M. (2017) *Variabel'nost' ritma serdtsa (novyj vzglyad na staruyu paradigmatu) [Heart rate variability (a new look at the old paradigm)]*. Ivanovo: Neurosoft Publ., 516 p. (In Russian)
- Missina, S. S., Adodin, N. V., Kryuchkov, A. S., Myakinchenko, E. B. (2022) Modeli periodizatsii nagruzok silovoj napravlenosti v mezotsiklakh podgotovki lyzhnikov-gonshchikov vysokogo klassa [The models of strength-oriented loads periodization in mesocycles of training high-class racing skiers]. *Pedagogiko-psikhologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoy kul'tury i sporta — Pedagogics, Psychology, Medical-Biological Problems of Physical Training and Sports*, vol. 17, no. 3, pp. 23–30. (In Russian)
- Morales, J., Garcia, V., Garcia-Massó, X. et al. (2013) The use of heart rate variability in assessing precompetitive stress in high-standard judo athletes. *International Journal of Sports Medicine*, vol. 34, no. 2, pp. 144–151. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1323719> (In English)
- Munasinghe, P. E., Saw, E. L., Reily-Bell, M. et al. (2023) Non-neuronal cholinergic system delays cardiac remodelling in type 1 diabetes. *Heliyon*, vol. 9, no. 6, article e17434. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17434> (In English)
- Nakamura, F. Y., Costa, J. A., Travassos, B. et al. (2023) Intraindividual relationships between training loads and heart-rate variability in high-level female futsal players: A longitudinal study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, vol. 18, no. 3, pp. 306–312. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0500> (In English)
- Oliveira-Silva, I., Silva, V. A., Cunha, R. M., Foster, C. (2018) Autonomic changes induced by pre-competitive stress in cyclists in relation to physical fitness and anxiety. *PLoS One*, vol. 13, no. 12, article e0209834. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209834> (In English)
- Ostroumov, R. S., Vikulov, A. D. (2012) Analiz sorevnovatel'noj deyatelnosti lyzhnikov-gonshchikov s pomoshch'yu pribora "Forerunner 305" [The analysis of the competitive activity of skier racers by means of device "Forerunner 305"]. *Yaroslavskij pedagogicheskij vestnik (Psikhologo-pedagogicheskie nauki) — Yaroslavl Pedagogical Bulletin (Psychological and Pedagogical Sciences)*, vol. 2, no. 2, pp. 125–128. (In Russian)
- Park, S. B., Lee, B. C., Jeong, K. S. (2007) Standardized tests of heart rate variability for autonomic function tests in healthy Koreans. *International Journal of Neuroscience*, vol. 117, no. 12, pp. 1707–1717. <https://doi.org/10.1080/00207450601050097> (In English)
- Perek, S., Raz-Pasteur, A. (2021) Heart rate variability: The age-old tool still remains current. *Harefuah*, vol. 160, no. 8, pp. 533–536. PMID: 34396730 (In English)
- Pitkevich, Yu. E., Lositskij, E. A., Zagorodnyj, G. M., Yaroshevich, O. A. (2010) *Algoritm diagnosticheskogo primeneniya programmno-apparatnogo kompleksa "Omega-S" v sportivnoj meditsine [Algorithm of diagnostic application of Omega-S program and apparatus complex in sports medicine]*. Gomel: Gomel State Medical University Publ., 160 p. (In Russian)
- Pla, R., Aubry, A., Resseguier, N. et al. (2019) Training Organization, physiological profile and heart rate variability changes in an open-water world champion. *International Journal of Sports Medicine*, vol. 40, no. 8, pp. 519–527. <https://doi.org/10.1055/a-0877-6981> (In English)
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., Buchheit, M. (2012) Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *European Journal of Applied Physiology*, vol. 112, no. 11, pp. 3729–3741. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2354-4> (In English)
- Pluim, B. M., Swenne, C. A., Zwinderman, A. H. et al. (1999) Correlation of heart rate variability with cardiac functional and metabolic variables in cyclists with training induced left ventricular hypertrophy. *Heart*, vol. 81, no. 6, pp. 612–617. <https://doi.org/10.1136/hrt.81.6.612> (In English)
- Pogodin, A. A., Aleksanyants, G. D. (2018) Simpatoparasympaticheskie vzaimodejstviya v reguljatsii serdechnogo ritma basketbolistov studencheskoj ligi [Sympathetic-parasympathetic interactions in the regulation of the cardiac rhythm of basketball players from the students league]. *Fiziologiya — Physiology*, no. 1, pp. 62–68. (In Russian)

- Proietti, R., di Fronso, S., Pereira, L. A. et al. (2017) Heart rate variability discriminates competitive levels in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 31, no. 6, pp. 1719–1725. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001795> (In English)
