

ПРИРОДА ОБЩЕЙ МОЩНОСТИ СПЕКТРА И ОЧЕНЬ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН КАРДИОИНТЕРВАЛОГРАММЫ С ПОЗИЦИЙ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА К ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ (обзор)¹

*Д.А. Катаев**/** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8051-3521>
*В.И. Циркин**/*** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3467-3919>
*В.В. Кишкина**/**** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2467-5275>
*С.И. Трухина** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3888-1993>
*А.Н. Трухин** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7259-7078>

*Вятский государственный университет
(г. Киров)

**Федерация лыжных гонок Республики Татарстан
(Республика Татарстан, г. Казань)

***Казанский государственный медицинский университет
(Республика Татарстан, г. Казань)

****Городская клиническая больница № 1
(г. Челябинск)

Известно, что вариабельность сердечного ритма, оцениваемая по параметрам кардиоинтервалографии, отражает влияние вегетативной нервной системы и биологически активных веществ на деятельность сердца. По этой причине метод кардиоинтервалографии находит широкое применение в спорте, т. к. раскрывает механизмы адаптации человека к двигательной активности. Настоящая статья анализирует сведения о средних значениях или медианах общей мощности спектра, а также абсолютной и относительной мощности очень низкочастотных (VLF-) волн кардиоинтервалограммы у спортсменов в положении лежа. Выбор этих трех показателей более чем из 30 других связан с их информативностью и дискуссионностью вопроса о природе VLF-волн. Данные литературы и неопубликованные результаты исследований авторов статьи

¹Вклад авторов: Катаев Д.А. – регистрация кардиоинтервалограммы в полевых условиях, анализ ее параметров, написание статьи, анализ литературы; Циркин В.И. – руководство научной работой, анализ литературы, работа над статьей; Кишкина В.В. – проведение суточного мониторинга ЭКГ 60 подростков; Трухина С.И., Трухин А.Н. – научное редактирование, оформление статьи и необходимой документации.

Ответственный за переписку: Трухина Светлана Ивановна, адрес: 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36; e-mail: trukhinasvetlana@yandex.ru

Для цитирования: Катаев Д.А., Циркин В.И., Кишкина В.В., Трухина С.И., Трухин А.Н. Природа общей мощности спектра и очень низкочастотных волн кардиоинтервалограммы с позиций адаптации организма человека к двигательной активности (обзор) // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 1. С. 95–107. DOI: 10.37482/2687-1491-Z134

позволяют заключить, что у спортсменов указанные показатели зависят от многих факторов, в т. ч. от спортивной специализации (они особенно высоки в видах спорта, связанных с формированием аэробной выносливости), уровня спортивного мастерства (они максимальны у элитных спортсменов), объема и интенсивности тренировочных нагрузок. Для элитных спортсменов-лыжников характерно изменение изучаемых показателей variability сердечного ритма на протяжении спортивного сезона: они возрастают в подготовительный период, сохраняются на высоком уровне или даже увеличиваются в соревновательный период и снижаются в переходный, что определяется соответствующей динамикой объема тренировочных нагрузок. Авторы статьи полагают, что рост рассматриваемых показателей свидетельствует об усилении влияния парасимпатического отдела вегетативной нервной системы и ненеуронального ацетилхолина на деятельность сердца под воздействием больших объемов тренировочных нагрузок. По мнению авторов, значения этих трех показателей variability сердечного ритма отражают уровень аэробной двигательной активности (чем они выше, тем выше эта активность).

Ключевые слова: спортсмены, адаптация к физическим нагрузкам, вегетативная нервная система, variability сердечного ритма, общая мощность спектра, мощность VLF-волн, ненеурональный ацетилхолин, периоды тренировочного цикла.

Условием эффективной подготовки спортсменов является переход от эмпирического построения тренировки к научно обоснованному управлению [1]. В этом отношении интерес представляет анализ variability сердечного ритма (ВСР), который позволяет дать оценку состоянию вегетативной (автономной) нервной системы (ВНС), участвующей в процессах адаптации организма спортсмена к интенсивной мышечной деятельности [2–4].

Анализ ВСР основан на оценке динамики длительности интервалов R-R электрокардиограммы (ЭКГ), которая определяется влиянием симпатического (СО) и парасимпатического (ПО) отделов ВНС, а также ряда биологически активных веществ ненеурональной природы на деятельность сердца [2, 5, 6]. При доминировании СО ВНС повышается частота сердечных сокращений (ЧСС), уменьшаются длительность интервала R-R и его variability, а при доминировании ПО ВНС наблюдаются противоположные особенности [2, 5, 6]. Для ВСР характерен циркадный ритм, указывающий на повышение влияния ПО ВНС в вечернее и ночное время [5, 6]. Рабочая группа Европейского кардиологического общества и Североамериканского общества по стимуляции и электрофизиологии (ESC и

NASPLE) рекомендовала использовать ряд временных и спектральных показателей, значения которых определяются при математическом анализе кардиоинтервалограммы (КИГ) [5–7]. Спектральные показатели выявляют периодические составляющие ВСР. Выделяются три основных вида колебаний на КИГ: высокочастотные (HF-волны), границы которых составляют 0,15–0,40 Гц; низкочастотные (LF-волны) – 0,04–0,15 Гц; очень низкочастотные (VLF-волны) – 0,003–0,04 Гц. При этом сумма всех колебаний трактуется как общий спектр колебаний (TP) [5, 6, 8].

Принято считать, что мощность быстрых (HF-) волн отражает преимущественно влияние на сердце ПО ВНС, а мощность медленных (LF-) волн – влияние СО ВНС, но в отношении природы VLF-волн мнения неоднозначны [2, 5, 6]. При этом часть исследователей полагает, что мощность VLF-волн демонстрирует прямое или косвенное влияние на деятельность сердца катехоламинов, в т. ч. немедиаторного происхождения, а также ангиотензина II и других биологически активных веществ, но другие авторы считают, что мощность VLF-волн отражает более чистую форму симпатической активности, чем мощность LF-волн [2, 5, 6]. Не исключено, что VLF-волны могут описывать

влияние надсегментарных (гипоталамических) центров ВНС на ЧСС [9] либо свидетельствовать о психоэмоциональном напряжении [10]. Полагают, что мощность VLF-волн характеризует импульсную активность афферентных нейронов сердца, модулирующую эфферентные холинергические влияния на сердце [2, 5, 6]. Существует мнение, что повышение мощности VLF-волн отражает энергодефицитное состояние организма, которое нередко возникает при высокоинтенсивных тренировочных нагрузках [11, 12]. Тесную связь VLF-волн с метаболическими процессами в организме подтверждают данные о том, что суточная динамика концентрации лептина повторяет суточную динамику мощности VLF-волн [11]. По мнению клиницистов, вероятность смертности пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями возрастает с уменьшением мощности VLF-волн [13].

