

3. Ed. Arutyunov, G.P. (2013), *Cardiorehabilitation: monograph*, Medical press-inform, Moscow.
4. Kachenkova, E.S., Krivitskaya, E.I. and Germanov, G.I. (2016), “Complex application of means of medical and improving physical culture in rehabilitation of men of 50-60 years with prostate gland adenoma”, *Medical physical culture and sports medicine*, No. 5 (137), pp. 21-31.
5. Kachenkova, E.S., Krivitskaya, E.I. and Germanov, G.I. (2016), “Urodynamic indicators at men of the second period of mature age after the carried-out transurethral resection of APZh against the background of occupations physical culture”, *Physical culture and health*, No. 5 (6), pp. 13-19.
6. Prilipko, N.S. (2014), “Needs in medical rehabilitation of adult population of various age groups in hospitalization”, *Health care of the Russian Federation*, No. 1 (60), pp. 23-27.
7. The Smolensk region in figures (2014), Short statistical collection, Smolenskstat, Smolensk.
8. Gundarov, I.A., Starodubov, V.I., Safonov, A.L. and Soboleva, N.P. (2017), “Threat of demographic personnel crisis in Russia and way of his overcoming”, *Health care of the Russian Federation*, Vol. 61, No. 1, pp. 5-10.

Контактная информация: katek2011@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 24.09.2017

УДК 611.1:796

НОВЫЙ ПОДХОД К ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Александр Петрович Кизько, кандидат педагогических наук, доцент,

Елена Александровна Кизько, старший преподаватель,

Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), г. Новосибирск

Аннотация

Метод анализа вариабельности сердечного ритма достаточно эффективно применяется в различных областях медицины как с целью стратификации риска и диагностики патологических состояний, особенно у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, так и в практике оценки и контроля функционального состояния спортсменов. По мнению специалистов на сегодняшний день имеются проблемы в оценке вариабельности сердечного ритма. Одна из них – стандартизация методики, которая требует определения, каковы должны быть условия регистрации электрокардиограммы, какие из индексов и способов анализа вариабельности сердечного ритма являются наиболее информативными, каковы значения нормы в различных половозрастных группах. Другая проблема связана с физиологической интерпретацией результатов метода вариабельности сердечного ритма, их специфичности и предсказывающей ценности, как у больных, так и здоровых людей. В статье рассматривается теоретическое и экспериментальное обоснование нового подхода к анализу результатов спектрального анализа вариативности сердечного ритма, который дает основание к переосмыслению некоторых устоявшихся трактовок. В экспериментах отслеживалась динамика показателей коротких записей после воздействия следующих средств: лыжные гонки, бег, велосипед, плавание, недельные тренировочные занятия учащиеся 13-17 лет по легкой атлетике и волейболу.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, физиологическая интерпретация результатов.

SCIENTIFIC APPROACH TO PHYSIOLOGICAL INTERPRETATION OF HEART RATE VARIABILITY SPECTRAL ANALYSIS

Aleksandr Petrovich Kizko, the candidate of physical sciences, senior lecturer,

Elena Aleksandrovna Kizko, the senior lecturer,

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

Annotation

The heart rate variability analysis method is efficiently operated in different spheres of medicine for the matters of risk stratification and pathologic conditions' diagnostics for the patients with cardio-

vascular diseases. The method is also exerted for the control of sportsmen's functional condition. According to the specialists' opinion, at the current instant there is existence of the problems in heart rate variability evaluation. One of them – methodology standardization, which requires a distinction of electrocardiography registration conditions, deciding on which indexes and methods of heart rate variability analysis are the most informative and what are the normal values for groups of different age and sex. Another problem is connected with the physiological interpretation of the heart variability method, its specifics and predictable ability for both sick and healthy people. In the article there are reviewed theoretical and experimental bases of the new approach to the physiological interpretation of the heart rate variability spectral analysis, which gives a reason for a reexamination of some of the current versions. In experiment, the dynamics of indicators of short records after influence of the following means was traced: cross-country skiing, run, the bicycle, swimming, week-long training occupations pupils of 13-17 years on track and field athletics and volleyball.

Keywords: heart rate variability, physiological results interpretation.

Вклад в развитие представлений о вариабельности сердечного ритма (ВСР) внесен многими учеными из разных стран мира. На настоящее время число публикаций в этой области знания многочисленны, поэтому все аспекты использования этой технологии являются результатом плодотворного труда большого коллектива теоретиков и практиков.

1996 г. считается годом становления технологии ВСР в результате разработки рекомендаций по практическому использованию ВСР рабочей группой Европейского Общества Кардиологов и Северо-Американского Общества Стимуляции и Электрофизиологии [4]. Эти рекомендации сыграли значимую роль в систематизации научных исследований и практического использования технологии ВСР, создав необходимую и отсутствовавшую до этого основу для стандартизации воспроизводимости и сопоставимости результатов исследований в разных лабораториях.

Большой вклад в разрешение теоретических и практических проблем обоснования способов анализа, стандартизации технологии тестирования ВСР, внесен отечественными специалистами [9].

Анализ вариабельности сердечного ритма является методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека. Сердечный ритм отражает фундаментальные взаимосвязи в деятельности не только в сердечно-сосудистой системе, но и всего организма в целом, так как является результатом многоконтурной и многоуровневой реакции системы регуляции кровообращением приспособительного ответа организма на воздействие внешней и внутренней среды [3, 15].

В настоящее время определение вариабельности сердечного ритма признано наиболее информативным не инвазивным методом количественной оценки вегетативной регуляции сердечного ритма [6, 13]. Так показатели ВСР отражают жизненно важные показатели управления физиологическими функциями организма – вегетативный баланс и вегетативные резервы механизмов его регуляции в процессе его взаимодействия со средой. При анализе ВСР можно не только оценивать функциональное состояние организма, но и следить за его динамикой, вплоть до патологических состояний с резким снижением ВСР и высокой вероятностью смерти [15].