- Raczak, G., Daniłowicz-Szymanowicz, L., Kobuszewska-Chwirot, M. et al. (2006) Long-term exercise training improves autonomic nervous system profile in professional runners. *Kardiologia Polska*, vol. 64, no. 2, pp. 135–140. PMID: 16502362 (In English)
- Saryg, S. K. O., Lopsan, A. D. O., Buduk-ool, L. K. S. (2015) Pokazateli variabel'nosti ritma serdtsa u sportsmenov [Indicators of heart rate variability in athletes]. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. No. 2 Estestvennye i sel'skokhozyajstvennye nauki — Bulletin of Tuva State University. No. 2 Natural and Agricultural Sciences*, no. 2, pp. 48–52. (In Russian)
- Schäfer, D., Gjerdalen, G. F., Solberg, E. E. et al. (2015) Sex differences in heart rate variability: A longitudinal study in international elite cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology*, vol. 115, no. 10, pp. 2107–2114. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3190-0> (In English)
- Schmitt, L., Bouthiaux, S., Millet, G. P. (2021) Eleven years' monitoring of the world's most successful male biathlete of the last decade. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, vol. 16, no. 6, pp. 900–905. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2020-0148> (In English)
- Seiler, S., Haugen, O., Kuffel, E. (2007) Autonomic recovery after exercise in trained athletes: Intensity and duration effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 39, no. 8, pp. 1366–1373. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318060f17d> (In English)
- Shlyk, N. I. (2016) Management of athletic training with consideration of individual heart rate variability characteristics. *Human Physiology*, vol. 42, no. 6, pp. 81–91. PMID: 29932530 (In English)
- Shlyk, N. I., Sapozhnikova, E. N., Kirillova, T. G., Zhuzhgov, A. P. (2012) Ob osobennostyakh ortostaticeskoy reaktsii u sportsmenov s raznymi tipami vegetativnoj regulyatsii [About profiles of orthostatic reactions in athletes with different types of autonomic regulation]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o zemle — Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, no. 1, pp. 114–125. (In Russian)
- Solonin, Yu. G., Bojko, E. R., Vatlin, A. V. et al. (2019) *Fiziologo-biokhimicheskie mekhanizmy obespecheniya sportivnoj deyatel'nosti zimnikh tsiklicheskih vidov sporta [Physiological and biochemical mechanisms for ensuring sports activity in winter cyclic sports]*. Syktyvkar: Komi Republican Printing House, 256 p. (In Russian)
- Swart, A., Constantinou, D. (2023) The effects of a 3-day mountain bike cycling race on the autonomic nervous system (ANS) and heart rate variability in amateur cyclists: A prospective quantitative research design. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, vol. 15, no. 1, article 2. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00614-y> (In English)
- Sztajzel, J., Jung, M., Sievert, K., Bayes De Luna, A. (2008) Cardiac autonomic profile in different sports disciplines during all-day activity. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, vol. 48, no. 4, pp. 495–501. PMID: 18997654 (In English)
- Tian, Y., He, Z.-H., Zhao, J.-X. et al. (2013) Heart rate variability threshold values for early-warning nonfunctional overreaching in elite female wrestlers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 27, no. 6, pp. 1511–1519. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31826caef8> (In English)
- Venevtseva, Yu. L., Putilin, L. V., Prokhorov, P. Yu. (2019) Gendernye osobennosti variabel'nosti serdechnogo ritma i psikhometricheskogo testirovaniya u zdorovykh studentov [Gender differences in heart rate variability and psychometric testing in healthy students]. *Sovremennye voprosy biomeditsiny — Modern Issues of Biomedicine*, vol. 3, no. 3, pp. 16–25. (In Russian)
- Voronina, G. A., Safarova, R. I. (2008) Kharakteristika osnovnykh parametrov variabel'nosti serdechnogo ritma kak pokazatelya trenirovannosti lyzhnikov-gonshchikov [Characteristics of the main parameters of heart rate variability as an indicator of the fitness of ski racers]. In: R. M. Baevskij, N. I. Shlyk (eds.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primenenie. Tezisy dokladov IV Vserossijskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem [Heart rate variability: Theoretical aspects and practical application. Abstracts at the IV All-Russian Symposium with international participation]*. Izhevsk: Udmurt State University Publ., pp. 65–68. (In Russian)