Для понимания природы VLF-волн особый интерес представляет относительная их мощность (VLF%), т. е. доля VLF-волн в общей мощности спектра TP, выраженная в процентах. Полагают, что VLF% отражает удельный вклад гуморальных факторов в регуляцию деятельности сердца [5, 14]. Так, показано, что у 16-летних пациентов с сахарным диабетом 1-го типа относительная мощность VLF-волн выше, чем у здоровых сверстников [14]. По данным В.М. Михайлова, при ишемической болезни сердца и при хронической сердечной недостаточности на фоне выраженного угнетения вагусной активности и снижения барорефлекторной регуляции, наряду со снижением общей спектральной мощности (TP), в структуре ВСП начинает преобладать VLF-компонент и поэтому VLF% может достигать 70 или даже 87 % [5]. Это, по мнению автора, указывает на модулирующую роль метаболитов, в т. ч. ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, в регуляции деятельности сердца, реализуемой с участием СО и ПО ВНС [5].

В связи с расширением использования КИГ в спортивной практике как метода диагностики состояния здоровья спортсмена

и эффективности тренировочного процесса возникает потребность в систематизации конкретных значений различных показателей ВСП, рекомендованных рабочей группой ESC и NASPLE, число которых превышает 30 [2, 5, 6, 8, 9]. При этом очевидно, что при такой систематизации необходим учет спортивной специализации и многих других факторов, от которых зависит процесс адаптации к мышечным нагрузкам различной интенсивности и длительности. Поэтому целью нашей работы явилась систематизация данных о средних значениях или медианах трех показателей ВСП: TP, абсолютной и относительной (в процентах от TP) мощности VLF-волн – у спортсменов в зависимости от их специализации, уровня мастерства (начинающий спортсмен, кандидат в мастера спорта (КМС), мастер спорта (МС), мастер спорта международного класса (МСМК), элитный спортсмен), объема и интенсивности спортивной тренировки в различные периоды годичного цикла. В связи с тем, что подобных сведений в литературе немного, мы дополнили обзор данными, полученными нами, часть из которых представляет результаты исследования лыжников-гонщиков на протяжении годичного цикла. Выбор показателей для данной статьи связан с тем, что TP является интегральным показателем ВСП [2, 5, 6, 8, 9], а анализ динамики относительной мощности VLF-волн позволит углубить представление о природе этих волн, которое, как отмечено выше, неоднозначно. Сведения о других показателях ВСП у спортсменов планируется рассмотреть в других наших обзорных статьях.

Исследование хоккеистов, пловцов, тяжелоатлетов (КМС, МС, МСМК) выявило следующее: показатель TP был самым высоким у хоккеистов (8649 мс²), меньше – у пловцов (4546 мс²) и еще меньше – у тяжелоатлетов (2871 мс²); абсолютная мощность VLF-волн составила 3616, 1229, 1158 мс² соответственно, относительная мощность – 41,8, 27,0 и 40,3 % соответственно [15]. Таким образом, установлено, что TP, а также абсолютная и относитель-

ная мощность VLF-волн зависят от спортивной специализации. При этом авторы [15] полагают, что VLF-волны отражают интенсивность ресинтеза аденозинтрифосфата.

По мнению В.М. Михайлова, повышение функционального состояния организма при тренировках на выносливость ведет к увеличению ТР, главным образом за счет HF-волн, отражающих влияние на сердце вагуса, а при физическом перенапряжении (дезадаптации) повышение ТР происходит за счет роста мощностей LF- или VLF-волн [5].

По данным А.Д. Викулова и соавторов, рост спортивных результатов у МСМК сопровождается увеличением ТР (с 3000 до 11 000 мс² и выше) [16]. Отмечено, что у элитных спортсменов ТР может превышать 19 000 мс² [17]. Показано, что у МСМК по академической гребле средние значения ТР составляют 6561 мс² [18]. Установлено, что у высококвалифицированных спортсменов (КМС, МС, МСМК) разных видов спорта средние значения ТР достигают 5629 мс², а относительной мощности VLF-волн – 24 % [19]. В то же время существует мнение, что высокие значения ТР (более 20 000 мс²) говорят о дисфункции синусового узла и перетренированности [20].

По данным В.М. Михайлова, у мужчин-военнослужащих ТР составляет 2815 мс², а относительная мощность VLF-волн – 26,4 % [5]. Ученый утверждает, что у здоровых лиц молодого возраста относительная мощность VLF-волн не должна превышать 45 %. У здоровых молодых людей (22–36 лет), ведущих малоподвижный образ жизни, ТР составляет 1940 мс², а VLF% – 35 %; у студентов (17–23 лет), занимающихся легкой атлетикой (1-й и 2-й взрослый разряд), – 3778 мс² и 40,2 % соответственно; у парашютистов (26–34 лет) – 5189 мс² и 37,6 %; у кандидатов в космонавты – 2775 мс² и 39,9 %; у профессиональных футболистов (15–41 лет) – 4446 мс² и 38,8 %; у 16-летних хоккеистов (кандидатов в юношескую сборную страны по хоккею с шайбой) – 8743 мс² и 36,7 %; у 14–16-летних мальчиков (учащихся общеобразовательных школ) – 2125 мс² и

38,7 %, а у их сверстниц – 2531 мс² и 31,6 %. В целом В.М. Михайлов полагает, что абсолютная и относительная мощность VLF-волн определяется не возрастом и полом, а уровнем физической подготовленности: чем выше абсолютная и относительная мощность VLF-волн, тем выше уровень подготовки [5].

По данным Е.А. Гавриловой, у высококвалифицированных спортсменов (КМС, МС, МСМК) разных видов спорта ($n = 41$) ТР составляет 5629 мс², а абсолютная и относительная мощность VLF-волн – 1350 мс² и 24 % соответственно [2].

А.Л. Марков при обследовании 15–18-летних юношей и девушек – членов сборных команд Республики Коми по лыжным гонкам (1-й разряд и КМС) – в подготовительный период (июнь 2015, 2016, 2017 годов) получил следующие результаты: медиана ТР у 15–16-летних юношей составила 4578 мс², у 17–18-летних юношей – 4132 мс², а у девушек – 3711 мс² и 3882 мс² соответственно; медиана VLF% у 15–16-летних юношей составила 11,7 %, у 17–18-летних юношей – 17,6 %, а у девушек – 15,2 и 16,8 % соответственно [21]. Автор заключил, что с повышением возраста и физической подготовленности абсолютная и относительная мощность VLF-волн имеет тенденцию к росту, хотя статистически значимых различий по группам не установлено.

Н.И. Шлык и соавторы, регистрируя ВСР у 254 спортсменов в возрасте 18–20 лет (КМС, МС; 10 видов спорта), выделили четыре группы спортсменов в зависимости от (врожденного?) типа вегетативной регуляции сердечного ритма: умеренное (I тип) или выраженное (II тип) преобладание центральной регуляции, умеренное (III тип) или выраженное (IV тип) преобладание автономной регуляции. Установлено, что у лиц I, II, III и IV типов средние значения ТР составили 1810, 1128, 4972 и 9560 мс² соответственно, а значения VLF% – 20,5, 12,0, 13,5 и 12,2 % соответственно [22]. С нашей точки зрения, такое деление на группы отражает спортивную специализацию, и, вероятнее всего, в группу IV вошли спортсмены, тренирующиеся на выносливость.

