

## 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

© 2023 г. Д. А. Катаев<sup>1, 2, \*</sup>, В. И. Циркин<sup>3, \*\*</sup>, Н. С. Завалин<sup>4</sup>,  
М. А. Морозова<sup>1</sup>, А. Н. Трухин<sup>1</sup>, С. И. Трухина<sup>1, \*\*\*</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Вятский государственный университет, Киров, Россия

<sup>2</sup>Федерация лыжных гонок Республики Татарстан, Казань, Россия

<sup>3</sup>Казанский государственный медицинский университет, Казань, Россия

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО Кировский государственный медицинский университет, Киров, Россия

\*E-mail: den.cataev2014@yandex.ru

\*\*E-mail: esbartsirkin@list.ru

\*\*\*E-mail: trukhinasvetlana@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.06.2022 г.

После доработки 05.03.2023 г.

Принята к публикации 07.03.2023 г.

С целью изучения механизмов адаптации к нагрузкам, требующим высокой выносливости, у 27-летнего мастера спорта России по лыжным гонкам многократно в условиях клиностаза регистрировали кардиоинтервалограмму (КИГ), оценивая общую мощность спектра ( $TP$ ), абсолютную мощность ( $m^2$ )  $LF$ -,  $HF$ - и  $VLF$ -волн и относительную (в процентах к  $TP$ ) мощность этих волн, т.е.  $LF\%$ ,  $HF\%$  и  $VLF\%$ . Их сопоставляли с объемом ( $V_{км}$ ,  $V_{мин}$ ) и интенсивностью ( $N_{чСС}$ ) тренировочных нагрузок. Объем нагрузок был максимален в подготовительном периоде (21 км/день) и минимален в переходном периоде (18 км/день), а их интенсивность на протяжении годового цикла была стабильной (рабочий пульс – 120–121 уд./мин). С изменением объема нагрузок менялись и величины показателей КИГ. Так, в подготовительном периоде возрастают медианы  $TP$ , мощности  $HF$ -,  $LF$ - и  $VLF$ -волн, а также  $VLF\%$ ; в этом периоде с повышением объема нагрузок ( $V_{км}$ ) возрастают значения  $VLF\%$ . В соревновательном периоде сохраняются на высоком уровне медианы  $TP$ , мощности  $HF$ -,  $LF$ - и  $VLF$ -волн и  $VLF\%$ . В переходном периоде снижаются медианы  $TP$ , мощности  $HF$ -,  $LF$ - и  $VLF$ -волн, а также  $LF\%$  и  $VLF\%$  и возрастает медиана  $HF\%$ . Для годового цикла выявлена прямая зависимость медианы  $TP$  от объема нагрузок ( $V_{км}$ ) и медианы мощности  $VLF$ -волн от объема ( $V_{км}$ ) и интенсивности ( $N_{чСС}$ ) нагрузки. Предполагается, что величины  $TP$ ,  $HF$ -,  $LF$ - и  $VLF$ -волн, а также  $VLF\%$  (в условиях клиностаза) отражают влияние парасимпатического отдела автономной нервной системы на сердце, при этом  $VLF\%$ , вероятно, отражает интенсивность синтеза кардиомиоцитами ненефронального ацетилхолина, а значения  $LF\%$  и  $HF\%$  отражают формирование состояния тревожности в связи с предстоящими стартами.

**Ключевые слова:** лыжные гонки, адаптация к физическим нагрузкам, автономная нервная система, вариабельность сердечного ритма, общая мощность спектра, абсолютная и относительная мощность  $HF$ -,  $LF$ - и  $VLF$ -волн, периоды годового цикла лыжников.

**DOI:** 10.31857/S0131164623700303, **EDN:** XBMRHL

На процессы адаптации к физическим нагрузкам, требующим выносливости, влияют объем и интенсивность тренировочных занятий, но характер этого влияния с физиологической точки зрения исследован недостаточно полно [1, 2].

Поэтому в работе была поставлена цель: с помощью метода кардиоинтервалографии (КИГ) оценить характер изменения процессов регуля-

ции деятельности сердца у элитного лыжника на протяжении трех периодов лыжного сезона (подготовительного, соревновательного и переходного) в зависимости от объема и интенсивности тренировочной нагрузки.

Метод оценки состояния автономной нервной системы (АНС) по вариабельности сердечного ритма (ВСР) широко используется в клиниче-

ской практике, а интерпретация его основных параметров детально описана в литературе [3–7].

Из более 30 показателей ВСР в последние годы большое внимание уделяется спектральным показателям КИГ [3–5, 7]. Среди них: 1) общая мощность спектра ( $TP$  – *Total Power*), отражающая мощность колебаний ритма в диапазоне частот от 0.003 до 0.5 Гц, т.е. суммарное влияние симпатического (СО) и парасимпатического (ПО) отделов АНС и ряда биологически активных веществ (БАВ); 2) мощность ( $HF$ -) волн, т.е. мощность колебаний с частотой от 0.15 до 0.40 Гц, отражающая влияние парасимпатического отдела (ПО) АНС на сердце; 3) мощность медленных ( $LF$ -) волн, т.е. мощность колебаний с частотой от 0.04 до 0.15 Гц, отражающая характер влияния на сердце симпатического отдела (СО) АНС, модулируемое барорефлексом; и 4) мощность очень медленных ( $VLF$ -) волн, т.е. мощность колебаний с частотой от 0.003 до 0.04 Гц, которая указывает, вероятно, на комплексное влияние СО и ПО АНС, а также ряда биологически активных веществ (БАВ) на сердце. Полагают, что относительная мощность  $HF$ -,  $LF$ - и  $VLF$ -волн, выраженная в процентах к  $TP$ , т.е.  $HF\%$ ,  $LF\%$  и  $VLF\%$ , отражает удельный вклад соответствующих отделов АНС и БАВ в регуляцию деятельности сердца.

Метод КИГ получил широкое применение в практике спорта для оценки состояния спортсмена на учебно-тренировочных сборах и соревнованиях [8–11]. Однако при этом мало внимания уделено зависимости показателей ВСР у спортсменов, тренирующихся на выносливость, от периодов годового тренировочного цикла (подготовительного, соревновательного и переходного) и от объема тренировочных нагрузок, в связи с чем и была сформулирована цель настоящего исследования. В связи с тем, что переходной период реализуется, как правило, в домашних условиях, КИГ проводили во всех трех периодах годового цикла на одном элитном лыжнике К.Д. (первом авторе статьи), с учетом объема его тренировочных нагрузок во всех трех периодах.

Прежде, чем перейти к изложению методов и основных результатов настоящего исследования, следует отметить ряд важных моментов.

Отмечено [3, 9, 12, 13], что в отношении динамики абсолютной мощности  $HF$ -,  $LF$ -, и  $VLF$ -волн, а также динамики относительной мощности этих волн, выраженной в процентах к  $TP$  (т.е.  $HF\%$ ,  $LF\%$  и  $VLF\%$ ) у лыжников на протяжении годового цикла сведения малочисленны и неоднозначны; в отношении величины  $TP$  показано, что она варьирует от 1515 до 14486  $ms^2$ , и возрастает по мере повышения спортивного мастерства. Но при этом крайне мало сведений о зависимости значений  $TP$  от периода спортивного сезона, от объема и мощности тренировочной нагрузки

спортсменов, хотя косвенные данные ряда авторов говорят о том, что в подготовительный период, т.е. при высоких тренировочных объемах, активность ПО АНС у элитных лыжников продолжает возрастать [9, 14, 15]. Это согласуется с представлением о том, что тренировки на выносливость повышают активность ПО АНС [3, 9, 14, 15]. Однако вопрос о конкретных механизмах формирования ваготонии при тренировках на выносливость требует детального изучения. С этих позиций представляет большой интерес анализ параметров ВСР у элитных спортсменов на протяжении всех трех периодов их очередного годового цикла (сезона), с учетом объема и мощности тренировок, что и составило основную цель статьи.

