

УДК 612.181+612.172+796.92

ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ КЛИНОСТАТИЧЕСКОЙ И ОРТОСТАТИЧЕСКОЙ КАРДИОИНТЕРВАЛОГРАФИИ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ (ОБЪЕМА) ТРЕНИРОВОЧНОЙ И СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗОК АЭРОБНОГО И АНАЭРОБНОГО ХАРАКТЕРА У ЭЛИТНОГО ЛЫЖНИКА-ГОНЩИКА

© 2025 г. Д. А. Катаев^{1,2}, В. И. Циркин³, А. Н. Трухин¹, С. И. Трухина^{1,*}

¹Вятский государственный университет, Киров, Россия

²Кировское областное государственное автономное учреждение дополнительного образования «Спортивная школа олимпийского резерва «Перекоп», Киров, Россия

³Казанский государственный медицинский университет Минздрава России, Казань, Россия

*e-mail: trukhinasvetlana@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.07.2024 г.

После доработки 18.10.2024 г.

Принята к публикации 20.10.2024 г.

У элитного лыжника-гонщика К.Д., члена мужской сборной Республики Татарстан, мастера спорта России, на протяжении двух лыжных сезонов (2018–2019 гг. и 2019–2020 гг.), в подготовительный, соревновательный и переходный периоды почти ежедневно проводили последовательно (по 5 мин) регистрацию вариабельности сердечного ритма (ВСР) в условиях клиностаза, а затем в условиях активного ортостаза. Величины 8 спектральных и 6 временных показателей клино-ВСР и орто-ВСР сопоставляли (с учетом пяти зон рабочего пульса) с общей продолжительностью нагрузки (ОПН₁₋₅), а также с продолжительностью аэробной (ПН₁₋₃) или анаэробной (ПН₄₋₅) нагрузок. Показали, что в процессе тренировки на выносливость возрастает влияние на сердце симпатического отдела (СО) автономной нервной системы (АНС) и особенно влияние парасимпатического отдела (ПО) автономной нервной системы (АНС), в том числе, вероятно, за счет синтеза в кардиомиоцитах ненейронального ацетилхолина (НН-АХ) как компонента антиапоптотической, антиоксидантной и противовоспалительной систем. Установлено, что тип статистически значимой зависимости медиан (11 из 14) показателей ВСР от общей продолжительности нагрузки (ОПН₁₋₅), а также от продолжительности аэробных (ПН₁₋₃) или анаэробных (ПН₄₋₅) нагрузок у элитного лыжника-гонщика К.Д. зависит от того, в каких условиях регистрировали ВСР – в клиностазе или в активном ортостазе. Изменения зависимостей показателей ВСР при переходе в условия активного ортостаза, по-видимому, сопряжены с эффектами НН-АХ, синтез которого кардиомиоцитами, вероятно, нарастает по мере тренировок на выносливость. На основании зависимостей медиан показателей ВСР от продолжительности тренировочных или соревновательных нагрузок, прослеженных в условиях активного ортостаза (в сравнении с клиностазом), предложены 9 ритмоинтервалографических признаков предполагаемого синтеза НН-АХ в сердце спортсмена, тренирующегося на выносливость.

Ключевые слова: лыжник-гонщик, автономная нервная система, ее парасимпатический и симпатический отделы, вариабельность сердечного ритма, корреляционная зависимость, аэробные и анаэробные нагрузки, ненейрональный ацетилхолин

DOI: 10.31857/S0042132425010036, EDN: DMLURN

ВВЕДЕНИЕ

Ранее на основе многочисленных данных литературы (Abramochkin et al., 2012; Saw et al., 2018; Kakinuma, 2021; Oikawa et al., 2021; Braczko et al., 2024; Kataev et al., 2024), в том числе о способности кардиомиоцитов желудочков сердца грызунов (Kakinuma, 2021) и человека (Beckmann, Lips, 2013) продуцировать ненейрональный ацетилхолин (НН-АХ) в дополнение к нейрональному ацетилхолину, т.е. выделяемому терминалями вагуса (Н-АХ), а также на основе данных о величине показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) элитных лыжников (Литвин и др., 2012; Викулов и др., 2017; Schmitt et al., 2013; Schäfer et al., 2015; Schmitt et al., 2021) была высказана гипотеза о том, что спортивная ваготония, характерная для лыжников-гонщиков и других спортсменов, тренирующихся на выносливость, сопряжена именно с активацией продукции кардиомиоцитами НН-АХ как компонента антиапоптотической системы сердца, защищающего его от повреждения, которое возможно под влиянием больших по объему тренировочных и соревновательных нагрузок (Катаев и др., 2023, 2025; Kataev et al., 2024).

Так как прямых доказательств этой гипотезы пока не получено, мы предприняли попытку косвенного выявления эффектов НН-АХ у элитных лыжников, анализируя вариант зависимости величин показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) от объема и интенсивности тренировочных нагрузок. Это и есть основная цель данной работы. Усиление ваготонии при прочих равных условиях с большой вероятностью связывали именно с повышением ненейронального синтеза нейромедиатора.

Характеристики ВСР получали при проведении кардиоинтервалографии (КИГ) в условиях клиностаза (клино-КИГ) и в условиях ортостаза (орто-КИГ). Выполнение этих функциональных проб способствовало изменению уровня вегетативных влияний на ритм сердца и позволило выявить дополнительный вклад НН-АХ. Предполагали, что НН-АХ в миокарде может существенно влиять на активацию симпатического отдела (СО) автономной нервной системы, которая, как известно (Шлык и др., 2012; Марков, 2019; Катаев и др., 2025; Schmitt et al., 2015; Ravé et al., 2016; Hottenrott et al., 2021; Braczko et al., 2024), определяет реализацию ортостатического рефлекса Превеля (активного ортостатического теста). Соответственно, активация парасимпатических влияний могла косвенно снижать выраженность рефлекса и характеризовать уровень синтеза медиатора.

Предпосылкой для такой постановки цели исследования послужили данные, полученные при анализе ВСР, зарегистрированной последовательно методом клино-КИГ, а затем методом орто-КИГ (Катаев и др., 2025), согласно которым проявление ортостатического рефлекса Превеля, возникающего при активном переходе из клиностаза в ортостаз, т.е. активация СО автономной нервной системы (АНС) у элитных лыжников ограничена, вероятно, за счет наличия синтеза НН-АХ.

Подобное «ограничение» отсутствует, согласно данным литературы, у неспортсменов или у малоквалифицированных лыжников, и даже у элитных спортсменов других видов спорта, которые не формируют высокий уровень выносливости (Кудря, 2009; Шлык и др., 2012; Михайлов, 2017).

Следует отметить, что исследований зависимости величин показателей ВСР от объема тренировочной нагрузки у спортсменов, в том числе тренирующихся на выносливость, относительно немного. Преимущественно они описывают показатели ВСР, зарегистрированные в условиях клиностаза (Белова, Румянцева, 2009; Manzi et al., 2009; Buchheit, 2014; Pla et al., 2019; Schmitt et al., 2021; Alfonso, Capdevila, 2022), и в единичном исследовании зависимости показателей ВСР, зарегистрированных последовательно в условиях клиностаза и ортостаза от нагрузки (Белова, Румянцева, 2009). Как правило, в этих работах обследовали группу элитных лыжников-гонщиков (Белова, Румянцева, 2009), любителей-марафонцев (Manzi et al., 2009), спортсменов, тренирующихся на выносливость (Lundstrom et al., 2022), либо группу велосипедистов (Barrero et al., 2019; Alfonso, Capdevila, 2022), а также отдельно – элитного биатлониста Мартена Фуркада (Schmitt et al., 2021). Чаще всего исследовали лишь несколько показателей ВСР (их расшифровка дана в разделе «Методика исследования»). Среди них такие показатели ВСР, как мода, или Мо (Белова, Румянцева, 2009), RRNN (Manzi et al., 2009; Schmitt et al., 2021; Alfonso, Capdevila, 2022), RMSSD (Buchheit, 2014; Pla et al., 2019; Schmitt et al., 2021), AMHF, (Белова, Румянцева, 2009; Manzi et al., 2009; Schmitt et al., 2021), AMLF, HF%, LF/HF (Белова, Румянцева, 2009). При регистрации ВСР в условиях клиностаза показано, что медианы ряда показателей ВСР, отражающих активность парасимпатического отдела (ПО) АНС, возрастают с повышением объема тренировочных нагрузок (Manzi et al., 2009; Buchheit, 2014; Barrero et al., 2019; Pla et al., 2019; Schmitt et al., 2021). Однако в исследовании 23 элитных лыжников (Белова,

Румянцева, 2009), проведенном в течение двух макроциклов (2006–2008 гг.), при регистрации ВСР в условиях клиностаза зависимость величин показателей ВСР, в том числе АМНФ, НФ% и Мо от объема тренировочной нагрузки, не выявлена, но при регистрации ВСР в условиях ортостаза показано, что с увеличением объема нагрузки у лыжников возрастают величины АМНФ, НФ% и Мо (это говорит о повышении активности ПО АНС) и снижается величина АМЛФ и LF/HF (это указывает на снижение активности СО АНС).

