



Check for updates

Экспериментальные статьи

УДК 612.181+612.172+796.92

EDN PDMLEO

<https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-1-97-124>

Динамика 15 показателей кардиоинтервалограммы (в условиях клиностаза) элитных лыжников-гонщиков в подготовительном, соревновательном и переходном периодах

Д. А. Катаев^{1,2}, В. И. Циркин³, А. Н. Трухин¹, С. И. Трухина^{✉4}

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

² Спортивная школа олимпийского резерва «Перекоп», 610011, Россия, г. Киров, ул. Свердлова, д. 1а

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

⁴ Кировский государственный медицинский университет, 610998, Россия, г. Киров, ул. К. Маркса, д. 112

Сведения об авторах

Денис Анатольевич Катаев, SPIN-код: [1334-6776](#), ORCID: [0000-0002-8051-3521](#), e-mail: den.cataev2014@yandex.ru

Виктор Иванович Циркин, SPIN-код: [5385-0236](#), Scopus AuthorID: [57200906302](#), 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. (2025) Динамика 15 показателей кардиоинтервалограммы (в условиях клиностаза) элитных лыжников-гонщиков в подготовительном, соревновательном и переходном периодах. *Интегративная физиология*, т. 6, № 1, с. 97–124. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-1-97-124> EDN PDMLEO

Получена 5 февраля 2025; прошла рецензирование 22 марта 2025; принята 23 марта 2025.

Финансирование: Исследование не имело финансовой поддержки.

Права: © Д. А. Катаев, В. И. Циркин, А. Н. Трухин, С. И. Трухина (2025). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Аннотация. С целью косвенного доказательства синтеза ненейронального ацетилхолина (НН-АХ) провели сравнительный анализ величин 15 показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР), регистрируемых в условиях клиностаза (клино-ВСР), у восьми элитных лыжников, членов мужской команды Республики Татарстан (далее — ЭЛРТ) в подготовительном и соревновательном периодах, включая элитного лыжника К. Д., у которого регистрировали клино-ВСР во всех трех периодах, в том числе в переходном. Кроме того, исследовали 11 членов юношеской сборной команды Республики Татарстан (ЮЛРТ), т. е. у менее квалифицированных лыжников (только в подготовительном периоде). Результаты исследования ЭЛРТ и ЮЛРТ сопоставили с данными литературы, касающимися величин показателей клино-ВСР лыжников разного уровня подготовки, а также представителей других видов спорта и неспортсменов. Показано, что медианы показателей клино-ВСР, характеризующих активность парасимпатического отдела (ПО) автономной нервной системы (АНС), максимальны именно у элитных лыжников, особенно в подготовительный период, при котором объем тренировочных нагрузок достигает максимума (178 мин/день, против 131 мин/день в соревновательный и 99 мин/день в переходный период). Это говорит о том, что высокие объемы нагрузок при тренировках на выносливость повышают активность ПО, в том числе за счет синтеза НН-АХ. Все это подтверждает гипотезу о том, что спортивная ваготония является следствием повышения активности ПО АНС, в том числе за счет синтеза НН-АХ как компонента антиапоптической системы сердца.

Ключевые слова: лыжники, автономная нервная система, кардиоинтервалография, спортивная ваготония, ненейрональный ацетилхолин

Training-phase-dependent dynamics of 15 heart rate variability parameters in elite cross-country skiers during clinostasis

D. A. Kataev^{1,2}, V. I. Tsirkin³, A. N. Trukhin¹, S. I. Trukhina^{✉4}

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

² Sports School of Olympic Reserve 'Perekop', 1a Sverdlova Str., Kirov 610011, Russia

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

⁴ Kirov State Medical University, 112 Karla Marksa Str., Kirov 610998, Russia

Authors

Denis A. Kataev, SPIN: 1334-6776, ORCID: 0000-0002-8051-3521, e-mail: den.cataev2014@yandex.ru

Viktor I. Tsirkin, SPIN: 5385-0236, Scopus AuthorID: 57200906302, 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. (2025) Training-phase-dependent dynamics of 15 heart rate variability parameters in elite cross-country skiers during clinostasis. *Integrative Physiology*, vol. 6, no. 1, pp. 97–124. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-1-97-124> EDN [PDMLEO](#)

Received 5 February 2025; **reviewed** 22 March 2025; **accepted** 23 March 2025.

Funding: The study did not receive any external funding.

Copyright: © D. A. Kataev, V. I. Tsirkin, A. N. Trukhin, S. I. Trukhina (2025). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under [CC BY-NC License 4.0](#).

Abstract. To indirectly demonstrate non-neuronal acetylcholine (NN-ACh) synthesis, we conducted a comparative analysis of 15 heart rate variability (HRV) indicators recorded during clinostasis (clino-HRV) in elite skiers. The study included: (1) 8 members of the men's Republic of Tatarstan elite ski team (ESRT) evaluated during preparatory and competitive phases, with one athlete (K. D.) additionally assessed during the transition phase; and (2) 11 members of the Republic's youth ski team (YSRT; preparatory phase only). Results were compared with literature data on HRV parameters in skiers of varying skill levels, other athletes, and non-athletes. Key findings revealed that median clino-HRV indices reflecting parasympathetic division (PD) activity of the autonomic nervous system (ANS) were highest in elite skiers, particularly during the preparatory phase when training loads peaked (178 min/day vs. 131 min/day in competitive and 99 min/day in transition phases). These results suggest that endurance training enhances PD activity, potentially through NN-ACh synthesis. Our findings support the hypothesis that sports vagotonia results from increased PD/ANS activity, mediated in part by NN-ACh production as a component of cardiac anti-apoptotic mechanisms.

Keywords: skiers, autonomic nervous system, cardiointervalography, sports vagotonia, non-neuronal acetylcholine

Введение

Как известно (Викулов и др. 2017; Литвин и др. 2012; Schäfer et al. 2015; Schmitt et al. 2013; 2021), для лыжников, особенно для элитных лыжников-гонщиков, характерна ваготония, т. е. повышенная активность парасимпатического отдела автономной нервной системы (ПО АНС), получившая название «спортивная ваготония». Известно также, что кардиомиоциты желудочков сердца, подобно другим органам, способны продуцировать ненейрональный ацетилхолин (НН-АХ), который проявляет антиапоптотическое, антиоксидантное и противовоспалительное действие и тем самым сохраняет жизнеспособность сердца при интенсивной и длительной

работе человека (Abramochkin et al. 2012; Braczko et al. 2024; Coote, White 2015; D'Souza et al. 2015; Kakinuma 2021; Munasinghe et al. 2023; Oikawa et al. 2021; Saw et al. 2018). Поэтому было высказано предположение, что спортивная ваготония опосредована повышением синтеза НН-АХ в миокарде, который одновременно повышает и активность ПО АНС (Coote, White 2015), но это предположение было отвергнуто (D'Souza et al. 2015). В 2023 году, анализируя такие показатели вариабельности сердечного ритма (ВСР) элитного лыжника К. Д., как общая мощность спектра (ТР) и абсолютная мощность (АМ) HF-, LF- и VLF-волн, медиана которых существенно превышала аналогичные показатели ВСР у представителей других видов

спорта, мы поддержали представление (Coote, White 2015) о том, что спортивная ваготония опосредована повышением активности ПО АНС и синтеза НН-АХ, при этом полагая, что ведущим показателем синтеза НН-АХ является, главным образом, такой показатель, как AMVLF (Катаев и др. 2023а). В 2024 году, на основании анализа восьми спектральных и семи временных показателей ВСР элитных лыжников команды Республики Татарстан (ЭЛРТ), в том числе спортсмена К. Д., мы вновь подтвердили свою приверженность этой гипотезе, полагая, что медианы многих показателей ВСР элитных лыжников, зарегистрированные в условиях клиностаза, отражают наличие в миокарде синтеза НН-АХ, который и повышает дополнительно активность ПО АНС (Kataev et al. 2024a).

Целью данной статьи является дальнейшее доказательство (на основе анализа величин показателей клино-ВСР) положения о том, что спортивная ваготония является следствием активации синтеза НН-АХ в миокарде элитных лыжников, благодаря чему повышается в целом активность ПО АНС. Для этого в работе были поставлены четыре задачи:

1. Исходя из представления о том, что синтез НН-АХ должен зависеть от объема и интенсивности тренировочной нагрузки, оценить зависимость медиан показателей клино-ВСР элитных лыжников от периодов годового цикла — подготовительного, соревновательного и переходного, которые отличаются между собой по объему тренировочных нагрузок.

2. С учетом представления о том, что синтез НН-АХ индуцируется высокой тренировочной нагрузкой, выявить, медианы каких показателей клино-ВСР элитных лыжников (на примере спортсмена К. Д.) находятся в прямой зависимости от объема тренировочной нагрузки.

3. Полагая, что возможность синтеза НН-АХ возрастает по мере роста спортивного мастерства или спортивной квалификации, сравнить медианы 15 показателей клино-ВСР у восьми элитных лыжников мужской сборной команды РТ (ЭЛРТ), в том числе лыжника К. Д., зарегистрированных в подготовительном периоде, с медианами аналогичных показателей клино-ВСР 11 членов юношеской команды Республики Татарстан (ЮЛРТ), зарегистрированных с помощью интервалокардиографа одной и той же модели в подготовительном периоде.

4. Сравнить величины показателей клино-ВСР элитных лыжников команды РТ с данными литературы, касающимися аналогичных показателей клино-ВСР (независимо от программного обеспечения интервалокардиографов

и периодов подготовки) элитных и неэлитных лыжников, представителей тех видов спорта, которые не связаны с тренировками на выносливость, и с ВСР неспортсменов.

Методика

Исследование 27-летнего лыжника-гонщика К. Д. (первого автора статьи, мастера спорта (МС), члена сборной команды Республики Татарстан по лыжным гонкам (ЭЛРТ) проводилось с марта 2019 года по июнь 2020 года в подготовительном, соревновательном и в переходном периодах, а у остальных семи членов этой команды, среди которых пять МС и два мастера спорта международного класса (МСМК) (23–31 лет, стаж занятий от 13 до 20 лет), исследование велось в эти же сроки и в эти же периоды, за исключением переходного периода. Отметим, что потребность в исследовании К. Д. диктовалась возможностью исследовать ВСР на протяжении всех трех периодов годового цикла, включая переходный период, который обычно проходит в домашних условиях, а также возможностью точной фиксации объема и интенсивности тренировочных и соревновательных нагрузок на примере спортсмена К. Д., что позволяло оценить зависимость медиан показателей ВСР от тренировочной нагрузки.

Учебно-тренировочные сборы (УТС) и соревнования у ЭЛРТ, в том числе у К. Д., проводились в разных регионах России и за ее пределами, о чем сообщалось ранее (Катаев и др. 2023а).

Кроме ЭЛРТ, с июня по ноябрь 2023 года, т. е. в подготовительном периоде, были исследованы 11 лыжников-гонщиков, имеющих первый или второй взрослый разряд, относящихся к возрастной категории «старшие юноши», т. е. 17–18 лет, члены юношеской команды Республики Татарстан (далее — ЮЛРТ) со стажем занятий лыжными гонками от пяти до семи лет. УТС этой группы проходили в июне на базе отдыха «Яльчик» (Марий Эл); в июле — в п. Мирный (Татарстан); в августе — в п. Домбай (Карачаево-Черкесия) на высоте 1600 м; в сентябре и в октябре — в п. Мирный (Татарстан); в первой половине ноября — в центре зимних видов спорта «Жемчужина Сибири» (Тюменская область), а во второй — в лыжном комплексе им. Р. Сметаниной (Коми). Длительность подготовительного периода у ЭЛРТ и ЮЛРТ составляла шесть месяцев (июнь — ноябрь, соответственно в 2019 году и в 2023 году),

т. е. по продолжительности и целям была одинаковой. В каждом месяце проводилось два или три микроцикла (недели) тренировок. Каждый цикл состоял из пяти тренировочных дней — (по две тренировки в день и утренняя зарядка), одного разгрузочного дня, т. е. одна тренировка в день, и одного выходного дня, т. е. без тренировок. В промежутках между очередными УТС, длительность которых составляла одну-две недели, все лыжники ежедневно самостоятельно проводили по одной тренировке в день в домашних условиях, т. е. в г. Казани.

Оценку объема и мощности тренировочных нагрузок у К. Д. проводили за каждый тренировочный день, в том числе предшествующий регистрации ВСР, с помощью пульсометра POLAR 430, оснащенного GPS-датчиком (POLAR, Финляндия). Объем нагрузок рассчитывали как продолжительность тренировочных и соревновательных нагрузок с учетом «рабочего» пульса. В спортивной практике принято выделять пять зон рабочего пульса. Интенсивность первой-третьей зон — это интенсивность нагрузки, при которой рабочий пульс находится в пределах 50–80% от максимального для данного спортсмена ($\text{ЧСС}_{\text{макс}}$), т. е. это зоны аэробного энергообеспечения, а четвертая и пятая зоны (рабочий пульс выше 80% $\text{ЧСС}_{\text{макс}}$) — это зоны анаэробного энергообеспечения (Есева и др. 2018). 93,5% времени тренировок К. Д. выполнял с интенсивностью первой-третьей зон, а 6,5% — с интенсивностью четвертой-пятой зон. Объем тренировочных и соревновательных нагрузок выражался как общая продолжительность нагрузки (мин/день), выполняемой во всем диапазоне рабочего пульса, т. е. во всех пяти зонах, и обозначался как ОПН_{1-5} . Медиана ОПН_{1-5} , т. е. медиана преимущественно аэробной нагрузки, у К. Д. была максимальна в подготовительный период (178,5 мин за день), меньше — в соревновательный период (131,0 мин за день) и еще меньше — в переходный период (99,5 мин/день). Объем нагрузки в абсолютных значениях у К. Д. за подготовительный период составил, судя по километражу, 5278 км, ОПН_{1-5} — 375,5 ч, а средняя скорость тренировочного бега составила 14,2 км/ч. У лидера команды ЮАРТ километраж в подготовительный период 2023 года составил 3495 км, ОПН_{1-5} — 371 ч, а средняя скорость бега — 9,4 км/ч (зависимость величин показателей ВСР от объема нагрузки у ЮАРТ не рассчитывалась, так как не стояла такая задача).

У всех исследуемых, т. е. у ЭЛРТ, у К. Д. и у ЮАРТ почти ежедневно, или через день в условиях клиностаза, т. е. в положении «лежа на спине», после ночного сна, до завтрака, в комфортных условиях К. Д. проводил пятиминутную кардиоинтервалографию (КИГ), используя систему «ВНС-Микро» с программным обеспечением «Полиспектр» («Нейрософт», Россия).