Важно отметить, что объем и интенсивность тренировочных нагрузок выражают по-разному. Зарубежные авторы [11, 16–19] объем нагрузки оценивают по продолжительности тренировки (минуты/день; часы/день), а отечественные авторы [20, 21] – по протяженности тренировочного пути (километры/день). Интенсивность или мощность нагрузок оценивается по величине “рабочего пульса” [11, 17, 21, 22]. При этом принято считать [23, 24], что значения рабочего пульса могут отражать 5 зон интенсивности, из которых первые три зоны (50–80% от  $ЧСС_{\max}$ ) расцениваются как зоны низкой интенсивности, а зоны 4 и 5 (т.е. выше 80% от  $ЧСС_{\max}$ ) – как зоны высокой интенсивности. Годовой объем тренировочных нагрузок у элитных лыжников огромный – он варьирует от 700 до 937 ч [17, 18] или от 9150 до 9493 км [21, 22]. При этом объем тренировочной нагрузки у каждого элитного лыжника-гонщика индивидуален, так как он зависит от уровня тренированности, скорости и качества восстановительных процессов и других факторов [24, 25], но при этом цель тренера и спортсмена заключается в том, чтобы подойти с максимальным уровнем готовности к моменту ответственного (престижного) старта [24].

## МЕТОДИКА

В исследовании участвовал 27-летний лыжник-гонщик (К.Д.), мастер спорта России, член сборной команды Татарстана по лыжным гонкам, многократный чемпион и призер всероссийских и международных соревнований по лыжным гонкам среди юниоров и юношей. К.Д. имеет 17-летний стаж занятий лыжными гонками. Исследования проводили с марта 2019 г. по июнь 2020 г.

Тестирование физической работоспособности К.Д., проведенное в физкультурном диспансере г. Казани на лыжном тренажере *Concept2 SkiErg* (США), имитирующего движения одновременного бесшажного лыжного хода, показало (табл. 1), что при выполнении предельной мышечной ра-

**Таблица 1.** Оценка уровня физической работоспособности и функционального состояния ведущих систем энергообеспечения спортсмена К.Д. при выполнении предельной мышечной работы ступенчато возрастающего характера, до “отказа” (на лыжном тренажере *Concept2 SkiErg* и тредбане)

Анализируемые показатели	Июнь 2019 г.		Октябрь 2019 г.	
	<i>Concept2 SkiErg</i>	тредбан	<i>Concept2 SkiErg</i>	тредбан
МПК, мл/кг/мин	64.5	65.8	69.3	74
АэП, уд./мин	113	154	111	142
АнП, уд./мин	171	170	164	170
ЧСС <sub>макс</sub> , уд./мин	185	188	185	192
$N$ , Ватт или $V$ , км/ч	290 Ватт	12 км/ч	310 Ватт	13.5 км/ч
$L_{\text{макс}}$ , мМ	8.52	9	10.7	9.48

*Примечание:* по данным физкультурного диспансера (г. Казань).

боты ступенчато возрастающего характера до “отказа” в начале подготовительного периода (июнь 2019 г.) максимальное потребление кислорода (МПК) составило 64.5 мл/кг или 4418 мл; аэробный порог (АэП), т.е. частота сердечных сокращений (ЧСС), при которой еще не происходит подъем лактата при выполнении мышечной нагрузки, составила 113 уд./мин; анаэробный порог (АнП), т.е. ЧСС, при которой начинается подъем лактата – 171 уд./мин; а максимальная ЧСС (ЧСС<sub>макс</sub>), которая достигается при выполнении работы максимальной мощности (в условиях повышения нагрузки каждые 2 мин на 20 Ватт), составила 185 уд./мин; при этом максимальная мощность работы ( $N_{\text{макс}}$ ) достигала 290 Вт, а максимальный подъем концентрации лактата ( $L_{\text{макс}}$ ) составил 8.52 мМ. Аналогичное тестирование, проведенное в конце летне-осенней подготовки, т.е. перед “вкаткой” (октябрь 2019 г.), показало (табл. 1), что МПК составило 69.3 мл/кг или 4845 мл; АэП – 111 уд./мин; АнП – 164 уд./мин; ЧСС<sub>макс</sub> – 185 уд./мин,  $N_{\text{макс}}$  – 310 Ватт, а  $L_{\text{макс}}$  – 10.7 мМ. Тестирование на беговом тредбане при наклоне дорожки 10° при ступенчато возрастающих нагрузках (каждые 2 мин) до “отказа”, показало (табл. 1), что в начале подготовительного периода, т.е. в июне 2019 г. МПК составило – 65.8 мл/кг или 4740 мл; АэП – 154 уд./мин; АнП – 170 уд./мин; ЧСС<sub>макс</sub> – 188 уд./мин, при максимальной скорости бега в течение 2 мин 12 км/ч и при  $L_{\text{макс}}$  – 9 мМ. В конце летне-осенней подготовки (октябрь 2019 г.) МПК составило – 74 мл/кг или 5173 мл; АэП – 142 уд./мин; АнП – 170 уд./мин; ЧСС<sub>макс</sub> – 192 уд./мин, максимальная скорость бега в течение 2 мин – 13.5 км/ч, и

$L_{\text{макс}}$  – 9.48 мМ. Таким образом, тестирование физической работоспособности у спортсмена К.Д. на лыжном тренажере *Concept2 SkiErg* и на беговом тредбане показало близкие результаты, которые дают основание утверждать, что: 1) спортсмен К.Д., действительно, относится к группе элитных лыжников-гонщиков; 2) в процессе подготовительного периода его работоспособность возрастает.

По данным литературы у 6 шведских элитных лыжников-гонщиков абсолютные значения МПК составили  $5.1 \pm 0.1$  л/мин [26–28].

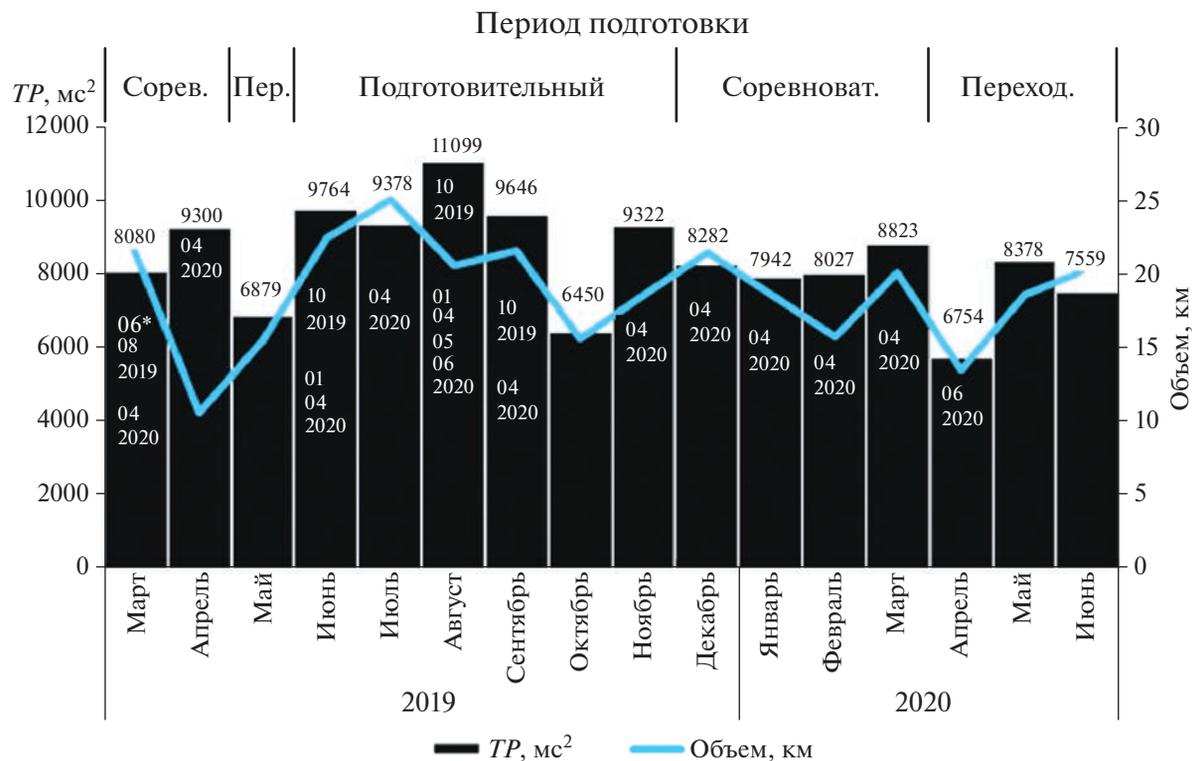
Важно отметить, что учебно-тренировочные сборы (УТС) и соревнования проводили в разных регионах России и за ее пределами, в том числе в равнинных и горных условиях (табл. 2). При этом первый автор настоящей статьи, т.е. спортсмен К.Д., фиксировал объем и мощность своих тренировочных нагрузок и проводил саморегистрацию КИГ.