Исследование 8–12- и 13–16-летних футболистов показало, что по окончании подготовительного периода у 8–12-летних футболистов средние значения ТР варьировали от 1187 до 5949 мс², а у 13–16-летних – от 1075 до 7814 мс²; значения VLF% варьировали соответственно от 8,9 до 16,5 % и от 6,3 до 18,0 % [23]. Все это указывает на широкую вариабельность показателей у детей, адаптирующихся к физическим нагрузкам.

При исследовании 16 спортсменов-лыжников (18–25 лет; 1-й разряд, КМС и МС) установлено следующее: у перворазрядников медиана ТР до сборов составила 5654 мс², по окончании сборов – 5957 мс²; у КМС – 7516 и 6206 мс² соответственно, а у МС – 12 580 и 12 779 мс² соответственно. Медиана VLF% у перворазрядников до сборов составила 25,0 %, после сборов – 23,7 %; у КМС – 6,7 и 21,6 % соответственно, а у МС – 2,7 и 2,4 % соответственно [10]. Эти данные позволяют нам заключить, что у лыжников: 1) по мере повышения спортивного мастерства возрастает ТР, но снижается относительная мощность VLF-волн; 2) тренировочные сборы могут повышать ТР и относительную мощность VLF-волн или, наоборот, снижать их, что, вероятно, зависит от правильно подобранных тренировочных нагрузок.

При оценке ВСР у 39 игроков профессионального волейбольного клуба «Зенит-Казань» и сборной России в соревновательный период средние значения ТР зафиксированы на уровне 4803 мс², при этом минимальные и максимальные значения составили 1265 и 27 104 мс² соответственно, а среднее значение VLF% – 12,7 % при минимальном значении 2,9 %, максимальном – 45,6 % [3]. Таким образом, значения ТР и VLF% имеют большой индивидуальный разброс, несмотря на занятия одним и тем же видом спорта.

Исследование 11 шорт-трековиков (КМС и МС) в возрасте от 16 до 22 лет (7 юношей и 4 девушки) установило: у юношей ТР составил 3179 мс², VLF% – 26,7 %, а у девушек – 2659 мс² и 42 % [4]. Эти данные, как и приводимые выше, свидетельствуют о том, что указанные показатели ВСР зависят от пола спортсменов.

По неопубликованным данным заочного аспиранта кафедры биологии и методики преподавания биологии Вятского государственного университета, врача городской клинической больницы № 1 г. Челябинска В.В. Кишкиной (2017), полученным при суточном мониторинге ЭКГ 60 подростков 15–16 лет, из которых 20 не занимались спортом (группа 1), 20 – занимались в спортивных секциях легкой атлетикой или плаванием (группа 2), а остальные 20 – занимались футболом или баскетболом (группа 3), медиана абсолютной мощности VLF-волн на 5-минутном интервале суточной записи ЭКГ в группах 1, 2 и 3 составила 4270, 6572 и 5754 мс² соответственно (различия группы 1 с группами 2 и 3 статистически значимы по критерию Манна–Уитни, $p < 0,05$). Эти данные указывают на то, что под влиянием высокой двигательной активности абсолютная мощность VLF-волн возрастает.

Нами были проанализированы показатели ВСР Д.А. Катаева (далее – спортсмен К.Д.), первого автора этой статьи, 27-летнего мастера спорта по лыжным гонкам, имеющего 17-летний стаж специализации и входящего в число элитных лыжников России. Данные были получены при самоисследовании спортсмена на протяжении спортивного сезона 2019–2020 годов. Замеры показателей ВСР осуществлялись в подготовительный, соревновательный и переходный периоды, при этом учитывались объем и интенсивность нагрузок в процессе учебно-тренировочных сборов и соревнований в составе команды лыжников Республики Татарстан. Спортсмен К.Д. регулярно, на следующий день после тренировок или соревнований регистрировал КИГ в положении клиностаза утром до приема пищи, используя медицинскую диагностическую систему «ВНС-Микро» («Нейрософт», г. Иваново), а для интерпретации КИГ – программу «Поли-Спектр» этой же компании. Установлено, что у К.Д. медиана ТР менялась на протяжении очередного спортивного сезона от 5755 до 11 100 мс², в т. ч. повышалась в подготовительный период (до 9473 мс²), сохранялась высокой в соревнова-

тельный период (8047 мс²) и снижалась в переходный период (до 6961 мс²). Это говорит о высокой активности ПО ВНС в подготовительный и соревновательный периоды (рис. 1).

на протяжении спортивного сезона (от 1711 до 3361 мс²), в т. ч. повышалась в подготовительный период (до 2818 мс²), сохранялась примерно на том же уровне в соревновательный пери-

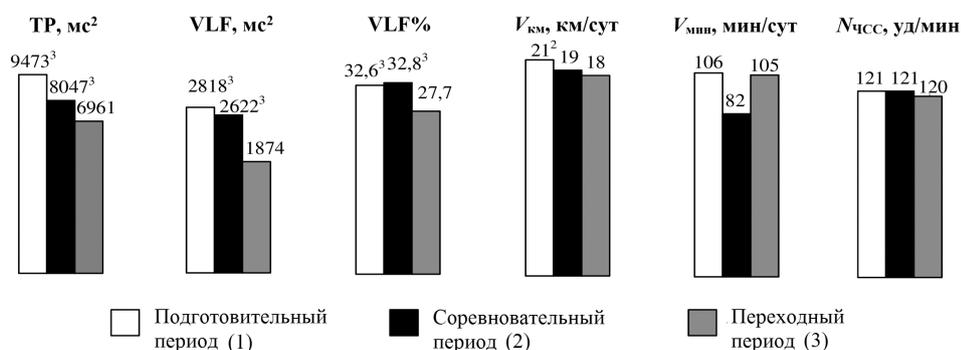


Рис. 1. Динамика медиан общей мощности спектра (TP), абсолютной (VLF) и относительной (VLF%) мощности очень низкочастотных волн ВСР, а также объема тренировочных нагрузок в километрах пути ($V_{км}$), длительности тренировки ($V_{мин}$) и ее интенсивности, характеризуемой величиной «рабочего» пульса ($N_{чсс}$), у элитного лыжника-гонщика К.Д. в подготовительный, соревновательный и переходный периоды тренировочного цикла (цифры в индексе означают статистическую значимость различий с соответствующим периодом по критерию Манна–Уитни, $p < 0,05$)

Fig. 1. Dynamics of the median values of the total power (TP) and absolute (VLF) and relative (VLF%) power of very low frequency waves of the HRV spectrum, as well as training load volume in kilometres ($V_{км}$), duration of the training session ($V_{мин}$) and its intensity characterized by the “working” pulse (N_{HR}) in an elite cross-country skier during the preparatory, competitive and transition phases of the training year (index numbers stand for statistical significance of differences from the relevant phase according to the Mann–Whitney U test, $p < 0.05$)

При этом в подготовительный и переходный периоды медиана TP варьировала от месяца к месяцу, в то время как в соревновательный период она была относительно стабильна (рис. 2). Расчет коэффициента Спирмена показал, что медиана TP находилась в прямой зависимости от объема тренировочной нагрузки, выраженного длиной маршрута бега за день тренировки ($V_{км}$). Она также зависела от интенсивности тренировочных нагрузок ($N_{чсс}$), которую оценивали по величине «рабочего» пульса (ЧСС в минуту) при тренировке. Таким образом, нами было впервые показано, что с повышением объема и интенсивности тренировочной нагрузки TP возрастает, и наоборот.