Были проанализированы общепринятые восемь спектральных и семь временных параметров ВСР. Среди спектральных показателей ВСР — это общая мощность спектра (total power, TP, мс^2); абсолютная мощность (мс^2) быстрых (HF-), медленных (LF-) и очень медленных (VLF-) волн (далее — AMHF, AMLF и AMVLF); отношение AMLF/AMHF; относительная мощность HF-, LF- и VLF-волн, выраженная в процентах к TP (далее — HF%, LF% и VLF%). Среди временных показателей оценивали длительность нормальных интервалов R-R (RRNN, мс), аналогом чего является ЧСС (уд/мин); отношение последовательных интервалов NN, различие между которыми превышает 50 мс, в процентах к общему числу нормальных (NN) интервалов R-R (pNN50%); квадратный корень из среднего квадрата разностей величин последовательных пар интервалов NN (RMSSD, мс); стандартное отклонение всех интервалов NN (SDNN, мс); вариационный размах (MxDMn, мс), т. е. разность между максимальным и минимальным интервалами R-R, а также стресс-индекс (SI, усл. ед.), или индекс напряжения, который рассчитывали по формуле:

$$\text{ИН} = \text{АМо} / \text{Мо} \times 2\text{MxDMn},$$

где АМо — амплитуда моды, т. е. наиболее часто встречающееся значение интервала R-R ЭКГ, выраженное в % от всех интервалов R-R; Мо — абсолютное значение моды (с), а MxDMn — вариационный размах, т. е. разница между максимальным и минимальным значениями интервалов R-R (с).

Оценка величин этих показателей формировалась путем суммирования результатов отдельных исследований в каждом месяце соответствующего периода. У лыжника-гонщика К. Д. всего выполнено 217 саморегистраций КИГ (в подготовительном периоде — 84, в соревновательном — 74, в переходном — 59). У остальных членов ЭЛРТ сделано 106 регистраций КИГ (в подготовительном периоде — 62 и в соревновательном — 44). У ЮАРТ сделана 141 регистрация КИГ, все в подготовительном периоде.

Значения величин показателей КИГ рассчитывали для каждого периода годовичного цикла, выражая их в виде медианы, 25 и 75 центилей (Гланц 1998). Аналогично рассчитывали медианы, 25 и 75 центилей для объема тренировочных нагрузок. При оценке различий использовали критерий Манна — Уитни, считая их статистически значимыми при $p < 0,05$ (Гланц 1998). Расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена проводили непараметрическим методом (Гланц 1998), считая их значимыми при $p < 0,05$ (Гланц 1998). Расчеты проводили с использованием программы BioStat 2009 Professional. 5.8.4. (фирма Analyst Soft). Исследования были одобрены локальным биоэтическим комитетом Вятского государственного университета (протокол № 1 от 20.01.2020).

Результаты

Зависимость медиан показателей клино-ВСП у ЭЛРТ от периодов годовичного цикла (подготовительного, соревновательного и переходного)

Как отмечалось выше, объем нагрузки, выраженный как продолжительность тренировок за тренировочный день, судя по данным К. Д., был максимален в подготовительном периоде (178 мин/день), ниже — в соревновательном (131 мин/день) и еще ниже в переходном (99 мин/день). Анализ показателей клино-ВСП у К. Д. и у ЭЛРТ выявил, что имеется ряд небольших, но статистически значимых различий между периодами по величине показателей ВСП (табл. 1, рис. 1).

Табл. 1. Медиана, 25 и 75 центили общей продолжительности нагрузки (ОПН₁₋₃) и показателей клино-ВСП у элитного лыжника К. Д. в течение трех периодов годового цикла и у членов ЭЛРТ в течение двух периодов подготовки

Показатели	Подготовительный период (1)	Соревновательный период (2)	Переходный период (3)
Лыжник-гонщик К. Д.			
ОПН ₁₋₃ , мин/день	178 (113/236)	131 (92/175) ¹	99 (67/125) ^{1,2}
TP, мс ²	9473 (6685/11037)	8047 (6940/9616)	6961 (5349/8416) ^{1,2}
AMHF, мс ²	3793 (2860/4579)	3519 (2805/4071)	3371 (2387/3896) ¹
AMLF, мс ²	1962 (1307/2814)	2032 (1570/2619)	1480 (1072/2097) ^{1,2}
AMVLF, мс ²	2818 (2075/3874)	2622 (2023/3800)	1874 (1374/2582) ^{1,2}
AMLF/AMHF, усл. ед.	0,55 (0,39/0,66)	0,64 (0,46/0,74)	0,46 (0,35/0,59) ²
HF, %	44,7 (35/52)	41,7 (34/48)	47,3 (41/52) ²
LF, %	22,5 (18/26)	24,5 (20/29) ¹	21,7 (19/27)
VLF, %	32,6 (24/39)	32,8 (26/40)	27,7 (22/36) ^{1,2}
RRNN, мс	1497 (1453/1540)	1477 (1412/1523) ¹	1467 (1398/1502) ¹
ЧСС, уд/мин	40,0 (38/41)	40,6 (39/42)	40,8 (39/42) ¹
pNN50, %	70,5 (66/73)	68,8 (62/71) ¹	68,9 (65/72)
RMSSD, мс	108 (97/120)	101 (94/111) ¹	96 (91/107) ¹
SDNN, мс	92 (84/104)	90 (81/101)	77 (73/87) ^{1,2}
MxDMn, мс	549 (439/609)	509 (421/606)	403 (348/463) ^{1,2}
SI, усл. ед.	13,2 (10/18)	15,6 (12/20)	22,1 (16/25) ^{1,2}
ЭЛРТ (n = 8, в том числе К. Д.)			
TP, мс ²	9923 (6658/14428)	7864 (6855/9396) ¹	—
AMHF, мс ²	4082 (2576/6335)	3077 (2054/4021) ¹	—
AMLF, мс ²	2057 (1119/3202)	1728 (1278/2733)	—
AMVLF, мс ²	3138 (1818/5611)	2754 (2074/4156)	—
AMLF/AMHF, усл. ед.	0,50 (0,34/0,65)	0,65 (0,44/0,80) ¹	—
HF, %	43,6 (32/52)	37,2 (28/45) ¹	—
LF, %	19,9 (14/25)	22,7 (17/29) ¹	—
VLF, %	34,1 (24/45)	38,5 (30/48)	—
RRNN, мс	1430 (1291/1515)	1490 (1405/1523) ¹	—
ЧСС, уд/мин	42,0 (39/46)	40,2 (39/42) ¹	—
pNN50, %	68,8 (58/75)	65,1 (58/70) ¹	—

Табл. 1. Продолжение

Показатели	Подготовительный период (1)	Соревновательный период (2)	Переходный период (3)
RMSSD, мс	110 (92/135)	96 (86/105) ¹	–
SDNN, мс	99 (84/123)	87 (79/95) ¹	–
MxDMn, мс	562 (451/636)	485 (406/564) ¹	–
SI, усл. ед.	13,7 (10/20)	17,9 (12/22) ¹	–

Примечание: ЭЛРТ в переходный период не исследовались. ¹ и ² — статистически значимые различия ($p < 0,05$) с подготовительным периодом (1) и с соревновательным периодом (2). Расшифровка показателей дана в разделе «Методика».

Table 1. Median (25th–75th centiles) of total load duration (TLD₁₋₅) and clinostatic HRV parameters for skier K. D. across three phases of annual training cycle and ELRT₁₋₅ members during two training phases

Parameter	Preparatory phase (1)	Competitive phase (2)	Transitional phase (3)
Cross-country skier K. D.			
TLD ₁₋₅ , min/day	178 (113/236)	131 (92/175) ¹	99 (67/125) ^{1,2}
TP, ms ²	9473 (6685/11037)	8047 (6940/9616)	6961 (5349/8416) ^{1,2}
AMHF, ms ²	3793 (2860/4579)	3519 (2805/4071)	3371 (2387/3896) ¹
AMLF, ms ²	1962 (1307/2814)	2032 (1570/2619)	1480 (1072/2097) ^{1,2}
AMVLF, ms ²	2818 (2075/3874)	2622 (2023/3800)	1874 (1374/2582) ^{1,2}
AMLF/AMHF, conv. un.	0.55 (0.39/0.66)	0.64 (0.46/0.74)	0.46 (0.35/0.59) ²
HF, %	44.7 (35/52)	41.7 (34/48)	47.3 (41/52) ²
LF, %	22.5 (18/26)	24.5 (20/29) ¹	21.7 (19/27)
VLF, %	32.6 (24/39)	32.8 (26/40)	27.7 (22/36) ^{1,2}
RRNN, ms	1497 (1453/1540)	1477 (1412/1523) ¹	1467 (1398/1502) ¹
Heart rate, bpm	40.0 (38/41)	40.6 (39/42)	40.8 (39/42) ¹
pNN50, %	70.5 (66/73)	68.8 (62/71) ¹	68.9 (65/72)
RMSSD, ms	108 (97/120)	101 (94/111) ¹	96 (91/107) ¹
SDNN, ms	92 (84/104)	90 (81/101)	77 (73/87) ^{1,2}
MxDMn, ms	549 (439/609)	509 (421/606)	403 (348/463) ^{1,2}
SI, conv. un.	13.2 (10/18)	15.6 (12/20)	22.1 (16/25) ^{1,2}
ELRT (n = 8, including K. D.)			
TP, ms ²	9923 (6658/14428)	7864 (6855/9396) ¹	–
AMHF, ms ²	4082 (2576/6335)	3077 (2054/4021) ¹	–
AMLF, ms ²	2057 (1119/3202)	1728 (1278/2733)	–
AMVLF, ms ²	3138 (1818/5611)	2754 (2074/4156)	–
AMLF/AMHF, conv. un.	0.50 (0.34/0.65)	0.65 (0.44/0.80) ¹	–
HF, %	43.6 (32/52)	37.2 (28/45) ¹	–
LF, %	19.9 (14/25)	22.7 (17/29) ¹	–
VLF, %	34.1 (24/45)	38.5 (30/48)	–
RRNN, ms	1430 (1291/1515)	1490 (1405/1523) ¹	–
Heart rate, bpm	42.0 (39/46)	40.2 (39/42) ¹	–
pNN50, %	68.8 (58/75)	65.1 (58/70) ¹	–
RMSSD, ms	110 (92/135)	96 (86/105) ¹	–
SDNN, ms	99 (84/123)	87 (79/95) ¹	–
MxDMn, ms	562 (451/636)	485 (406/564) ¹	–
SI, conv. un.	13.7 (10/20)	17.9 (12/22) ¹	–

Note: ELRT data were not collected during the transition phase. Superscripts ¹ and ² indicate statistically significant differences (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$) vs. preparatory phase (1) and vs. competitive phase (2). See Methodology section for full parameter definitions.

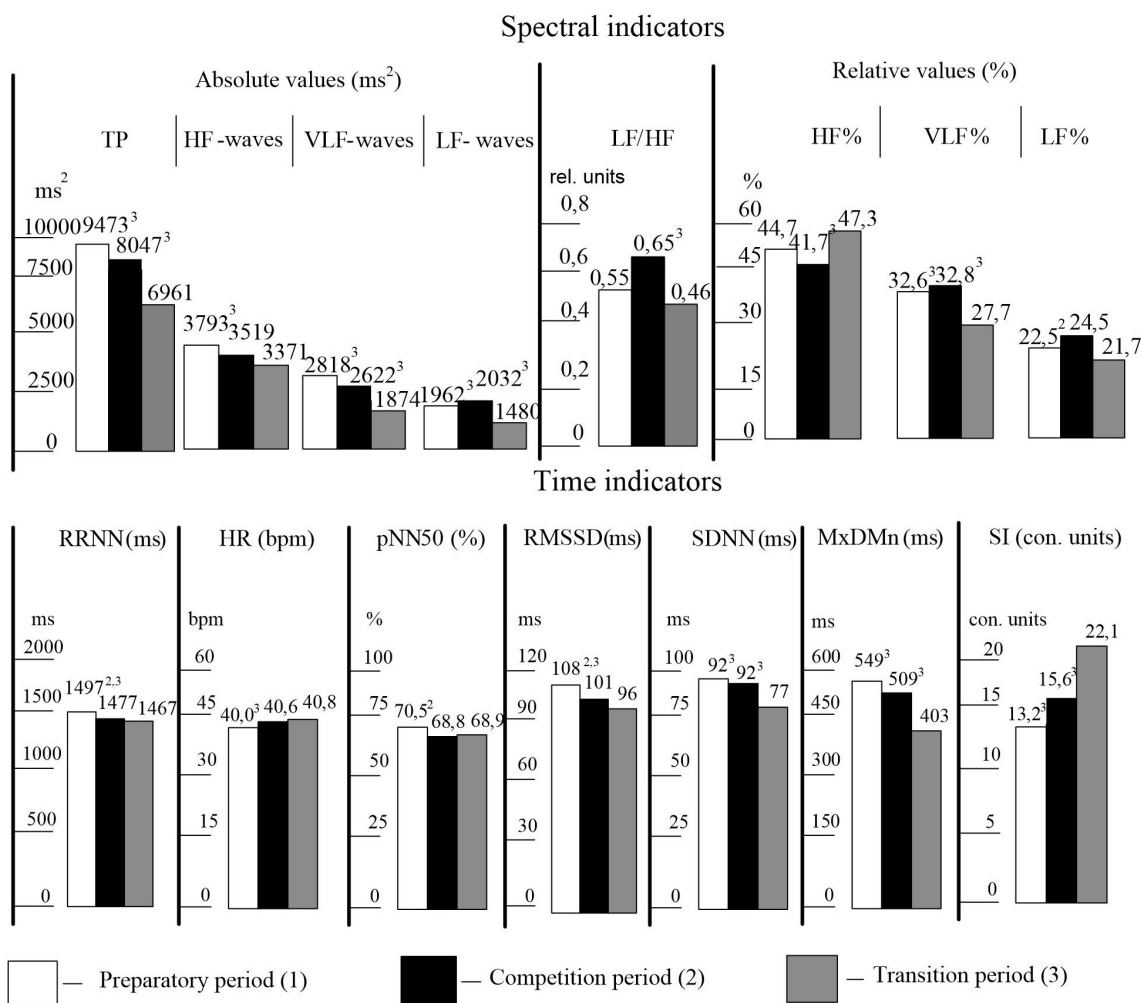


Рис. 1. Медианы спектральных (верхний ряд) и временных (нижний ряд) показателей ВСР (по данным кардиоинтервалографии) у элитного лыжника-гонщика К. Д. в условиях клиностаза. ² или ³ — различия с соревновательным (2) или с переходным (3) периодом статистически значимы по критерию Манна — Уитни, $p < 0,05$

Fig. 1. Training-phase-dependent changes in spectral (top) and temporal (bottom) heart rate variability parameters measured by cardiointervalography in elite skier K. D. during clinostasis. ² or ³ indicate statistically significant differences versus competitive (2) or transitional (3) phases (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$)

В частности, у К. Д., у которого регистрация ВСР проводилась во всех трех периодах, медианы десяти показателей ВСР имели минимальные значения в переходном периоде, при котором объем нагрузок был минимален. Это TP*, HF*, LF*, VLF*, LF/HF*, VLF%, RRNN*, RMSSD*, SDNN* и MxDMn* (* — различия с другими периодами статистически значимы), а максимальные значения медиан в переходном периоде отмечены для HF%* и для SI*. Косвенно это указывает на то, что почти двукратное снижение тренировочных нагрузок в переходном периоде уменьшает активность ПО АНС и, вероятно, синтез НН-АХ кардиомиоцитами. Показано, что в подготовительном периоде медианы трех показателей были статически значимо выше, чем в соревновательном периоде — RRNN*,

pNN50%* и RMSSD*, а медиана LF%* была ниже; но для остальных 11 показателей ВСР различия между этими периодами были статистически незначимы. Следовательно, относительно небольшое снижение (на 23%) продолжительности нагрузок в соревновательном периоде (131 мин/день против 178 мин/день) у К. Д. не отразилось существенно на активности ПО АНС (и, вероятно, на синтезе НН-АХ), но эти данные свидетельствуют о повышении активности СО АНС у К. Д. в соревновательном периоде, что трактуется нами как следствие формирования чувства тревожности за результат выступления на соревнованиях.