Оценку объема тренировочных нагрузок ( $V_{\text{км}}$ ,  $V_{\text{мин}}$ ) спортсмена К.Д. за каждый день, который предшествовал утренней регистрации КИГ, проводили путем суммирования времени, затрачиваемого на выполнение всех тренировок и утренней зарядки, выраженной в мин/день ( $V_{\text{мин}}$ ), а также в километрах бега на лыжах, роликовых лыжах или кроссового бега ( $V_{\text{км}}$ ). Оценку интенсивности, или мощности ( $N_{\text{ЧСС}}$ ) тренировочных нагрузок проводили по значениям средней ЧСС<sub>раб</sub>, регистрируемой на каждой тренировке с помощью пульсометра *POLAR 430*, оснащенного *GPS*-датчиком (*POLAR*, Финляндия). Согласно программам *POLAR*, величина ЧСС<sub>раб</sub>, позволяла отнести

**Таблица 2.** Календарь и место проведения учебно-тренировочных сборов (УТС) и соревнований спортсменов К.Д. в 2018–2019 гг. и 2019–2020 гг. сезонах

Сезон 2018–2019 гг.		
соревновательный период (03–04.2019)	переходный период (05.2019)	
1. УТС в п/п Хмелевские озера (Краснодарский край)*	1. Тренировки в домашних условиях (Кировская обл.)	
2. ЧР (Архангельская обл.)		
3. ЧР (Мурманская обл.)		
Сезон 2019–2020 гг.		
подготовительный период (06–11.2019)	соревновательный период (12.2019–03.2020)	переходный период (04–06.2020)
1. УТС в п. Раубичи (Беларусь)	1. 1 этап КР (Хакасия)*	1. Тренировки в домашних условиях (Кировская обл.)
2. УТС в г. Ижевск (Удмуртия)	2. 2 этап КР (Пермский край)	
3. УТС в с/б Бельмекен (Болгария)*	3. УТС в п. Перекоп (Кировская обл.)	
4. УТС и ЛЧР в г. Люмень	4.3 этап КР (Татарстан)	
5. ЛЧР в г. Заинск (Татарстан)	5. УТС в г. Новосибирск	
6. Тренировки в домашних условиях (г. Киров)	6. ПФО в п. Перекоп (Кировская обл.)	
7. УТС в г. Санкт-Петербург	7. КК Восточной Европы в г. Сыктывкар (Республика Коми)	
8. УТС в п/п Ергаки (Красноярский край)	8. УТС в г. Новосибирск	
9. УТС в п. Вершина Теи (Хакасия)	9. ФКР (Архангельская обл.)	
	10. УТС в п/п Хмелевские озера (Краснодарский край)*	

*Примечание:* \* – горные климатические условия (высота от 900–2000 м над уровнем моря); УТС – учебно-тренировочный сбор; ЧР – чемпионат России; ЛЧР – летний чемпионат России; ЛЧР РТ – летний чемпионат Республики Татарстан; КР – Кубок России; ПФО – Приволжский федеральный округ; КК – континентальный кубок; ФКР – финал кубка России; п/п – природный парк; с/б – спортивная база.



**Рис. 1.** Динамика значений общей мощности спектра волн ( $TP$ , мс<sup>2</sup>, столбцы) и значений объема ( $V_{км}$ ) тренировочной нагрузки (линейный график) элитного лыжника К.Д. Числа внутри столбцов отражают месяцы (вверху), от которых данный месяц (внизу) статистически значимо (по критерию Манна–Уитни, т.е.  $p < 0.05$ ) отличается по значениям  $TP$ . По данным кардиоинтервалографии, проводимой в условиях клиностаза.

интенсивность нагрузки к одной из 5 тренировочных зон, указанных выше [23, 24].

Следует отметить, что 5-минутную саморегистрацию КИГ проводили у исследуемых в положении лежа после ночного сна (до завтрака) в комфортных условиях с помощью системы “ВНС-Микро” (“Нейрософт”, Россия), а анализ КИГ – с использованием программы “Полиспектр” (“Нейрософт”, Россия). Оценивали (наряду с другими) такие показатели ВСП как общая мощность спектра ( $TP$ , мс<sup>2</sup>), абсолютная мощность HF-, LF- и VLF-волн (мс<sup>2</sup>), а также относительная мощность этих волн, выраженная в процентах к  $TP$ , т.е. HF%, LF% и VLF%. Оценка этих показателей формировалась путем суммирования результатов отдельных исследований, проведенных в каждом месяце соответствующего периода, что позволяло оценить статистически значимые различия между значениями параметров, зафиксированных в одном месяце (периоде), от зафиксированных в другом месяце (периоде). У спортсмена К.Д. всего выполнено 217 саморегистраций КИГ, из которых в подготовительный период – 84, в соревновательный – 74 и в переходный – 59. Значения всех указанных показателей ВСП, а также  $V_{мин}$ ,  $V_{км}$  и  $N_{чСС}$  рассчитывали для каждого

месяца годового цикла и в целом для каждого из трех периодов (подготовительного, соревновательного и переходного) годового цикла, выражая их в виде медианы, 25 и 75 центилей [29]. При оценке различий использовали критерий Манна–Уитни, считая их статистически значимыми при  $p < 0.05$  [29]. Для расчетов, в том числе коэффициента корреляции Спирмена [29], использовали программу *BioStat2009 Professional. 5.9.8 (Analyst-Soft, США)*.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные результаты исследования суммированы в табл. 3 и на рис. 1–2.

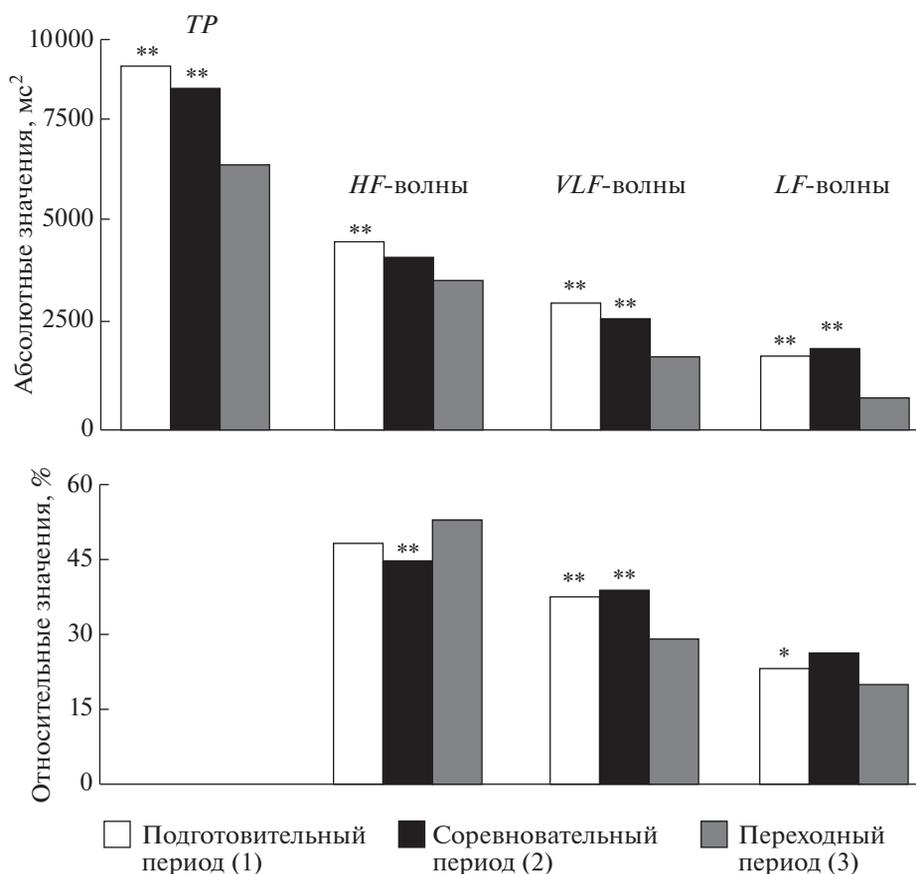
Установлено (табл. 3, рис. 1), что объем тренировочных нагрузок спортсмена К.Д., выраженный в км пути ( $V_{км}$ ), в подготовительном периоде был статистически значимо выше ( $p < 0.05$ ), чем в соревновательном периоде (медианы – 21 км/день против 19), и выше, чем в переходном периоде (18 км/день, но  $p > 0.05$ ). Однако объем нагрузки, выраженный в виде  $V_{мин}$ , был примерно одинаков во все периоды, судя по тому, что различия между периодами годового цикла были статистически незначимы, хоть и имел волнообразную динамику.