С момента принятия стандарта прошло много лет. Использование технологии ВСР ограничилось не только кардиологией, но и распространилась на многие другие области медицинской практики.

Однако, имеются проблемы. С одной стороны, книги, ориентированные на практического врача, просто отсутствуют, поэтому при использовании этой технологии им приходится ориентироваться на наиболее общие указания рекомендаций, которые часто противоречивы, т. к. являются результатом исследований разных научных школ [15].

С другой стороны, для специалистов, использующих методы анализа ВСР, ведущее значение имеет физиологическая и клиническая интерпретация получаемых результатов [10, 11]. Многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов дают обширный материал для оценки наблюдаемых изменений показателей ВСР. В этой связи

клинико-физиологическая интерпретация показателей ВСР является наиболее ответственной частью исследований, но, как отмечают некоторые специалисты [3, 15], ее стандартизация на данном этапе практически невозможна, поскольку, во-первых, представления и оценки различных авторов нередко противоречивы, во-вторых, в настоящее время еще продолжается активное накопление все новых экспериментальных и клинических материалов.

В статье были поставлены задачи: 1) разработать теоретическое основание нового подхода к физиологической интерпретации результатов спектрального анализа ВСР; 2) экспериментально обосновать теоретические представления о волновой динамике показателей спектрального анализа ВСР на примере выполнения исследуемыми (спортсменами) физической нагрузки и последующего пассивного отдыха.

МЕТОДИКА

На этапе теоретического обоснования использовался общепризнанный принцип системности. С точки зрения этого принципа под организмом понимается находящаяся в постоянном обмене веществом, энергией и информацией со средой саморазвивающаяся, целостная система органов, тканей, клеток и т. д. Все звенья этой системы органически взаимосвязаны и содействуют друг другу в получении полезного для организма результата [2]. На этой методологической основе из многообразия возмущающих организм человека факторов выберем – выполнение физической нагрузки, как одного из сильнейших стрессовых воздействий.

В процессе выполнения любой двигательной деятельности организм человека представляет собой двигательную функциональную систему (ДФС) [1]. Принцип системности позволяет абстрактно выделить на самом общем для организма уровне организации три взаимосвязанные подсистемы, характеризующие целостную реакцию организма на физическое воздействие (рисунок 1).

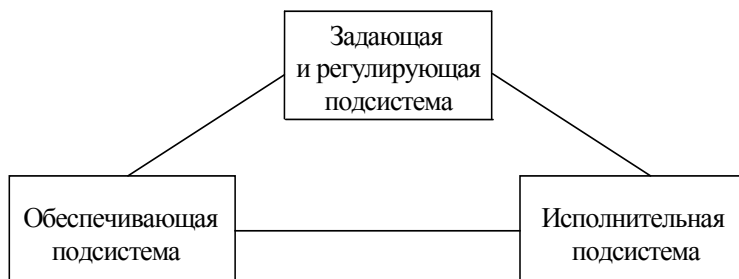


Рисунок 1 – Структурная схема организации ДФС при выполнении человеком мышечной работы

Задающая и регулирующая подсистема включает нервную и эндокринную системы. В обеспечивающую подсистему входят системы: сердечно-сосудистая, дыхательная и др. Исполнительную подсистему представляет нервно-мышечная.

Богатейший эмпирический материал подтверждает, что в результате выполнения организмом внутренней и внешней работы между подсистемами устанавливаются функциональные связи. По способу взаимодействия связи могут быть непосредственными (прямыми) и опосредованными (косвенными).

В организме человека эта совокупность связей, например, между задающей и регулирующей подсистемой и обеспечивающей раскрывается, с одной стороны, через прямую передачу управляющего воздействия в форме электромагнитных импульсов по нервам. С другой стороны, опосредованно через выделение в кровь активных веществ гуморальной системы и последующего регуляторного влияния.

Все физиологические функции систем организма, и в частности кровообращение, во временной организации являются периодическими процессами. Периодический ха-

рактик кровообращения порождается циклической деятельностью сердца и результатом системной реакции механизма многоконтурной и многоуровневой его регуляции.

В этой связи кровообращение рассматривают как чувствительный индикатор адаптационных реакций целостного организма, а варибельность сердечного ритма, как степень напряжения регуляторных систем, возникающая в ответ на любое стрессовое воздействие внешней и внутренней сред [3, 12, 15].

Дальнейшая логика теоретического обоснования будет осуществляться в русле следующей гипотезы.

Наиболее общим для всех объектов различной природы является свойство изменяться во времени. Общий характер таких процессов описывается теорией колебаний. Огромный эмпирический материал научных исследований в различных областях науки показывает, что основные её законы одинаковы для света, звука, атома, механических систем, организма и т. д.

Этот факт позволил нам предположить, что в колебаниях и ритмах отражается способность различных систем к развитию. Исследуя процесс деятельности организма человека как биологической системы, исследователи установили, что внутренние показатели работы организма (температура тела, давление крови, её химический состав и др.) поддерживаются на относительно постоянном уровне. Это явление было названо гомеостазом.

В работах Н. Винера [5] и У. Эшби [14] были сформулированы теоретические основы функционирования гомеостатических систем. По определению названных учёных, основным свойством стабильных систем, к которым относится и организм человека, является стремление восстановить свой исходный уровень после прекращения действия возмущающего фактора. Динамика процесса восстановления функций отдельных систем и в целом всего организма отражается в законе суперкомпенсации Вейгарта (рисунок 2).