При анализе показателей ВСР, зарегистрированных у ЭЛРТ в подготовительном и соревновательном периодах, установлено (табл. 1,

рис. 2), что медианы их показателей ВСР были такими же, как у К. Д. Это говорит о правомерности экстраполяции результатов исследования К. Д. на всех ЭЛРТ.

Установлено, что у ЭЛРТ в подготовительном периоде медианы девяти показателей ВСР (TP*, HF*, LF, VLF, HF%, pNN50%, RMSSD*, SDNN* и MxDMn*) были выше, чем в соревновательном периоде, а медианы пяти показателей (LF/HF*, LF%, VLF%, RRNN* и SI*) были ниже (* — различия статистически значимы, $p < 0,05$).

Несмотря на выявленные статистически значимые изменения медиан ряда показателей ВСР у К. Д. и у ЭЛРТ в годовом цикле, мы заключаем, что медианы показателей клино-ВСР, отражающие активность ПО АНС, относительно постоянны на протяжении годичного цикла и, как будет показано ниже, даже в переходный

период они остаются намного выше, чем у менее квалифицированных или начинающих лыжников, и выше, чем у элитных представителей других видов спорта, не требующих высокой выносливости, и выше, чем у спортсменов. Все это говорит о том, что у элитных лыжников на протяжении всего годового цикла имеет место доминирование активности ПО АНС, что, вероятно, обусловлено и высоким уровнем синтеза НН-АХ кардиомиоцитами.

Зависимость величины показателей клино-ВСР от объема тренировочных и соревновательных нагрузок (на примере элитного лыжника К. Д.)

Корреляционный анализ зависимости показателей клино-ВСР от объема тренировочных/соревновательных нагрузок (в целом, по годо-

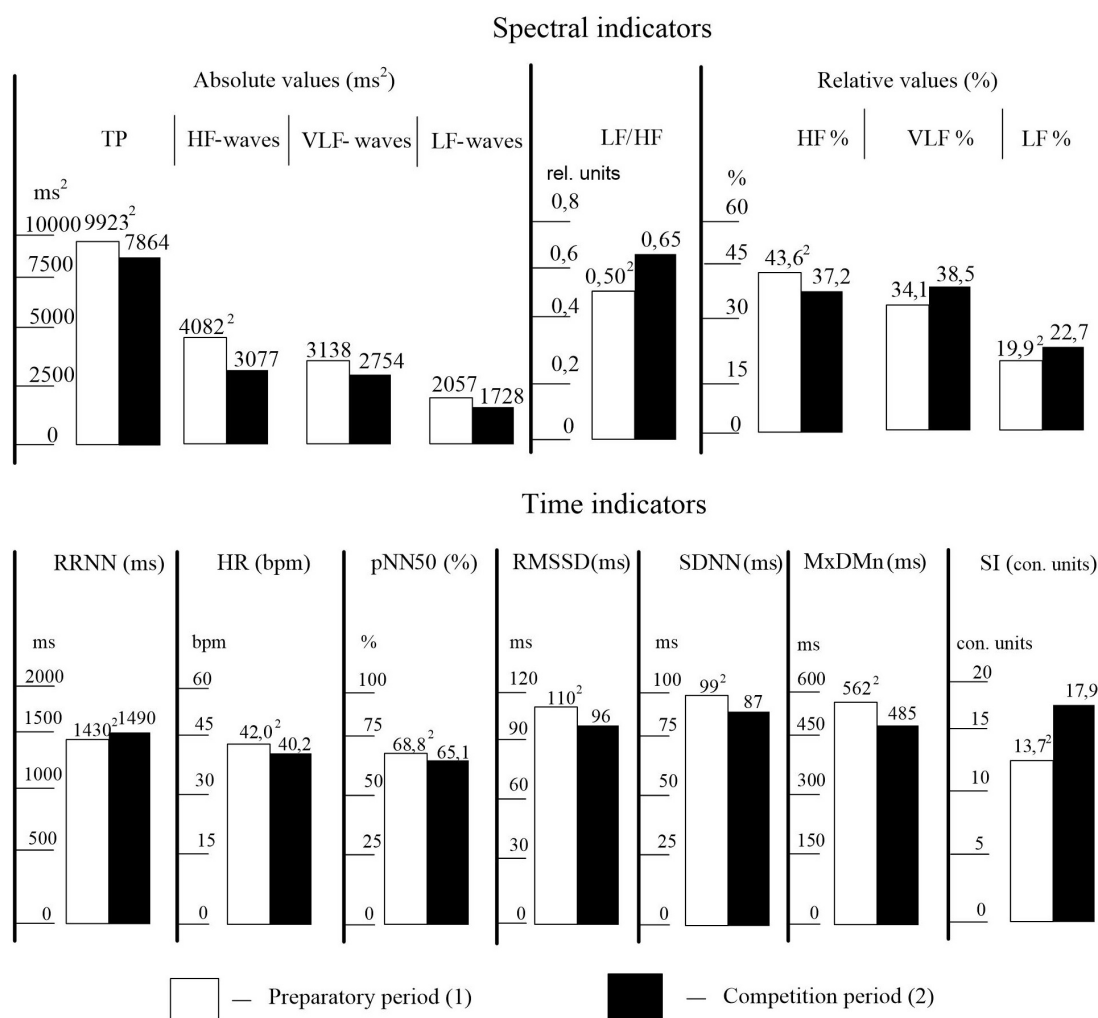


Рис. 2. Медианы спектральных (верхний ряд) и временных (нижний ряд) показателей ВСР (по данным кардиоинтервалографии) у элитных лыжников команды РТ в условиях клиностаза. ² — различия с соревновательным (2) периодом статистически значимы по критерию Манна — Уитни, $p < 0,05$

Fig. 2. Training-phase-dependent changes in spectral (top) and temporal (bottom) heart rate variability parameters measured by cardiointervalography in elite Republic of Tatarstan skiers during clinostasis. ² indicates statistically significant difference versus competitive (2) phase (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$)

вому циклу, показал (табл. 2), что у К. Д. с повышением общей продолжительности нагрузок ($ОПН_{1-5}$) возрастает главным образом активность ПО АНС и в меньшей степени — активность СО АНС.

Действительно (табл. 2), о повышении активности ПО АНС говорит тот факт, что с увеличением общей продолжительности нагрузок ($ОПН_{1-5}$) возрастают медианы ТР (коэффициент ранговой корреляции Спирмена +0,22); AMHF (+0,20); AMVLF (+0,18); RMSSD (+0,22); SDNN (+0,26); MxDMn (+0,26), но снижается медиана SI (–0,22). А о повышении активности симпатического отдела (СО) АНС говорит положительная корреляция медианы AMLF с продол-

жительностью нагрузки (+0,21). Необходимо отметить, что указанные величины коэффициента Спирмена отражают слабую связь, хотя она статистически значима.

Анализ наличия корреляционной зависимости показателей клино-ВСР от $ОПН_{1-5}$ по каждому из трех периодов у К. Д. показал, что статистически значимые зависимости выявлены только для подготовительного периода (табл. 2), в том числе лишь для AMHF (+0,21), pNN50% (+0,28) и RMSSD (+0,32). Это подтверждает представление о том, что тренировочные нагрузки у лыжников повышают влияние ПО АНС на сердце, в том числе, вероятно, и за счет роста синтеза НН-АХ.

Табл. 2. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена для зависимости соответствующего показателя клино-ВСР от общей продолжительности тренировочных/соревновательных нагрузок ($ОПН_{1-5}$, мин/день) в подготовительном (1-м), соревновательном (2-м) и переходном (3-м) периодах у элитного лыжника-гонщика К. Д.

Показатели	Периоды			Годовой сезон (2019/2020)
	1-й	2-й	3-й	
$ОПН_{1-5}$	178,5 (113,8/236,0)	131,0 (92,0/175,5)	99,5 ^{1,2} (67,5/125,0)	131,0 (85,0/184,0)
ТР, мс ²	0,10	0,13	0,10	0,22*
AMHF, мс ²	0,21*	0,07	0,14	0,20*
AMLF, мс ²	0,08	0,20	0,23	0,21*
AMVLF, мс ²	0,05	0,18	–0,06	0,18*
HF, %	0,12	–0,17	0,03	–0,05
LF, %	0,00	0,17	0,23	0,08
VLF, %	–0,03	0,11	–0,17	0,05
AMLF/AMHF усл. ед.	–0,11	0,22	0,20	0,10
SI, усл. ед.	–0,03	0,01	–0,08	–0,22*
RRNN, мс	0,10	–0,17	0,00	0,09
pNN50, %	0,28*	–0,05	–0,20	0,09
RMSSD, мс	0,32*	–0,02	–0,02	0,22*
SDNN, мс	0,19	0,14	–0,04	0,26*
MxDMn, мс	0,17	0,06	0,10	0,26*

Примечание: 1) для $ОПН_{1-5}$ даны медиана и 25/75 центили, цифры в верхнем регистре — статистически значимое различие с 1 и 2 периодом по критерию Манна — Уитни ($p < 0,05$); 2) * — значение коэффициента Спирмена статистически значимо ($p < 0,05$).

Table 2. Spearman's rank correlation coefficients between clinostatic HRV parameters and total training/competition load duration (TLD_{1-5} , min/day) in elite cross-country skier K. D. across three training phases: preparatory (1), competitive (2), and transitional (3)

Parameter	Phase			Season (2019/2020)
	1 st	2 nd	3 rd	
TLD_{1-5} , min/day	178.5 (113.8/236.0)	131.0 (92.0/175.5)	99.5 ^{1,2} (67.5/125.0)	131.0 (85.0/184.0)
TP, ms ²	0.10	0.13	0.10	0.22*
AMHF, ms ²	0.21*	0.07	0.14	0.20*
AMLF, ms ²	0.08	0.20	0.23	0.21*

Table 2. Completion

Parameter	Phase			Season (2019/2020)
	1 st	2 nd	3 rd	
AMVLF, ms ²	0.05	0.18	−0.06	0.18*
HF, %	0.12	−0.17	0.03	−0.05
LF, %	0.00	0.17	0.23	0.08
VLF, %	−0.03	0.11	−0.17	0.05
AMLF/AMHF, conv. un.	−0.11	0.22	0.20	0.10
SI, conv. un.	−0.03	0.01	−0.08	−0.22*
RRNN, ms	0.10	−0.17	0.00	0.09
pNN50, %	0.28*	−0.05	−0.20	0.09
RMSSD, ms	0.32*	−0.02	−0.02	0.22*
SDNN, ms	0.19	0.14	−0.04	0.26*
MxDMn, ms	0.17	0.06	0.10	0.26*

Note: TLD₁₋₅ data represent median (25th–75th centiles). Superscript numerals indicate statistically significant differences vs. phase 1 or 2 (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$). Asterisk denotes significant Spearman's rank correlation coefficients (* $p < 0.05$).

Сравнение медиан показателей клино-ВСП между ЭЛРТ и ЮЛРТ, зарегистрированных в подготовительном периоде

Установлено (табл. 3, рис. 3), что в подготовительном периоде у ЭЛРТ медианы TP, AMHF, AMVLF, HF%, RRNN, pNN50%, RMSSD, SDNN и MxDMn были выше ($p < 0,05$), а медианы AMLF, LF%, AMLF/AMHF, ЧСС и SI — ниже ($p < 0,05$), чем у ЮЛРТ. И лишь различия медианы VLF% были статистически не значимы ($p > 0,05$).

Эти данные подтверждают сделанный нами ранее вывод о том, что высокая активность ПО АНС (и вероятно, более высокий уровень синтеза НН-АХ) характерна для элитных лыжников-гонщиков (Катаев и др. 2023a; 2023b; 2023c; 2023d; 2024a; 2024b; 2024c; 2024d; Kataev et al. 2023; 2024a; 2024b). Они говорят о том, что для достижения высокого уровня синтеза НН-АХ требуются годы (13–20 лет) постоянных тренировок на выносливость, в то время как пяти-семилетний стаж (как у ЮЛРТ) еще недостаточен для этого.