Согласно этим данным и учитывая сложность оценки объема и интенсивности тренировочных нагрузок у лыжников-гонщиков, считали возможным ограничить исследование одним элитным лыжником К.Д., мастером спорта РФ, членом сборной команды Республики Татарстан по лыжным гонкам, исследуя у него 14 показателей ВСР, в том числе 8 спектральных и 6 временных показателей.

При постановке конкретных задач исследования исходили из того, что в настоящее время существует проблема объективного нормирования объема тренировочных нагрузок в подготовке лыжников-гонщиков, так как в тренировочный процесс включают интервальные, повторные, темповые, контрольные методы тренировок, а также тренировки силовой направленности и игровые тренировки (Грушин, 2022; Миссина и др., 2022; Solli et al., 2017). Одним из подходов к объективации адекватности объема нагрузок можно считать учет продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок, соотнося с величиной рабочего пульса, регистрируемого с помощью современных пульсометров. В частности, принято выделять пять зон рабочего пульса. Интенсивность первых трех зон характеризует интенсивность нагрузки, при которой рабочий пульс варьирует в пределах 50–80% от максимальной ЧСС для данного спортсмена ($ЧСС_{\text{макс}}$) — это зоны аэробного энергообеспечения, в то время как зоны 4–5 (рабочий пульс выше 80% $ЧСС_{\text{макс}}$) — это зоны анаэробного энергообеспечения (Есева и др., 2018; Грушин, 2022). Поэтому общую продолжительность нагрузок, выполняемых во всем диапазоне рабочего пульса ($ОПН_{1-5}$) можно рассматривать как отражение объема тренировок, проводимых в смешанном режиме (аэробные и анаэробные нагрузки), а продолжительность нагрузок, проводимых в диапазоне 1–3 зон ($ПН_{1-3}$) или в диапазоне 4 и 5 зон ($ПН_{4-5}$) — как отражение объема тренировок, проводимых соответственно в аэробном и анаэробном режимах.

Исходя из этих представлений, были сформулированы три основные задачи исследования.

1. Оценить общую продолжительность смешанной тренировочной нагрузки ($ОПН_{1-5}$), в том числе аэробной ($ПН_{1-3}$) и анаэробной нагрузок ($ПН_{4-5}$), у элитного лыжника в подготовительном, соревновательном и переходном периодах.

2. Оценить зависимость медиан 14 показателей ВСР, зарегистрированных в условиях клиностаза, от общей продолжительности нагрузки ($ОПН_{1-5}$), а также от продолжительности аэробной ($ПН_{1-3}$) и анаэробной ($ПН_{4-5}$) нагрузок у элитного лыжника К.Д. в подготовительном, соревновательном и переходном периодах, и в целом по сезону.

3. Оценить зависимость медиан 14 показателей ВСР, зарегистрированных после активного перехода из клиностаза в ортостаз, от общей продолжительности нагрузки ($ОПН_{1-5}$), а также от продолжительности аэробной ($ПН_{1-3}$) и анаэробной ($ПН_{4-5}$) нагрузок у элитного лыжника К.Д. в подготовительном, соревновательном, переходном периодах и в целом по сезону.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили непрерывно с марта 2019 г. по июнь 2020 г. (в течение 16 мес.), т.е. два неполных лыжных сезона, у 27-летнего лыжника-гонщика, в течение трех периодов годичного макроцикла (подготовительного, соревновательного и переходного). Лыжник К.Д. регистрировал у себя ВСР в условиях клиностаза и ортостаза, а также фиксировал объем и мощность своих тренировочных нагрузок, в том числе оценивал рабочий пульс на протяжении всех нагрузок с помощью пульсометра POLAR 430, оснащенного GPS-датчиком (POLAR, Финляндия). Результаты измерений фиксировали в печатном дневнике тренировок и в личном кабинете POLAR FLOW.

На протяжении подготовительного (6 месяцев, т.е. с июня по ноябрь включительно) периода каждый месяц проводили учебно-тренировочный сбор (УТС), состоящий из 2–3 микроциклов или недель. Каждая неделя состояла из 5 тренировочных дней (по 2 тренировки в день и утренней зарядки), 1 разгрузочного дня (1 тренировка в день) и 1 выходного дня без тренировок. В промежутках между очередными УТС, длительность которых составляла 1–2 недели, лыжники ежедневно проводили самостоятельно по 1 тренировке в день в домашних условиях. В соревновательном (4–5 месяцев

с декабря по апрель) периоде структура УТС была такой же, как в подготовительном периоде, однако УТС проводили целенаправленно на подготовку к соревнованиям (Этап Кубка России, Чемпионат России, Этап Континентального Кубка Восточной Европы и т.д.), согласно календарю проведения соревнований Федерации лыжных гонок России (ФЛГР) (<https://flgr-results.ru>). УТС и соревнования организовывали в разных регионах России и за ее пределами, в том числе в равнинных и горных климатических условиях (Катаев и др., 2023). В переходном (1–3 месяца с апреля по июнь) периоде УТС-соревнования не проводили, выполняли по одной тренировке в день в домашних условиях (Кировская обл.).

Саморегистрацию ВСР выполняли в течение 5 мин в положении лежа (клиностаз), а в последующие 5 мин — в положении стоя (ортостаз). Все виды регистрации КИГ осуществляли после ночного сна (до завтрака) в комфортных условиях с помощью системы «ВНС-Микро» («Нейрософт», Иваново), а анализ КИГ — с использованием программы «Поли-спектр» («Нейрософт»). При анализе данных орто-КИГ исключались первые 10 с после перехода из клиностаза в ортостаз. Были проанализированы общепринятые 8 спектральных и 6 временных параметров ВСР (Катаев et al., 2024). Среди спектральных показателей ВСР — это общая мощность спектра (TP, mc^2), или total power; абсолютная мощность (AM, mc^2) быстрых (HF-) волн, медленных (LF-) волн и очень медленных (VLF-) волн (далее — соответственно AMHF, AMLF и AMVLF); отношение LF/HF (далее AMLF/AMHF), относительная мощность HF-, LF- и VLF-волн, т.е. мощность волн, выраженная в процентах к TP (далее — соответственно HF%, LF% и VLF%). Среди временных показателей анализировали длительность нормальных интервалов RR (RRNN, мс), аналогом чего служит показатель ЧСС (уд/мин); отношение последовательных интервалов NN, различие между которыми превышает 50 мс, в процентах к общему числу нормальных (NN) интервалов RR, или rNN50%; квадратный корень из среднего квадрата разностей величин последовательных пар интервалов NN, или RMSSD, мс; стандартное отклонение всех интервалов NN, или SDNN, мс; вариационный размах, т.е. разность между максимальным и минимальным интервалом RR, или MxDMn, мс. Кроме того, оценивали стресс-индекс или индекс напряжения (SI, усл. ед.), который рассчитывали по формуле: $ИН = AMo / Mo \times 2MxDMn$, где AMo — амплитуда моды, т.е. наиболее часто встречающееся значение интервала R-R ЭКГ, выраженное в % от всех интервалов R-R; Mo — абсолютное значение моды (с). В статье все показатели ВСР сопровождали

приставками «клино-» или «орто-», в зависимости от условий регистраций ВСР.

При анализе данных оценку величин показателей формировали путем суммирования результатов отдельных исследований, проводимых в каждом месяце соответствующего периода макроцикла, а также в целом для каждого периода (подготовительный, соревновательный и переходный), что позволяло оценить статистически значимые различия между месяцами и периодами.

Всего выполнено 217 саморегистраций клино-КИГ и орто-КИГ, в том числе в подготовительный период — 84, в соревновательный — 74 и в переходный — 59.

Все результаты показателей ВСР, а также общую продолжительность нагрузки (ОПН₁₋₅), продолжительность аэробной (ПН₁₋₃) и анаэробной (ПН₄₋₅) нагрузок, согласно правилам статистической обработки подобных выборок, выражали в виде медианы, 25 и 75 центилей (Стентон, 1998). При оценке различий использовали критерий Манна–Уитни, считая их статистически значимыми при $p < 0.05$ (Стентон, 1998). Расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена проводили непараметрическим методом (Стентон, 1998), считая их значимыми при $p < 0.05$ (Стентон, 1998). Все расчеты проводили с использованием программы BioStat2009 Professional. 5.8.4. (фирма Analyst Soft).

Исследования одобрены локальным биоэтическим комитетом Вятского государственного университета (протокол № 1 от 20.01.2020).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первоначально изучали продолжительность физической нагрузки и ее структуру. При вычислении закономерностей учитывали, что сложившаяся по итогам общая продолжительность нагрузки (ОПН₁₋₅) у спортсмена К.Д. была максимальной 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). Все различия между периодами по ОПН₁₋₅ были статистически значимы. Километраж в целом составил 9786 км (698.5 ч), а по периодам — 5278 км (375.5 ч); 2684 км (198.5 ч) и 1824 км (124.5 ч) соответственно. Сведения о нагрузках и их структуре приведены в табл. 1.

