

**Методические рекомендации**  
**по анализу вариабельности сердечного ритма у спортсменов в видах**  
**спорта на выносливость с применением математических методов**

**Москва 2013**

## Оглавление

Введение.....	4
Регистрация электрокардиосигнала .....	5
Основные механизмы формирования ритма сердца .....	8
Вариабельность сердечного ритма у спортсменов .....	11
Классификация изменений ЭКГ спортсмена в процессе адаптации к высоким тренировочным нагрузкам .....	18
Оценка функциональных резервов регуляторных систем организма спортсменов группы выносливости .....	21
Классификация методов анализа ВСР .....	24
Статистические методы исследования variability сердечного ритма....	25
Спектральные методы анализа ВСР.....	30
Анализ ВСР при помощи вейвлет-преобразований .....	35
Применение нелинейного анализа ВСР.....	41
Комплексная оценка функционального состояния спортсмена.....	45
Представление результатов обследования .....	51
Анализ ВСР при проведении функциональных проб .....	56
Оценка типа вегетативной регуляции по данным анализа ВСР .....	63

## **Список сокращений**

АД - артериальное давление

ВНС — вегетативная нервная система

ВСР - вариабельность сердечного ритма

ДВП - дискретное вейвлет-преобразование

ДС – динамическая система

КИ – кардиоинтервалы

НВП — непрерывное вейвлет-преобразование

НЧ - низкочастотный

ВЧ - высокочастотный

ПАРС - показатель активности регуляторных систем

ПСНС - парасимпатическая нервная система

ПФ - преобразование Фурье

РГ — ритмограмма

СА - синусовая аритмия

СКО - среднеквадратичное отклонение

СНС - симпатическая нервная система

СПМ - спектральная плотность мощности

СР - сердечный ритм

СУ – синоатриальный (синусовый узел)

ФС - функциональное состояние

ЦНС — центральная нервная система

ЧСС - частота сердечных сокращений

ЭКГ – электрокардиограмма

ЭКС - электрокардиосигнал

HF (High Frequency) — высокочастотный диапазон

LF (Low Frequency) — низкочастотный диапазон

VLF (Very Low Frequency) - очень низкочастотный диапазон

## **Введение**

Анализ variability сердечного ритма (ВСР) в настоящее время является одним из самых популярных методов в спортивной медицине и физиологии. Под термином "variability сердечного ритма" понимают колебания величины интервалов между последовательными сокращениями сердца – R-R-интервалов. Он является методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме спортсмена, в частности - общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы. Текущая активность симпатического и парасимпатического отделов является результатом многоконтурной и многоуровневой регуляции системы кровообращения, изменяющей во времени свои параметры для достижения оптимального для организма приспособительного ответа отражают адаптационную реакцию организма спортсмена.

Метод основан на распознавании и измерении временных интервалов между R-R -интервалами электрокардиограммы, построении динамических рядов кардиоинтервалов (кардиоинтервалограммы) и последующем анализе полученных числовых рядов различными математическими методами.

Широкое применение анализа ВСР в спортивной подготовке у спортсменов в видах спорта на выносливость с применением математических методов позволит улучшить качество медико-биологического сопровождения тренировочного процесса, повысит эффективность системы мониторинга индивидуальных реакций спортсменов на тренировочную нагрузку, позволит оптимизировать индивидуальную нагрузку каждого спортсмена. Это в свою очередь, будет способствовать выстраиванию более индивидуализированных программ спортивной подготовки и снижению риска перетренированности для достижения более высоких спортивных результатов.

## Регистрация электрокардиосигнала

На практике наибольшее распространение получили системы для анализа коротких участков ЭКГ. Для регистрации электрокардиограммы в них, как правило, используются прижимные электроды и традиционный кабель отведений (рис.1.). Обычно записывается второе отведение ЭКГ и (или) отведение, в котором зубец R будет иметь наибольшую амплитуду. Положение электродов: красный - на предплечье правой руки, жёлтый - на предплечье левой руки, чёрный - на правой голени, зелёный - на левой голени.

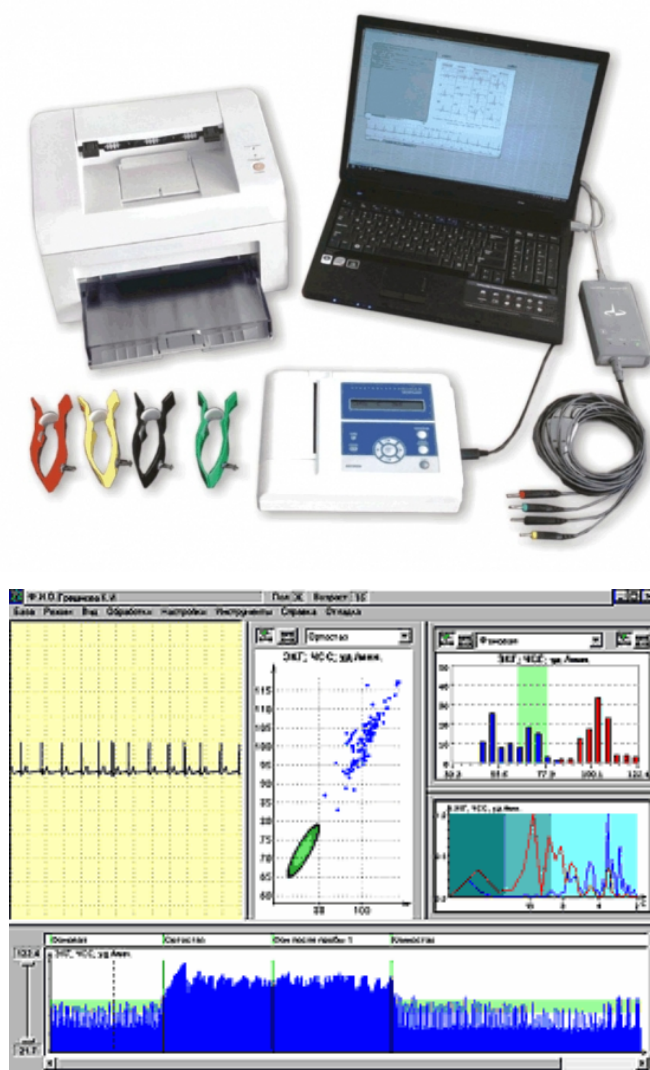


Рис. 1. Аппаратура для анализа сердечного ритма

Применительно к исследованию сердечно-сосудистой системы в качестве исходного источника информации о ритме сердца, используются электрокардиограмма и R-R-интервалограмма (рис. 2). В результате первичной обработки ЭКГ преобразуется в цифровой вид.

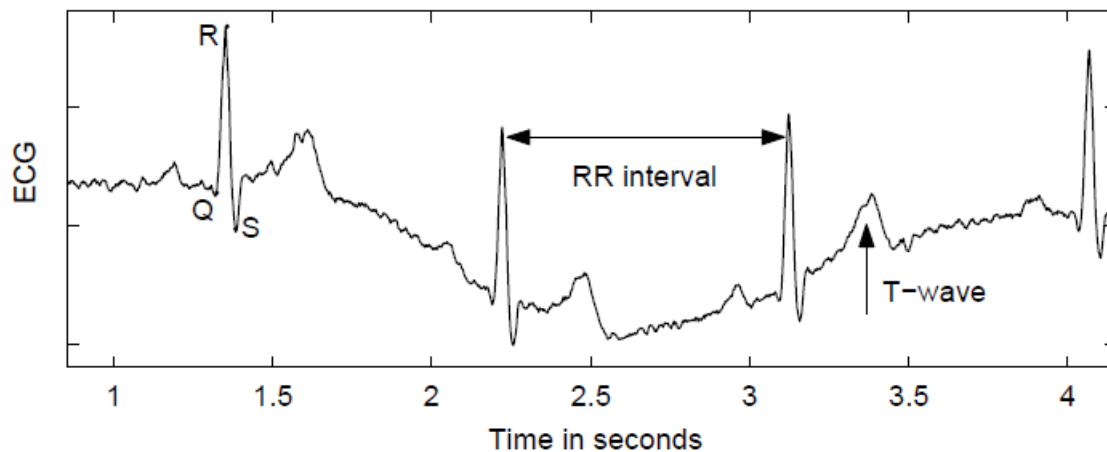


Рис.2. Электрокардиосигнал с R-R интервалами

На кривой ЭКГ (рис. 3) можно выделить предсердный и желудочковый комплексы. Предсердный комплекс начинается с зубца P, соответствующего распространению возбуждения по обоим предсердиям. Далее следует сегмент PQ, в течение которого все отделы предсердий охвачены возбуждением. Реполяризация предсердий совпадает с началом желудочкового комплекса - участка кривой от начала зубца Q до конца зубца T, QRS-комплекс отражает распространение возбуждения по желудочкам, а зубец T - их реполяризацию. Сегмент ST, подобно сегменту PQ предсердного комплекса, соответствует возбужденному состоянию всех отделов желудочков.

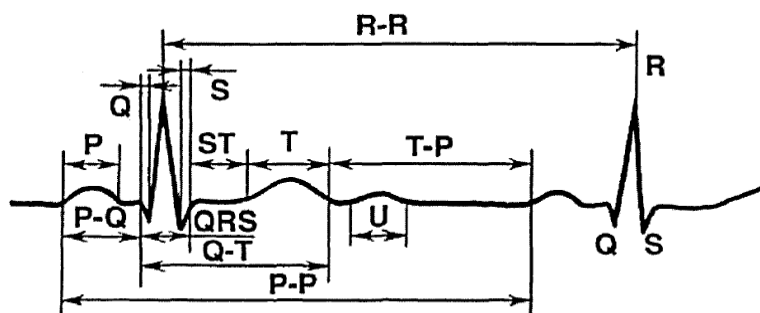


Рис. 3. Структура нормальной ЭКГ сердца человека

Спортивному врачу и тренеру необходимы два типа информации для оценки частоты сердечных сокращений спортсмена:

1. ЧСС, рассчитываемая как суммарное количество сокращений сердца за минуту. Данный показатель необходим для оценки общего состояния пациента, правильного назначения лекарственных средств и др.

2. Длины отдельных RR-интервалов. В кардиологии результаты анализа RR-интервалов используются как основной прогностический показатель при исследовании аритмий, оценке риска и при оценке риска внезапной смерти и т.д.

Заметим, что между ЧСС и длительностью RR-интервалов существует нелинейная зависимость (рис.4)

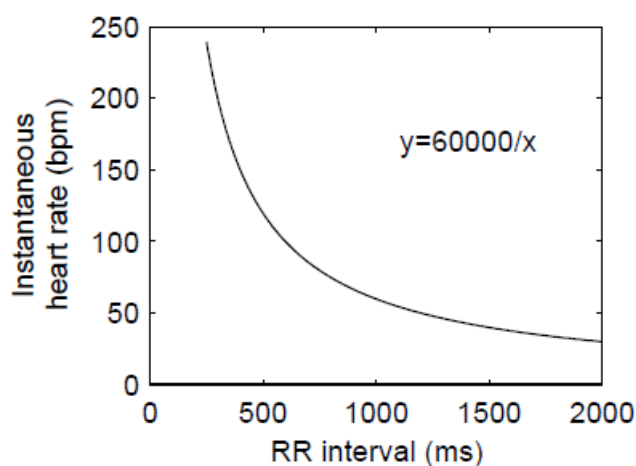


Рис. 4. Нелинейная зависимость ЧСС от длительности R-R интервала

В современных мониторах реализованы попытки совместить эти два показателя путем постоянного пересчета ЧСС по результатам измерения RR-интервалов за последние 5-10 секунд с последующей экстраполяцией на минуту. Это приводит к тому, что при изменении длины RR-интервала выводимая на экран монитора ЧСС не соответствует ни первому, ни второму показателю. С одной стороны, показатель оказывается более нестабильным, чем суммарное количество сокращений сердца за минуту, с другой стороны, он не отражает реальной длины RR-интервала.

Разработаны быстродействующие алгоритмы и реализованы соответствующие программы обеспечивающие получение, оцифровку, фильтрацию и определение соседних минимальных и максимальных значений ЭКГ, поиск пиков R, сохранение RR-интервалов и построение RR-интервалограммы, пригодной для последующей обработки

## Основные механизмы формирования ритма сердца

Изменение ритма сердца тесно связано с регуляторными механизмами вегетативной нервной системы, а вычисляемые параметры ВСР используются для оценки баланса между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы (ВНС) и обладают очень важной диагностической и прогностической информацией.

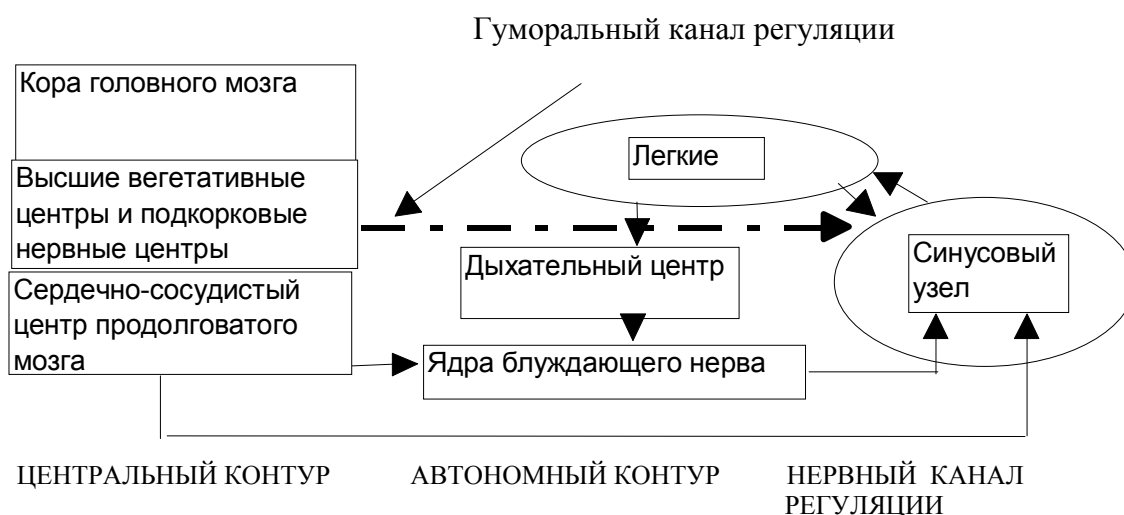


Рис. 5. Схема двухконтурной модели регуляции сердечного ритма

Автономный контур регуляции ритма сердца - это обособленная система, работающая в режиме компенсации отклонений в ответ на возмущения, вызванные дыханием (рис.5.). Активность автономного контура характеризуется выраженностью дыхательных волн сердечного ритма. Центральный контур регуляции ритма сердца связан с недыхательной компонентой сердечного ритма. Он участвует в управлении ритмом сердца через автономный контур, заставляя его работать в вынужденном режиме. Центральный контур состоит из трех уровней: А, Б и В, соответствующих следующим процессам управления:



А - взаимодействие организма с внешней средой;

Б - межсистемный уровень, обеспечивающий регулирование взаимодействия различных систем внутри организма;

В - внутрисистемный уровень, обеспечивающий взаимодействие различных параметров внутри одной системы.