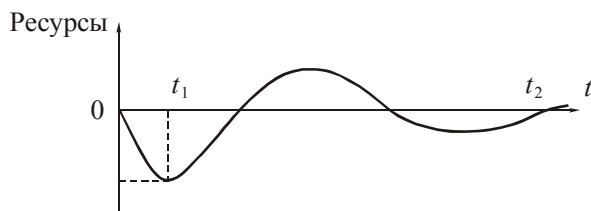


Рисунок 2 – Динамика восстановительного процесса в организме человека

является стремление восстановить свой исходный уровень после прекращения действия возмущающего фактора. Динамика процесса восстановления функций отдельных систем и в целом всего организма отражается в законе суперкомпенсации Вейгарта (рисунок 2).

С точки зрения теории колебания закон суперкомпенсации

можно рассматривать как последовательное чередование двух процессов (фаз). Во-первых, на интервале времени $[t_0, t_1]$ на систему действует вынуждающая сила и выводит её из состояния равновесия. Во-вторых, после окончания действия вынуждающей силы на интервале времени $[t_1, t_2]$ система совершает свободное затухающее колебание. С момента окончания свободного затухающего колебания система приходит в исходное состояние. Очевидно, что момент приложения вынуждающей силы $F(t)$ в каждом последующем вынужденном цикле колебания системы определяет последующее ее движение и при выполнении определённых начальных условий система будет:

- во-первых, сохранять свое состояние на относительно постоянном уровне;
- во-вторых, прогрессивно развиваться в границах, заложенных в эту систему возможностей;
- в-третьих, терять свою системную определённость в связи с регрессивным процессом изменения ее состояния.

Закономерности затухающего колебания предоставляют возможность теоретического анализа, отмеченных выше вариантов динамики колебательной системы.

На рисунке 3, б представлен результат теоретического исследования графоаналитическим методом варианта прогрессивного развития колебательной системы, когда каждое последующее воздействие вынуждающей силы $F(t)$ приходится на интервал от $T/4$ до $T/2$ восходящей волны затухающего процесса (фаза «суперкомпенсации») [7].

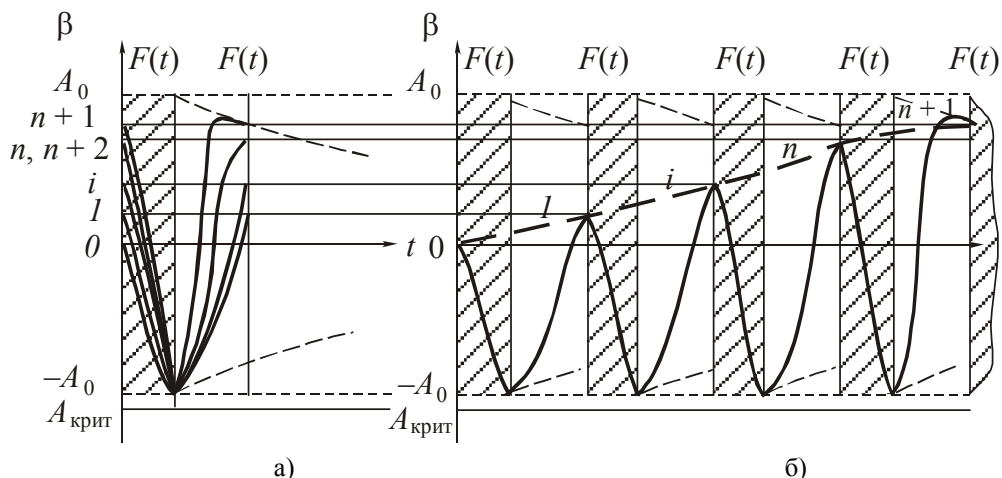


Рисунок 3 – Динамика ритма системы при наложении периодической вынуждающей силы постоянной частоты колебания на интервале от $T/4$ до $T/2$ восходящей волны затухающего процесса

Динамика прогрессивного развития колебательной системы от цикла к циклу характеризуется увеличением амплитуды и скорости ее прироста (отношение $\Delta A/\Delta t$) в фазах свободного затухающего процесса вынужденных колебаний системы (рисунок 3, а).

Анализ прогрессивного развития колебательной системы показывает, что существует структурно-временная единица этого процесса, в границах которой происходит ее последовательное преобразование. Этой единицей является цикл колебания системы под воздействием вынуждающей силы. В пространстве и времени цикла осуществляется процесс взаимодействия системы с окружающей средой.

На рисунке 4 представлена теоретическая модель цикла взаимодействия организма человека со средой в виде выполнения им физической работы и последующего отдыха [8].