**Таблица 3.** Медиана, 25 и 75 центили (нижний ряд) объема ( $V_{км}$ ,  $V_{мин}$ ) интенсивности ( $N_{чсс}$ ) тренировочных нагрузок по месяцам у элитного лыжника К.Д., а также  $TR$  ( $мс^2$ ), абсолютной мощности  $HF$ -,  $LF$ - и  $VLF$ -волн ( $мс^2$ ) и относительной (в % к  $TR$ ) мощности этих волн (по данным кардиоинтервалографии в условиях клиностаза)

Дата	Нагрузки			$N_{чсс}$ , уд./мин	$TR$		$HF$ -волны		$VLF$ -волны		$LF$ -волны	
	$V_{км}$ , км/день	$V_{мин}$ , мин/день			$мс^2$	$мс^2$	$мс^2$	%	$мс^2$	%	$мс^2$	%
Соревновательный период												
03.19	21.5 14/25	93 65/109	124 119/131	8080 6767/8979	3540 2830/4124	45.0 35/53	2236 1661/3107	29.4 22/40	1892 1452/2238	25.8 19/27		
04.19	14.8 9/23	61 45/90	112 106/123	9300 6930/10865	3475 3383/393	43.3 38/49	2227 1985/3239	29.3 25/34	2520 1578/2957	25.4 9/31		
Переходный период												
05.19	15.5 9/24	101 72/146	124 112/130	6879 5665/10286	3065 1953/4218	35.4 31/47	2846 1731/5186	49.1 35/49	1249 1182/1301	16.2 14/20		
Подготовительный период												
06.19	22.5 18/38	122 104/158	125 115/130	9764 6958/10789	3065 1953/4218	41.0 33/46	3333 2367/3968	35.4 30/43	2188 1443/3132	21.1 19/24		
07.19	25.2 12/44	124 103/166	122 111/125	9378 6518/11178	3748 3285/4464	42.8 37/48	3198 2180/4588	37.4 32/43	1763 1314/2405	19.8 17/25		
08.19	20.6 13/31	129 90/154	117 112/131	11099 9227/12697	4930 4334/5121	44.9 39/49	3200 2267/3602	31.1 26/35	2912 1528/2974	21.8 19/30		
09.19	21.7 12/28	100 83/133	115 110/124	9646 6601/10155	3106 2677/4171	41.4 26/47	2894 2193/5464	33.8 24/53	2138 1588/2577	23.4 19/26		
10.19	15.7 9/23	91 71/120	122 109/131	6450 4665/8875	3559 2793/4487	53.4 46/59	1711 1064/2884	27.2 24/30	1132 991/2271	19.9 16/24		
11.19	18.7 13/23	84 63/106	125 117/133	9322 7188/11342	3335 2487/4340	42.5 34/47	2777 2014/3842	31.9 23/39	1853 1298/2730	24.3 19/28		

Таблица 3. Окончание

Дата	Нагрузки			TP	HF-волны		VLF-волны		LF-волны	
	V <sub>км</sub> , км/день	V <sub>мин</sub> , мин/день	N <sub>чсс</sub> , уд./мин		мс <sup>2</sup>	мс <sup>2</sup>	%	мс <sup>2</sup>	%	мс <sup>2</sup>
Соревновательный период										
12.19	21.5 14/26	88 64/121	118 114/128	8282 7559/12023	3764 (2629/4061)	34.1 (28/44)	3072 (2103/4545)	37.1 (29/41)	2032 (1521/2914)	25.4 (22/38)
01.20	18.6 11/23	72 50/101	124 113/136	7942 6956/8561	2939 2054/3512	39.7 27/46	2698 2292/4038	37.2 27/53	1684 1379/1990	19.8 18/26
02.20	15.8 12/22	79 53/93	123 114/159	8027 (7171/9341.5)	3523 (2952/4400)	41.1 (38/48)	2555 (1986/3097)	32.2 (25/37)	2253 (1633/3022)	25.6 (22/29)
03.20	20.2 15/22	94 82/107	115 105/123	8823 (7466/10145)	3840 (3558/3884)	40.0 (38/43)	3361 (2223/3854)	33.2 (30/36)	2485 (2125/2563)	25.0 (23/28)
Переходный период										
04.20	13.5 11/30	92 81/117	113 104/123	5754 5273/6118	2478 2225/2708	46.2 40/48	1977 1537/2268	31.1 29/40	1107 748/1431	20.2 14/26
05.20	18.7 15/60	119 87/151	119 112/125	8378 6113/8838	3705 2514/3887	45.2 44/51	1779 1556/239	30.6 20/35	1319 1009/2612	20.9 19/25
06.20	20.4 16/42	111 93/142	120 118/125	7559 6568/8617	3702 3130/3970	49.3 42/53	1769 1271/2222	24.1 20/27	1930 1466/2181	25.0 (21/28)
В целом за подготовительный (1), соревновательный (2) и переходный (3) периоды										
Под. 1	21 13/31	106 80/145	121 112/130	9473 6685/11037	3793 2860/4579	44.7 35/52	2818 2075/3874	32.6 24/39	1962 1307/2814	22.5 18/26
Сор. 2	19 12/25	82 61/106	121 111/130	8047 6940/9616	3519 2805/4071	41.7 34/48	2622 2023/3800	32.8 26/40	2032 1570/2619	24.5 20/29
Пер. 3	18 12/37	105 85/142	120 112/126	6961 5349/8416	3371 2387/3896	47.3 41/52	1874 1374/2582	27.7 22/36	1480 1072/2097	21.7 19/27
Статистически значимые различия между периодами по критерию Манна-Уитни										
p < 0.05	1-2	-	-	1-3; 2-3	1-3	2-3	1-3; 2-3	1-3; 2-3	1-3; 2-3	1-2



**Рис. 2.** Динамика значений медианы общей мощности  $TP$  ( $mS^2$ ), абсолютной мощности  $HF$ -,  $VLF$ - и  $LF$ -волн и относительной мощности этих волн, выраженной в процентах к  $TP$ , т.е.  $HF\%$ ,  $VLF\%$  и  $LF\%$  элитного лыжника К.Д. в подготовительном (1), соревновательном (2) и переходном (3) периодах (соответственно – 1-й, 2-й и 3-й столбцы). По данным кардиоинтервалографии, проводимой в условиях клиностаза; звездочки над столбцами означают, что различия с соревновательным (\*) и/или с переходным (\*\*) периодами статистически значимы по критерию Манна-Уитни.

ку (в подготовительном, соревновательном и переходном периодах медиана составила соответственно 106, 82 и 105 мин/день). В целом годовой (с июня 2019 по май 2020 гг.) объем нагрузки у спортсмена К.Д. составил 622 ч. Таким образом, объем тренировочной нагрузки спортсмена К.Д. во все периоды исследования оказался относительно невысоким, в сравнении с объемом нагрузки известных элитных лыжников-гонщиков [11, 17, 18, 20, 21], что связано с рекомендациями тренера о необходимости снижения нагрузки из-за пандемии коронавирусной инфекции (с марта по июнь 2020 г.).