Выделение указанных уровней является условным и сделано с целью разработки определенного методологического подхода к проблеме математического анализа структуры сердечного ритма, который заключается в том, что по соотношению активности различных контуров регуляции сердечного ритма можно судить о степени напряжения регуляторных механизмов.

Сердечный ритм является индикатором отклонений в системе регуляции, поэтому исследование ВСР имеет важное прогностическое и диагностическое значение при самой разнообразной патологии: заболеваниях сердечно-сосудистой, нервной, дыхательной, эндокринной систем и психоэмоциональных (стрессовых) нарушениях.

Регуляция сердечного ритма является результатом ритмической активности пейсмекеров синоатриального узла (СА-узел, синусовый узел) и модулирующего влияния вегетативной нервной системы, центральной нервной систем (ЦНС), ряда гуморальных факторов и рефлекторных воздействий. В норме основное модулирующее влияние на сердечный ритм оказывает ВНС.

Водитель сердечного ритма - это особые клетки проводящей системы, которые обладают функцией автоматизма. В нормальном состоянии водителем сердечного ритма является СА-узел.

Сердце, легкие, пищеварительный тракт и другие внутренние органы иннервированы особым комплексом периферических нервов, в совокупности называемых автономной или вегетативной нервной системой (ВНС), которая состоит из двух функциональных отделов: симпатического и парасимпатического. Каждый внутренний орган имеет двойной набор нервных волокон: одна группа их подходит к органу через симпатические нервы, а другая - через парасимпатические. Два отдела ВНС на сегментарно-

периферическом уровне структурно и функционально различаются, их эффекты часто противоположно направлены, что можно видеть из анализа таблицы 1.

Таблица 1. Влияние на работу внутренних органов функциональных отделов ВНС

Иннервируемый орган	Действие симпатического отдела	Действие парасимпатического отдела
Сердце	Усиливает и ускоряет сокращения сердца	Ослабляет и замедляет сокращения сердца
Артерии	Вызывает сужение артерий и повышает кровяное давление	Вызывает расширение артерий и понижает кровяное давление
Пищеварительный тракт	Замедляет перистальтику, уменьшает активность	Ускоряет перистальтику, увеличивает активность
Мускулатура бронхов	Расширяет бронхи, облегчает дыхание	Сокращает бронхи, затрудняют дыхание

*Симпатическая* нервная система состоит из волокон, клеточные тела которых лежат в боковых столбах серого вещества спинного мозга. Их аксоны образуют вегетативную ветвь спинномозгового нерва, идущего к симпатическому ганглию, а от него к иннервируемому органу.

*Парасимпатическая* нервная система состоит из волокон, начинающихся в стволе головного мозга, а также в крестцовом отделе спинного мозга. Блуждающий нерв (вагус) берет начало в продолговатом мозгу и подходит через область шеи в грудную и брюшную полости, где иннервирует сердце, дыхательную систему и пищеварительный тракт.

Окончания, идущие от симпатического отдела, распределяются к водителю ритма, проводящей системе, миокарду предсердий и желудочков и коронарным сосудам. Парасимпатические волокна оканчиваются в синусовом и атриовентрикулярном узлах, мускулатуре предсердий и желудочков, коронарных сосудах. Симпатические волокна есть во всех кровеносных сосудах, а некоторые сосуды, снабжающие внутренние органы (в том числе и сердце), имеют также парасимпатические волокна.

Распределение симпатических волокон в различных структурах сердца неравномерно и ассиметрично. Симпатические нервные волокна правой стороны тела обладают значительно более сильным влиянием на ЧСС, чем те же нервы левой стороны. Симпатические и

парасимпатические нервные окончания в стенках сердца часто располагаются близко друг к другу. Это является анатомической основой для сложных взаимодействий между двумя отделами вегетативной иннервации.

Парасимпатическая система регуляции считается высокочастотной системой. Колебания ее активности порождают изменения сердечного ритма с частотой (0,150,4, Гц) и более, формируя быстрые волны (HF - high frequency). Симпатическую систему относят к медленной системе регуляции, соответственно, и обусловленные ею колебания (0,04 - 0,15, Гц), называют медленными волнами (LF - low frequency). Самой медленной системой регуляции является *гуморально-метаболическая* система. Она вызывает сверхмедленные волны, соответствующие частотам менее 0,04 Гц (VLF - very low frequency).

Текущая активность симпатического и парасимпатического отделов является результатом реакции многоконтурной и многоуровневой системы регуляции кровообращения. Эта система изменяет во времени свои параметры для достижения оптимального ответа, который отражает адаптационную реакцию целостного организма.

Как следует из вышеизложенного, анализ ВСР может служить основой для разработки методов оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме спортсмена, в частности, общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения баланса между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС.

### **Вариабельность сердечного ритма у спортсменов**

Для практической работы спортивного врача, тренера и самого спортсмена достаточно небольшое количество знакомых и понятных для них количественных показателей, интегрально отражающих функциональное состояние спортсмена и предопределяющих его спортивные результаты. Наличие таких показателей позволяет легко отслеживать динамику подготовленности спортсмена при текущих обследованиях.

Состояние организма можно описать тремя параметрами: 1 - уровнем функционирования системы, 2 - функциональным резервом, 3 - степенью напряжения регуляторных механизмов.

Из математико-статистических характеристик сердечного ритма уровень функционирования организма, как системы (уровень адаптации) определяется значением моды ( $M_0$ ). Мода это "наиболее часто встречаемый" интервал в исследуемой совокупности 100-200 кардиоинтервалов. Регистрируемая обычно тренерами частота сердечных сокращения в покое ( $ЧСС_{\text{покоя}}$ ) тесно связана с модой; чем выше значение моды, тем ниже  $ЧСС_{\text{покоя}}$ . С ростом тренированности от этапа к этапу растет величина моды и снижается  $ЧСС_{\text{покоя}}$ .

Другой показатель уровня тренированности, определяющий аэробную производительность и хорошо знакомый спортсменам и тренерам - максимальное потребление кислорода (МПК) в мл/кг/мин. Этот показатель так же может быть оценен из ВСП в простом дыхательном тесте. Для этого в период записи кардиоинтервалов ритм дыхания спортсмена синхронизируется с ритмом сердца и задается компьютером при помощи команд на экране монитора. С помощью специальной методики расчета такой прием позволяет в необременительной для спортсмена форме, практически ежедневно получать значения МПК косвенным методом, но с достаточно высокой степенью достоверности.

Об уровне функционального резерва организма можно судить, оценивая пульсовую реакцию спортсмена на функциональную пробу - любое стандартное "возмущающее" воздействие, способное вызвать сдвиги внутренней среды организма. На такое "возмущение" организм реагирует мобилизацией функциональных резервных механизмов, сглаживающих и компенсирующих возможные нарушения гомеостаза.

Физическая нагрузка при выполнении тяжёлого труда или при серьёзных спортивных тренировках вызывает однонаправленные изменения в морфологии и функции ССС. Определяется рабочая гипертрофия миокарда

обоих желудочков с относительно более высоким приростом массы миокарда правого желудочка, увеличение систолического и минутного объёмов крови. Средняя ЧСС уменьшается (физиологическая брадикардия).

Целью исследования ВСП у спортсменов является:

- скрининговый отбор пациентов, которым серьёзные занятия спортом противопоказаны;
- скрининговый отбор для выявления физически подготовленных и перспективных претендентов;
- оценка адаптационного потенциала и физической тренированности;
- раннее выявление состояния дезадаптации или перетренированности;
- осуществление контроля за динамикой тренировочного процесса с целью его оптимизации и выявления индивидуальных особенностей адаптации к физической нагрузке.

Регуляция СР у спортсменов претерпевает существенные изменения в зависимости стадии тренировочного процесса, что вызывает необходимость проведения у них динамического исследования ВСП. В случае предъявления неадекватных нагрузок определяется состояние умеренной или выраженной перетренированности, характеризующееся нарастанием LF и VLF на фоне брадикардии и уменьшением показателей Кр и К30:15 при проведении ортостатической пробы.

При мышечной нагрузке регуляция аппарата кровообращения в самом общем виде осуществляется двумя классами систем: нейрогуморальной системой регуляции и механизмами саморегуляции сердца. Систематическая спортивная тренировка обеспечивает совершенствование функционирования регуляторных систем, ответственных за деятельность аппарата кровообращения.

Сердечный ритм отражает фундаментальное соотношение в функционировании не только сердечно-сосудистой системы, но и всего

организма в целом, так как является основным маркером функционирования вегетативной нервной системы.

Под влиянием систематической тренировки происходит перестройка механизмов регуляции сердечного ритма, улучшается качество регуляции сосудистого тонуса, нарастает экономичность и эффективность системы в условиях покоя и в период мышечной деятельности.

#### Изменения ВСП у тренированных спортсменов:

- определяется значительное увеличение общей мощности спектра (TP), преимущественно за счёт высокочастотного компонента (HF);
- чаще всего регистрируется 1 класс ритмограммы по Д. И. Жемайтите;
- наблюдается увеличение значений показателей, характеризующих вариабельность сердечного ритма в целом (SDNN и других показателей временного анализа, ВР, показателей купола гистограммы и т. д.);
- в ортостатической пробе возрастают значения показателей Кр и К 30:15.

В настоящее время большинство авторов ведущую роль в генезе функциональных изменений сердца отводят дисфункции вегетативной нервной системы. Показатели вариабельности сердечного ритма (ВСП) отражают резервы адаптивной перестройки сердечно-сосудистой системы.

В основе достижения спортивного результата и его роста лежат адаптационные процессы, происходящие в организме. В процессе адаптации к физическим нагрузкам определяются два этапа – срочной и долговременной устойчивой адаптации. Переход от срочного этапа к устойчивой долговременной адаптации основан на формировании структурных изменений во всех звеньях: как в морфофункциональных системах, так и в регуляторных механизмах. Процесс адаптации сопровождается повышением функциональной мощности структуры и улучшением ее функционирования. При компенсации некоторые функции могут истощаться и тогда функционирование организма протекает на

предпатологическом и патологическом уровнях. Такое состояние дезадаптации может привести к развитию переутомления, перенапряжения, значительному снижению работоспособности и в дальнейшем – к возникновению заболеваний и травм.

В спортивной физиологии и медицине анализ ВСР используется для оценки и прогнозирования физической тренированности, контроля тренировочного занятия.

Динамические характеристики сердечного ритма дают возможность выявить выраженность сдвигов симпатической и парасимпатической активности вегетативной нервной системы при изменениях физиологического состояния человека. ВСР позволяет определить состояние вегетативного гомеостаза и по степени преобладания активности симпатического отдела вегетативной нервной системы, и по величине активации подкорковых нервных центров оценить напряжение регуляторных систем. Измерение соответствующих показателей может проводиться как в исходном состоянии покоя, так и во время физической нагрузки или в период восстановления. В покое у хорошо тренированных спортсменов, как известно, наблюдаются повышенный тонус блуждающего нерва, сниженная активность подкорковых центров, что говорит о высокой экономичности автономной регуляции, отсутствии централизации управления функциями. При снижении тренированности возрастает амплитуда медленных волн сердечного ритма и снижается амплитуда дыхательных волн. Это свидетельствует об активации подкорковых нервных центров, усилении централизации управления функциями, увеличении степени напряжения регуляторных механизмов.

Повторное обследование спортсменов в фазе активных соревнований показало, что даже в течение короткого времени удается зафиксировать сдвиги в адаптационных процессах на фоне соревновательного этапа подготовки. Таким образом, на основе изучения параметров variability создана система оценки адаптационных возможностей сердечно-сосудистой

системы, апробированная на большом количестве спортсменов разного возраста.

Самым информативным методом исследования ВСР следует признать спектральный анализ волновой структуры кардиоритма. При спектральном анализе волновой структуры сердечного ритма рассматриваются высокочастотные колебания (HF – компонент), сопряженные с дыханием и низкочастотные колебания (LF – компонент), обусловленные как периодически возникающей симпатической вазомоторной активностью (собственным ритмом сосудодвигательного центра), так и колебаниями ритма артериального давления, реализуемого через барорефлекторные механизмы. Колебания активности парасимпатической системы порождают изменения сердечного ритма с частотой 0,15–0,4 Гц и более, формируя так называемые быстрые волны (высокочастотные, дыхательные, HF – high frequency). Дыхательная составляющая свидетельствует о парасимпатической активности.

Волны, обусловленные колебанием симпатической системы, называются медленными (низкочастотными, LF – low frequency) волнами. Частота колебаний медленных волн – 0,04–0,15 Гц (2,4–9 колебаний в минуту). Низкочастотная составляющая рассматривается как одно из проявлений координации центральной и вегетативной нервной системы при различных возмущающих воздействиях на организм.

Самой медленной системой регуляции кровообращения является гуморально-метаболическая система. Она связана с активностью как циркулирующих гормонов в крови, так и активных веществ в самой ткани (тканевых гормонов). Ее регулирующее влияние связано со следующей активностью тканей: одно колебание в минуту и реже, что соответствует диапазону частот менее 0,04 Гц – так называемые очень медленные (низкочастотные) волны (VLF – very low frequency).

По мнению многих исследователей VLF отражает уровень основного обмена, терморегуляции, эрготропных функций.



При определении показателей сердечного ритма у хорошо тренированных спортсменов установлено преобладание активности парасимпатической нервной системы до и после дозированной физической нагрузки, что свидетельствует о высоком уровне адаптации и экономичности деятельности основных функциональных систем их организма. Известно, что при более низких приспособительных возможностях происходит усиление деятельности симпатической нервной системы, что является признаком больших энергозатрат регуляторных систем организма на поддержание гомеостаза.