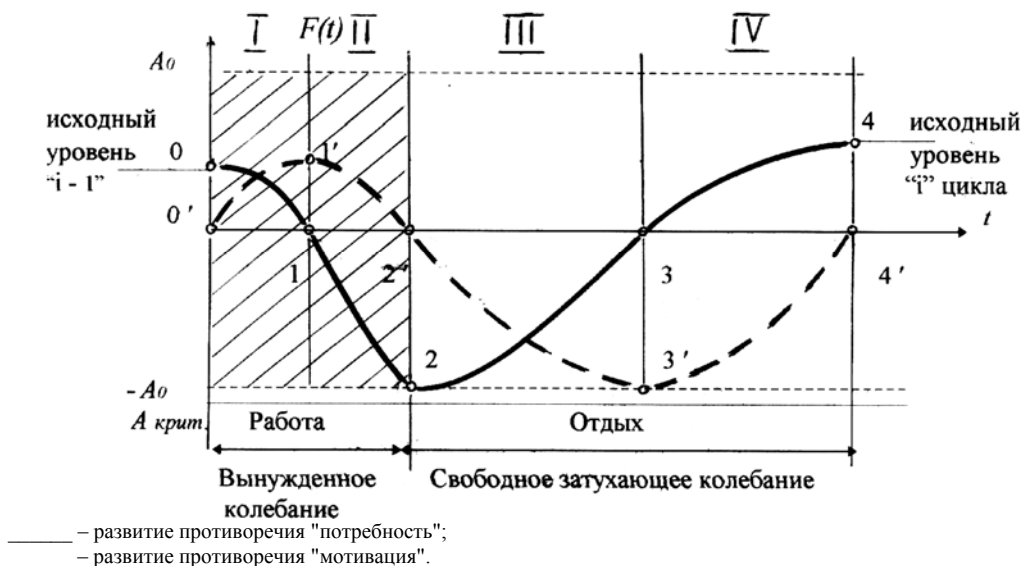


Рисунок 4 – Взаимосвязь фаз цикла колебания и фаз цикла развития внутренних и внешних противоречий при взаимодействии организма человека со средой: 0, 0'; 1, 1'; 2, 2'; 3, 3'; 4, 4' – последовательные состояния противоположностей противоречий:

Здесь под противоречием «потребность» мы понимаем единство внешних и внутренних противоречий организма человека. Одной стороной этого противоречия является внешняя потребность работы, которая проявляется в форме перемещения организма в пространстве. Наибольшее значение этой противоположности наблюдается при условии максимального избытка ресурсов организма (рисунок 4, состояния 0, 4). Второй стороной этого противоречия выступает внутренняя потребность работы, которая проявляется в форме движения вещества внутри организма (процесс аккумуляции ресурсов). Наибольшего значения эта потребность достигает при окончании максимально допустимой для организма человека внешней работы (состояние 2).

Противоречие «мотивация» есть возникающее внешнее противоречие организма как результат развития противоречия «потребность». Одной стороной этого противоречия является мотивация внешней работы. Максимального значения эта противоположность достигает в момент тождества противоположностей противоречия «потребность» (состояние 1'). Второй стороной противоречия «мотивация» является мотивация отдыха. Максимальное значение этой противоположности наблюдается в момент второго тождества противоположностей противоречия «потребность» (состояние 3').

Суть процесс развития противоречий цикла взаимодействия организма человека со средой сводится к следующему:

1. В цикле колебания системы в фазе ее вынужденного колебания реализуются первая и вторая фазы цикла взаимодействия системы со средой в форме внешнего движения системы в пространстве и времени среды.

2. В цикле колебания системы в фазе ее свободного затухающего колебания реализуются третья и четвертая фазы цикла взаимодействия системы со средой в форме внутреннего движения вещества в пространстве и времени системы.

Универсальность процесса цикла взаимодействия дает основание для его применения к анализу деятельности задающей и регулирующей подсистемы ДФС при выполнении человеком физической нагрузки. С этой точки зрения на первом этапе (фазы 1, 2) выполнения нагрузки, задающая и регулирующая система инициирует возбуждающее воздействие на системы организма, обеспечивающие эту деятельность. Максимальные значения этой деятельности будут соответствовать моменту окончания выполнения нагрузки. Последующий этап деятельности задающей и регулирующей подсистемы (фазы 3, 4) будут направлены на восстановление израсходованного ресурса этой подсистемы.

В исследованиях специалистов, на уровне деятельности нервной и эндокринной систем, 1 и 2 фазы фиксируются как факт стимуляции их деятельности, 3 и 4 фазы, как – торможение. В связи с этим при реализации организмом 1 и 2 фаз цикла взаимодействия организма и физической нагрузки доминирующим тонусом в структуре спектра ВСР будет преобладать деятельность симпатической нервной (СНС) и гуморальной систем регуляции, с максимальным их вовлечением в момент окончания выполнения работы. В фазах 3 и 4 доминирующим тонусом в структуре спектра ВСР будет преобладать деятельность парасимпатической нервной системы (ПСНС), с ее максимальным значением в противофазе СНС и гуморальной системы.

Представленные выше теоретические представления были подтверждены результатами экспериментальных исследований на основе фиксирования индивидуальной волновой динамики показателей спектрального вклада нервной и эндокринной системами в управлении вариабельностью сердечного ритма при выполнении человеком (спортсменом) физической нагрузки.

Методика экспериментального исследования включала следующие особенности.

1. Теоретические предпосылки предполагают универсальный характер волновой динамики показателей спектрального анализа ВСР от воздействия возмущающего фактора, в частности физической нагрузки. Соответственно в экспериментах волновая динамика

ка должна фиксироваться независимо от пола, возраста, уровня подготовленности и др., но сохранять индивидуальные для исследуемого пространственно-временные показатели ВСП.

Для подтверждения теоретической предпосылки в экспериментах принимали участие 24 человека (10 женщин, 8 мужчин, 6 – учащиеся 13-17 лет ФГБОУ ВО г. Новосибирска спортивных групп по легкой атлетике и волейбола). Среди них в соответствии классификации Академии педагогических наук (1965): 10 человек пожилого возраста и 8 – среднего возраста, активно занимающиеся физической культурой (9 человек имеют звание МС по различным видам спорта), 3 представителя – юношеского и 3 – детского возраста.

2. Логика технологии экспериментального исследования заключалась в том, чтобы отследить индивидуальную динамику variability сердечного ритма как следствие выполнения испытуемым физической нагрузки и сопоставить эту динамику, с представленными выше по тексту теоретическими представлениями. Для этого проводилось тестирование ВСП испытуемых в следующей последовательности: до выполнения физической нагрузки, непосредственно после ее выполнения и в дальнейшем через определенные интервалы времени (минимальные – 2-3 часа) на протяжении от суток и более (в этот период физические нагрузки исключались).