При анализе спектра нагрузок прослежено, что продолжительность аэробных тренировок (ПН₁₋₃) при рабочем пульсе в пределах 1–3 зон также была максимальной в подготовительном периоде (168.0 мин/день), меньше

Таблица 1. Характеристика общей продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок ($Me [Q_1 \div Q_3]$, мин/день) по периодам и в целом за годовой макроцикл (сезон) у спортсмена К.Д.

Показатель	Период			
	подготовительный	соревновательный	переходный	за сезон
Общий объем нагрузки, ОПН ₁₋₅ , мин/день	178.5 ^{2,3} [113.8÷236.0]	131.0 ³ [92.0÷175.5]	99.5 [67.5÷125.0]	131.0 [85.0÷184.0]
Объем аэробной нагрузки, ПН ₁₋₃ , мин/день	168.0 ^{2,3} [102÷224]	125.0 ³ [91÷16]	96.0 [67÷124]	124.0 [78÷174]
Объем анаэробной нагрузки, ПН ₄₋₅ , мин/день	4 ³ [0÷15]	1.5 ³ [0÷10]	—	1 [0÷9]

Примечание: цифры в верхнем регистре означают статистически значимое различие с соответствующим периодом по критерию Манна–Уитни ($p < 0.05$).

— в соревновательном (125.0 мин/день) и еще меньше — в переходном периоде (96.0 мин/день). Аналогично — в отношении продолжительности анаэробных нагрузок (ПН₄₋₅) — она была максимальной в подготовительном периоде (4.0 мин/день), меньше — в соревновательном (1.5 мин/день) и отсутствовала в переходном периоде, в связи с чем расчет зависимостей от анаэробных нагрузок для этого периода не проводили.

Сложившиеся объемы нагрузок соотносили с показателями ВСР для оценки динамики функциональных показателей. С учетом особенностей наблюдения за спортсменом изменения показателей ВСР оценивали не самостоятельно, а в соотношении с объемами нагрузок посредством коэффициентов ранговой корреляции.

Зависимость медиан показателей клино-ВСР и орто-ВСР присутствует в целом по сезону и частично — в подготовительный период, но редко в соревновательный и, особенно, в переходный период, что, вероятно, обусловлено более низким числом наблюдений. При этом установлено, что все 14 показателей клино-ВСР или орто-ВСР хотя бы в целом по сезону или в одном из периодов могли зависеть от общей продолжительности нагрузки или ее составных частей при регистрации ВСР методом клино-КИГ, либо орто-КИГ. Это означает, что все 14 исследуемых нами показателей ВСР в той или иной степени зависят от продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок (табл. 2).

С нарастанием физической тренированности (ОПН₁₋₅) возрастают и медианы показателей клино-ВСР, характеризующие активность ПО АНС. Это TP, AMHF, pNN50, RMSSD, SDNN и MxDMn. Кроме того, возрастает медиана AMLF, характеризующая активность СО АНС, и медиана AMVLF, отражающая влияние биологически активных веществ на деятельность

сердца. Но при этом медианы HF%, LF%, VLF% и отношения AMLF/AMHF не зависят от продолжительности нагрузки (ОПН₁₋₅). Это означает, что с ростом общей продолжительности нагрузки растет вклад ПО АНС в ВСР, что может быть сопряжено с интенсивностью синтеза HH-AX. Также растет активность СО АНС, при этом, соотношение между активностью СО АНС и ПО АНС с ростом продолжительности нагрузки сохранено, а проявление стресса, судя по снижению медианы SI, спадает (коэффициент Спирмена минус 0.22).

Медианы ряда показателей орто-ВСР, характеризующих активность ПО АНС, возрастают с повышением общей продолжительности нагрузки (ОПН₁₋₅). Это медианы AMHF, RRNN, pNN50 и RMSSD. Кроме того, возрастает медиана AMVLF, отражающая влияние биологически активных веществ на деятельность сердца. Вместе с тем, отклонений медиан TP, SDNN и MxDMn не выявлено, а медиана AMLF, характеризующая активность СО АНС (коэффициент Спирмена — соответственно минус 0.31 и минус 0.19) снижена. В отличие от клино-ВСР, при орто-ВСР прослежено изменение относительных показателей, в том числе возрастают медианы HF% и VLF%, но снижена медиана LF% (коэффициенты Спирмена — минус 0.34, минус 0.24 и минус 0.31) и отношения AMLF/AMHF (коэффициенты Спирмена — минус 0.47 и минус 0.38), а медиана SI, в отличие от клино-ВСР, в условиях ортостаза постоянна. Все это говорит о том, что медианы показателей ВСР зависят от продолжительности общей нагрузки (ОПН₁₋₅) по-разному в соответствии с условиями регистрации ВСР, т.е. состояния клиностаза или ортостаза.

Эти различия мы объясняем возможным влиянием HH-AX при реализации активного ортостатического теста. В условиях активного ортостаза HH-AX, по-видимому, препятствует активации

Таблица 2. Ранговая корреляция (коэффициент Спирмена) показателей клино-КИГ и орто-КИГ с общей продолжительностью тренировочных и соревновательных нагрузок (ОПН₁₋₅, мин/день) по периодам и в целом за годовой макроцикл (сезон) у спортсмена К.Д.

Показатель	Период							
	подготовительный		соревновательный		переходный		за сезон	
Условия регистрации	клино	орто	клино	орто	клино	орто	клино	орто
TP, мс ²	0.10	−0.04	0.13	0.18	0.10	0.05	0.22	0.04
HF, мс ²	0.21	0.32	0.07	0.04	0.14	0.16	0.20	0.29
LF, мс ²	0.08	−0.31	0.20	0.01	0.23	0.11	0.21	−0.19
VLF, мс ²	0.05	0.12	0.18	0.24	−0.06	0.15	0.18	0.18
HF, %	0.12	0.42	−0.17	−0.09	0.03	0.15	−0.05	0.30
LF, %	0.00	−0.34	0.17	−0.24	0.23	−0.10	0.08	−0.31
VLF, %	−0.03	0.19	0.11	0.28	−0.17	0.10	0.05	0.23
LF/HF	−0.11	−0.47	0.22	−0.03	0.20	−0.13	0.10	−0.38
SI, усл. ед.	−0.03	−0.08	0.01	−0.13	−0.08	−0.09	−0.22	−0.12
RRNN, мс	0.10	0.44	−0.17	0.10	0.00	0.19	0.09	0.39
pNN50, %	0.28	0.33	−0.05	0.05	−0.20	0.18	0.09	0.25
RMSSD, мс	0.32	0.29	−0.02	0.11	−0.02	0.21	0.22	0.26
SDNN, мс	0.19	−0.01	0.14	0.18	−0.04	0.08	0.26	0.06
MxDMn, мс	0.17	−0.06	0.06	0.22	0.10	−0.01	0.26	0.04

Примечание: п/ж шрифтом выделены значимые (p<0.05) значения коэффициента Спирмена.

симпатического отдела АНС и, тем самым, ограничивает рост медиан таких показателей ВСР как TP, RMSSD, SDNN, MxDMn, наблюдаемый в положении клиностаза, и одновременно НН-АХ способствует снижению медиан AMLF и LF%, так как блокирует активность СО АНС

Для оценки физиологических показателей и формирования суждений о возможных механизмах изменения характеристик ВСР отдельно была прослежена их зависимость от продолжительности аэробных и анаэробных нагрузок. Зависимости показателей клино-ВСР и орто-ВСР от ПН₁₋₃ аналогичны таковым от общей продолжительности тренировок (ОПН₁₋₅), т.е. аэробные нагрузки формируют такую же динамику изменений показателей, как и смешанные нагрузки. При этом зависимость показателей орто-ВСР от ОПН₁₋₃ существенно отлична от связей признаков, наблюдаемых при регистрации ВСР в условиях клиностаза (табл. 3). Эти различия мы объясняем влиянием НН-АХ при реализации активного ортостатического теста. В частности, возможно, что в условиях активного ортостаза НН-АХ препятствует активации симпатического отдела АНС и, тем самым, воспрещает рост медиан таких показателей ВСР, как TP, RMSSD, SDNN, MxDMn, наблюдаемый в положении клиностаза. Одновременно НН-АХ

способствует снижению медиан AMLF и LF%, так как блокирует активность СО АНС.

Таким образом, не найдено принципиальной разницы зависимостей между медианами показателей ВСР от общей продолжительности нагрузки, т.е. от ОПН₁₋₅, и от продолжительности аэробных нагрузок, т.е. от ПН₁₋₃. В обоих случаях модальность зависимости сопряжена с условиями регистрации ВСР. При этом различия зависимостей медиан от продолжительности нагрузки в условиях клино- и ортостаза, возможно, связаны со способностью НН-АХ тормозить проявление активности СО АНС, которая составляет сущность рефлекса Превеля, т.е. активного ортостаза.