Нами установлено, что медиана абсолютной мощности VLF-волн у К.Д. также менялась

од (2622 мс²) и снижалась в переходный период (до 1874 мс²). При этом в подготовительный период между отдельными его месяцами выявлены статистически значимые различия, но в соревновательный и переходный периоды таких различий не отмечено.

Медиана относительной мощности VLF-волн, выраженная в процентах от TP, также менялась на протяжении спортивного сезона (от 24,1 до 49,1 %), в т. ч. повышалась в подготовительный период (до 32,6 %), сохранялась на высоком уровне в соревновательный период (32,8 %) и снижалась в переходный период (до 27,7 %). В подготовительный и переходный периоды между отдельными месяцами выявлены статистически значимые различия по данному показателю ($p < 0,05$), а в соревновательный

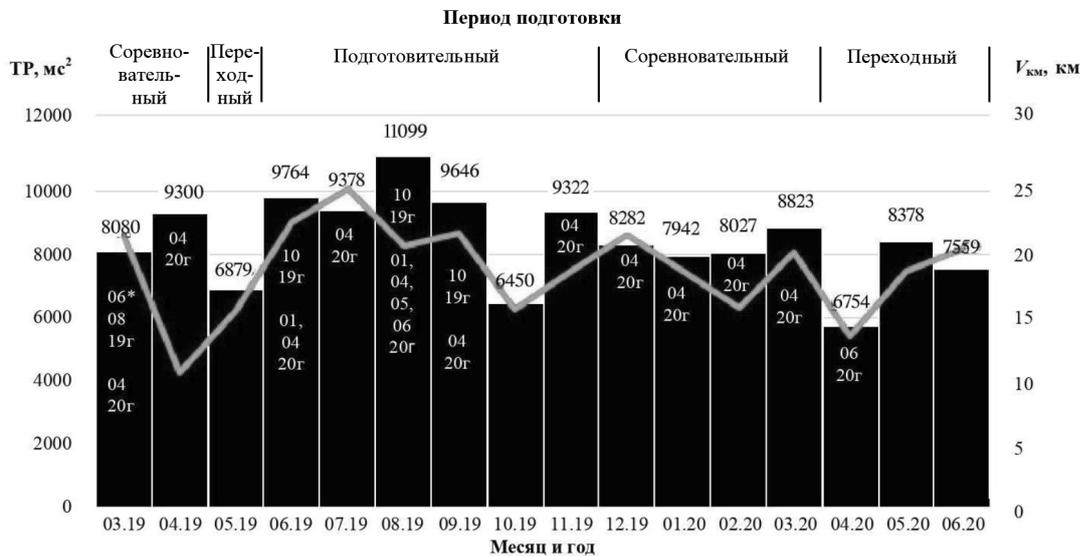


Рис. 2. Динамика медиан общей мощности спектра ВСП (ТР; столбцы) и объема тренировочной нагрузки ($V_{км}$; линейный график) у элитного лыжника-гонщика К.Д. на протяжении спортивного сезона 2019–2020 годов (числа внутри столбцов отражают месяцы, от которых данный месяц статистически значимо (критерий Манна–Уитни, $p < 0,05$) отличается по ТР)

Fig. 2. Dynamics of the total power median of the HRV spectrum (TP; columns) and training load volume ($V_{км}$; line graph) of an elite cross-country skier during the training year 2019–2020 (numbers in the columns stand for the months from which this month is statistically significantly (according to the Mann–Whitney U test, $p < 0.05$) different in terms of TP values)

период таких различий не обнаружено. Показано, что медиана VLF% возрастает с повышением объема тренировочных нагрузок ($V_{км}$), но это характерно лишь для подготовительного периода.

Параллельно с саморегистрацией КИГ Д.А. Катаев на тех же учебно-тренировочных сборах и на соревнованиях, т. е. в подготовительный и соревновательный периоды, регистрировал в условиях клиностаза КИГ у остальных 7 членов сборной команды Татарстана по лыжным гонкам, среди которых 5 МС и 2 МСМК. Обработка этих данных вместе с данными К.Д., описанными выше, показала (рис. 3), что на протяжении рассматриваемых периодов тренировочного цикла медианы ТР, абсолютной и относительной мощности VLF-волн менялись. В частности, максимальные значения медианы ТР наблюдались в подготовительный период (9923 мс²), более низкие – в соревновательный период (7864 мс²). Это означает, что ПО ВНС

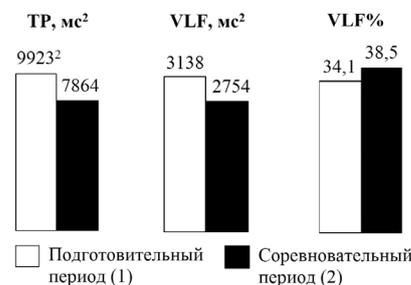


Рис. 3. Динамика медиан общей мощности спектра (ТР), абсолютной (VLF) и относительной (VLF%) мощности очень низкочастотных волн ВСП у лыжников-гонщиков сборной Республики Татарстан в подготовительный и соревновательный периоды (цифры в индексе означают статистическую значимость различий с соответствующим периодом по критерию Манна–Уитни, $p < 0,05$)

Fig. 3. Dynamics of the median values of the total power (TP), absolute (VLF) and relative (VLF%) power of very low frequency waves of the HRV spectrum in cross-country skiers of the national team of the Republic of Tatarstan during the preparatory and competitive phases (index numbers stand for statistical significance of differences from the relevant phase according to the Mann–Whitney U test, $p < 0.05$)

имеет более высокую активность в подготовительный период, чем в соревновательный. Медиана абсолютной мощности VLF-волн также достигала максимума в подготовительный период (3138 мс²), а в соревновательный период она незначительно снижалась (до 2754 мс²). Медиана относительной мощности VLF-волн, наоборот, была выше в соревновательный период (38,5 %), чем в подготовительный (34,1 %).