По нашим неопубликованным данным, на протяжении шестимесячного подготовительного периода у ЭЛРТ медианы шести показателей ВСП (TP, LF%, pNN50%, SDNN, MxDMn и SI) не меняются, медианы семи показателей (AMHF, AMVLF, VLF%, AMLF, AMVLF/AMHF, ЧСС и RMSSD) снижаются, а медианы HF% и RRNN возрастают. Но у ЮЛРТ на протяжении подготовительного периода меняются лишь три показателя (LF%, HF% и AMLF/AMHF), в частности, медиана HF% снижалась, а медианы LF%

и AMLF/AMHF возрастали. Эти данные указывают на различие между ЭЛРТ и ЮЛРТ в ответе со стороны реакции сердца на нагрузки. Заслуживает внимания тот факт, что у ЭЛРТ изменения медиан AMLF, LF% и AMLF/AMHF, отражающих активность СО АНС, были менее выражены, чем у ЮЛРТ. Так, у ЭЛРТ медиана AMLF возрастала с 2300 мс² (июнь) до 2912 мс² в августе; т. е. на 26,7% ($p > 0,05$), причем в ноябре она даже снижалась до 1360 мс² ($p < 0,05$), а у ЮЛРТ она возрастала с 1740 мс² (в июне) до 3037 мс² (в ноябре), т. е. на 77,4%. Мы не исключаем, что в условиях клиностаза высокая активность ПО АНС и высокий уровень продукции НН-АХ, характерные для ЭЛРТ, подавляют влияние СО АНС на деятельность сердца в большей степени, чем у ЮЛРТ, у которых интенсивность синтеза НН-АХ, вероятно, ниже, чем у ЭЛРТ. Этот вывод подтверждается и тем, что в целом, за весь подготовительный период, как отмечалось выше, медианы AMLF, LF%, AMLF/AMHF, ЧСС и SI были выше у ЮЛРТ, чем у ЭЛРТ. Таким образом, выявлена способность ПО АНС и, вероятно, НН-АХ снижать активность СО АНС в условиях клиностаза. Как известно, АХ, выделяемый из терминалей вагуса, а также НН-АХ снижают выделение норадреналина из симпатических терминалей сердца за счет активации пресинаптических M₂-XP (Roy et al. 2013; 2015), а также уменьшают эффективность активации бета₁-АР (Wang et al. 2002). Возможно, по этой причине при регистрации клино-ВСП у ЭЛРТ не наблюдается высокой активности СО АНС, хотя в процессе лыжной

Табл. 3. Средние арифметические или медианы показателей КИГ у спортсмена К. Д., у элитных лыжников-гонщиков (ЭЛРТ) и у юношей лыжников-разрядников (ЮЛРТ), а также данные Шлык Н. И. у спортсменов различных видов спорта

Показатели ВСР, ед. изм.	Собственные данные			Типы ВРСД (Шлык и др., 2012)			
	К. Д.	ЭЛРТ	ЮЛРТ	I	II	III	IV
TP, мс ²	6450–11099	7820–11201	7101–8520	1810	1128	4972	9559
AMHF, мс ²	2478–4930	2895–5142	1541–3747	549	456	1894	3736
AMVLF, мс ²	1711–3361	1711–3726	1849–2764	329,3	125,7	681	1220
AMLF, мс ²	1107–2912	1316–2912	1526–3037	582,9	342,3	1655	3403
HF, %	34,1–53,4	33,7–56,5	21,2–43,6	29	41,9	39,5	41,4
VLF, %	24,1–49,1	25,0–40,0	28,7–35,5	20,5	12,0	13,5	12,2
LF, %	16,2–25,8	16,3–24,9	24,3–37,7	32,3	27,9	30,7	34,0
AMLF/AMHF, усл. ед.	0,34–0,73	0,34–0,77	0,59–1,3	1,06	0,75	0,83	0,91
RRNN, мс или ЧСС, уд/мин	1260–1539 или 39,0–47,7	1339–1506 или 39,8–44,7	1007–1112 или 54,0–59,5	888	879	1036	1116
pNN50, %	63,9–72,9	62,6–71,4	44,0–51,7	17,6	13,3	46,7	68,1
RMSSD, мс	95–119	92–129	70–81	37,5	32,7	75,7	127
SDNN, мс	76–105	85–112	85–94	42,1	33,9	73,1	116,7
MxDMn, мс	367–605	436–584	446–503	212	172,6	359	544
SI, усл. ед.	11,2–22,1	12,1–20,7	21,3–28,7	170,8	289,6	49	16,8

Примечание: для спортсмена К. Д. взяты данные с учетом трех периодов, для ЭЛРТ — двух периодов, для ЮЛРТ — только подготовительного периода, по данным Шлык с соавторами (2012) — данные по всем четырем типам регуляции сердечного ритма у спортсменов 10 видов спорта.

Table 3. Cardiointervalography measures in skiers: Individual (K. D.), elite (ELRT), and junior (YLRT) athlete data compared with multi-sport reference values (N. I. Shlyk)

HRV parameters, unit of measure- ment	Our data			Types of ARCA (Shlyk et al. 2012)			
	K. D.	ELRT	YLRT	I	II	III	IV
TP, ms ²	6450–11099	7820–11201	7101–8520	1810	1128	4972	9559
AMHF, ms ²	2478–4930	2895–5142	1541–3747	549	456	1894	3736
AMVLF, ms ²	1711–3361	1711–3726	1849–2764	329.3	125.7	681	1220
AMLF, ms ²	1107–2912	1316–2912	1526–3037	582.9	342.3	1655	3403
HF, %	34.1–53.4	33.7–56.5	21.2–43.6	29	41.9	39.5	41.4
VLF, %	24.1–49.1	25.0–40.0	28.7–35.5	20.5	12.0	13.5	12.2
LF, %	16.2–25.8	16.3–24.9	24.3–37.7	32.3	27.9	30.7	34.0
AMLF/AMHF, conv. un.	0.34–0.73	0.34–0.77	0.59–1.3	1.06	0.75	0.83	0.91
RRNN, ms or Heart rate, bpm	1260–1539 or 39.0–47.7	1339–1506 or 39.8–44.7	1007–1112 or 54.0–59.5	888	879	1036	1116
pNN50, %	63.9–72.9	62.6–71.4	44.0–51.7	17.6	13.3	46.7	68.1
RMSSD, ms	95–119	92–129	70–81	37.5	32.7	75.7	127
SDNN, ms	76–105	85–112	85–94	42.1	33.9	73.1	116.7
MxDMn, ms	367–605	436–584	446–503	212	172.6	359	544
SI, conv. un.	11.2–22.1	12.1–20.7	21.3–28.7	170.8	289.6	49	16.8

Note: the data covers all three training phases for skier K. D; preparatory and competitive phases for ELRT; and preparatory phase only for YLRT. Reference data from (Shlyk et al. 2012) includes all four heart rate regulation types across 10 sport disciplines.

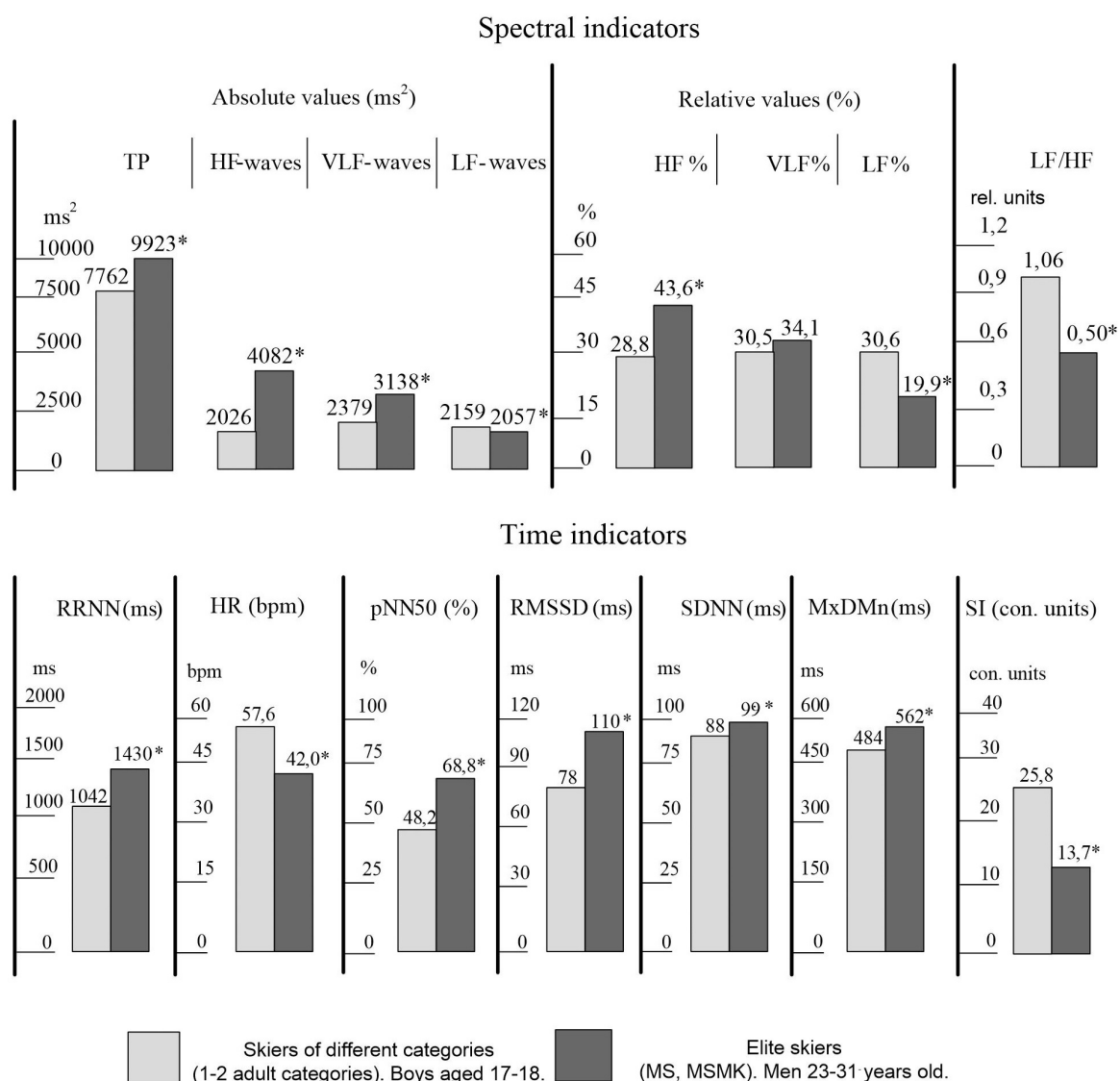


Рис. 3. Медианы спектральных (верхний ряд) и временных (нижний ряд) показателей ВСР (по данным кардиоинтервалографии у 11 юношей лыжников-разрядников и у 8 элитных лыжников команды РТ в подготовительный период в условиях клиностаза). * — различия между группами статистически значимы по критерию Манна — Уитни, $p < 0,05$

Fig. 3. Training-phase-dependent differences in spectral (top) and temporal (bottom) heart rate variability parameters measured by cardiointervalography during preparatory phase clinostasis. Comparison of young ($n = 11$) versus elite ($n=8$) Republic of Tatarstan skiers. Asterisk indicates statistically significant intergroup differences (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$)

гонки частота пульса у ЭЛРТ может достигать 176–200 уд/мин (Кучерова 2019; Kataev et al. 2024b). Полагаем, что выявленный феномен ярко демонстрирует различие между ЭЛРТ и ЮЛРТ по уровню синтеза НН-АХ. Не исключено, что низкая эффективность влияния ПО АНС на сердце в условиях покоя, в том числе по причине низкой интенсивности синтеза НН-АХ, может быть одной из причин пароксизмальной тахикардии у человека.

Сравнение величины показателей клино-ВСР элитных лыжников с данными литературы, касающимися аналогичных показателей клино-ВСР элитных и неэлитных лыжников, неспортсменов и представителей других видов спорта, не связанных с тренировками на выносливость

Для лучшего восприятия эти данные литературы представлены в таблицах 3–7.

Табл. 4. Средние арифметические или медианы показателей КИГ у элитных лыжников-гонщиков, биатлонистов или у элитных спортсменов на выносливость (по данным литературы)

Показатели ВСР	Элитные лыжники-гонщики, биатлонисты и спортсмены на выносливость						
	Лыжники-гонщики			Биатлонисты и другие			
	Литвин и др. 2012	Викулов и др. 2017	Schäfer et al. 2015	Кальсина и др. 2021	Литвин и др. 2020	Schmitt et al. 2013	Schmitt et al. 2020
TP, мс ²	12779	9709	–	5227–7058	5735	4942–7779	–
AMHF, мс ²	3391	–	–	2729–3098	1302	3742–2286	817–2910
AMVLF, мс ²	302	–	–	1154–2345	1288	–	–
AMLF, мс ²	3334	–	–	1343–1614	1290	1636–2398	1083–3653
HF, %	–	52,4	–	–	–	–	–
VLF, %	–	25,5	–	–	–	–	–
LF, %	–	22	–	–	–	–	–
AMLF/AMHF, усл. ед.	0,82	0,53	–	–	1,66	0,84–1,30	–
RRNN, мс или ЧСС, уд/мин	–	1034 или 58	1222–1236	–	–	55,3–63,3	33,5–44,4
pNN50, %	72	64,9	–	–	46	–	–
RMSSD, мс	125	–	72–74	–	69	–	31–114
SDNN, мс	125	100	98–99	–	–	–	–
MxDMn, мс	562	–	–	–	389	–	–
SI, усл. ед.	10,5	22,7	–	–	42	–	–

Table 4. Comparative cardiointervalography parameters in elite endurance athletes: mean values or medians from published studies of cross-country skiers, biathletes, and other endurance sport specialists

HRV parameters	Elite cross-country skiers, biathletes, and other endurance sport specialists						
	Cross-country skiers			Biathletes and other endurance sport specialists			
	Litvin et al. 2012	Vikulov et al. 2017	Schäfer et al. 2015	Kalsina et al. 2021	Litvin et al. 2020	Schmitt et al. 2013	Schmitt et al. 2020
TP, ms ²	12779	9709	–	5227–7058	5735	4942–7779	–
AMHF, ms ²	3391	–	–	2729–3098	1302	3742–2286	817–2910
AMVLF, ms ²	302	–	–	1154–2345	1288	–	–
AMLF, ms ²	3334	–	–	1343–1614	1290	1636–2398	1083–3653
HF, %	–	52.4	–	–	–	–	–
VLF, %	–	25.5	–	–	–	–	–
LF, %	–	22	–	–	–	–	–
AMLF/AMHF, conv. un.	0.82	0.53	–	–	1.66	0.84–1.30	–
RRNN, ms or Heart rate, bpm	–	1034 or 58	1222–1236	–	–	55.3–63.3	33.5–44.4
pNN50, %	72	64.9	–	–	46	–	–
RMSSD, ms	125	–	72–74	–	69	–	31–114
SDNN, ms	125	100	98–99	–	–	–	–
MxDMn, ms	562	–	–	–	389	–	–
SI, conv. un.	10.5	22.7	–	–	42	–	–

Табл. 5. Средние арифметические или медианы показателей КИГ у элитных спортсменов игровых видов спорта и у спортсменов силовых видов спорта (по данным литературы)