При снижении напряжения адаптационных процессов увеличивается мощность высокочастотных колебаний ритма сердца при уменьшении низкочастотных компонент. Исследованы механизмы регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы у пловцов в подготовительном и соревновательном периодах. Анализ данных выявил различие при спектральном анализе медленноволновой составляющей. Ведущее место у пловцов-спринтеров принадлежит центральным механизмам: надсегментарному уровню (VLF) и симпатическому отделу вегетативной нервной системы (LF). У пловцов-стайеров – в регуляции кардиоритма наиболее высока значимость HF составляющей.

Изучены влияние физической нагрузки на тредмиле (50 и 80 % от максимального потребления кислорода) на автономную модуляцию сердечного ритма. Нагрузка в 50 % от максимального потребления кислорода изменяла автономный баланс в меньшей степени, быстрее восстанавливались модуляции блуждающего нерва, чем при нагрузке в 80 %.

Исследована вегетативная регуляция сердечного ритма перед соревнованиями. Анализ данных показал, что вегетативная регуляция находится в определенном равновесии у спортсменов в командных видах спорта: у них менее выражено напряжение регуляторных систем по сравнению с единоборцами. У спортсменов, специализирующихся в спортивных играх и в единоборствах, во время соревнований анализ ВСР

выявил состояние сильнейшего функционального напряжения и перенапряжения, на грани срыва адаптации. Направленность и выраженность динамики показателей ВСР во время соревнований зависят от вида спорта, типа вегетативной регуляции, уровня и значимости соревнований, квалификации спортсменов.

### **Классификация изменений ЭКГ спортсмена в процессе адаптации к высоким тренировочным нагрузкам**

У спортсменов встречаются следующие адаптационные реакции ССС на высокую в ответ на тренировочную нагрузку.

*Синусовая брадикардия* – результат физиологического адаптивного изменения автономной нервной системы, отражает уровень спортивной тренировки. Выраженную синусовую брадикардию и/или синусовую аритмию (<30 ударов/минут) необходимо отличать от синдрома слабости синусового узла. Синусовая предсердная дисфункция узла может быть исключена, если: уменьшение ЧСС адекватно уровню тренированности и типу спортивной тренировки; отсутствуют такие симптомы как, головокружение или обморок; ЧСС нормализуется во время физической нагрузки, симпатических влияний или препаратов, с сохранением максимальной ЧСС; брадикардия полностью изменяется во время тренировки или с ее прекращением.

Синусовая брадикардия в покое (ЧСС<60 уд/мин) регистрируется часто, однако зависит от вида спорта и уровня.

*Синусовая аритмия* характеризуется периодическим изменением ритма сердечных циклов, связанных с фазами дыхания. Форма предсердных и желудочковых комплексов не изменяется. Интервал R-R то удлиняется, то укорачивается. Синусовая аритмия регистрируется от 15 до 70 % случаев.

Выраженность дыхательной аритмии является одним из важных показателей функционального состояния сердца. Она считается резкой, когда колебания длительности R-R достигают 0,3 с и более (более чем 30 %). В

этих случаях аритмия говорит о нарушении регуляции работы синусового узла, что может явиться признаком перетренированности. Неблагоприятно она должна оцениваться, когда сочетается с изменениями, указывающими на резкое повышение тонуса и возбудимости блуждающего нерва (в этих случаях на ЭКГ может наблюдаться также атриовентрикулярная блокада I степени, экстрасистолия, резкая синусовая брадикардия), и встречается у спортсменов, имеющих очаги хронических инфекций и в анамнезе – перетренированность, дистрофию миокарда. Если резкая синусовая аритмия не сочетается с отмеченными изменениями ЭКГ и повторением ее в анамнезе, она может быть и вариантом нормы.

*Миграция ритма, узловой ритм* могут быть зарегистрированы у спортсменов с более выраженной брадикардией и в результате функциональной атриовентрикулярной диссоциации.

*Атриовентрикулярная (АВ) блокада 1 степени* обычно отмечаются у 10 % тренированных спортсменов. У многих спортсменов замедление АВ проводимости сочетается с синусовой брадикардией или брадиаритмией. Для идентификации происхождения АВ блокады используются пробы с гипервентиляцией или физической нагрузкой.

При функциональном характере удлинения PQ физическая нагрузка обычно приводит к нормализации длительности этого интервала, а при дистрофических или воспалительных процессах – к неизменности или дальнейшему удлинению.

*Изолированное увеличение вольтажа QRS.*

Спортивное сердце – это адаптированное сердце, для которого характерны регулируемая дилатация и только умеренное увеличение мышечной массы. Именно такое сочетание обеспечивает развитие оптимального комплекса структурных изменений, при которых значительно возрастает максимальная сила, скорость сокращения и расслабления мышечных клеток. Физиологическая гипертрофия миокарда при

неблагоприятных условиях может постепенно переходить в ее переадаптированную форму – компенсаторную гипертрофию.

Приблизительно у 50 % спортсменов тренировка вызывает признаки кардиальной перестройки, которая может состоять из изменений камер желудочков, включая увеличение толщины стенок левого и правого желудочка и неизменный размер полостей предсердий (и объем), нормальную систолическую и диастолическую функцию.

*Неполная блокада правой ножки пучка Гиса (НБПНПГ).*

Паттерн rSR (продолжительность <120 мс) чаще отмечается у спортсменов в видах спорта на выносливость, преимущественно у мужчин. Предполагается, что задержка проведения возбуждения в правом желудочке вызвана увеличенной полостью правого желудочка, увеличенной массой сердечной мышцы. Причинами НБПНПГ могут быть: запаздывание возбуждения правого наджелудочкового гребешка; гипертрофия правого желудочка; истинное замедление проведения по правой ножке. Первый вариант рассматривается как функциональное отклонение, не выходящее за физиологические пределы. Два других варианта следует считать патологическими, особенно если признаки НБПНПГ проявляются в процессе выполнения тяжелой физической работы.

*Синдром ранней реполяризации желудочков (СРРЖ)* расценивается как идиопатический и доброкачественный феномен ЭКГ. СРРЖ встречается у 1–2 % здоровых молодых людей, чаще у мужчин. СРРЖ наблюдается в покое у 50–80 % высокотренированных спортсменов. Степень, морфология и локализация СРРЖ очень переменчивы, чаще всего встречается в левых грудных и в нижних отведениях. Особенностью периода реполяризации является смещение кверху сегмента ST. Подъем сегмента ST наиболее выражен в грудных отведениях, может сочетаться со смещением ST в нижних отведениях.

## Оценка функциональных резервов регуляторных систем организма спортсменов группы выносливости

При соответствующей интерпретации функциональные резервы регуляторных систем организма наиболее просто можно оценить по пульсовой реакции на орто-клиностатическую пробу (смена положения тела - "лежа"- "стоя"- "лежа"). Подобную пробу можно проводить с помощью любой модели персонального пульсометра, обладающего функцией памяти.

Данная проба отражает скорость и экономичность процесса вработывания, а так же динамику послерабочего восстановления. При переутомлении/перетренировке и снижении функционального резерва время "поиска" нового (более высокого) уровня функционирования затягивается. Орто-проба позволяет так же четко определить "цену" данной стандартной "работы" для организма (в виде пульс-суммы за определенный отрезок времени. Физиологическая "цена" стандартной пробы характеризует функциональные возможности спортсмена на период исследований.

Для измерения степени напряжения функциональных систем из характеристик ВСР создан ряд интегральных показателей несущих существенную информацию о функциональном состоянии организма в целом. В спортивно-медицинской практике наибольшее распространение получил "индекс напряжения" регуляторных систем организма или "индекс напряжения" (ИН) Р.М.Баевского. Отчасти это видимо обусловлено удачным названием показателя - понятным по смыслу для тренеров и спортсменов; чем выше индекс, тем выше напряжение организма.

$$\text{ИН} = \frac{A M_0}{2 M_0 \cdot \Delta R R}$$

где  $M_0$  - (мода) - "наиболее часто встречающееся значение длительности кардиоинтервалов" (строго говоря, если разбить временной диапазон от 0 до 2,5 сек на короткие отрезки времени  $\Delta t=0,05$ сек, то  $M_0$  - это центр отрезка шириной  $\Delta t$ , в который попадает наибольшее количество интервалов), при этом это количество есть  $A M_0$  - амплитуда моды,  $\Delta R R$  - разброс кардиоинтервалов (разность между максимальным и минимальным

кардиоинтервалами). Напомним, что мода характеризует активность эндокринного "канала" регуляции, амплитуда моды отражает активность симпатического, а разброс кардиоинтервалов - парасимпатического отделов вегетативной нервной системы.

Такой интегральный показатель функционального состояния организма несомненно более удобен для практической работы тренера, чем отдельные характеристики ВСР. Однако, согласно исследованиям, ИН лишь в 70% случаев позволяет получить правильное представление о функциональном состоянии спортсмена. Опыт работы со спортсменами, тренирующимися "на выносливость" (кмс, мс, мсмк в стайерском и марафонском беге, спортивной ходьбе, триатлоне, биатлоне) так же подтверждает это. Индекс перестает "работать" в строго определенных ситуациях: перетренировке (или остром переутомления спортсмена по "парасимпатическому" типу). В таких случаях ИН дает информацию диаметрально противоположного направления и теряет свое смысловое значение.

В тренировочном процессе спортсменов высшей квалификации группы выносливости подобные ситуации возникают довольно часто. После каждой тяжелой тренировки или соревнований в последующие 3-5 дней идет активное восстановление организма, сопровождающееся перевозбуждением парасимпатического отдела нервной системы.

Частота пульса в покое становится на 4-8 уд/мин ниже прежней, характерной для данного человека. В сердечном ритме появляются как очень короткие, так и исключительно длинные кардиоинтервалы, а их разность ( $\Delta RR$ ) становится нетипично большой по величине. В результате этого знаменатель в формуле для расчета *ИН* значительно увеличивается, а сам индекс снижается. Получается алогичная картина: утром в день тяжелого старта спортсмен имеет индекс напряжения 70, а на следующий день он падает до 20.

При подобной ситуации корреляционное облако RR-интервалов (скатерграмма) меняет форму с вытянутого эллипса на рассеянное

образование большого диаметра, что трактуется как вариант дезадаптации. В то же время, диагностируя состояние организма по *ИН* Баевского можно сделать заключение о резком улучшении функциональных возможностей атлета, что явно противоречит физиологии тренировки.

Это объясняется тем, что вклад в разброс кардиоинтервалов вносят как дыхательные, так и более медленные составляющие сердечного ритма. Отсюда, одни и те же значения  $\Delta RR$  могут достигаться как за счет большого разброса величины интервалов при выраженной дыхательной периодике и низкой амплитуде медленных волн, так и за счет вариационного размаха, который полностью определяется медленно волновыми процессами при пренебрежимо малой дыхательной составляющей. На определенных этапах перенапряжения усиление медленных волн начинает определять рост суммарной синусовой аритмии, что и ведет к росту  $\Delta RR$ .

Большая амплитуда медленных волн и непериодических составляющих при невысокой амплитуде дыхательной волны говорит о том, что организм вынужден обращаться к высшим отделам ЦНС, так как возможностей автономной регуляции не хватает, чтобы обеспечить должный уровень адаптации.

То есть адаптационные механизмы спортсмена значительно напряжены или перенапряжены. Напротив, при низкой амплитуде медленных волн и высокой амплитуде дыхательных волн уровень адаптации высокий так, что вмешательства высших отделов ЦНС не требуется. С точки зрения величины  $\Delta RR$  и, соответственно, значения *ИН*, результат в этих двух случаях может быть одинаков. Величина  $\Delta RR$  может определяться факторами, которые при оценке функционального состояния физиологически трактуются, как противоположные. Это положение послужило причиной того, что был введен модифицированный индекс напряжения (*МИН*), в котором вклад медленных и непериодических составляющих "выброшен" из  $\Delta RR$ . Таким образом *МИН* определяется только дыхательной составляющей сердечного ритма,

"выраженность" которой согласно концепции Р.М.Баевского собственно и определяет насколько удовлетворительно состояние адаптации организма.

Технически это осуществляется при помощи хорошо известного метода цифровой фильтрации применявшегося для разделения дыхательных и медленных волн. Таким образом модифицированный индекс напряжения (*МИН*) определяется аналогично *ИН* Р.М.Баевского, с той лишь разницей, что его расчет проводится после "вычитания" медленных компонент из исходного временного ряда кардиоинтервалов. При этом должны быть повышены требования к методу фильтрации. Хорошо известный метод скользящего среднего слишком чувствителен к выбору интервалов усреднения и, следовательно вносит неоднозначность в определение *МИН*. Для сглаживания процесса может применяться менее уязвимый с этой точки зрения биномиальный фильтр.

### **Классификация методов анализа ВСР**

1. Методы, в основе которых лежат статистические преобразования:

- статистический анализ;
- временной анализ;
- анализ коротких участков ритмограммы по Г. В. Рябыкиной.

2. Геометрические методы:

- вариационная пульсометрия по Р. М. Баевскому
- корреляционная ритмография:
  - анализ двумерной скаттерограммы;
  - анализ гистограммы скаттерограммы;
  - анализ среза гистограммы скаттерограммы.
  - анализ дифференциальной гистограммы
  - оценка купола гистограммы по Л. Н. Лютиковой
  - методы триангулярной интерполяции:
  - определение индекса «Святого Георга»



- определение триангулярного индекса и индекса триангулярной интерполяции.

3. Методы анализа волновой структуры ритма:

- визуальный анализ ритмограммы;
- спектральный анализ;
- автокорреляционный анализ.

4. Нелинейные методы:

- масштабирование спектра Фурье на  $1/f$ ;
- кластерный спектральный анализ (CGSA);
- энтропия Холмогорова;
- метод масштабного индекса.

2. Интегральные методы:

- оценка показателя адекватности процессов регуляции;
- суммарная оценка регуляторных систем;

3. Методы вейвлет-анализа:

- оконное преобразование Фурье;
- дискретное вейвлет-преобразование;
- непрерывное вейвлет-преобразование.

4. Методы авторегрессионного анализа.

### **Статистические методы исследования variability сердечного ритма**

Для статистической оценки РС выбирается определенное число значений следующих друг за другом КИ, образующих выборку. Объем выборки обычно устанавливается в диапазоне 50...250. Однако, как показывают исследования, при выборке меньше 100 КИ падает статистическая достоверность результатов оценки функционального состояния сердца.

Простотой и наглядностью отличается геометрический метод временного анализа, при котором распределение длительностей зарегистрированных R-R-интервалов представляется в виде ступенчатой

фигуры - гистограммы. Для построения гистограммы берется выборка КИ. Весь диапазон длительностей КИ разбивается на поддиапазоны равной ширины.