Обзор литературы, касающейся влияния двигательной активности (спорта) на показатель TP, а также на абсолютную и относительную мощность VLF-волн ВСП человека в зависимости от его возраста, пола, спортивной специализации, уровня спортивного мастерства, объема и интенсивности тренировочных и соревновательных нагрузок, продемонстрировал дискуссионность вопроса. На основании данных литературы можно утверждать, что показатели TP и относительная мощность VLF-волн отражают преимущественно влияние ПО ВНС на деятельность сердца, которое повышается по мере взросления ребенка, особенно если он занимается в спортивных секциях, а также по мере роста спортивного мастерства. Показатели TP и VLF% зависят от спортивной специализации: они особенно высоки, если вид спорта связан с формированием аэробной выносливости. Для элитных спортсменов (МС, МСМК) характерно изменение TP, а также абсолютной и относительной мощности VLF-волн на протяжении спортивного сезона: они возрастают, как правило, в подготовительный период, сохраняются на том же уровне или даже увеличиваются в соревновательный период и снижаются в переходный период, что определяется, вероятнее всего, объемом тренировочной нагрузки и ее интенсивностью. Наши наблюдения позволили впервые оценить влияние объема и интенсивности тренировочных нагрузок на исследуемые показатели. В частности, показано, что с повышением объема нагрузки возрастают TP и относительная мощность VLF-волн. Эта закономерность, однако, статистически значимо ($p < 0,05$) проявляется лишь в подготовительный период. С этих позиций можно сделать важный в

практическом отношении вывод: *об уровне двигательной активности человека можно судить по показателю TP и, вероятно, относительной мощности VLF-волн (выраженной в процентах от TP) КИГ, зарегистрированной у человека в положении лежа.*

В целом мы полагаем, что TP и VLF% отражают интенсивность влияния ПО ВНС на сердце. Это объяснение согласуется с общепринятым мнением о том, что при тренировках на выносливость возрастает активность ПО ВНС [24]. С учетом современных представлений о способности миокарда [25, 26] и других тканей организма [27] синтезировать так называемый ненеурональный ацетилхолин (АХ) [25, 26, 28] полагаем, что ваготония, характерная для спортсменов, тренирующихся на выносливость [29], обусловлена тем, что в процессе тренировок миокард приобретает способность к синтезу АХ, который обладает способностью мощного антиоксиданта, благодаря чему удаляются свободные радикалы, возникающие, например, при интенсивной активации бета₁-адренорецепторов [28, 30]. Это повышает жизнеспособность кардиомиоцитов, вызывает физиологическую гипертрофию миокарда и улучшает производительность сердца как насоса.

Что же лежит в основе способности кардиомиоцитов синтезировать АХ? Очевидно, что для адаптации организма к нагрузкам, требующим высокой выносливости, т. е. высокой интенсивности ресинтеза АТФ в течение относительно длительного отрезка времени, необходим высокий уровень антиоксидантов и факторов, препятствующих апоптозу. Этим свойством, как известно, обладает АХ [25, 31]. Установлено, 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 [31]. Известно, что при тренировках на выносливость повышается интенсивность митохондриального биогенеза, т. е. увеличивается сеть митохондрий в скелетных мышцах и миокарде [32, 33]. Это создает условия для постоянного синтеза

АХ в кардиомиоцитах, чему, вероятно, также способствует повышение в кардиомиоцитах экспрессии гена холинацетилтрансферазы, участвующей в синтезе АХ [25, 27, 28]. С учетом всего сказанного сформулируем второй

важный вывод данной статьи: *показатели TP и, особенно, VLF% отражают становление нейронального синтеза АХ в миокарде.*

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Li X., Li Y. Sports Training Strategies and Interactive Control Methods Based on Neural Network Models // Comput. Intell. Neurosci. 2022. Art. № 7624578. DOI: [10.1155/2022/7624578](https://doi.org/10.1155/2022/7624578)
2. Гаврилова Е.А. Спорт, стресс, вариабельность: моногр. М.: Спорт, 2015. 168 с.
3. Калабин О.В., Михайлов М.М. Применение экспресс-метода анализа вариабельности ритма сердца для коррекции тренировочного процесса в волейболе // Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение в спорте и массовой физкультуре: материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. (Ижевск, 25–26 мая 2021 г.) / отв. ред. Н.И. Шлык. Ижевск: Изд. центр «Удмурт. ун-т», 2021. С. 152–157.
4. Кротова К.А., Терехов П.А. Особенности вариабельности сердечного ритма у шорт-трековиков при ортостатической пробе с учетом гендерных различий // Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение в спорте и массовой физкультуре: материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. (Ижевск, 25–26 мая 2021 г.) / отв. ред. Н.И. Шлык. Ижевск: Изд. центр «Удмурт. ун-т», 2021. С. 158–162.
5. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму). Иваново: ООО «Нейрософт», 2017. 516 с.
6. Ходырев Г.Н., Хлыбова С.В., Циркин В.И., Дмитриева С.Л. Методические аспекты анализа временных и спектральных показателей вариабельности сердечного ритма (обзор литературы) // Вят. мед. вестн. 2011. № 3-4. С. 60–70.
7. Perek S., Raz-Pasteur A. Heart Rate Variability: The Age-Old Tool Still Remains Current // Harefuah. 2021. Vol. 160, № 8. P. 533–536.
8. Pham T., Lau Z.J., Chen S.H.A., Makowski D. Heart Rate Variability in Psychology: A Review of HRV Indices and an Analysis Tutorial // Sensors (Basel). 2021. Vol. 21, № 12. Art. № 3998. DOI: [10.3390/s21123998](https://doi.org/10.3390/s21123998)
9. Котельников С.А., Ноздрачев А.Д., Одинак М.М., Шустов Е., Коваленко И.Ю., Давыденко В.Ю. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах // Физиология человека. 2002. Т. 28, № 1. С. 130–143.
10. Литвин Ф.Б., Аносов И.П., Асямолов П.О., Васильева Г.В., Мартынов С.В., Жигало В.Я. Сердечный ритм и система микроциркуляции у лыжников в предсоревновательном периоде спортивной подготовки // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер.: Биология. Науки о земле. 2012. Вып. 1. С. 67–74.
11. Takabatake N., Nakamura H., Minamihaba O., Inoue M., Inoue S., Kagaya S., Yamaki M., Tomoike H. A Novel Pathophysiological Phenomenon in Cachexic Patient with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: The Relationship Between the Circadian Rhythm of Circulating Leptin and the Very Low-Frequency Component of Heart Rate Variability // Am. J. Respir. Crit. Care Med. 2001. Vol. 163, № 6. P. 1314–1319. DOI: [10.1164/ajrccm.163.6.2004175](https://doi.org/10.1164/ajrccm.163.6.2004175)
12. 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. симп. с междунар. участием (Ижевск, 26–28 октября 2011 г.) / отв. ред.: Р.М. Баевский, Н.И. Шлык. Ижевск: Изд. центр «Удмурт. ун-т», 2011. С. 235–238.
13. Huang J.-C., Kuo I.-C., Tsai Y.-C., Lee J.-J., Lim L.-M., Chen S.-C., Chiu Y.-W., Chang J.-M., Chen H.-H. Heart Rate Variability Predicts Major Adverse Cardiovascular Events and Hospitalization in Maintenance Hemodialysis Patients // Kidney Blood Press. Res. 2017. Vol. 42, № 1. P. 76–88. DOI: [10.1159/000469716](https://doi.org/10.1159/000469716)
14. Javorka K., Javorková J., Petrásková M., Tonhajzerová I., Buchanec J., Chroma O. Heart Rate Variability and Cardiovascular Tests in Young Patients with Diabetes Mellitus Type 1 // J. Pediatr. Endocrinol. Metab. 1999. Vol. 12, № 3. P. 423–431. DOI: [10.1515/jpem.1999.12.3.423](https://doi.org/10.1515/jpem.1999.12.3.423)
15. Кудря О.Н. Влияние физических нагрузок разной направленности на вариабельность ритма сердца у спортсменов // Бюл. сиб. медицины. 2009. Т. 8, № 1. С. 36–43.
16. Викулов А.Д., Немиров А.Д., Ларионова Е.Л., Шееченко А.Ю. Вариабельность сердечного ритма у лиц с повышенным режимом двигательной активности и спортсменов // Физиология человека. 2005. Т. 31, № 6. С. 54–59.