Показатели ВСП	Элитные представители других видов спорта									
	Хоккей, футбол и другие игровые виды спорта						Единоборства и силовые виды спорта			
	Калабин и др., 2024	Калабин, Михайлов 2023	Кудря 2009	Погодин, Алексанянц 2018	Михайлов 2017	Liao, Li 2022	Викторов и др., 2017	Кудря 2009	Калабин, Спицин 2011	Tian et al. 2013
TP, мс ²	9649	4802	8649	–	4446–8743	–	4668	2871	1042	1655
AMHF, мс ²	3050	2306	2724	3653	1400–2903	746–1300	–	903	307	1224
AMVLF, мс ²	1684	606	3616	1100	2073–2492	90–101	–	1158	343	112
AMLF, мс ²	2763	1267	2308	3530	824–1422	293–989	–	810	380	318
HF, %	37	–	–	–	32,7–34,4	–	43,1	–	–	–
VLF, %	24	–	–	–	36,7–38,8	–	28,3	–	–	–
LF, %	38	–	–	–	22,0–31,1	–	28,5	–	–	–
AMLF/AMHF, усл. ед.	1.34	0,81	1,13,	0,89	0,54–0,94	0,42–0,99	0,77	1,42	2,35	0.40
RRNN, мс или ЧСС, уд/мин	55	52,9	–	–	1025–1043	–	63,8	–	763	–
pNN50, %	44,7	38,7	–	67	36,8–51,6	18–22	41,5	–	5	–
RMSSD, мс	97	70	–	165	54–91	62–81	–	–	23	82
SDNN, мс	–	73	–	103	61–94	52–69	62	–	32	65
MxDMn, мс	474	365	–	–	–	–	–	–	–	–
SI, усл. ед.	39,2	55,7	–	74	–	–	39,6	–	400	–

Table 5. Mean and median values of HRV parameters from cardiointervalography studies comparing elite team sport athletes vs. power sport athletes (literature compilation)

HRV parameters	Elite representatives of other sports									
	Hockey, football, and other team sports						Martial arts and power sports			
	Kalabin et al. 2024	Kalabin, Mikhaylov 2023	Kudrya 2009	Pogodin, Aleksanyants 2018	Mikhailov 2017	Liao, Li 2022	Vikulov et al. 2017	Kudrya 2009	Kalabin et al. 2011	Tian et al. 2013
TP, ms ²	9649	4802	8649	–	4446–8743	–	4668	2871	1042	1655
AMHF, ms ²	3050	2306	2724	3653	1400–2903	746–1300	–	903	307	1224
AMVLF, ms ²	1684	606	3616	1100	2073–2492	90–101	–	1158	343	112
AMLF, ms ²	2763	1267	2308	3530	824–1422	293–989	–	810	380	318

Table 5. Completion

HRV parameters	Elite representatives of other sports									
	Hockey, football, and other team sports						Martial arts and power sports			
	Kalabin et al. 2024	Kalabin, Mikhaylov 2023	Kudrya 2009	Pogodin, Aleksanyants 2018	Mikhailov 2017	Liao, Li 2022	Vikulov et al. 2017	Kudrya 2009	Kalabin et al. 2011	Tian et al. 2013
HF, %	37	–	–	–	32.7– 34.4	–	43.1	–	–	–
VLF, %	24	–	–	–	36.7– 38.8	–	28.3	–	–	–
LF, %	38	–	–	–	22.0– 31.1	–	28.5	–	–	–
AMLF/AMHF, conv. un.	1.34	0.81	1.13	0.89	0.54– 0.94	0.42– 0.99	0.77	1.42	2.35	0.40
RRNN, ms or Heart rate, bpm	55	52.9	–	–	1025– 1043	–	63.8	–	763	–
pNN50, %	44.7	38.7	–	67	36.8– 51.6	18–22	41.5	–	5	–
RMSSD, ms	97	70	–	165	54–91	62–81	–	–	23	82
SDNN, ms	–	73	–	103	61–94	52–69	62	–	32	65
MxDMn, ms	474	365	–	–	–	–	–	–	–	–
SI, conv. un.	39.2	55.7	–	74	–	–	39.6	–	400	–

Табл. 6. Средние арифметические или медианы показателей КИГ у менее квалифицированных лыжников-гонщиков и биатлонистов, в том числе у начинающих лыжников, а также у представителей других видов спорта, тренирующихся на выносливость (по данным литературы)

Показатели BCP	Начинающие или менее квалифицированные лыжники-гонщики и биатлонисты, в том числе начинающие лыжники, а также представители других видов спорта, тренирующиеся на выносливость							
	Лыжники-гонщики					Биатлонисты и другие спортсмены, тренирующиеся на выносливость		
	Ефремова и др. 2015	Марков 2019	Литвин и др. 2012	Воронина, Сафарова 2008	Рудь и др., 2022	Литвин и др., 2020	Михайлов 2017	Oliveira-Silva et al. 2018
TP, мс ²	1797– 19027	4132–4578	5654–5957	–	3572	2681	3778	–
AMHF, мс ²	624–13160	1733–1819	1901–2974	4601	1190	803	713	–
AMVLF, мс ²	564–1554	514–550	1355–1411	1518	1120	456	1520	–
AMLF, мс ²	608–4313	1107–1241	1436–1544	2934	1260	1830	1298	–
HF, %	–	49–53	–	–	32,5	–	26,2	–
VLF, %	–	11–17	–	–	31,4	–	40,2	–
LF, %	–	33–34	–	–	35,9	–	34,2	–
AMLF/AMHF, усл. ед.	0,39– 1,02	0,62–0,77	0,53–0,96	–	1,18	2,77	1,2	1,03

Табл. 6. Продолжение

Показатели ВСП	Начинающие или менее квалифицированные лыжники-гонщики и биатлонисты, в том числе начинающие лыжники, а также представители других видов спорта, тренирующиеся на выносливость							
	Лыжники-гонщики					Биатлонисты и другие спортсмены, тренирующиеся на выносливость		
	Ефремова и др. 2015	Марков 2019	Литвин и др. 2012	Воронина, Сафарова 2008	Рудь и др., 2022	Литвин и др., 2020	Михайлов 2017	Oliveira-Silva et al. 2018
RRNN, мс или ЧСС, уд/мин	–	58–61	–	–	61	–	922	61
pNN50, %	12–65	–	32,5–58,3	23	–	17	24,3	–
RMSSD, мс	32–167	73–80	67–96	93	–	31	49	59
SDNN, мс	38–133	68–73	69–74	–	–	–	65	75
MxDMn, мс	–	–	–	–	–	221	–	–
SI, усл. ед.	20–125	34	35,5–49,4	32	–	161	–	–

Table 6. HRV parameters in non-elite endurance athletes: mean and median values from cardiointervalography studies of developing skiers, biathletes, and other endurance sports specialists (literature compilation)

HRV parameters	Developing skiers, biathletes, and other endurance sports specialists							
	Cross-country skiers					Biathletes and other endurance sports specialists		
	Efremova et al. 2015	Markov 2019	Litvin et al. 2012	Voronina, Safarova 2008	Rud et al. 2022	Litvin et al. 2020	Mikhailov 2017	Oliveira-Silva et al. 2018
TP, ms ²	1797–19027	4132–4578	5654–5957	–	3572	2681	3778	–
AMHF, ms ²	624–13160	1733–1819	1901–2974	4601	1190	803	713	–
AMVLF, ms ²	564–1554	514–550	1355–1411	1518	1120	456	1520	–
AMLF, ms ²	608–4313	1107–1241	1436–1544	2934	1260	1830	1298	–
HF, %	–	49–53	–	–	32.5	–	26.2	–
VLF, %	–	11–17	–	–	31.4	–	40.2	–
LF, %	–	33–34	–	–	35.9	–	34.2	–
AMLF/AMHF, conv. un.	0.39–1.02	0.62–0.77	0.53–0.96	–	1.18	2.77	1.2	1.03
RRNN, ms or Heart rate, bpm	–	58–61	–	–	61	–	922	61
pNN50, %	12–65	–	32.5–58.3	23	–	17	24.3	–
RMSSD, ms	32–167	73–80	67–96	93	–	31	49	59
SDNN, ms	38–133	68–73	69–74	–	–	–	65	75
MxDMn, ms	–	–	–	–	–	221	–	–
SI, conv. un.	20–125	34	35.5–49.4	32	–	161	–	–

Табл. 7. Средние арифметические или медианы показателей КИГ у начинающих или у менее квалифицированных представителей игровых видов спорта и силовых видов спорта (по данным литературы)

Показатели ВСП	Начинающие или менее квалифицированные спортсмены других видов спорта				
	Футболисты и другие игровые виды спорта			Единоборства и силовые виды спорта	
	Жигалов 2021	Шангареева 2014	Погодин, Александянц 2018	Сарыг и др. 2015	Калабин и др. 2011
TP, мс ²	1075–13107	5347	–	6767	2021
AMHF, мс ²	399–5061	2366	681–1491	310	684
AMVLF, мс ²	68–1742	–	1176–1286	–	576
AMLF, мс ²	523–3460	1877	1327–1389	–	727
HF, %	–	–	–	–	–
VLF, %	–	–	–	–	–
LF, %	–	–	–	–	–
AMLF/AMHF, усл. ед.	0,47–2,76	1,1	0,89–2,05	1,59	1,32
RRNN, мс или ЧСС, уд/мин	59,5–102,5	56,1	–	942/63,6	805
pNN50, %	–	–	18–25	–	9
RMSSD, мс	28–123	–	63–92	78	37
SDNN, мс	–	–	69–78	76	46
MxDMn, мс	172–701	–	–	–	–
SI, усл. ед.	12–350	–	164–202	–	149

Table 7. HRV parameters in developing athletes: mean and median values from cardiointervalography studies of team sport and strength sport participants at sub-elite levels (literature compilation)

HRV parameters	Developing athletes of other sports				
	Football and other team sports			Martial arts and power sports	
	Zhigalov 2021	Shangareeva 2014	Pogodin, Aleksanyants 2018	Saryg et al. 2015	Kalabin et al. 2011
TP, ms ²	1075–13107	5347	–	6767	2021
AMHF, ms ²	399–5061	2366	681–1491	310	684
AMVLF, ms ²	68–1742	–	1176–1286	–	576
AMLF, ms ²	523–3460	1877	1327–1389	–	727
HF, %	–	–	–	–	–
VLF, %	–	–	–	–	–
LF, %	–	–	–	–	–
AMLF/AMHF, conv. un.	0.47–2.76	1.1	0.89–2.05	1.59	1.32
RRNN, ms or Heart rate, bpm	59.5–102.5	56.1	–	942/63.6	805
pNN50, %	–	–	18–25	–	9
RMSSD, Ms	28–123	–	63–92	78	37
SDNN, ms	–	–	69–78	76	46
MxDMn, ms	172–701	–	–	–	–
SI, conv. un.	12–350	–	164–202	–	149

Отметим, что содержащиеся в таблицах сведения получены в разные периоды подготовки спортсменов и при использовании интервалокардиографов с различным программным обеспечением. Тем не менее этот анализ позволяет полагать (табл. 3 и 6), что у элитных лыжников-гонщиков (Викулов и др. 2017; Литвин и др. 2012), а также у элитных биатлонистов (Кальсина и др. 2021; Schmitt et al. 2013; 2021) показатели ВСР, отражающие активность ПО АНС, существенно выше, чем у менее квалифицированных лыжников (Воронина, Сафарова 2008; Ефремова и др. 2015; Марков 2019; Руль, Кудря 2022) и биатлонистов (Литвин и др. 2020). Они также были выше, чем у велосипедистов (Oliveira-Silva et al. 2018) (табл. 4) и легкоатлетов (Михайлов 2017) (табл. 6). Среди спортсменов игровых видов спорта (табл. 5 и 7) показатели ВСР, отражающие активность ПО АНС, были выше у элитных спортсменов (Калабин и др. 2024; Кудря 2009; Михайлов 2017; Погодин, Алексанянц 2018), чем у спортсменов более низкой квалификации (Жигало 2021; Погодин, Алексанянц 2018; Шангареева 2014). Но у спортсменов, занимающихся единоборствами, независимо от их квалификации, эти показатели ВСР были намного ниже (табл. 5, 7), чем у элитных лыжников-гонщиков или биатлонистов (Викулов и др. 2017; Сарыг и др. 2015; Tian et al. 2013). А самые низкие значения этих показателей ВСР характерны (табл. 5) для спортсменов, развивающих силу (Калабин, Спицин 2011; Кудря 2009), особенно для спортсменов высокой квалификации (Калабин, Спицин 2011). Все это подтверждает представление о том, что многолетние тренировки на выносливость год от года повышают активность ПО АНС, что, возможно, обусловлено постепенным повышением способности кардиомиоцитов синтезировать НН-АХ.

Обсуждение

Наше исследование показало, что у элитных лыжников медианы показателей клино-ВСР, отражающие активность ПО АНС и, вероятно, уровень синтеза НН-АХ, выше, чем у менее квалифицированных, а тем более у начинающих лыжников, а также, вероятно, выше, чем у элитных и неэлитных представителей других видов спорта и неспортсменов. В основе таких различий лежит многолетний тренировочный процесс на выносливость. Неслучайно победителями чемпионатов мира и зимних Олимпийских игр в лыжных гонках, а именно в лыжном марафоне на 50 км становятся спортсмены, средний возраст которых составляет 26–29 лет,

имеющие длительный стаж занятий этим видом спорта (Баталов и др. 2020), а в список 40 лучших лыжников-мужчин России попадают лишь 0,83% лыжников-гонщиков 15–16 лет (возрастная группа «средние юноши»), которые становились победителями и призерами всероссийских соревнований среди юношей 15–16 лет, и только 0,56% выступают на Кубке мира (Новикова и др. 2022). Это означает, что для достижения высоких результатов в лыжных гонках требуется такое обеспечение этой деятельности, которое бы препятствовало гибели кардиомиоцитов при высоком уровне энергозатрат. Именно таким компонентом обеспечения, вероятно, является АХ вагусного происхождения и НН-АХ, которые проявляют мощные антиапоптотические, антиоксидантные и противовоспалительные эффекты (Braczko et al. 2024; Kakinuma 2021; Meng et al. 2021; Munasinghe et al. 2023; Oikawa et al. 2021; Rocha-Resende et al. 2021). Очевидно, что для становления синтеза НН-АХ кардиомиоцитами необходим длительный период тренировок на выносливость.