3. В исследованиях фиксировалась индивидуальная системная реакция механизма многоконтурной и многоуровневой регуляции кровообращением приспособительного ответа организма на физическую нагрузку с использованием экспресс-анализа ВСП, поэтому в работе не использовалась статистическая обработка результатов.

Экспериментальные исследования проводились с 28.01 по 19.12 2016 г. на базе кафедры физического воспитания Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) и ООО «Биоквант» г. Новосибирск.

Регистрация и анализ ВСП выполнялся с использованием аппаратно-программного комплекса (АПК) пульсовой диагностики «ВедаПульс», изготовитель ООО «Биоквант» г. Новосибирск.

Метод анализа variability ритма сердца, лежащий в основе работы АПК «ВедаПульс», рекомендован Европейским Кардиологическим Обществом и Северо-Американским Обществом Стимуляции и Электрофизиологии (1996 г.), а также Комиссией по клинко-диагностическим приборам и аппаратам Комитета по новой медицинской технике Министерства здравоохранения Российской Федерации (2000 г.).

За время эксперимента проведено 357 коротких записей. Максимальная длительность непрерывного наблюдения динамики результатов коротких записей после выполнения исследуемым физической нагрузки с периодичностью 3 часа наблюдалась, например, с 19.04 – 24.04 2016 г. (34 измерения).

В экспериментах отслеживалась динамика показателей коротких записей после воздействия следующих средств: лыжные гонки, бег, велосипед, плавание, недельные тренировочные занятия учащиеся 13-17 лет университета по легкой атлетике и волейболу.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Все физиологические функции систем организма, и в частности кровообращение, во временной организации являются периодическими процессами. В этой связи на первом этапе исследования разработан теоретический подход к анализу процессов деятельности организма человека в процессе выполнения и восстановления после выполнения им физической нагрузки. Применение закономерностей колебательных процессов дают основания, с одной стороны, для теоретического анализа возможных динамик процессов, протекающих в организме человека в зависимости от различия исходных условий. С другой стороны, способствуют как объективизации технологии эксперимента, так и интер-

претации результатов исследования.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлен общий для всех участников экспериментов циклически волновой характер изменения показателей спектрального анализа ВСР при использовании в экспериментах различных нагрузочных средств.

Выявлена причинно-следственная связь физической нагрузки с динамиками индивидуальных количественных показателей спектрального анализа ВСР (TP, HF, LF, VLF, индекс морфофункционального состояния "ИМФС" и др.) и длительностью циклов волнового процесса.

Известно, что на динамику показателей спектрального анализа ВСР влияют многие факторы (прием пищи, психоэмоциональные факторы и др.), но длительность следа (волны) от этих воздействий незначительная, что регламентируется одним из требований метода ВСР (не менее двух часов до исследования). В проведенных экспериментах установлено, что при выполнении исследуемым значительной физической нагрузки последствие в виде волновой динамики показателей спектрального анализа ВСР сохраняется несколько суток. В этой связи влияние таких факторов кратковременно и на общую динамику волнового процесса от действия физической нагрузки не существенно.

На рисунке 5. представлена волновая динамика показателей спектрального анализа ВСР одного из участников экспериментов после выполнения им физической нагрузки с использованием средства – передвижение на лыжах.

Список обследований и нумерация на графиках.

1 – 08-11-2016 15:33:13 – до тренировки.

Тренировка: объем нагрузки – 20 км, интенсивность средняя, средство – лыжи.

2 – 08-11-2016 17:06:11 – сразу после тренировки. 3 – 08-11-2016 19:54:32.

4 – 08-11-2016 21:51:09. 5 – 08-11-2016 23:16:41. 6 – 09-11-2016 02:24:34.

7 – 09-11-2016 08:26:56. 8 – 09-11-2016 10:50:31.

Динамика показателей спектрального анализа ВСР с 1 по 5 обследование фиксирует формирование первого цикла деятельности регуляторного механизма задающей и регулирующей системы. Второй цикл ритма динамики деятельности регуляторного механизма (обследование 5-7) представлен на рисунке 5, только крайними противоположностями. Этап обследований 7-8 отражается формирование начала третьего цикла ритма регуляции восстановительного процесса в организме человека после выполнения им физической нагрузки.

Сопоставление теоретического цикла развития внутренних и внешних противоречий при взаимодействии организма человека со средой (см. рисунок 4) и экспериментальной динамики взаимосвязи процессов активации и торможения механизмом регуляции процесса, обеспечения физической работы и последующей аккумуляции ресурсов (рисунок 5) дает основание для следующего утверждения:

– 1 и 2 фазы теоретического цикла взаимодействия соответствуют этапу выполнения физической нагрузки, когда осуществляется максимальная активация деятельности симпатической и эндокринной систем (нумерация обследований – 1, 2);

– 3 и 4 фазы теоретического цикла соответствуют этапу восстановления ресурсов (нумерация – 3, 4, 5) с максимальными значениями торможения (обследование – 5) за счет активации парасимпатического воздействия.

Движущей силой в колебательном ритме этого процесса – $F(t)$, с нашей точки зрения, является взаимодействие противоположностей. Если причиной активации деятельности симпатической и эндокринной систем на этапе 1-2 обследования является внешнее противоречие по отношению к состоянию организма – физическая нагрузка, то в последующих циклах затухающего ритма причиной деятельности задающей и регулирующей подсистемы будет внутреннее противоречие – результат рассогласования в ор-

ганизме, на основе обратных связей, имеющегося на данный момент времени ресурса, по отношению к исходному состоянию.