17. *Гуштурова И.В., Макаров А.Л.* Особенности variability сердечного ритма и центральной гемодинамики у спортсменов легкоатлетов в предсоревновательном периоде // *Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение: материалы V Всерос. симп. с междунар. участием (Ижевск, 26–28 октября 2011 г.)* / отв. ред.: Р.М. Баевский, Н.И. Шлык. Ижевск: Изд. центр «Удмурт. ун-т», 2011. С. 244–248.

18. *Берснев Е.Ю.* Спортивная специализация и особенности вегетативной регуляции сердечного ритма // *Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение: материалы IV Всерос. симп. с междунар. участием (Ижевск, 19–21 ноября 2008 г.)* / отв. ред.: Р.М. Баевский, Н.И. Шлык. Ижевск: Удмурт. гос. ун-т, 2008. С. 42–45.

19. *Дратцев Е.Ю., Викулов А.Д., Турчанинов С.Ю., Алехин В.В.* Регуляция сердечной деятельности и региональный кровоток у спортсменов // *Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение: материалы IV Всерос. симп. с междунар. участием (Ижевск, 19–21 ноября 2008 г.)* / отв. ред.: Р.М. Баевский, Н.И. Шлык. Ижевск: Удмурт. гос. ун-т, 2008. С. 93–97.

20. *Шлык Н.И.* Анализ variability сердечного ритма при ортостатической пробе у спортсменов с разными преобладающими типами вегетативной регуляции в тренировочном процессе // *Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение: материалы V Всерос. симп. с междунар. участием (Ижевск, 26–28 октября 2011 г.)* / отв. ред.: Р.М. Баевский, Н.И. Шлык. Ижевск: Изд. центр «Удмурт. ун-т», 2011. С. 348–369.

21. *Марков А.Л.* Variability сердечного ритма у лыжников-гонщиков Республики Коми 15–18 лет: возрастные и половые различия // *Журн. мед.-биол. исследований.* 2019. Т. 7, № 2. С. 151–160. DOI: [10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.151](https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.151)

22. *Шлык Н.И., Сапожникова Е.Н., Кириллова Т.Г., Жужгов А.П.* Об особенностях ортостатической реакции у спортсменов с разными типами вегетативной регуляции // *Вестн. Удмурт. ун-та. Сер.: Биология. Науки о земле.* 2012. Вып. 1. С. 114–125.

23. *Жигало В.Я.* Исследование функционального состояния футболистов-спортсменов различного возраста // *Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение в спорте и массовой физкультуре: материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. (Ижевск, 25–26 мая 2021 г.)* / отв. ред. Н.И. Шлык. Ижевск: Изд. центр «Удмурт. ун-т», 2021. С. 144–148.

24. *Fazackerley L.A., Fell J.W., Kitic C.M.* The Effect of an Ultra-Endurance Running Race on Heart Rate Variability // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2019. Vol. 119, № 9. P. 2001–2009. DOI: [10.1007/s00421-019-04187-6](https://doi.org/10.1007/s00421-019-04187-6)

25. *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. Vol. 125. P. 129–139. DOI: [10.1016/j.yjmcc.2018.10.013](https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2018.10.013)

26. *Kakinuma Y.* Characteristic Effects of the Cardiac Non-Neuronal Acetylcholine System Augmentation on Brain Functions // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. Vol. 22, № 2. Art. № 545. DOI: [10.3390/ijms22020545](https://doi.org/10.3390/ijms22020545)

27. *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. Vol. 733. P. 23–33. DOI: [10.1016/j.ejphar.2014.03.036](https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2014.03.036)

28. *Kučera M., Hrabovská A.* Cholinergic System of the Heart // *Ceska Slov. Farm.* 2015. Vol. 64, № 6. P. 254–263.

29. *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. Vol. 593, № 8. P. 1749–1751. DOI: [10.1113/jphysiol.2014.284356](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2014.284356)

30. *Roy A., Guatimosim S., Prado V.F., Gros R., Prado M.A.M.* Cholinergic Activity as a New Target in Diseases of the Heart // *Mol. Med.* 2015. Vol. 20, № 1. P. 527–537. DOI: [10.2119/molmed.2014.00125](https://doi.org/10.2119/molmed.2014.00125)

31. *Циркин В.И., Трухин А.Н., Трухина С.И.* Холин- и моноаминергические трансмиссерные системы в норме и патологии: [моногр.]. Киров: Вят. гос. ун-т, 2020. 296 с.

32. *Cheng A.J., Jude B., Lanner J.T.* Intramuscular Mechanisms of Overtraining // *Redox Biol.* 2020. Vol. 35. Art. № 101480. DOI: [10.1016/j.redox.2020.101480](https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101480)

33. *Mesquita P.H.C., Vann C.G., Phillips S.M., McKendry J., Young K.C., Kavazis A.N., Roberts M.D.* Skeletal Muscle Ribosome and Mitochondrial Biogenesis in Response to Different Exercise Training Modalities // *Front. Physiol.* 2021. Vol. 12. Art. № 725866. DOI: [10.3389/fphys.2021.725866](https://doi.org/10.3389/fphys.2021.725866)