При построении гистограммы по горизонтальной оси откладывается длительность КИ, а по вертикальной - количество КИ в соответствующем поддиапазоне длительностей. Для здоровых людей в состоянии покоя регистрируется нормальная гистограмма, близкая по виду симметричной кривой Гаусса. Асимметричная форма гистограммы указывает на нарушение стационарности процесса регуляции ритма сердца и наблюдается при переходных состояниях. Многовершинная (многомодная) гистограмма может быть обусловлена наличием синусного ритма (мерцательная аритмия, экстрасистолия), а также артефактами, возникающими при регистрации ЭКГ. Форма гистограммы отражает закон распределения длительностей зарегистрированных R-R-интервалов.

Статистический анализ хорошо разработан, методически прост, а результаты могут быть показательны и информативны. Приведем наиболее распространенные индексы и показатели, используемые при критериальном прогнозе текущего состояния системы сердца.

Математическое ожидание (M) вычисляется как среднее значение по всему ряду КИ. Математическое ожидание - показатель, характеризующий уровень активности «стратегического» гуморального канала регуляции ритма. Его отклонение от индивидуальной нормы обычно сигнализирует об увеличении нагрузки на аппарат кровообращения или о наличии патологических отклонений.

Изменения математического ожидания свидетельствуют о сдвигах гомеостаза в сторону брадикардии (увеличение M), либо тахикардии (уменьшение M). По математическому ожиданию вычисляется средняя частота пульса. По математическому ожиданию ритма делаются заключения, приведенные в таблице 2.

Таблица 2. Возможные заключения по математическому ожиданию

Выраженная тахикардия	$M < 0,5$
Тахикардия	$0,5 > M < 0,66$
Умеренная тахикардия	$0,66 > M < 0,75$
Нормальный пульс	$0,75 > M < 0,9$
Умеренная брадикардия	$0,9 > M < 1,0$
Брадикардия	$1,0 > M < 1,2$
Выраженная брадикардия	$1,2 > M$

Среднеквадратическое отклонение (СКО) вычисляется по стандартной формуле по всему ряду пульсовых интервалов. СКО является одним из показателей ВСР. По СКО совместно с коэффициентом вариации, вариационным размахом и числом резко отличающихся пульсовых интервалов делаются следующие заключения о фоновых аритмиях: ригидный ритм, нормальная вариабельность ритма, умеренная аритмия, выраженная аритмия.

СКО характеризует состояние механизмов регуляции и свидетельствует о состоянии автоматизма синусного узла. Нормальное значение СКО от 0,03 до 0,06 с. Значение СКО в пределах 0,07-0,09 с указывает на наличие аритмии, а свыше 0,1 с - о выраженной аритмии или нарушении автоматизма. Снижение СКО менее 0,02 с наблюдается при стабильном (ригидном) ритме.

Коэффициент вариации (V) вычисляется по формуле:

$$V = 100 * СКО / M,$$

где: СКО - среднеквадратическое отклонение; M - математическое ожидание.

Коэффициент вариации по физическому смыслу не отличается от СКО, однако, он нормирован на среднее значение ритма.

По значению коэффициента вариации делаются заключения по фоновым аритмиям и о стационарности состояния. Нормальное значение V составляет 35%. Уменьшение V свидетельствует о стабилизации ритма, а увеличение - о нарастании аритмичности. При значительном, свыше 10% показателе - о наличии нарушений ритма сердца.

Коэффициент асимметрии (A<sub>S</sub>) позволяет судить о степени стационарности процесса, либо о наличии и выраженности переходных

процессов, в том числе трендов. Границы нормальных значений зависят от методик проведения исследования, однако, можно считать, что в стационарных условиях  $\underline{A}_S = (-1,0) - (+1,0)$ .

Отрицательные значения свидетельствуют о преобладании в выборке коротких интервалов, положительные - длительных. Значение коэффициента асимметрии учитывается при получении заключения переходного процесса.

Мода распределения  $M_o$  - значение длительности КИ, наиболее часто встречающееся в выборке КИ, т.е. наиболее вероятный уровень функционирования системы кровообращения.

При стационарных процессах  $M_o$ , обычно совпадает с математическим ожиданием ( $M$ ), либо отличается не более чем на 5%.  $M_o$ , как и  $M$ , позволяет индцировать уровень функционирования гуморального канала регуляции, отражает уровень долговременной адаптации системы кровообращения.

Нормальные значения  $M_o = 0,76-0,84$  (с) с колебаниями по возрастным группам 0,7-0,9 с. В переходных процессах разность  $M$  и  $M_o$  может быть условной мерой нестационарности, а значение моды указывает на доминирующий уровень функционирования.

Значение моды используется при вычислении следующих параметров: вегетативный показатель ритма, показатель адекватности процессов регуляции, индекс напряжения Баевского.

Амплитуда моды ( $AM_o$ ) - это число интервалов, соответствующее значению  $M_o$ , отнесенное к общему числу интервалов в процентах.

Этот показатель отражает стабилизирующее воздействие симпатического отдела нервной системы, коррелирующее в свою очередь с подключением центральных структур управления ритма (подкорковых ритмов).

Нормальные значения  $AM_o$  составляют 42,1-43,9% при допустимых колебаниях 30-50%. Значение амплитуды моды используется в вычислении вегетативного показателя ритма, показателя адекватности процессов регуляции, индекса напряжения Баевского.

Вариационный размах  $AХ$  как диапазон изменений продолжительности пульсовых интервалов в исследуемой их совокупности отражает суммарный эффект регуляции ритма вегетативной нервной системой, т.е. максимальный разброс значений КИ. В этом отношении его физиологический смысл близок к  $СКО$ , но  $AХ$  значительно более чувствителен к единичным нерегулярностям ритма.

Вариационный размах в основном связан с состоянием парасимпатического отдела вегетативной нервной системы.

Однако при выраженной активации подкорковых центров с появлением присущих им медленных волн колебаний ритма недыхательной природы  $AХ$  может характеризовать и этот процесс.

Нормальные показатели  $AХ$  составляют у взрослых здоровых людей в условиях покоя 0,19-0,23 с, однако в качестве нормы приводится и более широкий диапазон: 0,15-0,30 с. Значение вариационного размаха используется при получении заключений о фоновых аритмиях и о состоянии вегетативного гомеостаза.

Индекс вегетативного равновесия ( $ИВР$ ) вычисляется по формуле:

$$ИВР = AMo/AХ,$$

где  $AMo$  - амплитуда моды;  $AХ$  - вариационный размах.  $ИВР$  указывает на соотношение между активностью симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. Нормальные значения находятся в интервале 100-300 ед. Повышение свидетельствует о гипертонусе симпатического отдела, снижение о ваготонии. Значение  $ИВР$  учитывается при получении заключения о состоянии вегетативного гомеостаза.

Вегетативный показатель ритма ( $ВПР$ ) вычисляется по формуле:

$$ВПР = 1/Mo * AХ,$$

где  $Mo$  - мода,  $AХ$  - вариационный размах.

Он позволяет судить о вегетативном балансе с точки зрения активности автономного контура. Чем выше это значение, тем меньше величина  $ВПР$ , и тем в большей мере вегетативный баланс смещен в сторону

преобладания парасимпатического отдела. Нормальные величины ВПР: 7,1-9,3.

Показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР) вычисляется по формуле:

$$ПАПР = AMo/Mo,$$

где  $AMo$  - амплитуда моды;  $Mo$  - мода.

ПАПР отражает соответствие между активностью симпатического отдела вегетативной нервной системы и ведущим уровнем функционирования синусного узла, позволяет судить об избыточной или недостаточной централизации управления ритмом для данной ЧП. Нормальные значения ПАПР: 35-70 ед. Недостаточная централизация проявляется увеличением данного показателя.

Индекс напряжения Баевского (ИНБ) вычисляется по формуле:

$$ИНБ = AMo/2X * Mo,$$

где  $AMo$  - амплитуда моды;  $Mo$  - мода;  $AX$ - вариационный размах.

Индекс напряжения характеризует степень централизации управления ритмом. У физически развитых взрослых людей ИНБ составляет 80-140 ед.

При увеличении симпатического тонуса возрастает значение ИНБ, и наоборот, при ваготонии он уменьшается. При избыточной активности высших уровней центрального контура происходит резкое повышение ИНБ (500-1000 ед. и более).

Значение ИНБ учитывается при получении заключения о состоянии вегетативного гомеостаза и о переходном процессе.

### **Спектральные методы анализа ВСР**

В результате преобразования Фурье получается частотный спектр тех периодических колебаний, которые составляли исходную кривую. Представление его в графическом виде называется спектрограммой, где по оси абсцисс откладываются частоты, по оси ординат — их амплитуды, либо

квадраты амплитуд, если исследуется спектр мощности сигнала. В этом случае значения по оси ординат имеют физический смысл спектральной плотности мощности сигнала (СПМ) и измеряются в единицах мощности на 1 герц. Наряду с оценкой величины пиков спектрограммы принято анализировать также спектральную мощность по диапазонам, она вычисляется как площадь под кривой, которую образуют соответствующие волновые пики.

Таким образом, использование спектрального анализа при изучении последовательностей R-R-интервалов позволяет не только выявить периодические составляющие ВСР, но и оценить их удельный вес в спектре частот.

Сердечный ритм является индикатором отклонений, возникающих в многочисленных регуляторных механизмах, поэтому исследование ВСР имеет важное прогностическое и диагностическое значение.

При спектральном анализе оцениваются следующие показатели:

TR (общая мощность спектра, TF) - отражает суммарный эффект воздействия на сердечный ритм всех уровней регуляции. Высокие значения характерны для здоровых людей и отражают хорошее функциональное состояние ССС, однако сверхвысокие значения этого показателя, например, повышение TR более  $16000 \text{ мс}^2$  характерны для некачественной записи или наличия эктопических ритмов.

Снижение наблюдается при понижении адаптационных возможностей сердечно-сосудистой системы, низкой стрессовой устойчивости организма.

Среднее абсолютное значение у здоровых людей в покое:  $3446 \pm 1018 \text{ мс}^2$ .

NF (мощность волн высокой частоты в диапазоне от 0,4 до 0,15 Гц,  $P_{\text{дв}}$ ) - отражает активность парасимпатического кардиоингибиторного центра продолговатого мозга. Повышение - в состоянии покоя, во время сна, при частой гипервентиляции. Снижение - при физической нагрузке, стрессе,

различных заболеваниях (особенно ССС). Среднее абсолютное значение у здоровых людей в покое:  $975 \pm 203 \text{ мс}^2$ .

LF (мощность волн низкой частоты в диапазоне от 0,15 до 0,04 Гц,  $P_{\text{мв}1}$ ) - отражает активность симпатических центров продолговатого мозга (кардиостимулирующего и вазоконстрикторно- го). Высокие абсолютные значения наблюдаются у здоровых людей. Снижение - при физической нагрузке, стрессе, различных заболеваниях (особенно ССС). Среднее абсолютное значение у здоровых людей в покое:  $1170 \pm 416 \text{ мс}^2$ .

VLF (мощность волн очень низкой частоты в диапазоне от 0,04 до 0,0033 Гц,  $P_{\text{мв}2}$ ) - отражает активность центральных эрготропных и гуморально-метаболических механизмов регуляции сердечного ритма.

Среднее абсолютное значение у здоровых людей:  $765 \pm 410 \text{ мс}^2$ .

ULF (мощность волн ультранизкой частоты в диапазоне от 0,0033 до 0 Гц) - отражает активность высших центров регуляции сердечного ритма. Точное происхождение неизвестно. Повышение: характерно для срыва вегетативной регуляции СР.

LF/HF (коэффициент вагосимпатического баланса) - отношение мощности волн низкой частоты (LF) к мощности волн высокой частоты (HF). Повышение - при активизации СНС. Снижение - при активизации ПСНС. Среднее абсолютное значение у здоровых людей: 0,7-1,5.

HF% (относительное значение мощности волн высокой частоты,  $P_{\text{дв}}\%$ ) - отражает активность парасимпатического кардиоингибиторного центра продолговатого мозга. Преобладание в структуре спектра наблюдается у здоровых людей и спортсменов.

Повышение - в состоянии покоя, во время сна, при частой гипервентиляции. Снижение - при физической нагрузке, стрессе, различных заболеваниях (особенно ССС). Среднее значение у здоровых людей:  $35,79 \pm 14,74\%$ .

LF% (относительное значение мощности волн низкой частоты,  $P_{\text{мв}1}\%$ ) отражает активность симпатических центров продолговатого мозга



(кардиостимулирующего и вазоконстрикторного). Повышение - при физических нагрузках, стрессе, различных функциональных или органических изменениях ССС.

Снижение - в покое, во время сна, при частой гипервентиляции.

Среднее значение у здоровых людей:  $33,68 \pm 9,04\%$ .

VLF% (относительное значение мощности волн очень низкой частоты,  $P_{MB2}$ ) - отражает активность центральных эрготропных и гуморально-метаболических механизмов регуляции сердечного ритма.

Повышение является вегетативным коррелятом тревоги, наблюдается при физической нагрузке, стрессе, органической патологии сердца.

Снижение - в покое, во время беременности.

Среднее значение у здоровых людей:  $28,65 \pm 11,24\%$ .

HF в п. и. (относительное значение мощности волн высокой частоты, выраженное в нормализованных единицах) - отражает активность парасимпатического кардиоингибиторного центра продолговатого мозга. Преобладание HF в п. и. наблюдается у здоровых людей и спортсменов. Вычисляется по формуле: HF в п. и. =  $HF / (TP - VLF) \times 100\%$ .

Повышение - в состоянии покоя, во время сна, при частой гипервентиляции. Снижение - при физической нагрузке, стрессе, различных заболеваниях (особенно ССС). Среднее значение у здоровых людей в покое:  $49,4 \pm 9,4\%$ .

LF в п. и. (относительное значение мощности волн низкой частоты, выраженное в нормализованных единицах) - отражает активность симпатических центров продолговатого мозга (кардио- стимулирующего и вазоконстрикторного). Вычисляется по формуле: LF в п. и. =  $LF / (TP - VLF) \times 100\%$ .

Повышение - при физических нагрузках, стрессе, различных функциональных или органических изменениях ССС.

Снижение - в покое, во время сна, при частой гипервентиляции.

Среднее абсолютное значение у здоровых людей в покое:  $50,6 \pm 9,4\%$ .

*ИЦ* (индекс централизации) - показывает отношение активности центрального контура регуляции к автономному. Вычисляется делением суммы мощностей низкочастотных волн (*LF* и *VLF*) к мощности волн высокой частоты (*HF*). Максимальное значение у здоровых людей в покое: 3.