Интенсивность тренировочной нагрузки, судя по значениям рабочего пульса ( $N_{ЧСС}$ ) во все периоды годового цикла, была относительно постоянной – медиана  $ЧСС_{\text{раб}}$  в подготовительный, соревновательный и переходный периоды составила соответственно 121, 121 и 120 уд./мин. С учетом выделения 5 зон интенсивности нагрузок [22, 23], 41.4% тренировок относилось к зоне 1 (97–

116 уд./мин); 37.0% – к зоне 2 (117–135 уд./мин), 15.1% – к зоне 3 (136–154 уд./мин), 4.8% – к зоне 4 (155–174 уд./мин) и 1.7% – к зоне 5 (175 уд./мин).

При анализе значений  $TP$ , а также абсолютной и относительной мощностей  $HF$ -,  $LF$ - и  $VLF$ -волн спортсмена К.Д., зарегистрированных в условиях клиностаза, установлены общие закономерности: 1) значения указанных показателей зависят от периода годового цикла, при этом для каждого показателя характерна своя динамика; 2) внутри каждого периода значения показателя периодически (от месяца к месяцу) меняются – то возрастают, то снижаются, т.е. их динамика носит колебательный характер (табл. 3, рис. 1).

При анализе динамики медианы  $TP$  у спортсмена К.Д. установлено (табл. 3, рис. 2), что в подготовительном ( $9473 mS^2$ ) и соревновательном ( $8047 mS^2$ ) периодах она была выше, чем в переходном периоде ( $6961 mS^2$ ;  $p < 0.05$ ), а между подготовительным и соревновательным периодами различия были статистически незначимы. Внут-

ри подготовительного и переходного периодов значения  $TP$  менялись от месяца к месяцу, но в соревновательном периоде они были относительно стабильны (рис. 1). В каждом из трех периодов отсутствовала статистически значимая зависимость значений  $TP$  от объема и интенсивности тренировочных нагрузок. Однако, в целом, по всему годовому циклу обнаружена значимая ( $p < 0.05$ ) зависимость  $TP$  от объема тренировочной нагрузки ( $V_{км}$ ) и интенсивности нагрузки ( $N_{чсс}$ ) – коэффициент Спирмена составил соответственно  $+0.18$  и  $+0.17$ . Это говорит о том, что с повышением объема тренировочных нагрузок ( $V_{км}$ ) и их интенсивности ( $N_{чсс}$ ), растет медиана  $TP$ , зарегистрированная в условиях клиностаза. Выявленная динамика  $TP$ , с учетом данных литературы о природе  $TP$  [3, 7, 16] и наших данных относительно медианы абсолютной и относительной мощности  $HF$ -волн у спортсмена К.Д. (как и у остальных членов у сборной команды Татарстана по лыжам), говорит о том, что активность ПО АНС на протяжении спортивного сезона у элитных лыжников очень высокая, но при этом она претерпевает определенные изменения – возрастает в подготовительный период, сохраняется на этом уровне в соревновательном периоде и снижается в переходном периоде.

Установлено (табл. 3, рис. 2), что медиана абсолютной мощности  $HF$ -волн ( $AMHF$ ), отражающая влияние ПО АНС на сердце, в подготовительном периоде составила  $3793 \text{ мс}^2$ , в соревновательном –  $3519 \text{ мс}^2$ , а в переходном –  $3371 \text{ мс}^2$ . При этом различия между подготовительным и переходным периодами были статистически значимы ( $p < 0.05$ ). Это согласуется с данными литературы, согласно которым с повышением мастерства лыжника-гонщика повышается величина этого показателя, которая намного выше, чем у спортсменов игровых видов спорта и единоборств [30]. Выявить зависимость  $AMHF$  от объема ( $V_{км}$ ,  $V_{мин}$ ) и мощности нагрузки ( $N_{чсс}$ ), в том числе в целом по всему годовому циклу, не удалось (коэффициент Спирмена составил соответственно  $+0.12$ ;  $+0.12$  и  $+0.10$ ). Итак,  $AMHF$ , т.е. абсолютная мощность  $HF$ -волн возрастает в подготовительном периоде, сохраняется повышенной в соревновательном периоде, но снижается в переходном периоде, когда уменьшается объем и интенсивность тренировочных нагрузок. С учетом природы  $HF$ -волн [3–5, 7] можно утверждать, что динамика медианы  $AMHF$ , зарегистрированная в клиностазе, косвенно указывает на повышение влияния ПО АНС на деятельность сердца под влиянием тренировок на выносливость и на уменьшение этого влияния при снижении объема тренировочных нагрузок.

Показано (табл. 3, рис. 2), что медиана относительной мощности  $HF$ -волн, т.е.  $HF\%$ , в подготовительном периоде составила  $44.7\%$ , в соревнова-

тельном периоде –  $41.7\%$  (различия между ними были статистически значимы,  $p < 0.05$ ), а в переходном периоде она статистически значимо возрастает до  $47.3\%$  ( $p < 0.05$ ). Это означает, что в подготовительном и особенно в соревновательном периодах медиана  $HF\%$  снижается, а в переходный период – возрастает, что, возможно, объясняется снижением в переходном периоде влияния СО АНС на работу сердца. Выявить статистически значимую зависимость медианы  $HF\%$  от объема ( $V_{км}$  или  $V_{мин}$ ) и интенсивности ( $N_{чсс}$ ) тренировочных нагрузок, в том числе по годовому циклу, не удалось (коэффициент корреляции Спирмена составил соответственно  $-0.12$ ;  $-0.03$  и  $-0.09$ ).

Выявлено (табл. 3, рис. 2), что медиана абсолютной мощности  $LF$ -волн ( $AMLF$ ), отражающая, как полагают авторы работ [3–5, 7], влияние СО АНС на сердце, в подготовительном периоде составила  $1962 \text{ мс}^2$ , в соревновательном периоде –  $2032 \text{ мс}^2$ , а в переходном –  $1480 \text{ мс}^2$ . При этом различия между  $AMLF$  в подготовительном и соревновательном периодах были незначимы ( $p > 0.05$ ), но их различия с этим показателем в переходном периоде были статистически значимы ( $p < 0.05$ ). Итак, абсолютная мощность  $LF$ -волн возрастает в подготовительном периоде, сохраняется на этом уровне в соревновательном периоде и снижается в переходном периоде. Выявить зависимость  $AMLF$  от объема ( $V_{км}$ ,  $V_{мин}$ ) и интенсивности ( $N_{чсс}$ ) нагрузки, в том числе в целом по всему годовому циклу не удалось (коэффициент Спирмена составил соответственно  $+0.11$ ;  $+0.08$  и  $+0.09$ ). С учетом генеза  $LF$ -волн [3–5, 7] можно утверждать, что динамика медианы  $AMLF$  косвенно указывает на то, что тренировки на выносливость повышают влияние СО АНС на деятельность сердца при регистрации КИГ в условиях клиностаза. Это связано с формированием тревожности в подготовительном и, особенно, в соревновательном периоде перед стартами, и снижением этого чувства в переходном периоде.

Установлено (табл. 3, рис. 2), что медиана относительной мощности  $LF$ -волн ( $LF\%$ ) в подготовительном периоде составила  $22.5\%$ , в соревновательном –  $24.5\%$  (различия между ними были статистически значимы,  $p < 0.05$ ), а в переходном периоде –  $21.7\%$ . (различия между подготовительным и переходным периодами незначимы). Это означает, что в подготовительном периоде медиана  $LF\%$  сохраняется на том же уровне, что в переходном периоде, в соревновательном периоде она возрастает, а в переходном – вновь снижается, хотя статистически незначимо. Выявить зависимость медианы  $LF\%$  от объема ( $V_{км}$ ,  $V_{мин}$ ) и интенсивности ( $N_{чсс}$ ) тренировочных нагрузок, в том числе в целом по годовому циклу, не удалось (коэффициент корреляции Спирмена составил соответственно  $-0.01$ ;  $+0.02$  и  $+0.01$ ).