Нами показано, что для повышения активности ПО АНС и, следовательно, для синтеза НН-АХ имеет значение объем тренировочных нагрузок, так как показатели ВСР, отражающие активность ПО АНС, достигают максимальных значений в подготовительном периоде. Корреляционный анализ также выявил, что с повышением объема тренировочной нагрузки возрастают медианы TP, HF, LF, VLF, pNN50%, RMSSD, SDNN, MxDMn, отражающие активность ПО АНС и, вероятно, уровень синтеза НН-АХ. Очевидно, что величины этих показателей ВСР, зарегистрированные в условиях клиностаза у элитных лыжников, можно рассматривать как маркеры высокого уровня активности ПО АНС, обусловленные наличием синтеза НН-АХ кардиомиоцитами. Тот факт, что ряд спектральных показателей в годичном цикле у элитного лыжника может изменяться от периода к периоду, позволяет полагать, что такая динамика является следствием изменения интенсивности синтеза НН-АХ. Но с другой стороны, важно, что у элитных лыжников на протяжении годичного цикла показатели ВСР, отражающие активность ПО АНС, сохраняются на относительно высоком уровне даже в переходный период, в котором объем тренировочных нагрузок существенно снижен. Это является еще одним аргументом в пользу представления о природе спортивной ваготонии как следствии высокой активности ПО АНС и, вероятно, высокой интенсивности синтеза НН-АХ кардиомиоцитами. Другим важным аргументом в пользу такого

представления являются данные о том, что у пятикратного олимпийского чемпиона биатлониста Мартена Фуркада рост спортивных достижений ассоциирован с повышением у него величин таких показателей клино-ВСР, как AMHF, AMLF и RMSSD, и снижением ЧСС, а уменьшение у него спортивных достижений связано с противоположной динамикой указанных показателей (Schmitt et al. 2021). К этому можно добавить, что согласно нашим неопубликованным данным, у элитного лыжника К. Д. после вынужденного (из-за спортивной травмы ноги) прекращения тренировок в марте 2024 года медианы 13 показателей клино-ВСР из 15 (кроме LF% и AMLF/AMHF) к октябрю 2024 года снизились до уровня, характерного для спортсменов или для начинающих лыжников, что говорит о высокой скорости регрессии спортивной ваготонии.

Важным аргументом в пользу нашей гипотезы о природе спортивной ваготонии являются данные о врожденной способности синтезировать НН-АХ в сердце, что в литературе обозначается такими понятиями, как тонус АНС (ваготонический, симпатикотонический) или типы вегетативной регуляции сердечной деятельности (ВРСД). В частности, Шлык с соавторами (Шлык 2022; Шлык и др. 2012) выделяют центральный тип ВРСД (симпатикотонический) и автономный тип (парасимпатический). Эти авторы, как и их сторонники (Жигало 2021; Калабин и др. 2023; 2024; Литвин и др. 2020) полагают, что тип ВРСД не зависит от спортивной специализации и спортивного стажа, а определяется врожденными качествами. Однако мы не разделяем эти утверждения, хотя в целом поддерживаем представление Н. И. Шлык о типах ВРСД. Полагаем, что успехи в лыжных гонках и других видах спорта, требующих развития выносливости, определяются врожденными способностями синтезировать НН-АХ кардиомиоцитами. С учетом того, что к синтезу НН-АХ в сердце причастны холинацетилтрансфераза, транспортер холина-1, везикулярный транспортер АХ, а также митохондрии как источник холина и ацетила для синтеза АХ (Braczko et al. 2024; Kakinuma 2021; Kataev et al. 2024a; Meng et al. 2021; Munasinghe et al. 2023; Oikawa et al. 2021; Rocha-Resende et al. 2021), и учитывая, что эффективность АХ (как и НН-АХ) зависит от интенсивности разрушения АХ ацетилхолинэстеразой, от экспрессии M_2 -ХР и M_3 -ХР, а также, как показано нами (Трухин, Куншин 2016; Циркин и др. 2016), от уровня в крови эндогенного блокатора М-ХР (ЭБМХР), можно полагать, что скорость синтеза и раз-

рушения НН-АХ, а также эффективность активации М-ХР и Н-ХР у людей индивидуальны. Поэтому успехов в видах спорта, требующих высокой выносливости, достигают, вероятно, спортсмены, обладающие высокой скоростью синтеза НН-АХ в сердце, благодаря которому НН-АХ препятствует повреждению кардиомиоцитов, возникающему при интенсивной и длительной физической нагрузке, т. е. успехи в спорте зависят от того, насколько удачно для данного человека выбран вид спорта. И если этот вид спорта требует большой выносливости, то успешность будет у тех спортсменов, у которых имеется врожденная способность кардиомиоцитов синтезировать НН-АХ. По нашим данным (Катаев и др. 2023а), спортсмен К. Д. и еще шесть спортсменов из ЭЛРТ относятся к четвертому типу ВРСД по классификации (Шлык и др. 2012), а один — к третьему типу ВРСД, при этом тип ВРСД у элитных лыжников не меняется на протяжении всего сезона (табл. 3). Наши данные показывают (табл. 3), что величины многих показателей клино-ВСР у К. Д. и ЭЛРТ совпадают с данными, характерными для представителей четвертого типа ВРСД, по Шлык (Шлык и др. 2012). Отметим, что среди 11 участников ЮЛРТ восемь юношей относятся к четвертому типу ВРСД, а трое юношей — к третьему типу ВРСД, по Шлык (Шлык и др. 2012). Это подтверждает наше представление о том, что элитными лыжниками становятся те спортсмены, у которых имеется врожденная способность к синтезу НН-АХ.

В литературе сообщается о мутациях у человека генов белков, участвующих в синтезе АХ, в том числе холинацетилтрансферазы, или ChAT (Chu et al. 2021; Mantanona et al. 2019; Rapanelli et al. 2023; Yildiz et al. 2023) и везикулярного транспортера ацетилхолина, или VACHT (Janickova et al. 2019; McCulloch et al. 2017). Эти данные подтверждают представление о типах ВРСД и объясняют их существование. С этих позиций, вероятно, что у людей со сниженной способностью к синтезу НН-АХ кардиомиоцитами высока вероятность повреждения сердца при стрессовых состояниях, а также при занятиях теми видами спорта, которые требуют высокой выносливости.

Очевидно, что для строгого доказательства синтеза НН-АХ в сердце требуется совместить исследования параметров ВСР у элитных или высококвалифицированных лыжников-гонщиков с определением синтеза НН-АХ, в том числе активности холинацетилтрансферазы, транспортера холина-1 и везикулярного транспортера АХ. Это позволит ответить на вопрос,

в какой степени, в целом, верна концепция, предложенная Какинумой (Kakinuma 2021) и другими авторами о способности кардиомиоцитов синтезировать НН-АХ, а также гипотеза о спортивной ваготонии как следствии высокой активности ПО АНС и синтеза НН-АХ кардиомиоцитами, предложенная (Coote, White 2015) и поддержанная нами (Катаев и др. 2023с; Kataev et al. 2024a).

Выводы

1. Общая продолжительность тренировочных и соревновательных нагрузок (ОПН₁₋₅) у элитного лыжника К. Д. максимальна в подготовительном периоде (178,5 мин/день), меньше — в соревновательном периоде (131 мин/день) и еще меньше — в переходном периоде (99,5 мин/день), а медианы показателей ВСР, отражающих активность ПО АНС и, вероятно, уровень синтеза НН-АХ, выше в подготовительном периоде. Корреляционный анализ показывает, что с повышением объема нагрузок именно в подготовительном периоде возрастают медианы АМНФ, рNN50% и RMSSD, а с учетом всего годичного цикла возрастают медианы TP, АМНФ, АМЛФ, АМВЛФ, RMSSD, SDNN и MxDMn.

2. У элитных лыжников-гонщиков на протяжении всего годового цикла, в том числе в переходном периоде, т. е. при снижении объема нагрузок, в условиях клиностаза имеет место доминирование активности ПО АНС, что, вероятно, обусловлено высоким уровнем синтеза НН-АХ кардиомиоцитами. Незначительный рост активности СО АНС, отмеченный у элитных лыжников в соревновательном периоде, предположительно, является следствием формирования чувства тревожности за спортивный результат. В целом медианы 15 показателей клино-КИГ элитных лыжников сходны с таковыми у спортсменов, относимых по классификации Н. И. Шлык к четвертому типу ВРСД (ваготоники).

3. У элитных лыжников-гонщиков (ЭЛРТ) активность ПО АНС и, вероятно, синтез НН-АХ кардиомиоцитами выше, чем у менее квалифицированных лыжников-гонщиков, в том числе, согласно нашим данным, у 11 юношей-лыжников (ЮЛРТ), и выше, судя по данным литературы, чем у элитных спортсменов других видов спорта, не связанных с тренировкой на выносливость. Это также подтверждает представление о природе спортивной ваготонии как результате повышенной активности ПО АНС, в том числе за счет синтеза НН-АХ кардиомиоцитами.

4. В процессе тренировки на выносливость возрастает активность СО АНС, но влияние этой активности на медианы показателей клино-ВСР, отражающих ее, в частности, на АМЛФ, LF% и АМЛФ/АМНФ, маскируется за счет высокой активности ПО АНС и наличия синтеза НН-АХ. Это особенно характерно для элитных лыжников и, вероятно, является одним из признаков наличия синтеза НН-АХ кардиомиоцитами у спортсменов.

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 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Вятского государственного университета (Киров) (протокол №2 от 11.01.2022 г.).

Ethics Approval

All procedures were conducted in compliance with the ethical principles of the Declaration of Helsinki (1964) and its subsequent amendments. The study protocol was approved by the Institutional Bioethics Committee of Vyatka State University (Kirov) (Protocol No. 2, 11 January 2022).

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 — data collection and analysis, literature review, manuscript drafting;
- b. Viktor I. Tsirkin — study conception and design, literature analysis, manuscript drafting;
- c. Andrey N. Trukhin — critical revision, manuscript preparation and documentation;
- d. Svetlana I. Trukhina — study conception and design, critical revision, manuscript preparation and documentation.

Список сокращений

АНС — автономная нервная система; АХ — ацетилхолин; ВСР — вариабельность сердечного ритма; 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 ВСР: 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 ВСР: SI — стресс-индекс или индекс напряжения; RRNN — длительность

нормальных интервалов RR; 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.

List of abbreviations

ANS — autonomous nervous system; ACh — acetylcholine; CLV — cyclic load volume; CMS — Candidate for Master of Sports; HRV — heart rate variability; IMS — International Master of Sports; KIG — cardiointervalography; 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% are the relative power of HF-, LF-, and VLF waves expressed as a percentage of TP. HRV time indicators: pNN50% — the ratio of consecutive NN intervals, the difference between which exceeds 50 ms, in percent to the total number of normal (NN) RR intervals; RMSSD is the 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

- Баталов, А. Г., Сенатская, В. Г., Шукин, А. В. (2020) Соревновательная результативность в лыжном марафоне на 50 км на Олимпийских играх и чемпионатах мира за весь период их проведения (с 1924 по 2019 гг.). *Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта*, т. 15, № 2, с. 9–16. <https://doi.org/10.14526/2070-4798-2020-15-2-9-16>
- Викулов, А. Д., Бочаров, М. В., Каунина, Д. В., Бойков, В. А. (2017) Регуляция сердечной деятельности у спортсменов высокой квалификации. *Вестник спортивной науки*, № 2, с. 31–36.
- Воронина, Г. А., Сафарова, Р. И. (2008) Характеристика основных параметров вариабельности 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.
- Гланц, С. (1998) *Медико-биологическая статистика*. М.: Практика, 459 с.
- Есева, Т. В., Варламова, Н. Г., Логинова, Т. П. и др. (2018) Компьютерная модель представления результатов обследования по тренировочным зонам у лыжников-гонщиков. *Известия Коми научного центра УрО РАН*, № 4 (36), с. 25–30.
- Ефремова, Р. И., Спицин, А. П., Воронина, Г. А. (2015) Реактивность регуляторных систем юных лыжников в зависимости от типа вегетативной регуляции. *Вятский медицинский вестник*, № 4 (48), с. 15–18.
- Жигало, В. Я. (2021) Исследование функционального состояния футболистов-спортсменов различного возраста. 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. 144–148.

- Калабин, О. В., Литвин, Ф. Б., Катаев, А. Н., Пивоваров, О. А. (2024) Вегетативная реакция на ортоклиностатическую пробу профессиональных игроков в хоккей с мячом. *Современные вопросы биомедицины*, т. 8, № 3 (29), статья 8. https://doi.org/10.24412/2588-0500-2024_08_03_8
- Калабин, О. В., Михайлов, М. М. (2023) Индивидуальный подход в определении функциональной готовности организма методом анализа вариабельности ритма сердца для коррекции силовой подготовки в волейболе. *Современные вопросы биомедицины*, т. 7, № 1 (22), статья 7. https://doi.org/10.51871/2588-0500_2023_07_01_7
- Калабин, О. В., Спицин, А. П. (2011) Вариабельность сердечного ритма у спортсменов с силовой направленностью тренировочного процесса. *Новые исследования*, № 4 (29), с. 124–131.
- Кальсина, В. В., Кудря, О. Н., Реуцкая, Е. А. (2021) Оценка функционального состояния биатлонисток высокой квалификации по показателям вариабельности ритма сердца. *Ученые записки Университета имени П. Ф. Лесгафта*, № 8 (198), с. 111–118.
- Катаев, Д. А., Циркин, В. И., Трухин, А. Н., Трухина, С. И. (2023а) 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, Врачи 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., Трухин, А. Н., Трухина, С. И. (2024а) Зависимость величины RMSSD кардиоинтервалограммы от специализации тренировочного процесса, этапа годового 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>
- Катаев, Д. А., Циркин, В. И., Трухин, А. Н., Трухина, С. И. (2024б) Динамика RMSSD кардиоинтервалограммы у элитных лыжников-гонщиков в течение годового макроцикла в зависимости от объема и интенсивности тренировочных нагрузок. *Человек. Спорт. Медицина*, т. 24, № 4, с. 48–56.
- Катаев, Д. А., Циркин, В. И., Кишкина, В. В. и др. (2023б) Природа общей мощности спектра и очень низкочастотных волн кардиоинтервалограммы с позиций адаптации организма человека к двигательной активности (обзор). *Журнал медико-биологических исследований*, т. 11, № 1, с. 95–107. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z134>
- Катаев, Д. А., Циркин, В. И., Кишкина, В. В. и др. (2024с) Общая мощность спектра и мощность HF-волн в зависимости от этапов годового цикла подготовки спортсменов и других факторов (обзор). *Журнал медико-биологических исследований*, т. 12, № 2, с. 253–267. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z189>
- Катаев, Д. А., Циркин, В. И., Завалин, Н. С. и др. (2023с) 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., Завалин, Н. С. и др. (2023d) Динамика TP- и HF-волн кардиоинтервалограммы лыжника-гонщика в подготовительном, соревновательном и переходном периодах в зависимости от объема и интенсивности тренировочных нагрузок. *Вестник спортивной науки*, № 1, с. 46–54.
- Катаев, Д. А., Циркин, В. И., Кишкина, В. В. и др. (2024d) Динамика интервала RRNN кардиоинтервалограммы в зависимости от специализации тренировочного процесса, этапа годового цикла подготовки и других факторов (обзор литературы). *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врачи и Здоровье*, т. 14, № 6, с. 30–46. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.6.PHYS.2>
- Кудря, О. Н. (2009) Влияние физических нагрузок разной направленности на вариабельность ритма сердца у спортсменов. *Бюллетень сибирской медицины*, т. 8, № 1, с. 36–42. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2009-1-36-42>
- Кучерова, А. В. (2019) *Научно-методические основы физической подготовки лыжников-гонщиков в подготовительном периоде*. Могилев: Изд-во Могилевского государственного университета имени А. А. Кулешова, 224 с.
- 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., Брук, Т. М., Терехов, П. А., Осипова, Н. В. (2020) Особенности анаэробной работоспособности биатлонистов в зависимости от типа вегетативной регуляции сердечного ритма. *Журнал медико-биологических исследований*, т. 8, № 4, с. 368–377. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z029>
- Марков, А. Л. (2019) Вариабельность 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>
- Михайлов, В. М. (2017) *Вариабельность ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму)*. Иваново: Нейрософт, 516 с.
- Новикова, Н. Б., Иванова, И. Г., Котелевская, Н. Б., Головачев, А. И. (2022) Сравнительный анализ результативности сильнейших лыжников-гонщиков в юношеском и взрослом возрасте. *Теория и практика физической культуры*, № 3, с. 97–99.