*ИАП* (индекс активации подкорковых нервных центров) - указывает на активность внутрисистемного уровня по отношению к более высоким уровням регуляции ритма сердца.

Диапазоны частот и соответствующие им периоды колебаний анализируемых спектральных составляющих *CP* представлены в таблице 3.

Таблица 3. Частотные диапазоны компонентов спектра *CP*

Наименования компонентов спектра	Частотный диапазон, Гц	Период, с
<i>HF</i>	0,4 – 0,15	2,5 – 6,6
<i>LF</i>	0,15 – 0,04	6,6 – 25,0
<i>VLF</i>	0,04 – 0,015	25,0 – 66,0

Показатели *TP* и *LF/HF* используются для оценки адаптационных возможностей регуляторных систем организма. При этом анализируется распределение объектов выделенных групп на фазовой плоскости, где по оси абсцисс откладываются значения *TP*, а по оси ординат - значения *LF/HF*. Выбор именно этих показателей связан с тем, что их совместное интерпретирование позволяет соотнести уровень вегетативного баланса и общий тонус регуляторных систем. Далее по этим показателям определяется 25% и 75% квартили для каждой выборки, которые являлись внутренними границами для построения классификационной матрицы по уровням адаптации. Выбор такого подхода обусловлен тем, что значения переменных, оказавшиеся между квартилями, можно считать нормой для данной выборки, так как они характерны для 50% объектов.

Если значение переменной оказалось меньше значения 25% квартили, то его можно считать сниженным относительно нормы, а если оно выше 75% квартили - повышенным относительно нормы. Таким образом, группу, попавшую в тот или иной квадрат данной классификационной матрицы,

можно охарактеризовать в соответствии с физиологическими интерпретациями выбранных переменных.

Данный подход является универсальным для любой выборки, однако при этом значения квартилей могут существенно меняться, что может служить показателем, отражающим отличия анализируемых групп.

Для практически здоровых спортсменов, при исходной (фоновой) записи ВСП характерны:

- наличие хорошо выраженных волн сердечного ритма во всех трех диапазонах частот;
- общая мощность спектра (TP) более  $2500 \text{ мс}^2/\text{Гц}$  (для нетренированных и ведущих малоактивный образ жизни TP более  $1500 \text{ мс}^2/\text{Гц}$ );
- баланс отделов ВНС, определяемый как соотношение LF/HF в пределах от 0.5 до 1.1 (с возрастом и у лиц, ведущих малоактивный образ жизни, нижняя граница несколько выше - 0.7).

В структуре спектральной мощности ВРС не должны преобладать волны очень медленного периода (% VLF менее 45%).

#### Противопоказания к оценке ВСП с помощью спектрального анализа:

- Нестационарные участки записи.
- Аритмии (синусовый ритм с частотой эктопических сокращений более 5-10%, пароксизмальная тахикардия, миграция водителя ритма, фибрилляция предсердий и т. д.).

Необходимо также отметить, что для надёжной количественной оценки самой низкочастотной анализируемой компоненты спектрального анализа требуется запись, продолжительностью не менее 10 длин волн этой частоты.

### **Анализ ВСП при помощи вейвлет-преобразований**

При обработке сигналов с изменяющимися частотно-временными параметрами более перспективным является использование вейвлет-анализа,

а именно так называемое вейвлет-преобразование, которое обладает несомненными преимуществами перед преобразованием Фурье.

Большинство медицинских сигналов, в том числе R-R-интервалограмма имеет сложные частотно-временные характеристики. Часто такие сигналы состоят из близких по времени, коротко-живущих высокочастотных компонентов и долговременных, близких по частоте низкочастотных компонентов. Существуют два возможных варианта анализа нестационарных сигналов такого типа.

Первый - локальное (оконное) преобразование Фурье. Следуя по этому пути, мы работаем с нестационарным сигналом, как со стационарным, разбив его предварительно на сегменты (фреймы), статистика которых не меняется со временем.

Второй - вейвлет-преобразование. В этом случае нестационарный сигнал анализируется путем разложения по базисным функциям, полученным из некоторого прототипа путем сжатий, растяжений и сдвигов.

Среди вейвлет-преобразований различают дискретное и непрерывное вейвлет-преобразования, аппарат которых можно применять как для непрерывных, так и для дискретных сигналов. Сигнал анализируется путем разложения по базисным функциям, полученным из некоторого прототипа. Функция-прототип называется анализирующим (материнским) вейвлетом.

Вейвлет-анализ является разновидностью спектрального анализа, в котором роль простых колебаний играют функции особого рода, называемые вейвлетами. Исходный сигнал анализируется путем разложения по базисным функциям, полученным из некоторого прототипа путем сжатий, растяжений и сдвигов. Функция-прототип называется анализирующим (материнским) вейвлетом, представляющим собой некоторое "короткое" солитоноподобное колебание.

Вид вейвлет-спектрограммы в проекции на плоскость время-частота представлен на рис. 6 на примере ритмограммы испытуемого при проведении

ортостатической пробы. Интенсивность значений третьей координаты отображается изменением цветовой палитры.

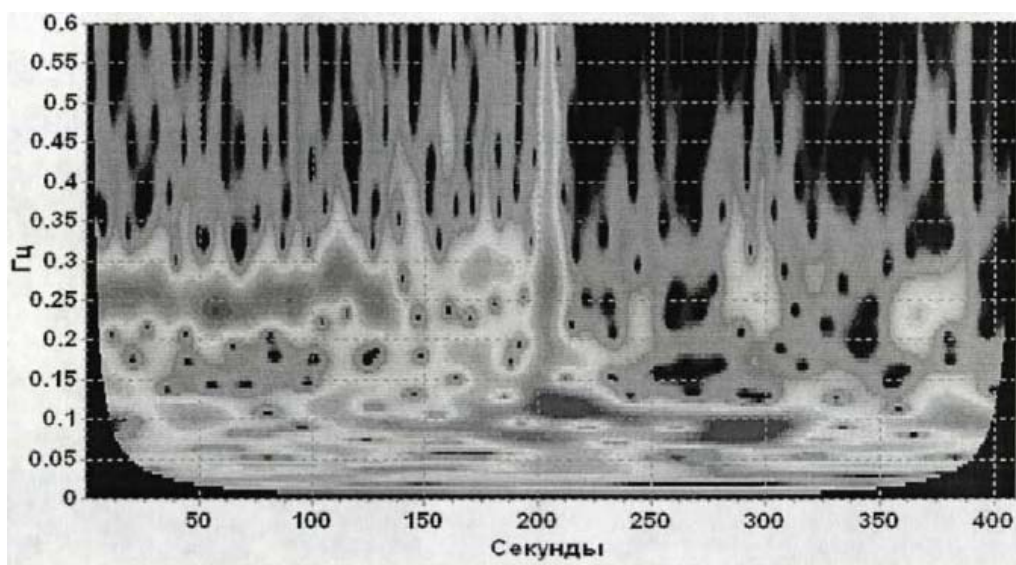


Рис. 6. Вейвлет-спектрограмма для ритмограммы испытуемого при проведении ортостатической пробы (момент вставания - 200 секунда).

Благодаря изменению масштаба, вейвлет-окно способно отследить как низкочастотные компоненты сигнала, так и высокочастотные. При этом для высокочастотных компонент оно имеет довольно большую ширину по оси частот, но сжимает полосу по оси времени.

#### **Анализ ритмограммы с переходным процессом**

Рассмотрим реальную ритмограмму с ортостатической пробой (рис. 6-а.). Фурье-спектр этого сигнала показан на рис. 6-б. Прямой линией на графике обозначен порог достоверности выделения сигнала из шума с вероятностью  $P \geq 0,9$ .

Из графика видно, что достоверно выделяются спектральные линии в районе частотных уровней от 0,02 до 0,12 Гц.

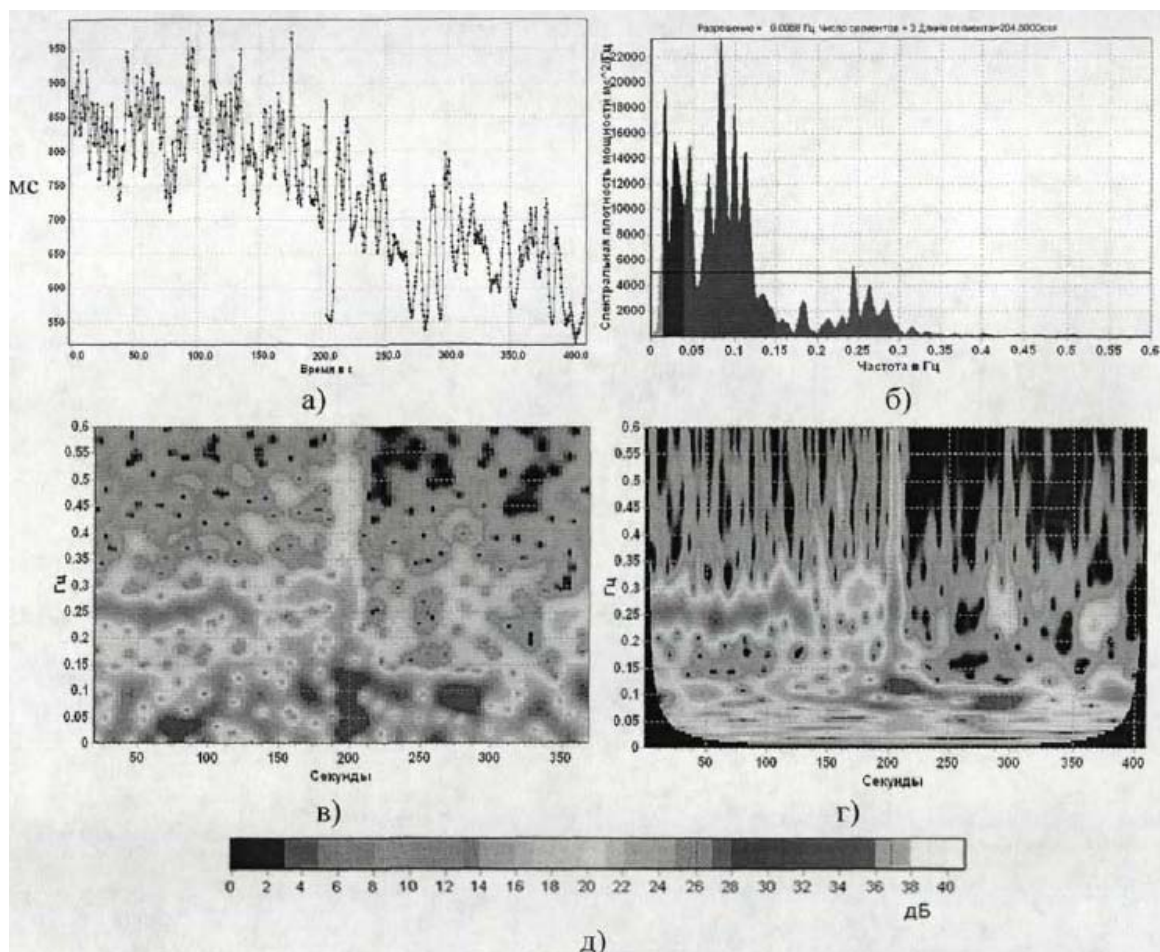


Рис. 7. Результат анализа ритмограммы испытуемого при проведении ортостатической пробы: а) ритмограмма; б) Фурье спектр сигнала; в) оконное преобразование Фурье с использованием окна шириной 40с со сдвигом 2с; г) вейвлет-спектрограмма; д) цветовая кодировка.

На рис. 7-в и 7-г представлены результаты ОПФ и вейвлет-анализа сигнала по плоскости время-частота. Размерность третьей координаты пропорциональна квадрату амплитуды сигнала, т.е. в данном случае -  $\text{мс}^2$ . Поскольку разброс значений энергии сигнала от минимальных уровней до максимума очень велик, третья координата отображается в логарифмическом масштабе. Цветовая кодировка показана на рис. 7-д. Расчет вейвлет-спектра проведен в треугольнике достоверности, т.е. исключены те области, где границы вейвлета выходят за границы записи сигнала.

ОПФ имеет фиксированную ширину окна - в данном случае, 40 секунд. Соответственно, частотное разрешение для применяемого окна Ханна будет 0.045 Гц, т.е. колебания с частотами ниже 0,045 Гц не попадают в зону

достоверности. Что касается НВП, здесь предельное разрешение в области низких частот определяется такой шириной анализирующего вейвлета, которая захватывает всю длину экспериментальных данных. В нашем случае она равна 0.0024 Гц. Из сравнения спектрограмм видно, что ОПФ хуже локализует частотные компоненты в нижней части спектра, а в верхней высокочастотные компоненты плохо локализованы во времени.

Вейвлет-спектрограмма дает более четкое распределение концентрации энергии на различных частотных уровнях, показывая одновременно эволюцию этих ритмов во времени. Момент вставания при проведении ортостатической пробы (205-я секунда от начала записи) отчетливо виден на спектральном портрете. Наблюдается всплеск в высокочастотную область и концентрация энергии сигнала на уровне 0,1 Гц. До момента проведения пробы в спектре отчетливо выделяются три частотные области - в районе 0,025 Гц, 0,1 Гц и 0,25 Гц. Наиболее стабильный характер и высокие значения энергии наблюдаются для высокочастотной компоненты 0,25 Гц. После проведения пробы снижается энергия сигнала по всем частотам, кроме диапазона около 0,1 Гц. Большая часть энергии процесса концентрируется в этом диапазоне. Понятно, почему Фурье-спектр сигнала не выделяет достоверно частотный уровень в районе 0.25 Гц. Частотно-временной анализ показывает высокую мощность этого ритма только до момента вставания. При усреднении по всему времени записи мощность этого колебательного процесса существенно снижается.

В вейвлет-спектрограмме хорошо заметны локальные максимумы интенсивности в полосе от 0.2 до 0,3 Гц до и от 0,06 до 0,15 Гц после момента вставания. Это свидетельствует о влиянии на эти ритмы более медленных колебательных процессов в виде низкочастотной модуляции. Характерные шумовые полосы в высокочастотной части спектрального портрета, вытянутые по вертикали, говорят о том, что исследуемый сигнал содержит не только периодические компоненты различной частоты и

переменных амплитуд, но и аддитивные стохастические компоненты типа белого шума.