Выявлено (табл. 3, рис. 2), что медиана абсолютной мощности  $VLF$ -волн, т.е.  $AMVLF$ , отражающая, вероятно, влияние БАВ на сердце [3–5, 7], в подготовительном периоде составила  $2818 \text{ мс}^2$ , в соревновательном –  $2622 \text{ мс}^2$ , а в переходном –  $1874 \text{ мс}^2$ . При этом различия между медианами  $AMVLF$  подготовительного и соревновательного периодов были незначимы ( $p > 0.05$ ), но их различия с этим показателем в переходном периоде были статистически значимы ( $p < 0.05$ ). Итак,  $AMVLF$ , т.е. абсолютная мощность  $VLF$ -волн, возрастает в подготовительном периоде, сохраняется на этом уровне в соревновательном периоде, и статистически значимо снижается в переходный период. Эта динамика во многом сходна с динамикой медианы  $TP$  и медианы  $AMHF$ . Установлена зависимость абсолютной мощности  $VLF$ -волн от объема ( $V_{\text{км}}$ ) и интенсивности ( $N_{\text{ЧСС}}$ ) нагрузки, в целом по всему годовому циклу, в то время как зависимость от объема нагрузки, выраженного в минутах ( $V_{\text{мин}}$ ), выявить не удалось (коэффициент Спирмена составил соответственно  $+0.19$ ;  $+0.14$  и  $+0.09$ ).

Анализ динамики медианы **относительной мощности  $VLF$ -волн, т.е.  $VLF\%$** , выявил (табл. 3, рис. 2), что у спортсмена К.Д. значения  $VLF\%$  варьировали на протяжении сезона от 24.1 до 49.1%. В подготовительный и соревновательный периоды вклад  $VLF\%$  в общий спектр был одинаково высоким, т.е. выше, чем в переходном периоде (медианы  $VLF\%$  составили соответственно 32.6 и 32.8% при отсутствии различий между ними,  $p > 0.05$ ), а в переходный период – ниже (медиана – 27.7%;  $p < 0.05$ ). При этом для подготовительного периода выявлена статистически значимая зависимость медианы  $VLF\%$  от объема тренировочных нагрузок ( $V_{\text{км}}$ ) – коэффициент Спирмена составил  $+0.24$  ( $p < 0.05$ ). Это свидетельствует о том, что с повышением объема тренировочных нагрузок ( $V_{\text{км}}$ ) возрастает медиана  $VLF\%$ . Однако для соревновательного и переходного периодов эта зависимость была статистически незначимой (коэффициент Спирмена составил соответственно  $+0.05$  и  $-0.17$ ). Вероятно, по этой причине в целом за годовой цикл, не удалось выявить зависимость  $VLF\%$  от объема нагрузки ( $V_{\text{км}}$  или  $V_{\text{мин}}$ ) и от ее интенсивности ( $N_{\text{ЧСС}}$ ) – коэффициент Спирмена составил соответственно  $+0.12$ ;  $+0.02$  и  $+0.05$ .

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Касаясь интерпретации результатов исследования элитного лыжника К.Д., следует отметить пять важных, моментов.

*Первый момент.* Можно полагать, что значения  $TP$ , абсолютной мощности  $HF$ - и  $VLF$ -волн, и особенно относительной мощности  $VLF$ -волн,

т.е.  $VLF\%$ , отражают степень влияния ПО АНС на сердце, так как у элитных лыжников влияние ПО АНС на сердце существенно выше, чем у неспортсменов или чем у начинающих лыжников [3, 9]. Это положение согласуется с общепринятым представлением о том, что при тренировках на выносливость существенно возрастает активность ПО АНС [2, 14, 15].

*Второй момент.* С учетом современных представлений о способности миокарда [31–35] и других тканей [36] синтезировать ацетилхолин (АХ), т.е. ненеурональный АХ, можно предположить, что ваготония, характерная для спортсменов, тренирующихся на выносливость [2, 14, 15], обусловлена тем, что в процессе тренировок повышается влияние ПО АНС на сердце, а миокард приобретает способность к синтезу АХ. Синтезированный АХ, как стало известно [31–33], является мощным антиоксидантом, благодаря которому происходит удаление свободных радикалов, возникающих при интенсивной активации  $\beta_1$ -адренорецепторов в процессе физических нагрузок. Это, в конечном итоге, повышает жизнеспособность кардиомиоцитов, а также вызывает физиологическую гипертрофию миокарда и повышает производительность сердца как насоса. Одним из доказательств роли ненеуронального АХ в происхождении спортивной ваготонии являются данные литературы [3, 37] о росте значений  $VLF\%$  с повышением спортивного мастерства. Нами показано, что у спортсмена К.Д. рост  $VLF\%$  преимущественно связан с повышением объема тренировочных нагрузок. Это означает, что активация синтеза АХ в кардиомиоцитах, вероятно, происходит при выполнении нагрузок большого объема. С этих позиций, представление ряда авторов [3–5, 7, 38, 39] о том, что мощность  $VLF$ -волн отражает участие гуморальных факторов в регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы, вероятно, наиболее точно отражает природу  $VLF$ -волн.

Что же лежит в основе появления способности кардиомиоцитов синтезировать АХ? Очевидно, что с позиций адаптации организма к нагрузкам, требующим высокой выносливости, т.е. высокой интенсивности ресинтеза аденозинтрифосфата в течение относительно длительного времени, требуется высокий уровень антиоксидантов и факторов, препятствующих апоптозу. Этим свойством и обладает АХ [7, 32–34]. Известно, также, что для синтеза АХ требуется два исходных компонента – холин, образующийся из липидов мембраны и ацетил, образующийся из ацетилкоэнзима А, основным источником которого является цикл Кребса [40]. Известно, что при тренировках на выносливость повышается интенсивность митохондриального биогенеза, т.е. увеличивается сеть митохондрий как в скелетных мышцах, так и в миокарде [41–45]. Это создает условия для по-

стоянного синтеза АХ в кардиомиоцитах, чему, вероятно, способствует и повышение в кардиомиоцитах экспрессии гена холинацетилтрансферазы, участвующей, как известно [31, 33, 34, 40] в синтезе АХ. Таким образом, можно высказать гипотезу, требующую более веских доказательств, о том, что повышение значений  $TP$  и, особенно, относительной мощности  $VLF$ -волн, т.е.  $VLF\%$ , характерных для элитных лыжников, отражает становление ненейронального синтеза АХ в кардиомиоцитах.

*Третий момент.* Наши данные показывают, что при регистрации КИГ в условиях клиностаза, наибольший вклад в общий спектр мощности, т.е. в  $TP$ , вносят  $HF$ -волны (41.7–47.3% от  $TP$ ), на втором месте –  $VLF$ -волны (27.7–32.6%) и на третьем месте –  $LF$ -волны (21.7–24.5%). Очевидно, что в условиях физической нагрузки эта структура  $TP$  будет иной и на первом месте окажутся  $LF$ -волны, отражающие активность СО АНС, модифицированную барорефлексом.

*Четвертый момент.* При регистрации КИГ в условиях клиностаза, т.е. в условиях, приближенных к основному обмену, естественно, что активность симпатической системы значительно ниже, чем при физических нагрузках, поэтому изменение абсолютной и относительной мощности  $LF$ -волн, выявляемых на протяжении годового цикла лыжника при регистрации клиностатической КИГ, скорее всего, отражает эмоциональное состояние спортсмена, в том числе формирование такой эмоции как тревожность. В целом, это состояние достигает максимума в соревновательном периоде, что косвенно отражается на динамике абсолютной и относительной мощности  $HF$ -волн, но не отражается на динамике абсолютной и относительной мощности  $VLF$ -волн, которая преимущественно отражает уровень продукции ненейронального АХ кардиомиоцитами.

*Пятый момент, имеющий прикладное значение.* Можно предположить, что если у лыжника в процессе тренировок на КИГ, зарегистрированной в условиях клиностаза, происходит рост значений  $TP$  и  $AMHF$  без повышения значений  $VLF\%$ , то это означает, что влияние ПО АНС на сердце, действительно, возрастает, но еще не происходит активация синтеза ненейронального АХ. Если же одновременно с ростом значений  $TP$  и  $AMHF$  повышаются значения  $VLF\%$ , то это говорит о том, что у спортсмена происходит активация синтеза ненейронального АХ в миокарде. Конечно, это предположение требует строгих доказательств, что, скорее всего, можно получить лишь в опытах на животных.