Медианы ряда показателей клино-ВСР, характеризующие активность ПО АНС, возрастают с повышением продолжительности анаэробной нагрузки, т.е. ПН₄₋₅. Это TP, AMHF, RMSSD, SDNN и MxDMn. Кроме того, возрастает медиана AMLF, характеризующая активность СО АНС, и растет медиана AMVLF, отражающая влияние биологически активных веществ на деятельность сердца. При этом от роста продолжительности анаэробных нагрузок не зависят медианы pNN50, RRNN, VLF%, но возрастает медиана LF% и спадают значения медианы HF% (коэффициент Спирмена – минус 0.18). По мере роста нагрузок возрастает медиана отношения AMLF/AMHF и спадает медиана индекса напряжения

(коэффициент Спирмена — минус 0.29). Это означает, что с ростом продолжительности анаэробной нагрузки растет активность ПО АНС и, вероятно, интенсивность синтеза НН-АХ, а также активность СО АНС и влияние биологических активных веществ на сердце. При этом рост активности СО АНС, вероятно, выше при анаэробных нагрузках, чем при аэробных, судя по повышению медианы отношения AMLF/AMHF, но при этом возрастает устойчивость к стрессу, о чем свидетельствует снижение медианы SI.

Медианы ряда показателей орто-BCP, характеризующие активность ПО АНС, возрастают с повышением продолжительности анаэробной нагрузки, т.е. $ПН_{4-5}$, среди которых AMHF, HF%, RRNN, pNN50% и RMSSD, но для медиан TP, SDNN и MxDMn в условиях ортостаза положительная зависимость от продолжительности анаэробной нагрузки не прослежена. В условиях ортостаза не выявлено зависимости от продолжительности анаэробной нагрузки для медианы AMLF, характеризующей активность СО АНС, для медианы AMVLF, отражающей влияние биологических активных веществ на деятельность

сердца, для медианы VLF% и для медианы SI. Но при этом выявлено, что с повышением продолжительности анаэробных нагрузок падает медиана LF% (коэффициент Спирмена — минус 0.17), что приводит к снижению отношения AMLF/AMHF (коэффициент Спирмена — минус 0.31). Это означает, что с ростом продолжительности анаэробной нагрузки растет активность ПО АНС, и, вероятно, интенсивность синтеза НН-АХ, но при этом активность СО АНС не возрастает так же, как и не растет влияние биологических активных веществ на сердце.

Таким образом, как и в случае с аэробными нагрузками ($ПН_{1-3}$) и общей продолжительностью нагрузки ($ОПН_{1-5}$) для анаэробных нагрузок ($ПН_{4-5}$), не найдено принципиальной разницы в зависимостях медиан показателей BCP. Не выявлено существенного влияния включения анаэробных нагрузок в систему тренировок на корреляционную зависимость показателей BCP от их продолжительности независимо от того, в каких условиях проводили регистрацию BCP (в условиях клиностаза или ортостаза). Вместе с тем, во всех случаях профиль зависимостей

Таблица 3. Ранговая корреляция (коэффициент Спирмена) показателей клино- и орто-КИГ от продолжительности аэробных ($ПН_{1-3}$) и анаэробных ($ПН_{4-5}$) тренировочных и соревновательных нагрузок по периодам и в целом за годовой цикл (сезон) у спортсмена К.Д. по данным «рабочего пульса»

Показатель	Вид нагрузки													
	ПН ₁₋₃ (аэробные нагрузки)							ПН ₄₋₅ (анаэробные нагрузки)						
	Периоды подготовки													
	подготови- тельный		соревнова- тельный		переходный		за сезон		подготови- тельный		соревнова- тельный		за сезон	
Условия регистрации	клино	орто	клино	орто	клино	орто	клино	орто	клино	орто	клино	орто	клино	орто
TP, мс ²	0.01	−0.06	0.09	0.07	0.08	−0.05	0.16	0.00	0.23	−0.08	0.33	0.21	0.34	0.03
HF, мс ²	0.14	0.25	0.02	0.14	0.13	0.17	0.14	0.24	0.21	0.21	0.13	0.21	0.22	0.26
LF, мс ²	0.00	−0.32	0.14	−0.02	0.22	0.11	0.15	−0.19	0.25	−0.20	0.36	0.11	0.34	−0.08
VLF, мс ²	0.01	0.08	0.14	0.28	−0.08	0.16	0.13	0.17*	0.22	0.04	0.28	0.07	0.29	0.08
HF, %	0.14	0.35	−0.16	0.02	0.05	0.16	−0.03	0.25	−0.12	0.31	−0.20	0.17	−0.18	0.30
LF, %	−0.06	−0.31	0.16	−0.29	0.23	−0.10	0.05	−0.30	0.16	−0.16	0.20	−0.11	0.18	−0.17
VLF, %	−0.01	0.16	0.10	0.33	−0.19	0.10	0.04	0.22	0.05	0.14	0.12	0.04	0.09	0.11
LF/HF	−0.17	−0.39	0.21	−0.05	0.19	−0.14	0.06	−0.33	0.14	−0.35	0.29	−0.15	0.24	−0.31
SI, усл. ед.	0.00	−0.02	0.05	−0.15	−0.06	−0.10	−0.16	−0.10	−0.15	−0.06	−0.11	−0.12	−0.29	−0.10
RRNN, мс	0.08	0.39	−0.12	0.10	0.00	0.19	0.07	0.34	0.01	0.30	−0.05	0.23	0.03	0.33
pNN50, %	0.28	0.26	−0.02	0.07	−0.20	0.19	0.09	0.22	0.13	0.22	−0.08	0.25	0.03	0.25
RMSSD, мс	0.27	0.22	−0.04	0.10	−0.03	0.22	0.18	0.22	0.17	0.18	−0.07	0.21	0.13	0.22
SDNN, мс	0.15	−0.06	0.11	0.21	−0.05	0.09	0.20	0.05	0.17	0.00	0.20	0.07	0.28	0.03
MxDMn, мс	0.14	0.33	0.00	0.20	0.08	0.00	0.20	0.01	0.22	−0.12	0.13	0.05	0.29	0.12

Примечание: п/ж шрифтом выделены значимые ($p < 0.05$) значения коэффициента Спирмена. Расчет для анаэробных нагрузок переходного периода не проводили, так как анаэробные нагрузки в этот период не выполняли.

детерминирован условиями регистрации ВСР. Это обусловлено, вероятно, тем, что в условиях ортостаза реализована способность НН-АХ ограничивать активность СО АНС, которая составляет сущность рефлекса Превеля, т.е. активного ортостаза. В табл. 4 суммированы для наглядности результаты исследования, указывающие на наличие зависимости (прямой или обратной) от продолжительности тренировок или ее отсутствия.

Анализ результатов исследования (табл. 4) показал, что в положении ортостаза не выявлен ряд характерных для клиностаза положительных зависимостей от продолжительности всех видов нагрузок. Это прослежено для таких показателей, как TP, SDNN, MxDMn. Но для части показателей в положении ортостаза возникают отрицательные зависимости от продолжительности нагрузок, хотя в условиях клиностаза выявляли содружественные изменения по мере роста нагрузки. Это — AMLF, LF% и отношение AMLF/AMHF. Оба вида изменений предполагают тормозное влияние НН-АХ на активность СО АНС. С другой стороны, в состоянии ортостаза не выявлены характерные для клиностаза отрицательные зависимости, например, SI, либо возникают положительные зависимости, которые отсутствовали в условиях клиностаза, что показано для RRNN и частично для pNN50%, HF% и VLF%. Это, возможно,

связано с наличием у спортсмена К.Д. синтеза НН-АХ, который способен оказывать положительное влияние на состояние стресса при активном ортостазе. Все это говорит о том, что модальность зависимости медиан ряда показателей ВСР сопряжена с условием регистрации ВСР, т.е. от того, в каком положении у человека регистрируют (в положении лежа или в положении стоя).

В то же время установлено, что при активном ортостазе присутствуют положительные зависимости от продолжительности всех видов нагрузок, характерные для клиностаза — это выявлено для RMSSD, AMHF, и в определенной степени, для AMVLF. Следовательно, НН-АХ не влияет на активность процессов, которые характеризуют эти показатели.

В целом, хотя исследование и выполнено в отношении одного элитного лыжника К.Д., а не группы лыжников, оно служит еще одним косвенным доказательством наличия синтеза НН-АХ в сердце спортсменов, тренирующихся на выносливость. Одновременно оно позволяет более дифференцированно подойти к пониманию того, какие показатели ВСР отражают влияние НН-АХ, а возможно его синтеза *de novo*, и в каких условиях (в условиях клиностаза или в условиях ортостаза) возможна их регистрация.