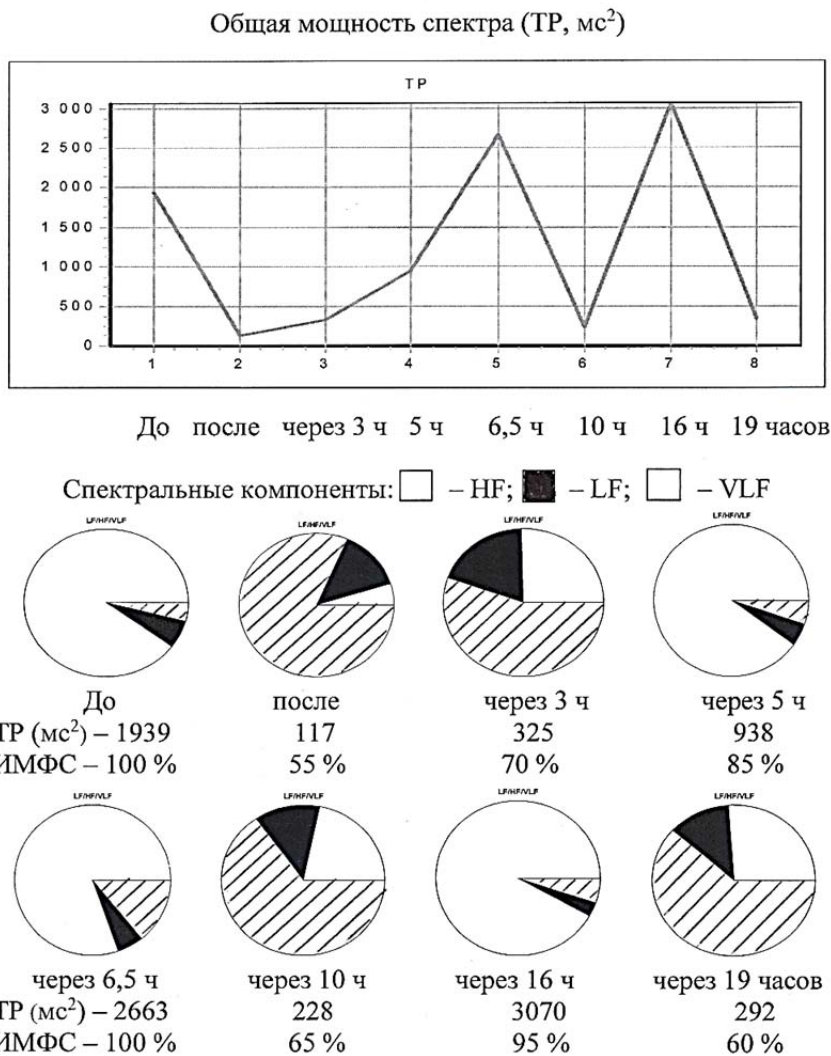


Рисунок 5 – Динамика показателей спектрального анализа ВСП спортсмена после выполнения физической нагрузки и последующего пассивного отдыха

При этом на этапах обследований 5, 6 будет сформирован приоритет влияния положительной обратной связи, что приведет к стимуляции деятельности симпатической и гуморальной систем регуляторного механизма. На этапах 6, 7 формируется приоритет отрицательной обратной связи в виде активации парасимпатического влияния – торможение.

Динамика показателей спектрального анализа ВСП исследуемого (см. рисунок 5) по этапам, проведенных обследований, представлена в таблице 1.

Полученные нами результаты теоретического и экспериментального исследования ВСП дают основания для несколько иной физиологической интерпретации результатов спектрального анализа, в частности, общепринятых в настоящее время показателей физиологической нормы. Например, показателей мощности структуры спектрального ана-

лиза ВСР.

Таблица 1 – Показатели спектрального анализа ВСР спортсмена

№ обследования	TR мс ²	HF мс ²	LF мс ²	VLF мс ²	ИМФС %	LF/HF
1	1939	1741,7	119	78,3	100	0,069
2	117,9	5,8	16,5	95,6	55	2,84
3	325	83,0	61,9	180,4	70	0,745
4	937,9	843,4	47,0	47,5	85	0,056
5	2663,6	2139,4	146,3	377,8	100	0,068
6	227,9	49,6	29,6	148,7	65	0,599
7	3070,1	2819,2	93,1	157,8	95	0,033
8	291,9	66	42,9	183,0	60	0,645

Так по данным Н.И. Яблучанского [15], фрагменты формулы заключения по данным спектрального анализа ВСР должны соответствовать следующим нормам (таблица 2).

Таблица 2 – Диагностический алгоритм оценки состояния FRS (Н.И. Яблучанский, 2010)

Мощность показателей спектра	Значения в норме (мс ²)
Общая –TP	3466±1018
- высокая	3000
- умеренная	1500-3000
- низкая	300-1500
- критично-низкая	Менее 300
HF	1170±416
LF	975±203
LF/HF	1,5/2,0

Проведем сопоставление данных значений в норме (таблица 2) и полученных в результате эксперимента. Из данных таблицы 1 следует, что в цикле деятельности задающей и регулирующей подсистемы показатели спектрального анализа ВСР по фазам этого колебательного процесс претерпевают сильнейшие изменения. Например, показатели обследования № 2, сразу после тренировки, где отмечается максимальная активация влияния симпатической и эндокринной систем и обследования № 5, максимум активации парасимпатической системы. В этой связи можно ожидать, с одной стороны, что результат обследования будет напрямую связан с обстоятельством на какой временной интервал колебательного процесса попадет момент проведения обследования. С другой стороны, установлено, что возраст вносит коррективы в ВСР. Для детского и юношеского возраста характерна высокая общая мощность спектра ВСР. Далее TP, после приблизительно 30% падения, устанавливается на одном уровне вплоть до второй половины зрелого возраста. В более поздние периоды жизни происходит постепенное падение TP [15].