Полученные данные позволяют объективно подойти к выбору метода спектральной оценки ритмограмм в соответствии с целями физиологических исследований. При исследовании функционального состояния высокую информативность имеет не только начальное и конечное состояние, но и процесс перехода из одного в другое. При развитии адаптационных реакций регуляторные механизмы могут включаться в определенной последовательности, с определенным уровнем активности. Например, при ортостатической реакции увеличение симпатической активности после перехода в положение стоя может происходить спонтанно и кратковременно, а может длительно и равномерно. Наиболее полную информацию о характере динамического процесса можно получить, применяя метод непрерывного вейвлет-анализа и, как частный случай, дискретного вейвлет-анализа. Для оценки стационарного состояния достаточно использовать периодограммный метод, так как с точки зрения физиологических интерпретаций, интерес в данном случае представляют стабильные периодические процессы, характеризующие равновесное состояние механизмов регуляции. При оценке адаптационных возможностей регуляторных систем организма спортсмена с использованием нагрузочных тестов, исследование характера динамических процессов представляет не меньший интерес, чем анализ стационарных состояний, так как позволяет получить более полную картину степени участия и функционального состояния регуляторных компонент при формировании ответа на тест.

Информацию о взаимосвязях и взаимодействиях различных регуляторных контуров (например, надсегментарного и сегментарного уровней) можно получить путем оценки модулирующих ритмов низкочастотной области спектра. Оценить амплитудные модуляции спектральных компонент HF и LF диапазонов можно с применением непрерывного вейвлет-преобразования в комплексе с периодограммным



методом. Закономерности модулирующих воздействий надсегментарных уровней регуляции сердечного ритма при развитии адаптационных реакций могут стать одним из важнейших информационных показателей при оценке функционального состояний систем регуляции.

### **Применение нелинейного анализа ВСР**

Применение новых методов анализа позволяет отойти от исследования линейных, стационарных процессов и перейти к анализу существенно нелинейных систем, со значительной долей случайных и квазислучайных факторов на ритм сердца, и, как следствие, на общее состояние организма спортсмена.

Многообразные влияния на вариабельность сердечного ритма, включая нейрогуморальные механизмы высших вегетативных центров, обуславливают нелинейный характер изменений ритма сердца, для описания которого требуется использование специальных методов.

Анализ нелинейной динамики ритма сердца позволяет в отличие от классических способов анализа ВСР отфильтровать реально присутствующие волны RR-интервалограммы, полученные в результате комплекса модулирующих влияний на сердечный ритм. Первым этапом исследования нелинейной динамики РС является оценка внешнего вида фазового портрета (рис. 8).

Проведенные исследования нелинейной динамики ритма сердца у спортсменов показали, что для состояния гармоничного взаимодействия всех звеньев регуляции ритма сердца (эйтонии) характерна равномерная картина фазового портрета с преобладанием эллипсоподобных циклов. Такая картина обусловлена гармоничным взаимодействием разнонаправленных звеньев регуляции кардиоритма.

При их адекватном влиянии на синусный узел ЧСС сначала постепенно увеличивается, а за тем уменьшается, что и обуславливает волновую

структуру РС и характерную эллипсоподобную картину на фазовом пространстве (рис. 8).

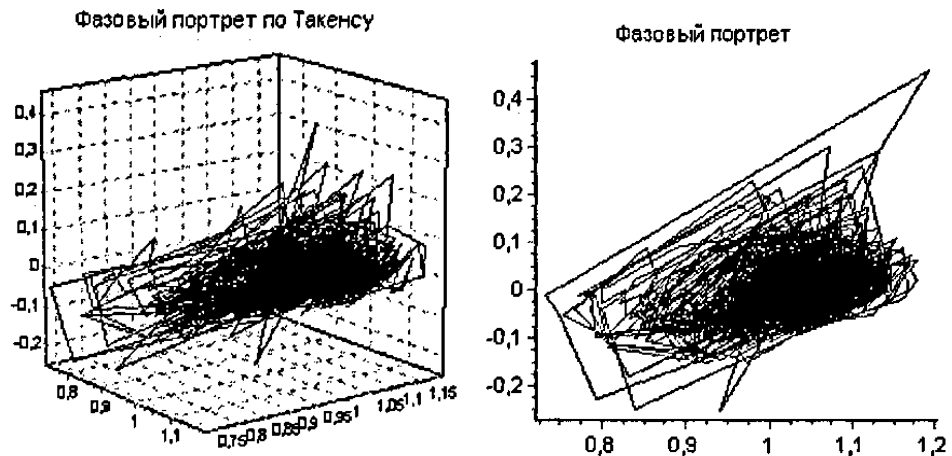


Рис. 8. Фазовый портрет ритма сердца здорового спортсмена  $3D$  и  $2D$

Такая фазовая картина как бы завязана вокруг определенной «точки притяжения» и при необходимости может приближаться к ней или отделяться от нее (при различных влияниях). При нарушении гармоничного взаимодействия звеньев вегетативной и гуморальной регуляции ритма сердца происходит утрата нормальной геометрической структуры фазового портрета. При вегетативной дисфункции происходит значительная утрата нормальной структуры фазового портрета в сторону его геометрического упрощения и появления конфликтных геометрических циклов (рис. 9).

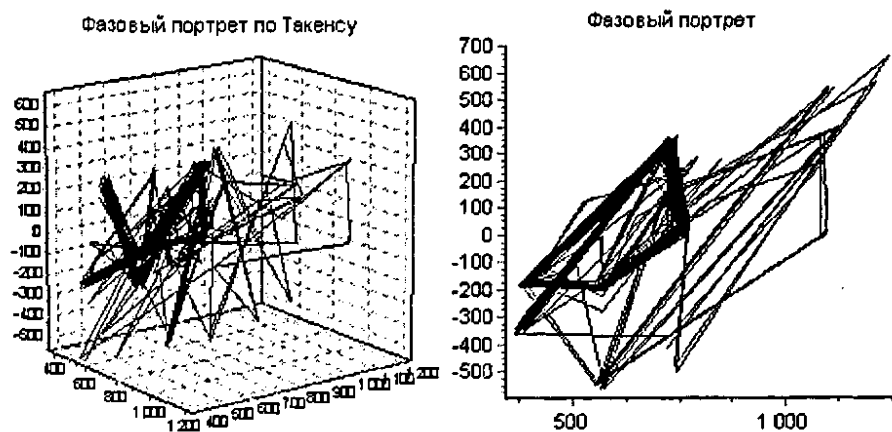


Рис. 9. Фазовый портрет спортсмена с синдромом перетренированности  $3D$  и  $2D$

Хаотическое поведение динамической системы с характером детерминированного хаоса в фазовом пространстве организует притягивающее множество, называемое аттрактором. Форма аттрактора

определяет причину нерегулярности поведения нелинейных систем экспоненциальным быстрым разводом первоначально близких траекторий в ограниченной области фазового пространства. Изменение размерности аттрактора на фазовом портрете может являться адекватным показателем изменения состояния организма спортсмена как единой системы, а значит объективно отображать влияние и эффективность нагрузок. В норме у спортсменов странный аттрактор по форме на фазовом портрете представляет собой «клубок ниток», где размерность системы определена множеством факторов влияния на организм определяющих его состояние.

При появлении одного или нескольких мощных факторов: перетренированность, патология, последствия травм или сильный стресс, размерность поведения системы резко снижается. Проведенные исследования текущих изменений размерности аттракторов по вариациям RR-интервала ЭКГ показали, что ухудшение общего состояния организма у спортсменов адекватно определяется снижением размерности.

Так как система сердца является основной в исполнении общей функции гомеостаза, то можно говорить, что результаты параллельного анализа спектров и фазовых портретов - это отклик функции авторегуляции системы сердца. Алгоритмическая парная последовательность (спектр + фазовый портрет) определенно указывает эволюцию изменений (рис. 10).

Разработанный на основании нелинейной модели регуляции ритма сердца классификатор позволяет классифицировать значения представленных характеристик, что дает возможность широкого применения нелинейных методов для анализа ритмограмм в практике подготовки спортсменов (таблица 4.). Классификатор разработан таким образом, что позволяет учесть все подсостояния физиологической нормы, донозологического и преморбидного периода, а также срыва или поломки адаптационных механизмов и поставить им в соответствие численные значения характеристик.

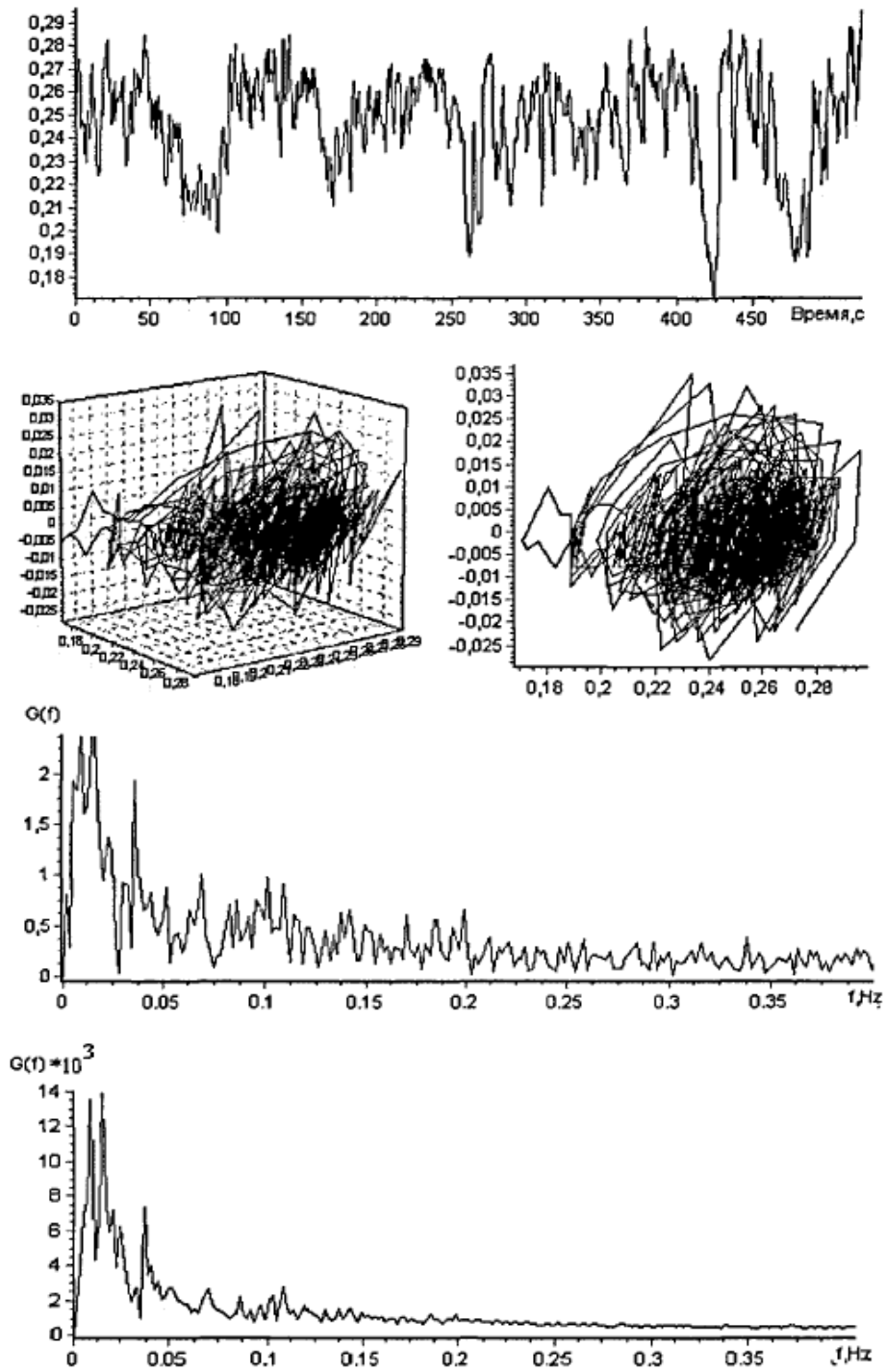


Рис. 10. Параллельный анализ спектров и ФП RR-интервалограмм. Сверху вниз: RR-интервалограмма, ФП (2Д 3D), спектр амплитуды и спектр АКФ

Классификатор является легко модифицируемым для диагностики механизмов адаптации, учитывающей нелинейные особенности системы формирования и регуляции ритма сердца.

Таблица 4. Зоны состояний механизмов адаптации

Номер кластера	Состояние механизмов регуляции	Нелинейный параметр			
		Корреляционная размерность	Экспонента Ляпунова	Фрактальная размерность	Энтропия Колмогорова-Синяя
1	Нормальный уровень	4.4-4.8	3.5-4.4	1-1.19	0.5-0.65
2	Оптимальный уровень	4.8-5.2	2.2-3.5	1.2-1.39	0.66-0.9
3	Умеренное функциональное напряжение	3.5-4.4	0.9-2.2	1.4-1.5	0.91-0.99
4	Выраженное функциональное напряжение	3.01-3.5	0.2-0.4	>1.5 -2 <1	>1
5	Резко выраженное функциональное напряжение	2.8-3.01	0.4-0.7	<1	0.5-0.3
6	Перенапряжение регуляторных механизмов	<2.8	0.7-1.4		0.3-0.1
7	Резко выраженное перенапряжение регуляторных механизмов	-2.4	<0	<0	<0
	Истощение регуляторных механизмов	>5.5	>5	1.51-1.8	1.5-1.99
9	Резко выраженное истощение регуляторных механизмов	>6.4	>7.3	1.81-1.99	>2
10	Срыв или полом механизмов адаптации	>7.83	>9.2	>2	>2.46

### **Комплексная оценка функционального состояния спортсмена**

Комплексная оценка variability сердечного ритма спортсмена предусматривает диагностику его функциональных состояний. Однако, по

совокупности отклонений от нормы анализ ВСР способен определить направление диагностического поиска. Изменения вегетативного баланса в виде активации симпатического или парасимпатического звена регуляции рассматриваются как неспецифический компонент адаптационной реакции в ответ на различные стрессорные воздействия и нагрузку.

Структура сердечного ритма включает не только колебательные компоненты в виде дыхательных и недыхательных волн, но и неперiodические процессы (так называемые фрактальные компоненты). Происхождение этих компонентов сердечного ритма связывают с многоуровневым и нелинейным характером процессов регуляции сердечного ритма и наличием переходных процессов. Ритм сердца не является строго стационарным случайным процессом с эргодическими свойствами, что подразумевает повторяемость его статистических характеристик на любых произвольно взятых отрезках.