Таблица 4. Суммарная оценка зависимостей медиан показателей ВСР от продолжительности и мощности работы при регистрации ВСР в условиях клиностаза (клино-ВСР) или ортостаза (орто-ВСР)

Показатель ВСР	ОПН ₁₋₅ (аэробные + анаэробные нагрузки)		ПН ₁₋₃ (аэробные нагрузки)		ПН ₄₋₅ (анаэробные нагрузки)	
	клино	орто	клино	орто	клино	орто
Условия регистрации	клино	орто	клино	орто	клино	орто
TP, мс ²	+	нет	+	нет	+	нет
HF, мс ²	+	+	+	+	+	+
LF, мс ²	+	—	+	—	+	нет
VLF, мс ²	+	+	+	+	+	нет
HF, %	нет	+	нет	+	—	+
LF, %	нет	—	нет	—	+	—
VLF, %	нет	+	нет	+	нет	нет
LF/HF, усл. ед.	нет	—	нет	—	+	—
RRNN, мс	нет	+	нет	+	нет	+
pNN50, %	+	+	+	+	нет	+
RMSSD, мс	+	+	+	+	+	+
SDNN, мс	+	нет	+	нет	+	нет
MxDMn, мс	+	нет	+	нет	+	нет
SI, усл. ед.	—	нет	—	нет	—	нет

Примечание: «+» — положительная зависимость от объема нагрузки, «—» — обратная зависимость от объема нагрузки, нет — зависимость не выявлена.

ОБСУЖДЕНИЕ

Итак, ранее (Белова, Румянцева, 2009), исследуя у 23 элитных лыжников зависимость величин 4 показателей ВСР, а именно AMHF, HF%, AMLF и AMLF/AMHF, от продолжительности анаэробных нагрузок, показали, что, независимо от условий регистрации ВСР, т.е. и в условиях клиностаза, и в условиях ортостаза, величины AMHF, HF% возрастают с ростом продолжительности нагрузки, а величины AMLF и AMLF/AMHF — падают. Однако в нашем исследовании, проведенном в отношении элитного лыжника К.Д., впервые показано, что характер зависимости медиан 11 показателей ВСР из 14 зависит от условий регистрации ВСР, и лишь только у трех показателей, а именно AMHF, RMSSD и в определенной степени pNN50% они не сопряжены с условиями регистрации ВСР. Мы объясняем наличие данного феномена тем, что у элитного лыжника кардиомиоциты синтезируют НН-АХ, который тормозит активность СО АНС, с участием которой опосредован ортостатический тест (т.е. рефлекс Превеля), а также влияет на активность ПО АНС за счет активации афферентных волокон вагуса. В связи с тем, что основной целью нашего исследования стало получение косвенных доказательств наличия синтеза НН-АХ в сердце элитного лыжника, позволив себе более детально рассмотреть возможные причины изменения зависимостей медиан 11 показателей ВСР от продолжительности нагрузок в условиях активного ортостаза.

Медианы TP, SDNN и MxDMn. Клино-ВСР показывает, что у К.Д. медиана TP, отражающая, как известно (Шлык и др., 2012; Михайлов, 2017; Марков, 2019), суммарную мощность HF-, VLF- и LF-волн, возрастает с увеличением продолжительности тренировки как смешанного типа, так и аэробных и анаэробных компонент. Это указывает на рост активности ПО АНС и СО АНС. В условиях орто-ВСР у спортсмена К.Д. зависимость медианы TP от продолжительности нагрузок не прослежена (табл. 2, 3). Мы объясняем это тем, что в условиях реализации активного ортостатического теста (рефлекса Превеля) НН-АХ, синтез которого, вероятно, присутствует у элитного лыжника, блокирована активность СО АНС. На это указывают наши данные, согласно которым в орто-положении имеет место отрицательная зависимость медиан AMLF и LF% от продолжительности всех видов нагрузки.

Ситуация, характерная для медианы TP, аналогична и для медиан SDNN и MxDMn. Эти два временных показателя, как известно (Шлык и др., 2012; Михайлов, 2017; Марков, 2019), отражают разброс кардиоинтервалов при нарастании активности ПО АНС, поэтому в условиях

клиностаза их медианы возрастают с ростом продолжительности тренировок, отражая вариабельность ритма. Но в условиях ортостаза данная зависимость (как и в отношении TP) не прослежена. Это означает, что активация СО, возникающая при реализации активного ортостатического теста (рефлекса Превеля) уменьшает влияние ПО АНС на сердце, несмотря на наличие синтеза НН-АХ. В целом мы полагаем, что наличие в условиях клиностаза положительной зависимости медиан TP, SDNN и MxDMn от продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок и отсутствие какой-либо зависимости в условиях активного ортостаза служат одним из признаков наличия у элитного спортсмена синтеза НН-АХ. Возникает вопрос — каким образом НН-АХ оказывает сдерживающие эффекты в условиях регистрации ВСР методом орто-КИГ? Одним из объяснений может быть то обстоятельство, что НН-АХ за счет повышения активности афферентных волокон вагуса временно тормозит активность СО АНС, так как известно, что 80% волокон вагуса составляют афферентные проводники (Kakinuma, 2021). Ранее (Катаев и др., 2025) при описании особенностей показателей ВСР, зарегистрированных методом орто-КИГ, мы обратили внимание на снижение проявления рефлекса Превеля у элитных лыжников-гонщиков, что, по нашему мнению, связано с наличием в сердце синтеза НН-АХ.

Медианы RMSSD и pNN50%. Оба показателя, согласно данным литературы (Шлык и др., 2012; Михайлов, 2017; Марков, 2019), отражают влияние ПО ВНС на ритм сердца, в том числе на синусовую аритмию, связанную с дыханием. Медиана RMSSD (как и частично, медиана pNN50%) в положении клиностаза положительно зависит от продолжительности всех видов нагрузок, т.е. отражает рост вклада ПО АНС, и вероятно, НН-АХ, в повышение вариабельности ритма. Однако, в отличие от медиан TP, SDNN и MxDMn, медианы RMSSD и pNN50% в положении ортостаза сохраняют эту зависимость. Наиболее вероятно, что именно наличие синтеза НН-АХ у К.Д. позволяет сохранить влияние ПО АНС на деятельность сердца в условиях ортостатического теста, так как согласно данным литературы (Катаев и др., 2025; Oikawa et al., 2021; Korsak et al., 2023; Braczko et al., 2024), НН-АХ повышает интенсивность выделения нейронального АХ. Допускаем, что наличие положительной зависимости медиан RMSSD и pNN50% от продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок в положении клиностаза и сохранение этой зависимости в условиях активного ортостаза предполагают наличие синтеза НН-АХ.

Медиана АМНФ. Как известно, абсолютная мощность HF-волн отражает активность ПО АНС (Шлык и др., 2012; Михайлов, 2017; Марков, 2019). Согласно нашим данным, в условиях клиностаза медиана АМНФ положительно коррелирует с продолжительностью всех видов нагрузок (смешанной, аэробной и анаэробной). В условиях активного ортостаза эта зависимость сохранена. Следовательно, наличие синтеза НН-АХ не препятствует проявлению положительной зависимости, а скорее, наоборот, повышает вероятность ее наблюдения, так как НН-АХ, согласно данным литературы (Катаев и др., 2025; Oikawa et al., 2021; Korsak et al., 2023; Braczko et al., 2024), повышает эффективность нейронального ацетилхолина в отношении М- и Н-холинорецепторов. Так, по нашим данным (табл. 2 и 3), в целом по сезону для смешанных нагрузок (ОПН₁₋₅), коэффициент Спирмена в условиях клиностаза составил 0.20, а в условиях ортостаза он возрос до 0.29; для аэробных нагрузок (ПН₁₋₃) его значения составили соответственно 0.14 и 0.24, а для анаэробных нагрузок (ПН₄₋₅) — соответственно 0.22 и 0.26.

Отметим, что о положительной зависимости величины клино-АМНФ от объема нагрузки сообщают в отношении лыжников-гонщиков (Белова, Румянцева, 2009), биатлонистов (Schmitt et al., 2021) и марафонцев (Manzi et al., 2009), что авторами отнесено за счет роста активности ПО АНС. Подобная зависимость отмечена и в отношении лыжников-гонщиков относительно их орто-АМНФ (Белова, Румянцева, 2009). Тем самым наши данные соответствуют данным литературы, в том числе о сохранении зависимости для этого показателя в условиях ортостаза. Поэтому мы предполагаем, что наличие в положении клиностаза положительной зависимости медианы АМНФ от продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок и сохранение этой зависимости в условиях активного ортостаза служат одними из признаков наличия синтеза НН-АХ.