## ВЫВОДЫ

1. Многократная регистрация КИГ в условиях клиностаза у элитного лыжника К.Д. на протяжении годового цикла, позволяющая оценить такие показатели ВСП как  $TP$ , абсолютная ( $мс^2$ ) и относительная (в процентах к  $TP$ ) мощности  $LF$ -,  $HF$ - и  $VLF$ -волн, а также фиксация объема тренировочных нагрузок (по длине пути,  $V_{км}$ , или по их продолжительности,  $V_{мин}$ ) и интенсивности нагрузок (по  $ЧСС_{раб}$ ) выявили, что объем тренировочных нагрузок максимален в подготовительном периоде (21 км/день или 106 мин/день), ниже – в соревновательном периоде (19 км/день или 82 мин/день) и остается на этом уровне в переходном периоде (18 км/день) или даже повышается (105 мин/день). Интенсивность тренировочных нагрузок во все периоды годового цикла равномерна: в подготовительном и соревновательном периодах  $ЧСС_{раб}$  составляет 121 уд./мин, а в переходном периоде – 120 уд./мин. С изменением объема тренировочных нагрузок меняются и величины исследуемых показателей ВСП, что более детально отмечено ниже.

2. В подготовительном периоде параллельно с ростом объема тренировочных нагрузок возрастают медианы  $TP$ , абсолютной мощности  $HF$ -,  $LF$ - и  $VLF$ -волн, а также относительная мощность  $VLF$ -волн, т.е.  $VLF\%$ . При этом сохраняется на низком уровне относительная мощность  $LF$ -волн ( $LF\%$ ), и снижается относительная мощность  $HF$ -волн ( $HF\%$ ). Для этого периода установлено, что с повышением объема тренировочных нагрузок ( $V_{км}$ ) возрастают значения  $VLF\%$ .

3. В соревновательном периоде на фоне стабильно высокого объема тренировочных нагрузок сохраняются на высоком уровне медианы  $TP$ , абсолютной мощности  $HF$ -,  $LF$ - и  $VLF$ -волн и медиана  $VLF\%$ ; при этом сохраняется на низком уровне медиана  $HF\%$  и возрастает медиана  $LF\%$ .

4. В переходном периоде с уменьшением объема нагрузок снижаются медианы  $TP$ , абсолютной мощности  $HF$ -,  $LF$ - и  $VLF$ -волн, а также уменьшаются медианы  $LF\%$  и  $VLF\%$  и возрастает медиана  $HF\%$ .

5. В целом, для годового цикла выявлена прямая зависимость медианы  $TP$  от объема нагрузок,  $V_{км}$  (чем выше объем, тем выше медиана  $TP$ ), а также прямая зависимость медианы абсолютной мощности  $VLF$ -волн от объема ( $V_{км}$ ) и интенсивности ( $N_{ЧСС}$ ) нагрузки.

6. Сформулирована гипотеза о том, что величины  $TP$ ,  $HF$ -,  $LF$ - и  $VLF$ -волн, а также  $VLF\%$ , регистрируемые в условиях клиностаза, отражают влияние ПО АНС на деятельность сердца, причем  $VLF\%$ , вероятно, отражает интенсивность синтеза кардиомиоцитами ненейронального ацетилхолина, в том время как значения  $LF\%$  и  $HF\%$  отра-

жают формирование состояния тревожности в связи с предстоящими стартами.

**Этические нормы.** 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).

**Информированное согласие.** Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

**Вклад авторов в публикацию.** Д.А. Катаев – регистрация кардиоинтервалограммы в полевых условиях, анализ ее параметров, написание статьи, анализ литературы; В.И. Циркин – руководитель научной работы, анализ литературы, работа над статьей; Н.С. Завалин – консультация по использованию методов математической статистики; М.А. Морозова – организация приобретения вегетотестера “ВНС-Микро”, благодаря которому проведено исследование и консультация по его использованию; С.И. Трухина, А.Н. Трухин – научное редактирование, оформление статьи и необходимой документации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. MacInnis M.J., Gibala M.J. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity // *J. Physiol.* 2017. V. 595. № 9. P. 2915.
2. D'Souza A., Sharma S., Boyett M.R. CrossTalk opposing view: bradycardia in the trained athlete is attributable to a downregulation of a pacemaker channel in the sinus node // *J. Physiol.* 2015. V. 593. № 8. P. 1749.
3. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму). Иваново: ООО “Нейрософт”, 2017. 516 с.
4. de Geus E.J.C., Gianaros P.J., Brindle R.C. et al. Should heart rate variability be “corrected” for heart rate? Biological, quantitative, and interpretive considerations // *Psychophysiology.* 2019. V. 56. № 2. P. e13287.
5. Hayano J., Yuda E. Pitfalls of assessment of autonomic function by heart rate variability // *J. Physiol. Anthropol.* 2019. V. 38. № 1. P. 3.
6. Catai A.M., Pastre C.M., Godoy M.F. et al. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation check list of procedures // *Braz. J. Phys. Ther.* 2020. V. 24. № 2. P. 91.
7. Perrone M.A., Volterrani M., Manzi V. et al. Heart rate variability modifications in response to different types of exercise training in athletes // *J. Sports. Med. Phys. Fitness.* 2021. V. 61. № 10. P. 1411.
8. 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.
9. Гаврилова Е.А. Спорт, стресс, вариабельность: монография. М.: Спорт, 2015. 168 с.
10. Шлык Н.И., Лебедев А.С., Вершинина О.С. Оценка качества тренировочного процесса у лыжников-гонщиков и биатлонистов по результатам ежедневных исследований вариабельности сердечного ритма // *Наука и спорт: современные тенденции.* 2019. Т. 7. № 2. С. 92.  
Shlyk N.I., Lebedev A.S., Vershinina O.S. Assessment of training process quality of cross-country skiers and biathletes by the results of the daily researches of heart rate variability // *Science and Sport: Current Trends.* 2019. V. 7. № 2. P. 92.
11. 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.* 2020. V. 16. № 6. P. 900.
12. Литвин Ф.Б., Аносов И.П., Асямолов П.О. и др. Сердечный ритм и система микроциркуляции у лыжников в предсоревновательном периоде спортивной подготовки // *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле.* 2012. № 1. С. 67.  
Litvin F.B., Anosov I.P., Asyamolov P.O. et al. Warm rhythm and system of microcirculation at skiers in the precompetitive period of sports preparation // *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences.* 2012. № 1. P. 67.
13. Шлык Н.И. Нормативы вариационного размаха кардиоинтервалов в покое и ортостазе при разных типах регуляции у лыжников-гонщиков в тренировочном процессе // *Наука и спорт: современные тенденции.* 2021. Т. 9. № 4. С. 35.  
Shlyk N.I. Standards of the variational range of cardiac intervals at rest and during an orthostatic challenge with different types of regulation in ski racers in the training process // *Science and Sport: Current Trends.* 2021. V. 9. № 4. P. 35.
14. Fazackerley L.F., Fell J.W., Kitic C.M. The effect of an ultra-endurance running race on heart rate variability // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2019. V. 119. № 9. P. 2001.
15. 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. Sports. Med.* 2019. V. 40. № 8. P. 519.
16. Tønnessen E., Sylta Ø., Haugen T.A. et al. The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance // *PLoS One.* 2014. V. 9. № 7. P. e101796.
17. Sandbakk Ø., Holmberg H.C. Physiological capabilities and training regimen of elite cross-country skiers: ap-