Предлагается исследовать системный процесс, характеризующей электрической активности сердца по направлениям:

1. Вдоль вертикали - энергетику процесса;
2. Вдоль горизонтали - динамику процесса.

Объектом исследования по первому направлению (вдоль амплитудной оси) может быть электрокардиограмма, а по второму (вдоль временной оси) - RR-интервалограмма. На рис. 11 представлен алгоритм проведения исследования электрической активности и ритма сердца, где показаны направления исследования. По анализу RR-интервалограмм линейными и нелинейными методами выявляются динамические критерии устойчивости данного системного процесса. По второму направлению и при анализе ЭКГ выявляются энергетические критерии устойчивости сердечного ритма.

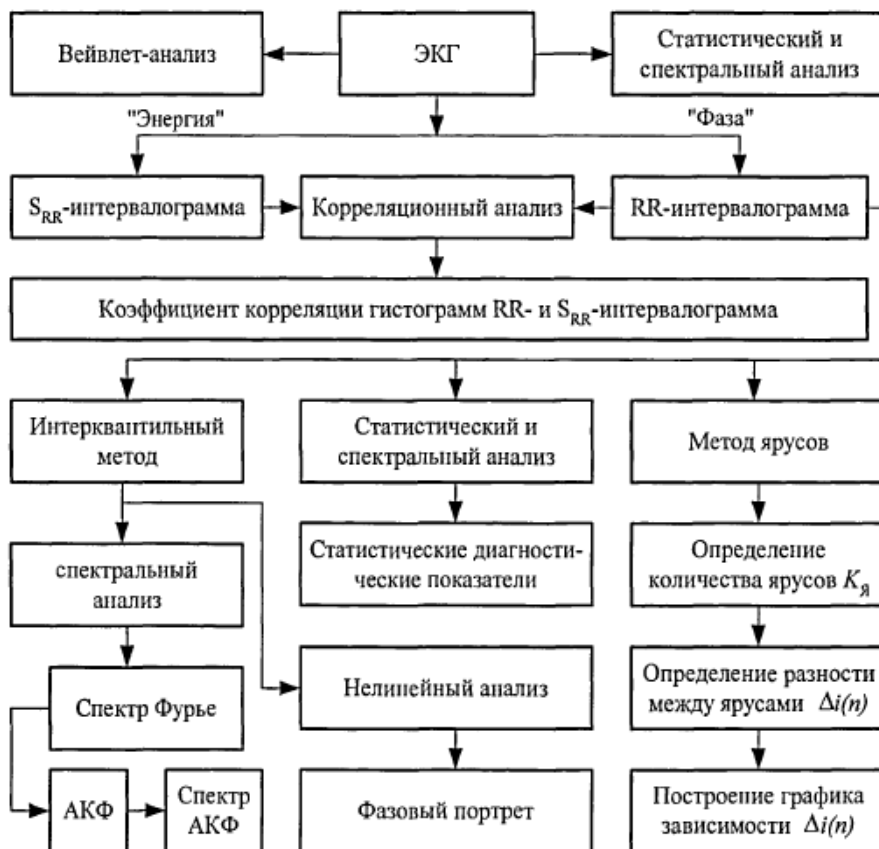


Рис. 11. Алгоритм проведения исследования электрической активности и ритма сердца

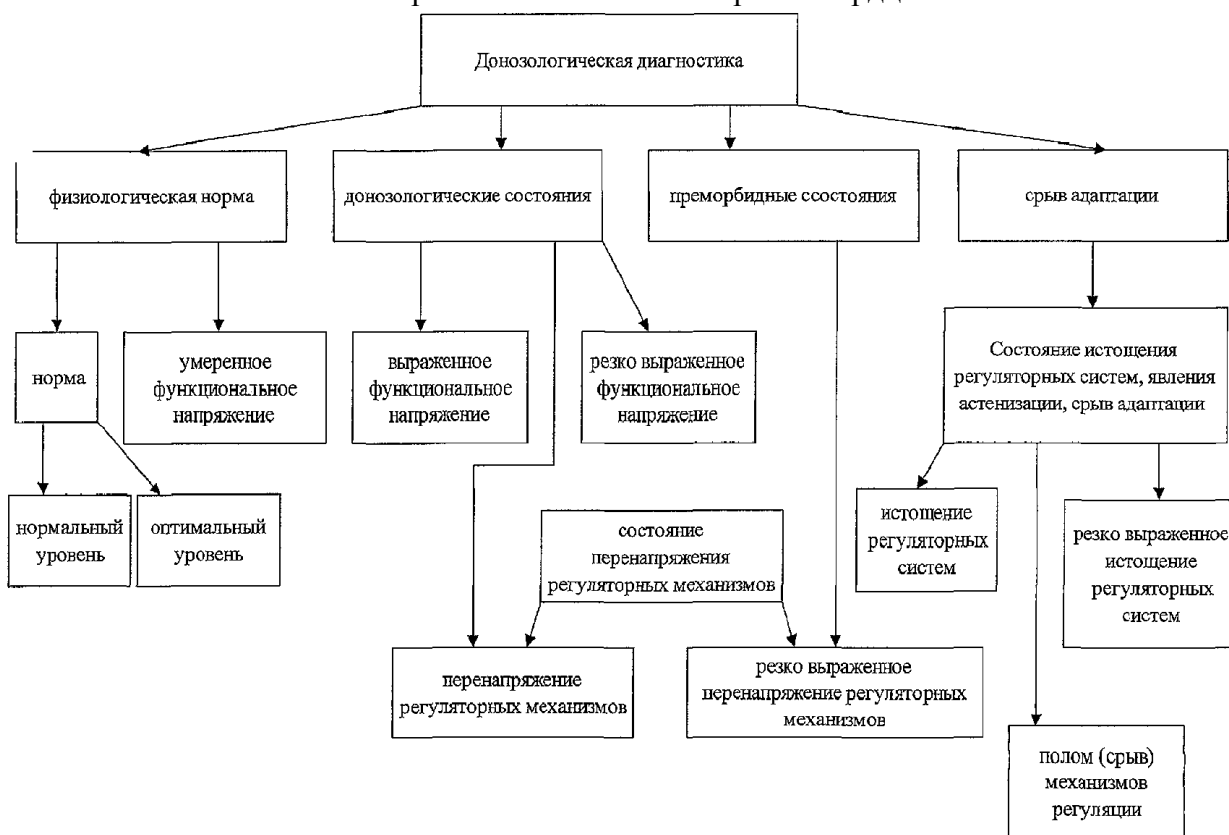


Рис. 12. Схема доксологической диагностики

Изменение активности различных регуляторных систем оценивается по значениям отдельных показателей сердечного ритма, которые кодируются в пятибалльной шкале (+2, +1, 0, -1, -2). Такая кодировка осуществляется по пяти критериям: суммарному эффекту регуляции (А); функции автоматизма (Б); вегетативному гомеостазу (В); устойчивости регуляции (Г); активности подкорковых нервных центров (Д).

А. *Суммарный эффект регуляции* определяется по математическому ожиданию частоты сердечных сокращений с выделением состояний выраженной тахикардии, умеренной тахикардии, нормокардии, умеренной брадикардии, выраженной брадикардии.

Б. *Функцию автоматизма* характеризуют величинами среднего квадратичного отклонения, вариационного размаха и коэффициента вариации с выделением состояний стабильного ритма, выраженной и умеренной синусовой аритмии, умеренного и выраженного нарушения автоматизма. Для уточнения состояний функции автоматизма используются результаты анализа принадлежности интервалов сердечного ритма к нормотопному ритму.

В. *Вегетативный гомеостаз* оценивается по значениям вариационного размаха, амплитуды моды и индексу напряжения с определением состояний умеренного или выраженного преобладания симпатической нервной системы (СНС), сохранения вегетативного гомеостаза, умеренного или выраженного преобладания парасимпатической нервной системы (ПСНС).

Г. *Устойчивость регуляции* оценивают при помощи коэффициента вариации, определяя состояние устойчивой регуляции или дисрегуляции.

Д. *Активность подкорковых нервных центров (ПНЦ)* определяют на основе относительных мощностей дыхательных волн и волн первого и второго порядка ( $S_2/S$ ,  $S_1/S$ ,  $S_0/S$ , где  $S=S_2+S_1+S_0$ ) с выделением состояний выраженного и умеренного усиления активности ПНЦ, нормальной активности ПНЦ, умеренного и выраженного ослабления активности ПНЦ.



В табл. 5. представлены критерии для оценки отдельных состояний и характеристик системы регуляции ритма сердца по данным его математического анализа.

Для общей характеристики активности регуляторных систем формируется интегральный показатель в виде суммы оценок (по модулю) отдельных характеристик системы регуляции ритма сердца - показатель активности регуляторных систем (ПАРС).

$$\text{ПАРС} = |A| + |B| + |B| + |Г| + |Д|.$$

ПАРС характеризует активность регуляторных систем в целом, которая зависит от общей реакции организма на воздействие факторов окружающей среды. Значение ПАРС определяется в баллах (от 0 до 10).

Десятибалльная шкала оценок напряжения регуляторных систем, апробирована при исследовании самых различных контингентов людей: космонавтов, летчиков, спортсменов, пациентов с различными заболеваниями, здоровых людей разного возраста и пола и др.

В зависимости от значений ПАРС выделяют пять функциональных состояний обследуемого.

1. *Норма* - состояние оптимального (рабочего) напряжения регуляторных систем, необходимое для поддержания активного равновесия организма со средой (ПАРС=1–2)..
2. *Умеренное функциональное напряжение* - это состояние возникает, когда для адаптации к условиям окружающей среды организму требуются дополнительные функциональные резервы. Такое состояние формируется в процессе адаптации к трудовой деятельности, при эмоциональном стрессе или при воздействии неблагоприятных экологических факторов (ПАРС=3–4).
3. *Выраженное функциональное напряжение* - это состояние является признаком неадекватного ответа организма на воздействие факторов окружающей среды. Оно связано с активной мобилизацией защитных механизмов, в том числе повышением активности симпатико-адреналовой системы и системы гипофиз-надпочечники (ПАРС = 4–6).

4. *Резко выраженное функциональное напряжение (перенапряжение регуляторных систем)* - данное состояние указывает на недостаточность защитно-приспособительных механизмов, их неспособность обеспечить адекватную реакцию организма на воздействие факторов окружающей среды. Здесь избыточная активация регуляторных систем уже не подкрепляется соответствующими функциональными резервами (ПАРС = 6–7).

5. *Астенизация (истощение) регуляторных систем.* Состояние, при котором активность управляющих механизмов снижается (недостаточность механизмов регуляции) и появляются характерные признаки патологии. Здесь специфические изменения отчетливо преобладают над неспецифическими (ПАРС = 7–8).

6. *Срыв адаптации.* Состояние «полома» адаптационных механизмов, когда доминируют специфические патологические отклонения и способность адаптационных механизмов к саморегуляции частично или полностью нарушена (ПАРС = 8–10).

Таблица 5. Критерии для оценки отдельных состояний и характеристик системы регуляции сердечного ритма

<i>A</i>	<i>Суммарный эффект регуляции</i>	<i>M, с</i>		
+2	Выраженная тахикардия	< 0,66		
+1	Умеренная тахикардия	[0,67...0,80]		
0	Нормокардия	[0,81...1,00]		
-1	Умеренная брадикардия	[1,01...1,20]		
-2	Выраженная брадикардия	> 1,20		
<i>B</i>	<i>Функция автоматизма</i>	<i>СКО, с</i>	<i>BP, с</i>	<i>CV</i>
+2	Стабильный ритм	≤ 0,02	≤ 0,10	≤ 2,00
+1	Выраженная синусовая аритмия	≥ 0,10	> 0,30 <i>M</i>	> 8,00
0	Умеренная синусовая аритмия		[0,11 <i>M</i> ...0,30 <i>M</i> ]	
-1	Нарушение автоматизма умеренное		> 0,45 <i>M</i>	
-2	Нарушение автоматизма выраженное	> 0,11	> 0,60 <i>M</i>	> 8,00
<i>B</i>	<i>Вегетативный гомеостаз</i>	<i>BP, с</i>	<i>АМо</i>	<i>ИН, 1/с<sup>2</sup></i>
+2	Выраженное преобладание СНС	< 0,06	> 80	> 500
+1	Умеренное преобладание СНС	< 0,15	> 50	> 200
0	Вегетативный гомеостаз сохранен	[0,15...0,30]	[30...50]	[50...200]

-1	Умеренное преобладание ПСНС	$> 0,30$	$< 30$	$< 50$
-2	Выраженное преобладание ПСНС	$> 0,50$	$< 15$	$< 25$
<i>Г</i>	<i>Устойчивость регуляции</i>	<i>CV</i>		
+2	Дисрегуляция	$< 3,00$		
0	Устойчивая регуляция	$[3,01...6,00]$		
-2	Дисрегуляция	$> 6,00$		
<i>Д</i>	<i>Активность подкорковых нервных центров</i>	$S_2/S, \%$	$S_1/S, \%$	$S_\delta/S, \%$
+2	Выраженное усиление	$> 70$	$> 25$	$< 5$
+1	Умеренное усиление	$> 60$		$< 20$
0	Нормальная активность ПНЦ	$[40...60]$		$[20...30]$
-1	Умеренное ослабление	$< 40$		$> 30$
-2	Выраженное ослабление	$< 20$		$> 40$

### Представление результатов обследования

При анализе показателей ВСР, как правило, требуется:

- различать главные и второстепенные показатели;
- знать предназначение и нормативы важнейших показателей ВСР;
- понимать, что означает отклонение конкретного показателя в определённую сторону.

При анализе графиков необходимо:

- чётко представлять, каким образом строится конкретный график (что отложено по оси X, по оси Y и т. д.);
- представлять нормальные варианты графических изображений;
- уметь выделять патологические феномены на графиках и объяснять их происхождение.

При осмотре ритмограммы необходимо в первую очередь оценить ЧСС. Среднюю ЧСС можно определить, соизмеряя среднюю амплитуду графика ритмограммы с масштабом графика по вертикали. Необходимо помнить, что ЧСС равна отношению 60 к среднему значению R-Интервалов в секундах.

Размахи изменения продолжительности R-R интервалов необходимо оценивать по минимальному и максимальному значению продолжительности КИ. Необходимо помнить, что на эти размахи сильно влияют эпизоды нарушения ритма и проводимости.

Оценка продолжительности записи (она не всегда совпадает с продолжительностью ритмограммы). Обычно применяется оценка 5 минутной ритмограммы. При изменении длительности ритмограммы происходит изменение масштаба графика по сравнению с пятиминутным.