Медиана HF%. Нами установлено, что в условиях клиностаза у К.Д. медиана относительной мощности HF-волн, т.е. HF% не зависит от продолжительности смешанных и аэробных нагрузок, или эта зависимость имеет обратную зависимость от продолжительности анаэробных нагрузок. Однако в условиях ортостаза при всех видах нагрузки эта зависимость стала положительной, т.е. доля HF-волн в общем спектре ТР возросла. Это, вероятно, связано с тем, что имеющийся у К.Д. синтез НН-АХ повышает влияние нейронального АХ на деятельность сердца, что увеличивает долю HF-волн в ТР. Таким образом, еще одним косвенным признаком

наличия синтеза НН-АХ могут служить данные о появлении в условиях ортостаза положительной зависимости медианы HF% от продолжительности тренировочных нагрузок.

Отметим, что наши данные лишь частично коррелируют с данными (Белова, Румянцева, 2009), согласно которым у лыжников-гонщиков величина HF%, зарегистрированная и в условиях клиностаза, и в условиях ортостаза при анаэробных нагрузках, возрастает по мере увеличения их продолжительности.

Медианы AMVLF и VLF%. Как известно (Михайлов, 2017; Марков, 2019), абсолютная мощность очень медленных волн, т.е. VLF-волн, отражает влияние биологически активных веществ на деятельность сердца, а относительная мощность очень медленных волн, т.е. VLF% отражает долю VLF-волн в общем спектре, т.е. в ТР. Первоначально предполагали, что AMVLF отражает влияние НН-АХ на деятельность сердца (Катаев и др., 2023). Показано, что у К.Д. в условиях клиностаза медиана AMVLF возрастает с ростом продолжительности тренировок. В условиях ортостаза эта зависимость прослежена в отношении смешанных и аэробных нагрузок, но не выявлена в отношении анаэробных нагрузок. Несмотря на это исключение, мы полагаем, что наличие синтеза НН-АХ не блокирует эту зависимость при аэробных нагрузках. Более того, судя по медиане VLF%, наличие НН-АХ способствует тому, что в условиях ортостаза возникает положительная зависимость медианы VLF% от продолжительности смешанных и аэробных нагрузок, хотя в условиях клиностаза такая зависимость отсутствовала. Поэтому наличие в условиях ортостаза положительной зависимости медианы VLF% от продолжительности нагрузок мы также рассматриваем как признак наличия синтеза НН-АХ.

Медианы AMLF и LF%. Как известно, абсолютная мощность медленных волн, т.е. LF-волн, или AMLF отражает влияние СО АНС на деятельность сердца, а относительная мощность медленных волн, т.е. LF%, отражает долю LF-волн в общем спектре, т.е. в ТР (Шлык и др., 2012; Михайлов, 2017; Марков, 2019). Показано, что у К.Д. в условиях клиностаза медиана AMLF возрастает с повышением продолжительности всех видов нагрузок, а в положении ортостаза она спадает, хотя, согласно представлению о механизмах реализации активного ортостатического теста (рефлекса Превеля), медиана AMLF должна сохранять свой уровень или даже возрастать. Наличие у спортсмена НН-АХ хорошо объясняет выявленный нами феномен снижения медианы AMLF в ортостазе, так как НН-АХ ингибирует активность СО АНС. Поэтому смену

положительной зависимости медианы AMLF от продолжительности нагрузок, характерной для клиностаза, на отрицательную зависимость в ортостазе можно рассматривать как признак наличия синтеза HH-AX.

Отметим, что наши данные в отношении зависимости медианы AMLF от продолжительности нагрузок лишь частично совпадают с данными литературы (Белова, Румянцева, 2009), так как согласно этим авторам, у лыжников-гонщиков величина AMLF падает с ростом продолжительности нагрузки не только в условиях ортостаза (как показано и нами), но и в условиях клиностаза.

Медиана LF%, согласно нашим данным, в условиях клиностаза либо не зависит от продолжительности нагрузки (смешанные и аэробные), либо возрастает (анаэробные нагрузки). Однако в условиях ортостаза во всех случаях эта зависимость отрицательная, т.е. с повышением продолжительности нагрузок медиана LF% снижается. Это соответствует представлению о том, что наличие HH-AX ингибирует активацию CO АНС. Поэтому, наличие в состоянии ортостаза снижения медианы LF% по мере увеличения продолжительности тренировки допустимо рассматривать как признак наличия синтеза HH-AX.

Наши данные в отношении зависимости медианы LF% от продолжительности нагрузок лишь частично совпадают с данными (Белова, Румянцева, 2009), так как согласно этим авторам, у лыжников-гонщиков величина LF% падает с ростом продолжительности нагрузки не только в условиях ортостаза (как показано нами), но и в условиях клиностаза.

Медиана отношений AMLF/AMHF или LF/HF. Как известно, AMLF/AMHF отражает баланс между влиянием на сердце CO АНС и ПО АНС (Шлык и др., 2012; Михайлов, 2017; Марков, 2019). У спортсмена К.Д. в условиях клиностаза медиана AMLF/AMHF либо не зависит от продолжительности смешанных и аэробных тренировок, либо возрастает по мере повышения продолжительности анаэробных нагрузок. Это означает, что аэробные нагрузки в одинаковой степени повышают активность ПО АНС и CO АНС, а анаэробные нагрузки, преимущественно, повышают активность CO АНС. Однако в условиях ортостаза с повышением продолжительности нагрузки медиана падает, что, по нашему мнению, обусловлено торможением активности CO АНС под влиянием HH-AX. Поэтому можно утверждать, что если в условиях активного ортостаза с повышением продолжительности тренировочной нагрузки медиана AMLF/AMHF падает, то это следует рассматривать как косвенный

признак наличия синтеза HH-AX в миокарде. Отметим, что наши данные в отношении зависимости медианы AMLF/AMHF от продолжительности нагрузок частично совпадают с данными (Белова, Румянцева, 2009), так как согласно этим авторам, у лыжников-гонщиков в условиях ортостаза величина AMLF/AMHF падает по мере роста продолжительности нагрузки.

SI, т.е. индекс напряжения, или стресс-индекс, как и большинство анализируемых величин, относят к расчетным (Шлык и др., 2012; Михайлов, 2017; Марков, 2019). У спортсмена К.Д. медиана SI в условиях клиностаза падает по мере роста продолжительности всех трех видов нагрузки. Иначе говоря, аэробные и анаэробные нагрузки снижают ответ на стресс, в роли которого выступает физическая нагрузка. Однако в условиях ортостаза зависимость от нагрузок не выявлена. Это соответствует нашим представлениям о наличии синтеза HH-AX у элитного лыжника, благодаря которому возрастает влияние вагуса на сердце, т.е. возрастает вариационный размах — MxDMn, что, как отмечали уже выше, повышает медианы таких показателей как SDNN и MxDMn и увеличивает медиану SI. Поэтому можно утверждать, что наличие в положении клиностаза отрицательной зависимости медианы SI от продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок и отсутствие какой-либо зависимости в условиях активного ортостаза служат признаками наличия HH-AX в миокарде элитных лыжников.

Таким образом, к косвенным критериям наличия синтеза HH-AX, помимо ранее указанных пяти признаков (Катаев и др., 2025), можно отнести следующие 9 признаков:

- 1) наличие в состоянии клиностаза положительной зависимости медиан TP, SDNN и MxDMn от продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок, с одной стороны, и отсутствие какой-либо зависимости их медиан в условиях активного ортостаза, с другой стороны;
- 2) наличие в положении клиностаза положительной зависимости медиан RMSSD и pNN50% от продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок и сохранение этой зависимости в условиях активного ортостаза;
- 3) наличие в положении клиностаза положительной зависимости медианы AMHF от продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок и сохранение этой зависимости в условиях активного ортостаза;
- 4) появление в условиях ортостаза положительной зависимости медианы HF%

от продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок;

5) наличие в положении ортостаза положительной зависимости медианы VLF% от продолжительности нагрузок;

6) смена положительной зависимости медианы AMLF от продолжительности нагрузок в клиностазе на отрицательную зависимость в ортостазе;

7) снижение медианы LF% (в положении ортостаза) в ответ на рост продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок;

8) снижение (в положении ортостаза) медианы AMLF/AMHF в ответ на рост продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок;

9) наличие в положении клиностаза отрицательной зависимости медианы SI от продолжительности тренировочных и соревновательных нагрузок и отсутствие какой-либо зависимости в условиях активного ортостаза.

В какой степени эти признаки действительно отражают наличие синтеза НН-АХ, могут показать исследования, в которых одновременно с регистрацией клино-ВСР и орто-ВСР будут определены компоненты системы синтеза НН-АХ.

Относительно вопроса о том, какой вид регистрации ВСР — клино-КИГ или орто-КИГ лучше отражает влияние объема и интенсивности тренировочных нагрузок лыжников на показатели ВСР, наши результаты дают основание утверждать (табл. 2, 3), что регистрация клино-КИГ, как и регистрация орто-КИГ в одинаковой степени отражают представление о том, что с ростом объема и интенсивности тренировочной нагрузки возрастает влияние ПО АНС на деятельность сердца. В то же время способность НН-АХ сдерживать активацию СО АНС (рефлекс Превеля) лучше отражает показатели орто-КИГ, чем показатели клино-КИГ.