Доказательством такой динамики TP может служить следующий теоретический аргумент. Если обратиться к рисунку 3, а, то на нем видно, что при условии наложения возмущающего фактора $F(t)$ на 4 фазу восстановительного процесса в механизме регуляции ВСР, будет наблюдаться увеличение амплитуды колебательного процесса (общая мощность спектра) и уменьшение периода колебательного цикла. В результате происходит процесс втягивания (адаптация) колебательной системы в ритмику вынуждающей силы. При условии, если величина возмущающего фактора будет снижаться, то динамика амплитуды и длительности периода затухающего колебания будет противоположная. Если обратиться к практике жизнедеятельности человека в онтогенезе, то максимальная двигательная и умственная активность приходится на детский и юношеский возраст с последующим снижением в поздних возрастных периодах жизни человека, что и отражается в реальной возрастной динамике TP.

Аналогичный аргумент можно привести из практики подготовки спортсменов, когда одним из следствий правильного планирования тренировочного процесса является увеличение объема выполняемой физической нагрузки и ускорение восстановительных

процессов (рост мощности показателей спектра ВСР) и снижением этих показателей по мере прекращения занятий.

Рассмотрим отношение LF/HF – баланс регуляторных звеньев ВСР. Принято считать в качестве нормы отношения – относительное тождество мощностей показателей высокочастотного и низкочастотного спектра, что одновременно рассматривается, как показатель состояния здоровья [1, 5]. Если обратиться к рисункам 4 и 5, то такое соотношение мощностей отражает лишь момент окончания 3, начало 4 фазы (момент тождества противоположностей) колебательного цикла, т.е. это отношение не дает основания для оценивания всего процесса. Если исходить из понимания, что здоровье – это наличие колебательного процесса, то постоянное фиксирование тестом тождества LF и HF будет говорить о вырождении колебательного процесса, т.е. о снижении уровня здоровья и возрастании риска смерти.

Приведенные выше аргументы требуют осторожно относиться к введению критериев «норма».

Остановимся еще на одном аспекте физиологической интерпретации результатов спектрального анализа, полученных с использованием статистического подхода. В публикациях специалистов, связанных с физиологической интерпретацией метода анализа ВСР, в частности Шлык Н.И. [11], предложена классификация оценки типов вегетативной регуляции по данным анализа variability сердечного ритма. Приводятся нормативные показатели variability сердечного ритма у детей, подростков и спортсменов в зависимости от преобладающего типа регуляции сердечного ритма. На этой основе сделано, например, одно причинно-следственное предположение, что «тип с умеренным преобладанием центральной регуляции может быть генетически детерминированным» [11, С. 119].

Оценим объективность предположения автора о возможной генетической детерминированности преобладания центральной или вегетативной регуляцией сердечного ритма из следующих соображений:

– во-первых, проведенные нами экспериментальные исследования по выполнению, например, не занимающимися спортом «максимального объема развивающей физической нагрузки» [7, 8], дают основания оценивать максимальную длительность 3,4 фаз колебательного цикла ВСР в пределах 10-12 часов, а длительность циклов затухающего колебательного процесса до 7-8 дней. Из этого следует, что результат тестирования при коротких записях будет носить вероятностный характер в соотношении к фазам индивидуальной динамики восстановительного процесса;

– во-вторых, принимая во внимание открытость регуляции окружающему миру и исключительно высокую чувствительность человеческого организма к любым стрессовым факторам, необходимо принимать во внимание, что, с одной стороны, умственная деятельность в тех объемах, которая имеет место в детском и юношеском возрасте, будет соответствующим образом находить свой отклик в деятельности многоконтурной и многоуровневой реакции системы регуляции кровообращением приспособительного ответа организма на это воздействие. С другой стороны, мощные психоэмоциональные факторы также могут вносить свой вклад в реальное состояние регуляторных систем организма;

– в-третьих, – это вероятностное взаимодействие во времени, отмеченных выше факторов.

Приведенные выше аргументы дают основание для утверждения, что даже при условии строгого соблюдения основных требований к проведению исследований, как в длительных, так и коротких записях в результатах выборочных исследований ВСР всегда можно выделить в любой выборке вероятностные процентные групповые различия по преобладающему на момент обследования типу регуляции сердечного ритма. В этой связи физиологическая интерпретация полученных автором статистических результатов, как с точки зрения конституциональной принадлежности, так и генетической детерминиро-

ванности типов вегетативной регуляции сердечного ритма носит некорректный характер.

ВЫВОДЫ

1. Все физиологические функции систем организма, и в частности кровообращение, во временной организации являются периодическими процессами. Поэтому одним из эффективных теоретических подходов к установлению закономерностей жизнедеятельности организма человека является их циклически волновая природа. В процессе жизнедеятельности организм человека может: во-первых, сохранять свое состояние на относительно постоянном уровне; во-вторых, прогрессивно развиваться в границах, заложенных в эту систему возможностей; в-третьих, терять свою системную определенность в связи с регрессивным процессом изменения ее состояния. Закономерности теории колебания предоставляют возможность теоретического анализа, отмеченных выше вариантов динамики состояния и ставить условия (критерии) при которых они реализуются.

2. Экспериментально установлено, что циклически волновая динамика показателей спектрального анализа ВСР устойчиво фиксируется при выполнении исследуемым значительной физической нагрузки и последующего пассивного отдыха и имеет строго индивидуальные пространственно-временные параметры.

3. Волновой характер динамики показателей спектрального анализа ВСР как результат действия некоторого фактора на организм человека, например, физическая нагрузка, является причиной некорректной интерпретации выборочных исследований методом анализа ВСР даже при условии строгого выполнения его требований.