- Погодин, А. А., Алексанянц, Г. Д. (2018) Симпато-парасимпатические взаимодействия в регуляции сердечного ритма баскетболистов студенческой лиги. *Физическая культура, спорт — наука и практика*, № 1, с. 62–68.
- Руль, Е. А., Кудря, О. Н. (2022) Показатели variability сердечного ритма лыжников-гонщиков в условиях учебно-тренировочных сборов при использовании транскраниальной электростимуляции. *Современные вопросы биомедицины*, т. 6, № 1 (18), статья 25. https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_01_25
- 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.
- Трухин, А. Н., Куншин, А. А. (2016) Аналитический обзор по эндогенным модуляторам М-холинорецепторов как компонентов гуморального звена автономной нервной системы (часть 1). *Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Медико-биологические науки»*, № 2, с. 37–50. <https://doi.org/10.17238/issn2308-3174.2016.2.37>
- Циркин, В. И., Ноздрачев, А. Д., Анисимов, К. Ю. и др. (2016) Механизмы положительной и отрицательной модуляции эффективности активации адренорецепторов и других рецепторов, ассоциированных с G-белком (обзор литературы). Сообщение 3. Эндогенные блокаторы (ЭББАР, ЭБААР, ЭБМХР) как отрицательные модуляторы. *Вестник Уральской медицинской академической науки*, № 4 (59), с. 87–108.
- Шангареева, Г. Н. (2014) Показатели variability сердечного ритма у юных хоккеистов олимпийского резерва. *Медицинский вестник Башкортостана*, т. 9, № 1, с. 49–52.
- Шлык, Н. И. (2022) *Вариабельность сердечного ритма и методы ее определения у спортсменов в тренировочном процессе*. Ижевск: Изд-во Удмуртского университета, 80 с.
- 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*, вып. 1, с. 114–125.
- Abramochkin, D. V., Borodina, A. A., Rosenshtraukh, L. V., Nikolsky, E. E. (2012) Both neuronal and non-neuronal acetylcholine take part in non-quantal acetylcholine release in the rat atrium. *Life Sciences*, vol. 91, no. 21–22, pp. 1023–1026. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2012.03.031>
- 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>
- Braczko, F., Fischl, S. R., Reinders, J. et al. (2024) Activation of the nonneuronal cholinergic cardiac system by hypoxic preconditioning protects isolated adult cardiomyocytes from hypoxia/reoxygenation injury. *American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology*, vol. 327, no. 1, pp. H70–H79. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00211.2024>
- Chu, C., Parkhurst, C. N., Zhang, W. et al. (2021) The ChAT-acetylcholine pathway promotes group 2 innate lymphoid cell responses and anti-helminth immunity. *Science Immunology*, vol. 6, no. 57, article eabe3218. <https://doi.org/10.1126/sciimmunol.abe3218>
- Coote, J. H., White, M. J. (2015) CrossTalk proposal: Bradycardia in the trained athlete is attributable to high vagal tone. *Journal of Physiology*, vol. 593, no. 8, pp. 1745–1747. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2014.284364>
- D'Souza, A., Sharma, S., Boyett, M. R. (2015) Crosstalk opposing view: Bradycardia in the trained athlete is attributable to a downregulation of a pacemaker channel in the sinus node. *The Journal of Physiology*, vol. 593, no. 8, pp. 1749–1751. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2014.284356>
- Janickova, H., Kljakic, O., Rosborough, K. et al. (2019) Selective decrease of cholinergic signaling from pedunculopontine and laterodorsal tegmental nuclei has little impact on cognition but markedly increases susceptibility to stress. *The FASEB Journal*, vol. 33, no. 6, pp. 7018–7036. <https://doi.org/10.1096/fj.201802108R>
- 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>
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Trukhin, A. N., Trukhina, S. I. (2024a) Sports vagotonia as a result of increased synthesis of non-neuronal acetylcholine by cardiomyocytes. *Anatomy Physiology & Biochemistry International Journal*, vol. 7, no. 3, article 555711. <https://doi.org/10.19080/APBIJ.2024.07.555711>
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Trukhin, A. N., Trukhina, S. I. (2024b) 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. <https://doi.org/10.19080/APBIJ.2024.07.555707>
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Kishkina, V. V. et al. (2023) Absolute and relative power of LF waves of cardiointervalogram in athletes (literature review). *Anatomy Physiology & Biochemistry International Journal*, vol. 6, no. 4, article 555695. <https://doi.org/10.19080/APBIJ.2023.06.555695>
- 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, no. 1, article 3917415. <https://doi.org/10.1155/2022/3917415>

- Mantanona, C. P., Alsiö, J., Elson, J. L. et al. (2019) Altered motor, anxiety-related and attentional task performance at baseline associate with multiple gene copies of the vesicular acetylcholine transporter and related protein overexpression in ChAT::Cre+ rats. *Brain Structure & Function*, vol. 224, no. 9, pp. 3095–3116. <https://doi.org/10.1007/s00429-019-01957-y>
- McCulloch, K. A., Qi, Y. B., Takayanagi-Kiya, S. et al. (2017) Novel mutations in synaptic transmission genes suppress neuronal hyperexcitation in *Caenorhabditis elegans*. *G3 (Bethesda)*, vol. 7, no. 7, pp. 2055–2063. <https://doi.org/10.1534/g3.117.042598>
- 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>
- 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>
- Oikawa, S., Kai, Y., Mano, A. et al. (2021) Non-neuronal cardiac acetylcholine system playing indispensable roles in cardiac homeostasis confers resiliency to the heart. *Journal of Physiological Sciences*, vol. 71, no. 1, article 2. <https://doi.org/10.1186/s12576-020-00787-6>
- 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>
- Rapanelli, M., Wang, W., Hurley, E. et al. (2023) Cholinergic neurons in the basal forebrain are involved in behavioral abnormalities associated with Cul3 deficiency: Role of prefrontal cortex projections in cognitive deficits. *Translational Psychiatry*, vol. 13, no. 1, article 22. <https://doi.org/10.1038/s41398-023-02306-8>
- Rocha-Resende, C., da Silva, A. M., Prado, M. A. M., Guatimosim, S. (2021) Protective and anti-inflammatory effects of acetylcholine in the heart. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, vol. 320, no. 2, pp. C155–C161. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00315.2020>
- Roy, A., Guatimosim, S., Prado, V. F. et al. (2015) Cholinergic activity as a new target in diseases of the heart. *Molecular Medicine*, vol. 20, no. 1, pp. 527–537. <https://doi.org/10.2119/molmed.2014.00125>
- Roy, A., Fields, W. C., Rocha-Resende, C. et al. (2013) Cardiomyocyte-secreted acetylcholine is required for maintenance of homeostasis in the heart. *The FASEB Journal*, vol. 27, no. 12, pp. 5072–5082. <https://doi.org/10.1096/fj.13-238279>
- Saw, E. L., Kakinuma, Y., Fronius, M., Katare, R. (2018) The non-neuronal cholinergic system in the heart: A comprehensive review. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, vol. 125, pp. 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2018.10.013>
- 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/ijspp.2020-0148>
- Schmitt, L., Regnard, J., Desmarests, M. et al. (2013) Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *PLoS One*, vol. 8, no. 8, article e71588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071588>
- 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. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 27, no. 6, pp. 1511–1519. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31826cae8f>
- Wang, Y. G., Dedkova, E. N., Steinberg, S. F. et al. (2002) β 2-adrenergic receptor signaling acts via NO release to mediate ACh-induced activation of ATP-sensitive K^+ current in cat atrial myocytes. *Journal of General Physiology*, vol. 119, no. 1, pp. 69–82. <https://doi.org/10.1085/jgp.119.1.69>
- Yildiz, E. P., Kilic, M. A., Yalcin, E. U. et al. (2023) Genetic and clinical evaluation of congenital myasthenic syndromes with long-term follow-up: Experience of a tertiary center in Turkey. *Acta Neurologica Belgica*, vol. 123, no. 5, pp. 1841–1847. <https://doi.org/10.1007/s13760-022-02090-0>

References

- Abramochkin, D. V., Borodina, A. A., Rosenshtaukh, L. V., Nikolsky, E. E. (2012) Both neuronal and non-neuronal acetylcholine take part in non-quantal acetylcholine release in the rat atrium. *Life Sciences*, vol. 91, no. 21–22, pp. 1023–1026. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2012.03.031> (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)
- Batalov, A. G., Senat'skaya, V. G., Shchukin, A. V. (2020) Sorevnovatel'naya rezul'tativnost' v lyzhnom marafone na 50 km na Olimpijskikh igrakh i chempionatakh mira za ves' period ikh provedeniya (s 1924 po 2019 gg.) [Competitive effectiveness in 50 km skiing marathon at winter Olympic games and world championships

- during the whole period of their organization (since 1924 till 2019)]. *Pedagogiko-psikhologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoy kul'tury i sporta — Russian Journal of Physical Education and Sport*, vol. 15, no. 2, pp. 9–16. <https://doi.org/10.14526/2070-4798-2020-15-2-9-16> (In Russian)
- Braczko, F., Fischl, S. R., Reinders, J. et al. (2024) Activation of the nonneuronal cholinergic cardiac system by hypoxic preconditioning protects isolated adult cardiomyocytes from hypoxia/reoxygenation injury. *American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology*, vol. 327, no. 1, pp. H70–H79. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00211.2024> (In English)
- Chu, C., Parkhurst, C. N., Zhang, W. et al. (2021) The ChAT-acetylcholine pathway promotes group 2 innate lymphoid cell responses and anti-helminth immunity. *Science Immunology*, vol. 6, no. 57, article eabe3218. <https://doi.org/10.1126/sciimmunol.abe3218> (In English)
- Coote, J. H., White, M. J. (2015) CrossTalk proposal: Bradycardia in the trained athlete is attributable to high vagal tone. *Journal of Physiology*, vol. 593, no. 8, pp. 1745–1747. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2014.284364> (In English)
- D'Souza, A., Sharma, S., Boyett, M. R. (2015) Crosstalk opposing view: Bradycardia in the trained athlete is attributable to a downregulation of a pacemaker channel in the sinus node. *The Journal of Physiology*, vol. 593, no. 8, pp. 1749–1751. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2014.284356> (In English)
- Efremova, R. I., Spitsin, A. P., Voronina, G. A. (2015) Reaktivnost' regul'yatornykh sistem yun'ykh lyzhnikov v zavisimosti ot tipa vegetativnoy regul'yatsii [Reactivity of young skiers' regulatory system in different types of vegetative regulation]. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik — Medical Newsletter of Vyatka*, no. 4 (48), pp. 15–18. (In Russian)
- Eseva, T. V., Varlamova, N. G., Loginova, T. P. et al. (2018) Komp'yuternaya model' predstavleniya rezul'tatov obsledovaniya po trenirovochnym zonam u lyzhnikov-gonshchikov [Computer model of presentation of the medical examination results on the training zones of skiers-racers]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN — Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Division of the Russian Academy of Sciences*, no. 4 (36), pp. 25–30. (In Russian)
- Glantz, S. (1998) *Mediko-biologicheskaya statistika [Primer of biostatistics]*. Moscow: Praktika Publ., 459 p. (In Russian)
- Janickova, H., Kljakic, O., Rosborough, K. et al. (2019) Selective decrease of cholinergic signaling from pedunculopontine and laterodorsal tegmental nuclei has little impact on cognition but markedly increases susceptibility to stress. *The FASEB Journal*, vol. 33, no. 6, pp. 7018–7036. <https://doi.org/10.1096/fj.201802108R> (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., Litvin, F. B., Kataev, A. N., Pivovarov, O. A. (2024) Vegetativnaya reaktsiya na ortoklinosticheskiy probu professional'nykh igrokov v khokkei s myachom [Autonomic response to orthoclinostatic test in professional bandy players]. *Sovremennyye voprosy biomeditsiny — Modern Issues of Biomedicine*, vol. 8, no. 3 (29), article 8. https://doi.org/10.24412/2588-0500-2024_08_03_8 (In Russian)
- Kalabin, O. V., Mikhailov, M. M. (2023) Individual'nyy podkhod v opredelenii funktsional'noy gotovnosti organizma metodom analiza variabel'nosti ritma serdtsa dlya korrektsii silovoy podgotovki v volejbole [Individual approach to identifying the functional fitness of the body by the heart rate variability analysis for correction of strength training in volleyball]. *Sovremennyye voprosy biomeditsiny — Modern Issues of Biomedicine*, vol. 7, no. 1 (22), article 7. https://doi.org/10.51871/2588-0500_2023_07_01_7 (In Russian)
- Kalabin, O. V., Spitsin, A. P. (2011) Variabel'nost' serdechnogo ritma u sportsmenov s silovoy napravlennoy trenirovochnogo protsessa [Variability of heart rate in sportsmen aimed at power training]. *Novyye issledovaniya — New Study*, no. 4 (29), pp. 124–131. (In Russian)
- Kalsina, V. V., Kudrya, O. N., Reutskaya, E. A. (2021) Otsenka funktsional'nogo sostoyaniya biatlonistov vysokoy kvalifikatsii po pokazatelyam variabel'nosti ritma serdtsa [Assessment of the functional state of highly qualified biathletes by indicators of heart rate variability]. *Uchenye zapiski Universiteta imeni P. F. Lesgafta — Scientific Notes of P. F. Lesgaft University*, no. 8 (198), pp. 111–118. (In Russian)
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Trukhin, A. N., Trukhin, S. I. (2023a) Dinamika stress-indekso i spektral'nykh pokazateley kardiointervalogrammy elitnykh lyzhnikov-gonshchikov v podgotovitel'nom, sorevnovatel'nom i perekhodnom periodakh v zavisimosti ot ob'ema i intensivnosti trenirovochnykh nagruzok [Dynamics of stress-index and spectral indicators of cardiointervalogram of elite skiers-racers in the preparatory, competition 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. (2024a) Zavisimost' velichiny RMSSD kardiointervalogrammy ot spetsializatsii trenirovochnogo protsesssa, etapa godichnogo tsikla podgotovki i drugikh faktorov (obzor) [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]. *Integrativnaya fiziologiya — Integrative Physiology*, vol. 5, no. 1, pp. 32–49. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2024-5-1-32-49> (In Russian)

- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Trukhin, A. N., Trukhina, S. I. (2024b) Dinamika RMSSD kardiointervalogrammy u elitnykh lyzhnikov-gonshchikov v techenie godichnogo makrotsikla v zavisimosti ot ob'ema i intensivnosti trenirovochnykh nagruzok [Dynamic analysis of RMSSD in elite cross-country skiers throughout the annual macrocycle: Impact of training volume and intensity]. *Chelovek. Sport. Meditsina — Human. Sport. Medicine*, vol. 24, no. 4, pp. 48–56. (In Russian)
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Trukhin, A. N., Trukhina, S. I. (2024a) Sports vagotonia as a result of increased synthesis of non-neuronal acetylcholine by cardiomyocytes. *Anatomy Physiology & Biochemistry International Journal*, vol. 7, no. 3, article 555711. <https://doi.org/10.19080/APBIJ.2024.07.555711> (In English)
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Trukhin, A. N., Trukhina, S. I. (2024b) Indicator PNN50% kardiointervalogram 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. <https://doi.org/10.19080/APBIJ.2024.07.555707> (In English)
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Kishkina, V. V. et al. (2023b) Priroda obshchey moshchnosti spektra i ochen' nizkochastotnykh voln kardiointervalogrammy s pozitsij adaptatsii organizma cheloveka k dvigatel'noj aktivnosti (obzor) [The nature of total power and very low frequency waves on the interval electrocardiogram from the standpoint of the human body's adaptation to motor activity (review)]. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy — Journal of Medical and Biological Research*, vol. 11, no. 1, pp. 95–107. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z134> (In Russian)
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Kishkina, V. V. et al. (2024c) Obshchaya moshchnost' spektra i moshchnost' HF-voln v zavisimosti ot etapov godichnogo tsikla podgotovki sportsmenov i drugikh faktorov (obzor) [Total spectrum power and power of HF waves in athletes depending on the phase of the training year and other factors (review)]. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy — Journal of Medical and Biological Research*, vol. 12, no. 2, pp. 253–267. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z189> (In Russian)
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Kishkina, V. V. et al. (2023) Absolute and relative power of LF waves of kardiointervalogram in athletes (literature review). *Anatomy Physiology & Biochemistry International Journal*, vol. 6, no. 4, article 555695. <https://doi.org/10.19080/APBIJ.2023.06.555695> (In English)
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Zavalin, N. S. et al. (2023c) 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 kardiointervalogram (in clinostasis conditions) 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., Zavalin, N. S. et al. (2023d) Dinamika TP- i HF-voln kardiointervalogrammy lyzhnika-gonshchika v podgotovitel'nom, sorevnovatel'nom i perekhodnom periodakh v zavisimosti ot ob'ema i intensivnosti trenirovochnykh nagruzok [Dynamics of TP- and HF-waves of a ski racer's kardiointervalogram in the preparatory, competitive and transitional periods, depending on the volume and intensity of training loads]. *Vestnik sportivnoy nauki — Sports Science Bulletin*, no. 1, pp. 46–54. (In Russian)
- Kataev, D. A., Tsirkin, V. I., Kishkina, V. V. et al. (2024d) Dinamika intervala RRNN kardiointervalogrammy v zavisimosti ot spetsializatsii trenirovochnogo protsessa, etapa godichnogo tsikla podgotovki i drugikh faktorov (obzor) [Dynamics of the RRNN interval of the kardiointervalogram depending on the specialization of the training process, the stage of the annual training cycle and other factors (review)]. *Vestnik meditsinskogo instituta "REAVIZ". Reabilitatsiya, Vrach i Zdorove — Bulletin of the Medical Institute 'REAVIZ: Rehabilitation, Doctor and Health'*, vol. 14, no. 6, pp. 30–46. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.6.PHYS.2> (In Russian)
- Kucheroва, A. V. (2019) Nauchno-metodicheskie osnovy fizicheskoy podgotovki lyzhnikov-gonshchikov v podgotovitel'nom periode [Scientific and methodological foundations of physical training of cross-country skiers in the preparatory period]. Mogilev: Mogilev State A. Kuleshov University Publ., 224 p. (In Russian)
- Kudrya, O. N. (2009) Vliyaniye fizicheskikh nagruzok raznoy napravlenosti na variabel'nost' ritma serdtsa u sportsmenov [The influence of the different direction physical tensions for heart rate variability of the sportsmen]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny — Bulletin of Siberian Medicine*, vol. 8, no. 1, pp. 36–42. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2009-1-36-42> (In Russian)
- 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, no. 1, article 3917415. <https://doi.org/10.1155/2022/3917415> (In English)
- Litvin, F. B., Anosov, I. P., Asyamolov, P. O. et al. (2012) Serdechnyy ritm i sistema mikrotsirkulyatsii u lyzhnikov v pedsorevnovatel'nom periode sportivnoy podgotovki [Warm rhythm and system of 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., Bruk, T. M., Terekhov, P. A., Osipova, N. V. (2020) Osobennosti anaerobnoy rabotosposobnosti biatlonistov v zavisimosti ot tipa vegetativnoy regulyatsii serdechnogo ritma [Anaerobic capacity in biathletes depending on the type of autonomic heart rate regulation]. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy —*

- Journal of Medical and Biological Research*, vol. 8, no. 4, pp. 368–377. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z029> (In Russian)
- Mantanona, C. P., Alsiö, J., Elson, J. L. et al. (2019) Altered motor, anxiety-related and attentional task performance at baseline associate with multiple gene copies of the vesicular acetylcholine transporter and related protein overexpression in ChAT::Cre+ rats. *Brain Structure & Function*, vol. 224, no. 9, pp. 3095–3116. <https://doi.org/10.1007/s00429-019-01957-y> (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 issledovaniy — 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)
- McCulloch, K. A., Qi, Y. B., Takayanagi-Kiya, S. et al. (2017) Novel mutations in synaptic transmission genes suppress neuronal hyperexcitation in *Caenorhabditis elegans*. *G3 (Bethesda)*, vol. 7, no. 7, pp. 2055–2063. <https://doi.org/10.1534/g3.117.042598> (In English)
- 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)
- Mikhailov, V. M. (2017) *Variabel'nost' ritma serdtsa (novyj vzglyad na staruyu paradigmu)* [Heart rate variability (a new look at an old paradigm)]. Ivanovo: Neurosoft Publ., 516 p. (In Russian)
- Munasinghe, P. E., Saw, E. L., Reilly-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)
- Novikova, N. B., Ivanova, I. G., Kotelevskaya, N. B., Golovachev, A. I. (2022) Sravnitel'nyy analiz rezul'tativnosti sil'nejshikh lyzhnikov-gonshchikov v yunosheskom i vzrosлом vozraste [Competitive analysis of performance of strongest junior and senior cross-country skiers]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury — Theory and Practice of Physical Culture*, no. 3, pp. 97–99. (In Russian)
- Oikawa, S., Kai, Y., Mano, A. et al. (2021) Non-neuronal cardiac acetylcholine system playing indispensable roles in cardiac homeostasis confers resiliency to the heart. *Journal of Physiological Sciences*, vol. 71, no. 1, article 2. <https://doi.org/10.1186/s12576-020-00787-6> (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)
- Pogodin, A. A., Aleksanyants, G. D. (2018) Simpato-parasimpaticheskie vzaimodejstviya v regulyatsii serdechnogo ritma basketbolistov studencheskoj ligi [Sympathetic-parasympathetic interactions in the regulation of the cardiac rhythm of basketball players from the students league]. *Fizicheskaya kul'tura, sport — nauka i praktika — Physical Education, Sport — Science and Practice*, no. 1, pp. 62–68. (In Russian)
- Rapanelli, M., Wang, W., Hurley, E. et al. (2023) Cholinergic neurons in the basal forebrain are involved in behavioral abnormalities associated with Cul3 deficiency: Role of prefrontal cortex projections in cognitive deficits. *Translational Psychiatry*, vol. 13, no. 1, article 22. <https://doi.org/10.1038/s41398-023-02306-8> (In English)
- Rocha-Resende, C., da Silva, A. M., Prado, M. A. M., Guatimosim, S. (2021) Protective and anti-inflammatory effects of acetylcholine in the heart. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, vol. 320, no. 2, pp. C155–C161. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00315.2020> (In English)
- Roy, A., Guatimosim, S., Prado, V. F. et al. (2015) Cholinergic activity as a new target in diseases of the heart. *Molecular Medicine*, vol. 20, no. 1, pp. 527–537. <https://doi.org/10.2119/molmed.2014.00125> (In English)
- Roy, A., Fields, W. C., Rocha-Resende, C. et al. (2013) Cardiomyocyte-secreted acetylcholine is required for maintenance of homeostasis in the heart. *The FASEB Journal*, vol. 27, no. 12, pp. 5072–5082. <https://doi.org/10.1096/fj.13-238279> (In English)
- Rul', E. A., Kudrya, O. N. (2022) Pokazateli variabel'nosti serdechnogo ritma lyzhnikov-gonshchikov v usloviyakh uchebno-trenirovochnykh sborov pri ispol'zovanii transkranal'noj elektrostimulyatsii [Indicators of heart rate variability of ski racers in the conditions of training camps using transcranial electrical stimulation]. *Sovremennye voprosy biomeditsiny — Modern Issues of Biomedicine*, vol. 6, no. 1 (18), article 25. https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_01_25 (In Russian)
- Saryg, S. K.-o., Lopsan, A. D.-o., Buduk-ool, L. K.-s. (2015) Pokazateli variabel'nosti ritma serdtsa u sportsmenov [Indices of HRV in athletes]. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. № 2 Estestvennye i sel'skokhozyajstvennye nauki — Vestnik of Tuvan State University. No. 2 Natural and Agricultural Sciences*, no. 2 (25), pp. 48–52. (In Russian)
- Saw, E. L., Kakinuma, Y., Fronius, M., Katare, R. (2018) The non-neuronal cholinergic system in the heart: A comprehensive review. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, vol. 125, pp. 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2018.10.013> (In English)

- 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/ijsp.2020-0148> (In English)
- Schmitt, L., Regnard, J., Desmarests, M. et al. (2013) Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *PLoS One*, vol. 8, no. 8, article e71588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071588> (In English)
- Shangareeva, G. N. (2014) Pokazateli variabel'nosti serdechnogo ritma u yunikh khokkeistov olimpijskogo rezerva [Heart rate variability indices of young hockey players of Olympic reserve]. *Meditinskij vestnik Bashkortostana — Bashkortostan Medical Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 49–52. (In Russian)
- Shlyk, N. I. (2022) Variabel'nost' serdechnogo ritma i metody ee opredeleniya u sportsmenov v trenirovochnom protsesse [Heart rate variability and methods of determination in athletes during training]. Izhevsk: Udmurt University Publ., 80 p. (In Russian)
- Shlyk, N. I., Sapozhnikova, E. N., Kirillova, T. G., Zhuzhgov, A. P. (2012) Ob osobennostyakh ortostaticheskoy reaktsii u sportsmenov s raznymi tipami vegetativnoj regulyatsii [About the peculiarities of orthostatic reaction of sportsmen with different types of vegetative regulation]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o zemle — Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, no. 1, pp. 114–125. (In Russian)
- 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. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 27, no. 6, pp. 1511–1519. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31826cae8f> (In English)
- Trukhin, A. N., Kunshin, A. A. (2016) Analiticheskij obzor po endogennym modulyatoram M-kholinoretseptorov kak komponentov gumoral'nogo zvena avtonomnoj nervnoj sistemy (chast' 1) [Analytical survey of endogenous modulators of M-cholinergic receptors as components of the humoral arm of the autonomic nervous system (part 1)]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya "Mediko-biologicheskie nauki" — Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series "Medical and Biological Sciences"*, no. 2, pp. 37–50. <https://doi.org/10.17238/issn2308-3174.2016.2.37> (In Russian)
- Tsirkov, V. I., Nozdrachyov, A. D., Anisimov, K. Yu. et al. (2016) Mekhanizmy polozhitel'noj i otritsatel'noj modulyatsii effektivnosti aktivatsii adrenoretseptorov i drugikh retseptorov, assotsiirovannykh s G-belkom (obzor literatury). Soobshchenie 3. Endogennye blokatory (EBBAR, EBAAR, EBMChR) kak otritsatel'nye modulyatory [Mechanisms of positive and negative modulation of the efficiency of the activation of adrenoreceptors and other receptors associated with G-protein (review). Communication 3. Endogenous blockers (EBBAR, EBAAR, EBMChR) as a negative modulators]. *Vestnik Ural'skoj meditsinskoj akademicheskoy nauki — Journal of Ural Medical Academic Science*, no. 4 (59), pp. 87–108. (In Russian)
- Vikulov, A. D., Bocharov, M. V., Kaunina, D. V., Bojkov, V. L. (2017) Regulyatsiya serdechnoy deyatel'nosti u sportsmenov vysokoy kvalifikatsii [Regulation of cardiac activity in highly qualified athletes]. *Vestnik sportivnoj nauki — Sports Science Bulletin*, no. 2, pp. 31–36. (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 cross-country skiers]. 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. Proceedings of the IV All-Russian symposium with international participation]*. Izhevsk: Udmurt State University Publ., pp. 65–68. (In Russian)
- Wang, Y. G., Dedkova, E. N., Steinberg, S. F. et al. (2002) β 2-adrenergic receptor signaling acts via NO release to mediate ACh-induced activation of ATP-sensitive K^+ current in cat atrial myocytes. *Journal of General Physiology*, vol. 119, no. 1, pp. 69–82. <https://doi.org/10.1085/jgp.119.1.69> (In English)
- Yildiz, E. P., Kilic, M. A., Yalcin, E. U. et al. (2023) Genetic and clinical evaluation of congenital myasthenic syndromes with long-term follow-up: Experience of a tertiary center in Turkey. *Acta Neurologica Belgica*, vol. 123, no. 5, pp. 1841–1847. <https://doi.org/10.1007/s13760-022-02090-0> (In English)
- Zhigalo, V. Ya. (2021) Issledovanie funktsional'nogo sostoyaniya futbolistov-sportsmenov razlichnogo vozrasta [Study of the functional state of football players-athletes of different ages]. 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-practical conference with international participation]*. Izhevsk: Udmurt State University Publ., pp. 144–148. (In Russian)