References

1. Li X., Li Y. Sports Training Strategies and Interactive Control Methods Based on Neural Network Models. *Comput. Intell. Neurosci.*, 2022, vol. 2022. Art. no. 7624578. DOI: [10.1155/2022/7624578](https://doi.org/10.1155/2022/7624578)
2. Gavrilova E.A. *Sport, stress, variabel'nost'* [Sport, Stress, Variability]. Moscow, 2015. 168 p.
3. Kalabin O.V., Mikhaylov M.M. Primenenie ekspress-metoda analiza variabel'nosti ritma serdtsa dlya korrektsii trenirovochnogo protsessa v voleybole [Application of an Express Method for Analysing Heart Rate Variability to Correct Volleyball Training Process]. Shlyk N.I. (ed.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primeneniye v sporte i massovoy fizkul'ture* [Heart Rate Variability: Theoretical Background and Practical Application in Sports and Mass Culture]. Izhevsk, 2021, pp. 152–157.
4. Krotova K.A., Terekhov P.A. Osobennosti variabel'nosti serdechnogo ritma u short-trekovikov pri ortostatischey probe s uchetom gendernykh razlichiy [Heart Rate Variability in Short Track Speed Skaters During an Orthostatic Test, Adjusted for Gender]. Shlyk N.I. (ed.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primeneniye v sporte i massovoy fizkul'ture* [Heart Rate Variability: Theoretical Background and Practical Application in Sports and Mass Culture]. Izhevsk, 2021, pp. 158–162.
5. Mikhaylov V.M. *Variabel'nost' ritma serdtsa (novyy vzglyad na staruyu paradigmu)* [Heart Rate Variability (New Look at the Old Paradigm)]. Ivanovo, 2017. 516 p.
6. Khodyrev G.N., Khlybova S.V., Tsirkin V.I., Dmitrieva S.L. Metodicheskie aspekty analiza vremennykh i spektral'nykh pokazateley variabel'nosti serdechnogo ritma (obzor literatury) [Methodological Aspects of Analysis of Temporal and Spectral Parameters of Heart Rate Variability (Review)]. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*, 2011, no. 3–4, pp. 60–70.
7. Perek S., Raz-Pasteur A. Heart Rate Variability: The Age-Old Tool Still Remains Current. *Harefuah*, 2021, vol. 160, no. 8, pp. 533–536.
8. Pham T., Lau Z.J., Chen S.H.A., Makowski D. Heart Rate Variability in Psychology: A Review of HRV Indices and an Analysis Tutorial. *Sensors (Basel)*, 2021, vol. 21, no. 12. Art. no. 3998. DOI: [10.3390/s21123998](https://doi.org/10.3390/s21123998)
9. Kotel'nikov S.A., Nozdrachev A.D., Odinak M.M., Shustov E.B., Kovalenko I.Yu., Davydenko V.Yu. Cardiac Rhythm Variability: Approaches to Mechanisms. *Hum. Physiol.*, 2002, vol. 28, no. 1, pp. 114–127.
10. Litvin F.B., Anosov I.P., Asyamolov P.O., Vasil'eva G.V., Martynov S.V., Zhigalo V.Ya. Serdechnyy ritm i sistema mikrotsirkulyatsii u lyzhnikov v pedsorevnovatel'nom periode sportivnoy podgotovki [Heart Rhythm and Microcirculation System in Skiers During the Precompetition Period of Sports Training]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser.: Biologiya. Nauki o zemle*, 2012, no. 1, pp. 67–74.
11. Takabatake N., Nakamura H., Minamihaba O., Inage M., Inoue S., Kagaya S., Yamaki M., Tomoike H. A Novel Pathophysiological Phenomenon in Cachexic Patient with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: The Relationship Between the Circadian Rhythm of Circulating Leptin and the Very Low-Frequency Component of Heart Rate Variability. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2001, vol. 163, no. 6, pp. 1314–1319. DOI: [10.1164/ajrccm.163.6.2004175](https://doi.org/10.1164/ajrccm.163.6.2004175)
12. Voronina G.A., Efremova R.I. Osobennosti variabel'nosti serdechnogo ritma yunyykh lyzhnikov v zavisimosti ot perioda sportivnoy podgotovki [Heart Rate Variability in Young Skiers Depending on the Period of Sports Training]. Baevskiy R.M., Shlyk N.I. (eds.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primeneniye* [Heart Rate Variability: Theoretical Background and Practical Application]. Izhevsk, 2011, pp. 235–238.
13. Huang J.-C., Kuo I.-C., Tsai Y.-C., Lee J.-J., Lim L.-M., Chen S.-C., Chiu Y.-W., Chang J.-M., Chen H.-H. Heart Rate Variability Predicts Major Adverse Cardiovascular Events and Hospitalization in Maintenance Hemodialysis Patients. *Kidney Blood Press. Res.*, 2017, vol. 42, no. 1, pp. 76–88. DOI: [10.1159/000469716](https://doi.org/10.1159/000469716)
14. Javorka K., Javorková J., Petrásková M., Tonhajzerová I., Buchanec J., Chroma O. Heart Rate Variability and Cardiovascular Tests in Young Patients with Diabetes Mellitus Type 1. *J. Pediatr. Endocrinol. Metab.*, 1999, vol. 12, no. 3, pp. 423–431. DOI: [10.1515/jpem.1999.12.3.423](https://doi.org/10.1515/jpem.1999.12.3.423)
15. Kudrya O.N. Vliyanie fizicheskikh nagruzok raznoy napravlenosti na variabel'nost' ritma serdtsa u sportsmenov [The Influence of the Different Direction Physical Tensions for Heart Rate Variability of the Sportsmen]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny*, 2009, vol. 8, no. 1, pp. 36–43.
16. Vikulov A.D., Nemirov A.D., Larionov E.L., Shevchenko A.Yu. Heart Rate Variability in Subjects with Increased Motor Activity and Athletes. *Hum. Physiol.*, 2005, vol. 31, no. 6, pp. 666–671.
17. Gushturova I.V., Makarov A.L. Osobennosti variabel'nosti serdechnogo ritma i tsentral'noy gemodinamiki u sportsmenok legkoatletok v pedsorevnovatel'nom periode [Heart Rate Variability and Central Haemodynamics in Female Athletes During the Precompetition Period]. Baevskiy R.M., Shlyk N.I. (eds.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primeneniye* [Heart Rate Variability: Theoretical Background and Practical Application]. Izhevsk, 2011, pp. 244–248.

18. Bersnev E.Yu. Sportivnaya spetsializatsiya i osobennosti vegetativnoy regulyatsii serdechnogo ritma [Sports Specialization and Features of the Autonomic Regulation of Heart Rhythm]. Baevskiy R.M., Shlyk N.I. (eds.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primeneniye* [Heart Rate Variability: Theoretical Background and Practical Application]. Izhevsk, 2008, pp. 42–45.

19. Drattsev E.Yu., Vikulov A.D., Turchaninov S.Yu., Alekhin V.V. Regulyatsiya serdechnoy deyatelnosti i regional'nyy krovotok u sportsmenov [Cardiac Activity Regulation and Regional Blood Flow in Athletes]. Baevskiy R.M., Shlyk N.I. (eds.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primeneniye* [Heart Rate Variability: Theoretical Background and Practical Application]. Izhevsk, 2008, pp. 93–97.

20. Shlyk N.I. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ortostaticheskoy probe u sportsmenov s raznymi preobladayushchimi tipami vegetativnoy regulyatsii v trenirovochnom protsesse [Analysis of Heart Rate Variability During an Orthostatic Test in Athletes with Different Prevailing Types of Autonomic Regulation in the Training Process]. Baevskiy R.M., Shlyk N.I. (eds.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primeneniye* [Heart Rate Variability: Theoretical Background and Practical Application]. Izhevsk, 2011, pp. 348–369.