4. Полученные теоретические и экспериментальные результаты проведенных исследований дают основания для нового взгляда на физиологическую интерпретацию результатов использования метода ВСР, например, в области совершенствования управления тренировочным процессом спортсменов по данным индивидуальной вариабельности сердечного ритма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин, П.К. Узловые вопросы теории функциональной системы / П.К. Анохин. – М. : Наука, 1980. – 197 с.
2. Афанасьев, В.Г. Мир живого: системность, эволюция и управление / В.Г. Афанасьев. – М. : Политиздат, 1986. – 334 с.
3. Бокерия, Л.А. Вариабельность сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование / Л.А. Бокерия, О.Л. Бокерия, И.В. Волковская // *Анналы аритмологии*. – 2009. – № 4. – С. 21-31.
4. Вариабельность сердечного ритма. Стандарты измерений, физиологическая интерпретация и клинического исследования. Рабочая группа Европейского кардиологического общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии // *Вестник аритмологии*. – 1999. – № 11. – С. 53-78.
5. Винер, Н. Кибернетика и общество / Н. Винер. – М. : Иностранная литература, 1958. – 232 с.
6. Гаврилова, Е.А. Использование вариабельности ритма сердца в оценке успешности спортивной деятельности / Е.А. Гаврилова // *Практическая медицина*. – 2015. – Т. 1. – С. 52-57.
7. Кизько, А.П. Теоретический подход к анализу циклически волновых процессов развития / А.П. Кизько // *Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта*. – 2016. – № 5 (135). – С. 115-122.
8. Кизько, А.П. Совершенствование системы управления функциональной подготовкой спортсменов на основе причинно-следственных закономерностей (на примере лыжных гонок) : монография / А.П. Кизько. – Новосибирск : [б.и.], 2009. – 400 с. – (Серия «Монография НГТУ»).
9. Парин, В.В. Космическая кардиология / В.В. Парин, Р.М. Баевский, Ю.Н. Волков. – Л. : Медицина, 1967. – 206 с.
10. Питкевич, Ю.Э. Вариабельность сердечного ритма у спортсменов / Ю.Э. Питкевич // *Проблемы здоровья и экологии*. – 2010. – Т. 26. – № 4. – С. 101-106.

11. Плеус, Д.Дж. Оценка учебной адаптации с мерами сердечного ритма: методологическое сравнение / Д.Дж. Плеус, П.Б. Лорсен, А.Е. Килдинг // Журнал спортивной физиологии. – 2013. – Т. 8. – № 6. – С. 688-691.
12. Шлык, Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов : монография / Н.И. Шлык. – Ижевск : Изд-во Удмуртского гос. ун-та, 2009. – 259 с.
13. Шлык, Н.И. Управление тренировочным процессом с учетом индивидуальных характеристик variability ритма сердца / Н.И. Шлык // Физиология человека. – 2016. – Т. 42. – № 6. – С. 81-92.
14. Эшби, У. Принципы самоорганизации / У. Эшби. – М. : Наука, 1966. – 349 с.
15. Яблuchанский, Н.И. Variability сердечного ритма в помощь практическому врачу. Для настоящих врачей / Н.И. Яблuchанский, А.В. Мартыненко. – Харьков : Киевский нац. ун-т, 2010. – 131 с.

REFERENCES

1. Anokhin, P.K. (1980), *Key Issues of the Functional System Theory*, Science, Moscow.
2. Afanasyev, V.G. (1986), *The Living World: Systems, Evolution, Management*, publishing house Politizdat, Moscow.
3. Bokeriya, L.A., Bokeriya, O.L. and Volkovskaya, I.V. (2009), "Heart Rate Variability: Measuring methods, interpretations, clinical use", *Arithmology Annals*. No. 4, pp. 21-31.
4. "Heart rate variability. Measuring standards, physiological interpretation of the clinical research. Product team of the ESC and the North American society of electrophysiology and stimulation" (1999), *The Arithmology Journal*, No. 11, pp. 53-78.
5. Wiener, N. (1958), *Cybernetics and society*, Foreign literature, Moscow.
6. Gavrilova E.A. (2015), "Heart Rate Variability Use in Sports Evaluation of Success", *Practical Medicine*, Vol. 1, pp. 52-57.
7. Kizko A.P. (2016), "Theoretical approach to analysis of cycles of a wave development processes", *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*, Vol. 135, No. 5, pp. 115-122.
8. Kizko A.P. (2009), *The improvement of functional sportsmen training system management based on cause-effect laws (ski sport example): monograph*, NSTU publishing office, Novosibirsk.
9. Parin, V.V., Baevsky, R.M. and Volkov, U.N. (1967), *The Cardiology in Space*, Medicine, Leningrad.
10. Pitkevich Yu.E. (2010), "Heart Rate Variability of Sportsmen", *Gomel State Medical University. Health and Ecology Problems*, Vol. 26, No. 4, pp. 101-106.
11. Plews, D.J., Laursen, P.B., Kilding, A.E. and other. (2013), "Evaluating training adaptation with heart-rate measures: a methodological comparison", *Int. J. Sports Physiol Perform.*, Vol. 8, No. 6, pp. 688-691.
12. Shlyk, N.I. (2009), *Heart Rate and the Regulation type for Children, Teenagers and Sportsmen: monography*, publishing house USU, Izhevsk.
13. Shlyk, N.I. (2016), "Managing the Training Prices in Regard to Individual Heart Rate Variability Specifications", *Human Physiology*, Vol. 42, No 6, pp. 81-92.
14. Ashby, W. (1966) *Principles of self-organization*, Science, Moscow.
15. Yabluchanskiy, N.I. and Martynenko, A.V. (2010), *Heart Rate Variability as a Tool for Doctors. For Natural Doctors*, publishing house, Kharkov National University, Kharkov.

Контактная информация: a.p.kizko@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.09.2017