Наше исследование однозначно не дает ответ на вопрос о наличии синтеза НН-АХ в сердце спортсмена, тренирующегося на выносливость, но косвенно затрагивает вопрос о механизмах, лежащих в основе таких тренировок. Наши результаты позволяют утверждать, что аэробные тренировки на выносливость, в том числе с включением в них нагрузок анаэробной интенсивности, судя по данным клино-КИГ, существенно усиливают активность и ПО АНС, и СО АНС, а судя по данным орто-КИГ, они, вероятно, повышают интенсивность синтеза НН-АХ, так как в условиях ортостаза прослежен феномен сдерживания активности СО АНС, сопряженный, по-видимому, с наличием НН-АХ.

Согласно данным литературы (Beleza et al., 2019; Li J et al., 2020; Pengam et al., 2020; Glancy, Balaban et al., 2021; Roberts, Markby, 2021), с повышением объема и интенсивности аэробных нагрузок возрастает и число митохондрий, и эффективность производства АТФ. Это происходит за счет повышения экспрессии и активности основных активаторов митохондриального метаболизма, в том числе таких белков, как PGC1 α , AMPK, SIRT, NRF1, NRF2, TFAM (Weihrauch, Handschin, 2018; de Oliveira Bristot et al., 2019; Islam et al., 2020), белка Nrf-2 эритроидного (Islam et al., 2020), белка ERR γ (Islam et al., 2020), белка PPAR (Islam et al., 2020), белка HIF-1 α , т.е. гипоксического фактора (Li et al., 2020) и ряда других белков. Полагают, что основным триггером индукции митохондриального обмена веществ могут быть активные формы кислорода (АФК), интенсивность продукции которых при тренировках возрастает вследствие повышения интенсивности утечки электронов с дыхательных комплексов митохондрий (Kasai et al., 2020; Joseph et al., 2021). В регуляции обмена веществ бесспорно участвует и оксид азота, уровень которого возрастает при тренировках (Kasai et al., 2020). Активация митохондриальных процессов, в свою очередь, повышает эффективность образования АТФ (Greggio et al., 2017; Kras et al., 2019; Joseph et al., 2021) в том числе за счет активации всех пяти комплексов дыхательной цепи (Greggio et al., 2017; Joseph et al., 2021), за счет повышения активности ферментов цикла Кребса (Kras et al., 2019; Joseph et al., 2021) и повышения эффективности бета-окисления жирных кислот в митохондриях (Huertas et al., 2017). Поэтому возникает вопрос, какой из параметров ВСР более точно отражает интенсивность митохондриального метаболизма и какой способ регистрации ВСР для этого подходит — клино-КИГ или орто-КИГ? Эти вопросы имеют прямое отношение к гипотезе о спортивной ваготонии, так как синтез НН-АХ, как известно, связан с увеличением количества митохондрий и объема их матрикса, как основных источников ацетил-коэнзима А, необходимого для синтеза АХ. Поэтому задача будущих исследований состоит в поисках тех показателей ВСР, которые с должной степенью допустимости отражают митохондриальный биогенез и синтез НН-АХ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Судя по зависимости медиан 8 спектральных и 6 временных показателей ВСР от продолжительности аэробных и частично анаэробных нагрузок, в процессе тренировки на выносливость возрастает влияние на сердце симпатического отдела (СО) автономной нервной системы (АНС) и особенно влияние парасимпатического отдела

(ПО) автономной нервной системы (АНС), в том числе за счет появления в кардиомиоцитах синтеза ненейронального ацетилхолина (НН-АХ) как компонента антиапоптотической, антиоксидантной и противовоспалительной систем.

2. Характер статистически значимой зависимости медиан 11 из 14 показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) от общей продолжительности тренировочной и соревновательной нагрузки (ОПН₁₋₅), а также от продолжительности аэробных (ПН₁₋₃) или анаэробных (ПН₄₋₅) нагрузок у элитного лыжника-гонщика К.Д. зависит от того, в каких условиях регистрируют ВСР — в клиностазе или в активном ортостазе. Изменение модальности зависимостей показателей ВСР в условиях активного ортостаза сопряжено с наличием ненейронального ацетилхолина (НН-АХ), синтез которого кардиомиоцитами возникает в процессе тренировки на выносливость.

3. На основании изменения модальности зависимостей медиан показателей ВСР от продолжительности тренировочных или соревновательных нагрузок, наблюдаемых при активном ортостазе (в сравнении с клиностазом), предложены 9 критериев, косвенно свидетельствующих о наличии синтеза НН-АХ в сердце спортсмена, тренирующегося на выносливость.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все процедуры, выполненные в исследовании, соответствуют этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации о биоэтике и правах человека (WMA Declaration of Helsinki — Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. 2013).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белова Е.Л., Румянцева Н.В. Взаимосвязь показателей ритма сердца и некоторых характеристик тренировочных и соревновательных нагрузок квалифицированных лыжников-гонщиков // Вестн. спорт. науки. 2009. № 4. С. 29–33.
- Виколов А.Д., Бочаров М.В., Каунина Д.В. и др. Регуляция сердечной деятельности у спортсменов высокой квалификации // Вестн. спорт. науки. 2017. № 2. С. 31–36.
- Грушин А.А. Поиски оптимальных параметров тренировочных нагрузок в циклических видах спорта на примере подготовки высококвалифицированных лыжниц-гонщиц // Мат. VI Всерос. науч.-практ. конф. тренеров по лыжным гонкам «Актуальные вопросы подготовки лыжников-гонщиков высокой квалификации». 2022. С. 6–16.
- Есеева Т.А., Варламова Н.Г., Логинова Т.П. и др. Компьютерная модель представления результатов обследования по тренировочным зонам у лыжников-гонщиков // Изв. Коми научного центра УрО РАН. 2018. Т. 4 (36). С. 25–30.
- Катаев Д.А., Циркин В.И., Завалин Н.С. и др. Динамика ТР-, 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 // Физиол. человека. 2023. Т. 49 (5). С. 87–100.
- Катаев Д.А., Циркин В.И., Трухин А.Н. и др. Показатели кардиоинтервалограммы в условиях клиностаза и ортостаза у элитных лыжников-гонщиков в течение годового макроцикла // Физиол. человека. 2025 — в печати.
- Кудря О.Н. Влияние физических нагрузок разной направленности на вариабельность ритма сердца у спортсменов // Бюл. сиб. медицины. 2009. Т. 8 (1). С. 36–42.
- Литвин Ф.Б., Аносов И.П., Асямолов П.О. и др. Сердечный ритм и система микроциркуляции у лыжников в предсоревновательном периоде спортивной подготовки // Вестн. Удмурт. ГУ. Сер. биол. Науки о земле. 2012. № 1. С. 67–74.
- Марков А.Л. Вариабельность сердечного ритма у лыжников-гонщиков Республики Коми // Журн. мед.-биол. исслед. 2019. Т. 7 (2). С. 151–160.
- Мисина С.С., Адодин Н.В., Крючков А.С. и др. Модели периодизации нагрузок силовой направленности в мезоциклах подготовки лыжников-гонщиков высокого класса // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2022. Т. 17 (3). С. 23–30.
- Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму). Иваново: Нейрософт, 2017. 516 с.
- Стентон Г. Медико-биологическая статистика. Пер. с англ. М.: Практика, 1998. 459 с.
- Федерация лыжных гонок России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://flgr-results.ru>.
- Шлык Н.И., Сапожникова Е.Н., Кириллова Т.Г. и др. Об особенностях ортостатической реакции у спортсменов с разными типами вегетативной регуляции // Вестн. Удмурт. ГУ. Сер. биол. Науки о земле. 2012. № 1. С. 114–125.
- Abramochkin D.V., Borodinova A.A., Rosenshtraukh L.V. et al. Both neuronal and non-neuronal acetylcholine take part in non-quantal acetylcholine release in the rat atrium // Life Sci. 2012. V. 91 (21–22) P. 1023–1026.
- Alfonso C., Capdevila L. Heart rate variability, mood and performance: a pilot study on the interrelation of these variables in amateur road cyclists // Peer J. 2022. V. 10. Art. e13094.