- proaching the upper limits of human endurance // *Int. J. Sports. Physiol. Perform.* 2017. V. 12. № 8. P. 1003.
18. *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.
  19. *Torvik P.Ø., Solli G.S., Sandbakk Ø.* Training characteristics of world-class male Long-distance runners // *Front. Sports. Act. Living.* 2021. V. 3. P. 641389.
  20. *Баталов А.Г., Бурдина М.Е.* Подходы к моделированию индивидуальных целевых систем соревнований лыжниц-гонщиц в периоды подготовки к олимпийским зимним играм и чемпионатам мира / *Материалы Всероссийской научно-практической конференции "Актуальные вопросы подготовки лыжников-гонщиков высокой квалификации"* 17–20 мая 2011 г. Смоленск: СГАФКСТ, 2001. С. 21.
  21. *Грушин А.А.* Спортивная подготовка высококвалифицированных лыжниц-гонщиц на стадии максимальной реализации спортивных достижений / *Учебное пособие для самостоятельной работы студентов.* М.: Физическая культура, 2014. 106 с.
  22. *Ландырь А.П., Ачкасов Е.Е.* Мониторинг частоты сердечных сокращений в управлении тренировочным процессом в физической культуре и спорте. М.: Спорт, 2018. С. 54.
  23. *Stöggl T.L., Hertlein M., Brunauer R. et al.* Pacing, exercise intensity, and technique by performance level in long-distance cross-country skiing // *Front. Physiol.* 2020. V. 11. P. 17.
  24. *Seiler S.* What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? // *Int. J. Sports. Physiol. Perform.* 2010. V. 5. № 3. P. 276.
  25. *West S.W., Clubb J., Torres-Ronda L. et al.* More than a metric: how training load is used in elite sport for athlete management // *Int. J. Sports. Med.* 2021. V. 42. № 4. P. 300.
  26. *Calbet J.A., Jensen-Urstad M., van Hall G. et al.* Maximal muscular vascular conductances during whole body upright exercise in humans // *J. Physiol.* 2004. V. 558. № 1. P. 319.
  27. *Martin S.A., Hadmaş R.M.* Individual adaptation in cross-country skiing based on tracking during training conditions // *Sports (Basel).* 2019. V. 7. № 9. P. 211.
  28. *Tønnessen E., Hisdal J., Ronnestad B.R.* Influence of interval training frequency on time-trial performance in elite endurance athletes // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020. V. 17. № 9. P. 3190.
  29. *Стентон Г.* Медико-биологическая статистика / Пер. с англ. М.: Практика, 1998. 459 с.
  30. *Виколов А.Д., Бочаров М.В., Каунина Д.В., Бойков В.Л.* Регуляция сердечной деятельности у спортсменов высокой квалификации // *Вестник спортивной науки.* 2017. № 2. С. 31.  
*Vikulov A.D., Bocharov M.V., Kaunina D.V., Bojkov V.L.* [Regulation of cardiac activity in highly qualified athletes] // *Vestnik Sportivnoj Nauki.* 2017. № 2. P. 31.
  31. *Kučera M., Hrabovská A.* [Cholinergic system of the heart] // *Ceska Slov. Farm.* 2015. V. 64. № 6. P. 254.
  32. *Lewartowski B., Mackiewicz U.* The non-neuronal heart's acetylcholine in health and disease // *J. Physiol. Pharmacol.* 2015. V. 66. № 6. P. 773.
  33. *Roy A., Dakroub M., Tezini G.C. et al.* Cardiac acetylcholine inhibits ventricular remodeling and dysfunction under pathologic conditions // *FASEB J.* 2016. V. 30. № 2. P. 688.
  34. *Saw E.L., Kakinuma Y., Fronius M., Katare R.* The non-neuronal cholinergic system in the heart: A comprehensive review // *J. Mol. Cell. Cardiol.* 2018. V. 125. P. 129.
  35. *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.
  36. *Bader S., Klein J., Diener M.* Choline acetyltransferase and organic cation transporters are responsible for synthesis and propionate-induced release of acetylcholine in colon epithelium // *Eur. J. Pharmacol.* 2014. V. 733. P. 23.
  37. *Kim G.-M., Woo J.-M.* Determinants for Heart Rate Variability in a Normal Korean Population // *J. Korean Med. Sci.* 2011. V. 26. № 10. P. 1293.
  38. *Takabatake N., Nakamura H., Minamihaba O. et al.* A novel pathophysiological phenomenon in cachectic patient with chronic obstructive pulmonary disease: the relationship between the circadian rhythm of circulation leptin and very low frequency component of heart rate variability // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2001. V. 163. № 6. P. 1314.
  39. *Воронина Г.А., Ефремова Р.И.* Особенности вариабельности сердечного ритма юных лыжников в зависимости от периода спортивной подготовки / *Вариабельность сердечного ритма: Теоретические аспекты и практическое применение* // *Материалы V Всерос. симпоз. с междунар. участием, Ижевск, 26–28 октября 2011 г.* Ижевск: УдГУ, 2011. С. 235.
  40. *Циркин В.И., Трухин А.Н., Трухина С.И.* Холин- и моноаминергические трансмиссерные системы в норме и патологии. Киров: ВятГУ, 2020. 292 с.
  41. *MacInnis M.J., Gibala M.J.* Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity // *J. Physiol.* 2017. V. 595. № 9. P. 2915.
  42. *Chen C.C.W., Erlich A.T., Hood D.A.* Role of Parkin and endurance training on mitochondrial turnover in skeletal muscle // *Skelet. Muscle.* 2018. V. 8. № 1. P. 10.
  43. *Granata C., Jamnick N.A., Bishop D.J.* Principles of exercise prescription, and how they influence exercise-induced changes of transcription factors and other regulators of mitochondrial biogenesis // *Sports. Med.* 2018. V. 48. № 7. P. 1541.
  44. *Cheng A.J., Jude B., Lanner J.T.* Intramuscular mechanisms of overtraining // *Redox. Biol.* 2020. V. 35. P. 101480.
  45. *Mesquita P.H.C., Vann C.G., Phillips S.V. et al.* Skeletal muscle ribosome and mitochondrial biogenesis in response to different exercise training modalities // *Front. Physiol.* 2021. V. 12. P. 725866.

## Dynamics of TP, HF-, LF- and VLF- Waves of the Cardiointervalogram (in Clinostasis Conditions) of an Elite Ski Racer in the Preparatory, Competitive and Transitional Periods, Depending on the Volume and Intensity of Training Loads

D. A. Kataev<sup>a, b, \*</sup>, V. I. Tsirkin<sup>c, \*\*</sup>, N. S. Zavalin<sup>d</sup>, M. A. Morozova<sup>a</sup>,  
A. N. Trukhin<sup>a</sup>, S. I. Trukhina<sup>a, \*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Vyatka State University, Kirov, Russia

<sup>b</sup>Federation of Cross-Country Skiing of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

<sup>c</sup>Kazan State Medical University, Kazan, Russia

<sup>d</sup>Kirov State Medical University, Kirov, Russia

\*E-mail: den.cataev2014@yandex.ru

\*\*E-mail: esbartsirkin@list.ru

\*\*\*E-mail: trukhinasvetlana@yandex.ru

In order to study the mechanisms of adaptation to loads requiring high endurance, the 27-year-old master of Sports of Russia in cross-country skiing repeatedly recorded a cardiointervalogram (CIG) under clinostasis conditions, estimating TP, absolute power ( $mc^2$ ) of LF-, HF- and VLF-waves and the relative (as a percentage of TP) power of these waves, i.e. LF%, HF% and VLF%. They were compared with the volume ( $V_{km}$ ,  $V_{min}$ ) and intensity ( $N_{hr}$ ) of training loads. The volume of loads was maximum in the preparatory period (21 km/day) and it is minimal in the transition period (18 km/day), and their intensity throughout the annual cycle was stable (working pulse – 120–121 beats/min). With the change in the volume of loads, the values of the KIG indicators also changed. So, in the preparatory period, the medians of TP, the power of HF-, LF- and VLF-waves, as well as VLF% increase; in this period, with an increase in the volume of loads ( $V_{km}$ ), the values of VLF% increase. In the competitive period, the medians of TP, the power of HF-, LF- and VLF-waves and VLF% remain at a high level. In the transition period, the median of TP, the power HF-, LF- and VLF-waves, as well as LF% and VLF%, but the median of HF% increases. For the annual cycle, a direct dependence of the median of TP on the volume of loads ( $V_{km}$ ) and the median power of VLF waves on the volume ( $V_{km}$ ) and intensity ( $N_{hr}$ ) of the load was revealed. It is postulated that the values of TP, HF-, LF-, and VLF-waves, as well as VLF% (in clinostasis) reflect the influence of the Cholinergic system on the heart, while VLF% probably reflects the intensity of synthesis of non-neuronal heart's acetylcholine, and the values of LF% and HF% reflect the formation of anxiety in connection with upcoming starts.

*Keywords:* cross-country skiing, adaptation to physical exertion, autonomous nervous system, heart rate variability, total spectrum power, absolute and relative power of HF-, LF- and VLF-waves, periods of the annual cycle of skiers.