21. Markov A.L. Heart Rate Variability in Cross-Country Skiers Aged 15–18 Years Living in the Komi Republic: Age- and Sex-Related Differences. *J. Med. Biol. Res.*, 2019, vol. 7, no. 2, pp. 151–160. DOI: [10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.151](https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.151)

22. Shlyk N.I., Sapozhnikova E.N., Kirillova T.G., Zhuzhgov A.P. Ob osobennostyakh ortostaticheskoy reaktsii u sportsmenov s raznymi tipami vegetativnoy regulyatsii [Orthostatic Response in Athletes with Different Types of Autonomic Regulation]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser.: Biologiya. Nauki o zemle*, 2012, no. 1, pp. 114–125.

23. Zhigalo V.Ya. Issledovanie funktsional'nogo sostoyaniya futbolistov-sportsmenov razlichnogo vozrasta [Study of the Functional State of Football Players of Different Ages]. Shlyk N.I. (ed.). *Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primeneniye v sporte i massovoy fizkul'ture* [Heart Rate Variability: Theoretical Background and Practical Application in Sports and Mass Culture]. Izhevsk, 2021, pp. 144–148.

24. Fazackerley L.A., Fell J.W., Kitic C.M. The Effect of an Ultra-Endurance Running Race on Heart Rate Variability. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2019, vol. 119, no. 9, pp. 2001–2009. DOI: [10.1007/s00421-019-04187-6](https://doi.org/10.1007/s00421-019-04187-6)

25. 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, vol. 125, pp. 129–139. DOI: [10.1016/j.yjmcc.2018.10.013](https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2018.10.013)

26. Kakinuma Y. Characteristic Effects of the Cardiac Non-Neuronal Acetylcholine System Augmentation on Brain Functions. *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, vol. 22, no. 2. Art. no. 545. DOI: [10.3390/ijms22020545](https://doi.org/10.3390/ijms22020545)

27. 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, vol. 733, pp. 23–33. DOI: [10.1016/j.ejphar.2014.03.036](https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2014.03.036)

28. Kučera M., Hrabovská A. Cholinergic System of the Heart. *Ceska Slov. Farm.*, 2015, vol. 64, no. 6, pp. 254–263.

29. 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, vol. 593, no. 8, pp. 1749–1751. DOI: [10.1113/jphysiol.2014.284356](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2014.284356)

30. Roy A., Guatimosim S., Prado V.F., Gros R., Prado M.A.M. Cholinergic Activity as a New Target in Diseases of the Heart. *Mol. Med.*, 2015, vol. 20, no. 1, pp. 527–537. DOI: [10.2119/molmed.2014.00125](https://doi.org/10.2119/molmed.2014.00125)

31. Tsirkin V.I., Trukhin A.N., Trukhina S.I. *Kholin- i monoaminergicheskie transmittirnyye sistemy v norme i patologii* [Cholinergic and Monoaminergic Transmitter Systems in Health and Disease]. Kirov, 2020. 296 p.

32. Cheng A.J., Jude B., Lanner J.T. Intramuscular Mechanisms of Overtraining. *Redox Biol.*, 2020, vol. 35. Art. no. 101480. DOI: [10.1016/j.redox.2020.101480](https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101480)

33. Mesquita P.H.C., Vann C.G., Phillips S.M., McKendry J., Young K.C., Kavazis A.N., Roberts M.D. Skeletal Muscle Ribosome and Mitochondrial Biogenesis in Response to Different Exercise Training Modalities. *Front. Physiol.*, 2021, vol. 12. Art. no. 725866. DOI: [10.3389/fphys.2021.725866](https://doi.org/10.3389/fphys.2021.725866)

Corresponding author: Svetlana Trukhina, address: ul. Moskovskaya 36, Kirov, 610000, Russian Federation; e-mail: trukhinasvetlana@yandex.ru

For citation: Kataev D.A., Tsirkin V.I., Kishkina V.V., Trukhina S.I., Trukhin A.N. The Nature of Total Power and Very Low Frequency Waves on the Interval Electrocardiogram from the Standpoint of the Human Body's Adaptation to Motor Activity (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 95–107. DOI: [10.37482/2687-1491-Z134](https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z134)

DOI: 10.37482/2687-1491-Z134

*Denis A. Kataev**/** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8051-3521>
*Viktor I. Tsirkin**/*** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3467-3919>
*Vlada V. Kishkina**/**** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2467-5275>
*Svetlana I. Trukhina** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3888-1993>
*Andrey N. Trukhin** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7259-7078>

*Vyatka State University
(Kirov, Russian Federation)

**Tatarstan Cross-Country Skiing Federation
(Kazan, Republic of Tatarstan)

***Kazan State Medical University
(Kazan, Republic of Tatarstan)

****City Clinical Hospital No. 1
(Chelyabinsk, Russian Federation)

THE NATURE OF TOTAL POWER AND VERY LOW FREQUENCY WAVES ON THE INTERVAL ELECTROCARDIOGRAM FROM THE STANDPOINT OF THE HUMAN BODY'S ADAPTATION TO MOTOR ACTIVITY (Review)

It is known that heart rate variability (HRV), evaluated using interval electrocardiography (ECG), reflects the influence of the autonomic nervous system (ANS) and biologically active substances on cardiac activity. For this reason, interval ECG method is widely used in sports, as it reveals the mechanisms of human adaptation to motor activity. This article analyses data on the median values of the total power (TP) of the HRV spectrum and absolute and relative power of very low frequency (VLF) waves on the interval electrocardiogram in athletes recorded in the supine position. We chose these three indicators out of more than 30 others due to their informativeness and due to the debatable issue of the nature of VLF waves. Literature data and unpublished results of our studies allow us to conclude that the values of these indicators in athletes depend on a number of factors, including type of sports (being especially high in sports building aerobic endurance), level of athletic skill (being maximum in elite athletes) as well as volume and intensity of training. In elite skiers, the values of these three indicators tend to change in the course of the training year, increasing in the preparatory phase, staying at a high level or even increasing during the competitive phase, and decreasing in the transition phase, which is determined by the relevant dynamics of the training volume throughout the year. The authors believe that the increase in the values of these three HRV indicators points to the growing influence of the parasympathetic division of ANS and non-neuronal acetylcholine on cardiac activity under heavy training volumes. According to the authors, the values of these three indicators reflect the level of aerobic motor activity (the higher they are, the higher this activity).

Keywords: *athletes, adaptation to physical exertion, autonomic nervous system, heart rate variability, total power of the spectrum, power of VLF waves, non-neuronal acetylcholine, phases of the training year.*

Received 17 July 2022
Accepted 1 December 2022
Published 13 February 2023

Поступила 17.07.2022
Принята 01.12.2022
Опубликована 13.02.2023