- Barrero A., Schnell F., Carrault G. et al.* Daily fatigue-recovery balance monitoring with heart rate variability in well-trained female cyclists on the Tour de France circuit // *PLoS One*. 2019. V. 14 (3). Art. e0213472.
- Beckmann J., Lips K.S.* The non-neuronal cholinergic system in health and disease // *Pharmacology*. 2013. V. 92 (5–6). P. 286–302.
- Beleza J., Albuquerque J., Santos-Alves E. et al.* Self-paced free-running wheel mimics high-intensity interval training impact on rats' functional, physiological, biochemical, and morphological features // *Front. Physiol.* 2019. V. 10. P. 593.
- Braczko F., Fischl S.R., Reinders J. et al.* Activation of the nonneuronal cholinergic cardiac system by hypoxic preconditioning protects isolated adult cardiomyocytes from hypoxia/reoxygenation injury // *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.* 2024. V. 327 (1). P. 70–79.
<https://doi.org/10.1152/ajpheart.00211.2024>
- Buchheit M.* Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? // *Front. Physiol.* 2014. V. 5. Art. 73.
- de Oliveira Bristot V.J., de Bem Alves A.C., Cardoso L.R. et al.* The role of PGC-1 α /UCP2 signaling in the beneficial effects of physical exercise on the brain // *Front. Neurosci.* 2019. V. 13. P. 292.
- Greggio C., Jha P., Kulkarni S.S. et al.* Enhanced respiratory chain supercomplex formation in response to exercise in human skeletal muscle // *Cell. Metab.* 2017. V. 25 (2). P. 301–311.
- Glancy B., Balaban R.S.* Energy metabolism design of the striated muscle cell // *Physiol. Rev.* 2021. V. 101 (4). P. 1561–1607.
- Hottenrott L., Gronwald T., Hottenrott K. et al.* Utilizing heart rate variability for coaching athletes during and after viral infection: A case report in an elite endurance athlete // *Front. Sport. Act. Liv.* 2021. V. 3. Art. 612782.
- Huertas J.R., Al Fazazi S., Hidalgo-Gutierrez A. et al.* Antioxidant effect of exercise: Exploring the role of the mitochondrial complex I superassembly // *Redox Biol.* 2017. V. 13. P. 477–481.
- Joseph J.S., Anand K., Malindisa S.T. et al.* Exercise, CaMKII, and type 2 diabetes // *EXCLI J.* 2021. V. 20. P. 386–399.
- Kakinuma Y.* Characteristic effects of the cardiac non-neuronal acetylcholine system augmentation on brain functions // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. V. 22 (2). P. 545.
- Kataev D.A., Tsirkin V.I., Trukhin A.N. et al.* Sports vagotonia as a result of increased synthesis of non-neuronal acetylcholine by cardiomyocytes // *Anatom. Physiol. Biochem. Int. J.* 2024. V. 7 (3). Art. 555711.
- Kasai S., Shimizu S., Tatara Y. et al.* Regulation of Nrf2 by mitochondrial reactive oxygen species in physiology and pathology // *Biomolecules*. 2020. V. 10 (2). P. 320.
- Korsak A., Kellett D.O., Aziz Q. et al.* Immediate and sustained increases in the activity of vagal preganglionic neurons during exercise and after exercise training // *Cardiovasc. Res.* 2023. V. 119 (13). P. 2329–2341.
<https://doi.org/10.1093/cvr/cvad115>
- Kras K.A., Hoffman N., Roust L.R. et al.* Adenosine triphosphate production of muscle mitochondria after acute exercise in lean and obese humans // *Med. Sci. Sport. Exerc.* 2019. V. 51 (3). P. 445–453.
- Li J., Li Y., Atakan M.M. et al.* The molecular adaptive responses of skeletal muscle to high-intensity exercise/training and hypoxia // *Antioxidants (Basel)*. 2020. V. 9 (8). P. 656.
- Lundstrom C.J., Foreman N.A., Biltz G.* Practices and applications of heart rate variability monitoring in endurance athletes // *Int. J. Sport. Med.* 2023. V. 1. P. 9–19.
- Manzi V., Castagna C., Padua E. et al.* Dose-response relationship of autonomic nervous system responses to individualized training impulse in marathon runners // *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.* 2009. V. 296 (6). P. 1733.
- Oikawa S., Kai Y., Mano A. et al.* Non-neuronal cardiac acetylcholine system playing indispensable roles in cardiac homeostasis confers resiliency to the heart // *J. Physiol. Sci.* 2021. V. 71 (1). P. 2.
<https://doi.org/10.1186/s12576-020-00787-6>
- Pengam M., Moisan C., Simon B. et al.* Training protocols differently affect AMPK-PGC-1 α signaling pathway and redox state in trout muscle // *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 2020. V. 243. Art. 110673.
- Pla R., Aubry A., Resseguier N. et al.* Training organization, physiological profile and heart rate variability changes in an open-water world champion // *Int. J. Sport. Med.* 2019. V. 40 (8). P. 519–527.
- Islam H., Hood D.A., Gurd B.J.* Looking beyond PGC-1 α : emerging regulators of exercise-induced skeletal muscle mitochondrial biogenesis and their activation by dietary compounds // *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2020. V. 45 (1). P. 11–23.
- Ravé G., Fortrat J-O.* Heart rate variability in the standing position reflects training adaptation in professional soccer players // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2016. V. 116 (8). P. 1575–1582.
- Roberts F.L., Markby G.R.* New insights into molecular mechanisms mediating adaptation to exercise; A review focusing on mitochondrial biogenesis, mitochondrial function, mitophagy and autophagy // *Cells*. 2021. V. 10 (10). P. 2639.
- Saw E.L., Kakinuma Y., Fronius M. et al.* The non-neuronal cholinergic system in the heart: a comprehensive review // *J. Mol. Cel. Cardiol.* 2018. V. 125. P. 129–139.
- Schäfer D., Gjerdalen G.F., Solberg E.E. et al.* Sex differences in heart rate variability: a longitudinal study in international elite cross-country skiers // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2015. V. 115 (10). P. 2107–2114.
- Schmitt L., Bouthiaux S., Millet G.P.* Eleven years' monitoring of the world's most successful male biathlete of the last decade // *Int. J. Sports. Physiol. Perform.* 2021. V. 16 (6). P. 900–905.
- Schmitt L., Regnard J., Desmarests M. et al.* Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes // *PLoS One*. 2013. V. 8 (8). Art. e71588.

Schmitt L., Regnard J., Millet G.P. Monitoring fatigue status with HRV measures in elite athletes: an avenue beyond RMSSD? // *Front. Physiol.* 2015. V. 19 (6). P. 343.

Weihrauch M., Handschin C. Pharmacological targeting of exercise adaptations in skeletal muscle: Benefits and pitfalls // *Biochem. Pharmacol.* 2018. V. 147. P. 211–220.

Solli G.S., Tønnessen E., Sandbakk Ø. The training characteristics of the world's most successful female cross-country skier // *Front. Physiol.* 2017. V. 8. P. 1069.

Dependence of Clinostatic and Orthostatic Cardiointervalography Parameters on the Duration (Volume) of Training and Competition Loads of Aerobic and Anaerobic Nature of an Elite Racer-Skier

D. A. Kataev^{a, b}, V. I. Tsirkin^c, A. N. Trukhin^a, S. I. Trukhina^{a, *}

^aVyatka State University, Kirov, Russia

^bKirov Regional State Autonomous Institution of Additional Education "Sports School of Olympic Reserve "Perekop", Kirov, Russia

^cKazan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Kazan, Russia

*e-mail: trukhinasvetlana@yandex.ru

Elite cross-country skier K.D., a member of the men's national team of the Republic of Tatarstan, Master of sports of Russia, had his heart rate variability (HRV) recorded sequentially (for 5 minutes) almost daily during two ski seasons (2018–2019 and 2019–2020) during the preparatory, competitive and transition periods under conditions of clinostasis and then under conditions of active orthostasis. The values of 8 spectral and 6 temporal indicators of clino-HRV and ortho-HRV were compared (taking into account the five "working pulse" zones) with the total duration of the load (TDL₁₋₅), as well as with the duration of aerobic (DL₁₋₃) or anaerobic (DL₄₋₅) loads. It was shown that during endurance training the influence of the sympathetic division (SD) of the autonomic nervous system (ANS) on the heart increases, and especially the influence of the parasympathetic division (PD) of the autonomic nervous system (ANS), including due to the appearance of non-neuronal acetylcholine (NN-ACh) synthesis in cardiomyocytes as a component of the anti-apoptotic, antioxidant and anti-inflammatory system. It was established that the nature of the statistically significant dependence of the medians (11 out of 14) of the HRV indicators on the total duration of the load (TDL₁₋₅), as well as on the duration of aerobic (DL₁₋₃) or anaerobic (DL₄₋₅) loads in elite cross-country skier K.D., depends on the conditions under which the HRV is recorded – in clinostasis or in active orthostasis. The change in the nature of the dependence of the HRV parameters under active orthostasis is explained by the presence of non-neuronal acetylcholine (NN-ACh), the synthesis of which by cardiomyocytes occurs during endurance training. Based on the nature of the change in the dependence of the medians of the HRV parameters on the duration of training or competitive loads observed during active orthostasis (in comparison with clinostasis), 9 criteria for the presence of NN-ACh synthesis in the heart of an athlete training for endurance are proposed.

Keywords: cross-country skier, autonomic nervous system (ANS), its parasympathetic and sympathetic divisions, heart rate variability (HRV), correlation dependence, aerobic and anaerobic loads, non-neuronal acetylcholine