В случае выявления эпизодов резкого изменения ЧСС, следует с осторожностью интерпретировать результаты спектрального анализа, а в случае обнаружения более 5-10% таких элементов, от традиционной оценки спектрального анализа следует отказаться.

Для оценки волновой структуры ритмограммы и определения её класса необходимо сравнить ритмограмму конкретного пациента с образцами ритмограмм определённых классов.

При ухудшении функционального состояния ССС происходит сглаживание волновой структуры ритма, что сопровождается уменьшением размахов колебаний R-R интервалов.

#### *Паспортная часть.*

Она содержит идентификационные и информационные данные. В нее целесообразно включать основные графы журнала регистрации исследований, антропометрические данные и другие сведения, необходимые спортивному врачу при оценке результатов исследования.

#### *Протокольная часть.*

Здесь целесообразно представить:

- А. Рисунки: ритмограммы и спектрограммы, а при нарушениях ритма сердца и скаттерграмму;
- Б. Измеряемые и расчетные параметры variability ритма сердца в виде таблиц;
- В. Описательную часть протокола.

В полной форме в описательной части должны содержаться следующие сведения:

- Условия проведения записи ритма сердца (лежа, сидя), условия проведения функциональных проб.
- Характеристика ритма сердца. При наличии эктопических сокращений следует указать вид нарушений, число эктопических сокращений и количество комплексов QRS, включенных в анализ. Смещение водителя ритма (многофокусный ритм, нижнепредсердный ритм) и наличие других эктопических ритмов также должно быть отмечено.
- Частота сердечных сокращений и оценка ЧСС (нормосистолия, ускоренный ритм, тахикардия, брадикардия) Тип ритмограммы. При проведении компьютерного анализа целесообразно выделять 4 класса ритмограмм. Если форма PГ не укладывается в типичный вариант для классов PГ, следует провести визуальный анализ и дать качественную характеристику PГ.
- Оценка показателей спектрального анализа.

Рекомендуется придерживаться следующей последовательности составления протокола по результатам спектрального анализа:

- Общая мощность спектра ВСР (TP) - высокая, умеренная, низкая, резко снижена. Последний пункт следует использовать, когда значения TP менее 200 мс<sup>2</sup>/Гц. В этом случае можно предполагать "ускользание" ритма сердца из-под модулирующего влияния ВНС и переход на местные механизмы саморегуляции.
- Оценка состояния нейрогуморальной регуляции (НГР) в целом. Под этим понимается характеристика спектральной мощности (высокая, умеренная, низкая) в каждом из диапазонов VLF, LF и HF.
- Характеристика соотношения (вклада) вегетативных влияний (LF и HF) и доля VLF-компонента в модуляции ритма сердца. Например, низкий уровень симпатических и парасимпатических влияний в модуляции сердечного ритма при относительном преобладании гуморально-метаболических (церебральных эрготропных) влияний.

- Оценка баланса отделов ВНС: преобладание симпатической регуляции (абсолютная - при значениях LF выше верхней границы нормы; относительная - когда на фоне сниженной мощности медленных волн сохраняются высокие значения отношения LF/HF); преобладание парасимпатической регуляции (абсолютная или относительная); смешанный (сбалансированный) тип регуляции - баланс отделов ВНС по показателю LF/HF.

#### *Собственно заключение*

Эта часть протокола является врачебной интерпретацией индивидуальных особенностей и выявленных закономерностей, изложенных в описательной части. В заключении, с учетом спектральной мощности ВРС, структуры спектральной мощности сердечного ритма и баланса отделов ВНС, а также принимая во внимание результаты кардиоритмографических проб, необходимо сформулировать вывод о текущем функциональном состоянии и адаптационных резервах организма. Вывод о текущем функциональном состоянии организма основывается на значении общей спектральной мощности ВРС - показателя TP, отражающего вариативность сердечного ритма. Значения ниже 1-го квартиля (25 перцентили) для данной группы, с учетом возраста и уровня повседневной физической активности, следует считать сниженными. На величину данного показателя могут влиять глубина и частота дыхания во время обследования, условия, в которых выполнялось обследование и которые предшествовали его проведению, и многие другие факторы. Именно поэтому окончательный вывод о снижении текущего функционального состояния не может быть полностью формализован и остается прерогативой врача. Разумеется, основываться только на значениях показателя TP при оценке текущего функционального состояния не нужно. Должна быть принята во внимание и структура спектральной мощности (процентное соотношение показателей VLF, LF и HF). В частности, делать вывод о хорошем ФС на фоне преобладания VLF-компонента не следует. У пациентов в возрасте 18-40 лет доля VLF-

компонента не должна превышать 40%. Если высокие значения %VLF сочетаются с высокими значениями TP, то, вероятнее всего, имели место нестационарные процессы во время записи (исключение составляют женщины с патологией беременности). Хорошее ФС организма не может сочетаться и с признаками вегетативной дисфункции (вегетативным дисбалансом) - отношение LF/HF. Удовлетворительному ФС и сохраненным адаптационным резервам организма должны соответствовать адекватная реактивность парасимпатического отдела ВНС (коэффициент 30:15) и адекватное вегетативное обеспечение деятельности (адекватная активация симпатико-адреналовой системы) при проведении ортостатической пробы. Только с учетом всех этих факторов и показателей можно в заключении сформулировать вывод о текущем функциональном состоянии и адаптационных резервах организма. При необходимости можно дать прогностическую оценку риска развития опасных аритмий и сердечно-сосудистых осложнений (низкий, умеренный, высокий, очень высокий). При использовании АПК компании "НейроСофт" стратификацию риска развития аритмий по возможности следует проводить с учетом других методов компьютерной электрокардиографии (поздние потенциалы желудочков, дисперсии интервала Q-T и т.д.).

#### *Комментарий к обследованию*

Эта часть протокола не является обязательной, но хорошо написанный комментарий может оказать существенную помощь лечащему врачу, который не всегда владеет всеми тонкостями функциональных методов исследования. Поэтому постарайтесь в первую очередь написать комментарий, понятный для лечащего врача. Четко сформулируйте, если это возможно, основную цель исследования. Казалось бы, это очевидно, ведь именно с этого должно начинаться каждое функциональное обследование. Однако многолетняя практика показывает, что четко сформулировать, для чего больной направлен на обследование, многие врачи-клиницисты, к сожалению, не могут. Во избежание последующих разночтений в

интерпретации результатов обследования следует еще раз указать цель проводимого исследования с точки зрения врача функциональной диагностики. При повторных обследованиях целесообразно сравнить результаты двух исследований, текущего и предшествующего. Обычно повторное исследование выполняют в ходе проводимой терапии с целью вероятного внесения в нее коррекции или после проведенного лечения с целью оценки его эффективности. При сравнительной оценке показателей необходимо принимать во внимание воспроизводимость показателей ВСП. Сложности в интерпретации могут возникнуть при резких изменениях параметров ВСП, однако такие случаи, если отсутствовало выраженное внешнее воздействие (стресс-реакция) или прием препаратов с вегетотропными эффектами, наблюдаются очень редко. В этой же части протокола следует, если необходимо, дать рекомендации по целесообразности использования лекарственных препаратов конкретной группы, темпу проведения реабилитационных мероприятий и т.д. Разумеется, подобного рода рекомендации должны строиться с учетом клинических и лабораторных данных и не могут основываться на результатах одного метода функциональной диагностики. Полезными могут оказаться для лечащего врача рекомендации о нежелательности использования тех или иных средств, снижении темпов активации больного после перенесенного острого состояния на фоне отрицательной динамики показателей ВРС. При многих, если не при большинстве сердечно-сосудистых заболеваний, лечение должно проводиться с учетом фона нейрогуморальной регуляции. При реабилитации больных после перенесенного острого заболевания прогноз на выздоровление, темпы активации больного должны также рассчитываться с учетом текущего функционального состояния организма. Желательно, чтобы эти понятия фигурировали в этой части протокола, разумеется, в предположительной форме. Избыточная "увлеченность" возможностями ВРС может только дискредитировать метод.

### **Анализ ВСП при проведении функциональных проб**



Специального внимания требует оценка результатов анализа ВСР при проведении функциональных нагрузочных проб. Данные результаты анализа ВСР при функциональных пробах представлены в многочисленных исследованиях. Однако методические подходы к трактовке полученных данных чрезвычайно разноречивы.

Некоторые общие рекомендации по интерпретации показателей ВСР при функциональных пробах состоят в следующем:

1. Важнейшее значение имеет оценка функционального состояния организма (вегетативный баланс, степень напряжения регуляторных систем и т.д.) в исходном периоде (фон). Интерпретация данных на разных этапах функциональной пробы должна проводиться, прежде всего, путем сравнения с исходным состоянием.

2. Во всех функциональных пробах анализу подлежат только стационарные процессы. Переходные процессы между исходным состоянием и новым функциональным состоянием имеют различный характер и различную длительность при разных функциональных пробах. Выделение переходного процесса из общей записи и его оценка должны проводиться специальными методами (вейвлет-анализ, нелинейные методы), что является одной из важных проблем функционального тестирования. Нередко именно в переходном процессе содержится наиболее ценная информация о состоянии регуляторных механизмов.

3. Под влиянием функциональных проб формируется новое функциональное состояние, которое не является устойчивым. Это особенно необходимо учитывать, анализируя динамику показателей ВСР, отражающих тонкие взаимосвязи между различными звеньями регуляторного механизма. Поэтому для оценки реактивности целесообразно выделять различные этапы функциональной пробы (фон, непосредственное воздействие и период восстановления).

4. При оценке показателей ВСР на разных этапах функциональной пробы рекомендуется оценивать не только их средние значения, но и динамику изменений, и синхронизацию этих изменений.

#### ***Методика проведения ортостатической пробы***

После проведения фоновой пробы пациент из горизонтального положения по команде быстро переходит в вертикальное положение и стоит по стойке «смирно», но без напряжения 5 минут. В течение всей пробы производится непрерывная запись ЭКГ.

#### ***Изменения ВСР при проведении пробы***

В норме в ответ на ортостаз происходит перераспределение значительной части объёма циркулирующей крови с временным застоем её в ёмкостных сосудах. Это приводит к снижению притока крови в правые отделы сердца и уменьшению сердечного выброса. В результате снижается АД, запуская компенсаторные механизмы регуляции, реализующиеся в виде 4 фаз.

1. Повышение ЧСС в ответ на раздражение барорецепторов дуги аорты и снижение тонуса блуждающего нерва. Обуславливает появление на ритмограмме ортостатической пробы характерной «ямы». Продолжительность этой фазы - до 20 секунд. Максимальное учащение ЧСС обычно возникает на 15-й секунде ортостаза.

2. Снижение ЧСС в ответ на восстановление тонуса блуждающего нерва. Обуславливает появление на ритмограмме ортостатической пробы характерного «пика». Продолжительность этой фазы варьирует достаточно широко - до 1-2 минут. Максимальное урежение ЧСС обычно возникает на 30-й секунде ортостаза.

3. Повышение ЧСС за счёт активизации симпато-адреналовой системы и выброса в кровь катехоламинов. На ритмограмме наблюдается появление низкочастотных волн LF. Начало этой фазы - 1-2 минута записи, продолжительность варьирует достаточно широко, иногда до 5-10 минут.

4. Активизация ренин-ангиотензин-альдостероновой системы. Приводит к относительному повышению мощности волн очень низкой частоты (VLF%).

Промежуток времени с момента принятия обследуемым вертикального положения до окончания визуально определяемого на ритмограмме участка нестационарности называется переходным периодом (ПП). Обычно продолжительность ПП составляет 1-2 минуты. Учитывая наличие существенных недостатков в работе алгоритмов автоматического определения его продолжительности, в ряде систем для анализа ВСР предусмотрена возможность визуального определения момента окончания ПП по ритмограмме.

#### *Интерпретация результатов*

Применяются три метода оценки результатов активной ортостатической пробы:

1. Расчёт и интерпретация двух показателей - коэффициента 30:15 (К 30:15) и коэффициента реакции (Кр).
2. Спектральный анализ.
3. Оценка ритмограммы.

При анализе ПП производится оценка коэффициента 30:15, который вычисляется как отношение самого продолжительного интервала R-R, соответствующего «пику» ритмограммы, к самому короткому интервалу R-R, соответствующему «дну ямы».

Производится оценка реактивности ПНС. В норме К 30:15 более 1,35. Значения в диапазоне 1,35-1,2 считаются пограничными, ниже 1,2 - патологическими. Кр рассчитывается по формуле:

$$Kp = \frac{(R-R_{\max} - R-R_{\min}) \times 100\%}{R-R_{\max}}$$

С учётом величины данного коэффициента различают 3 вида реакции на ортостатическую пробу.

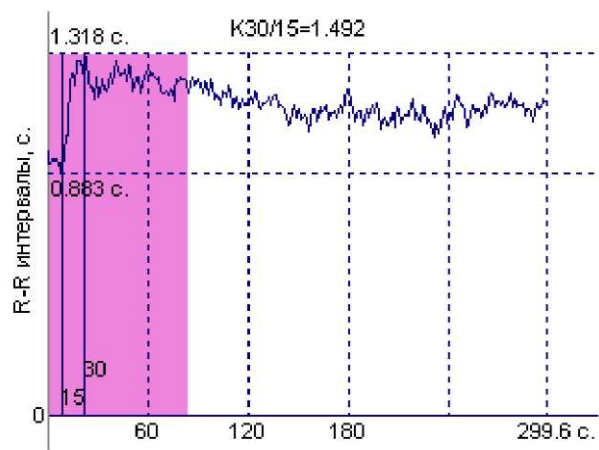


Рис. 13.1. Нормальная реакция ( $K_p=33\%$ )

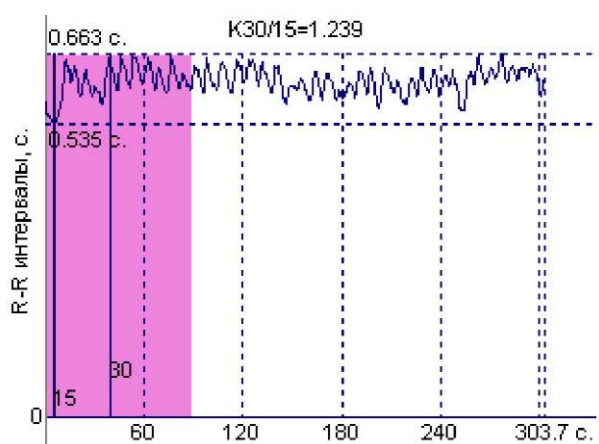


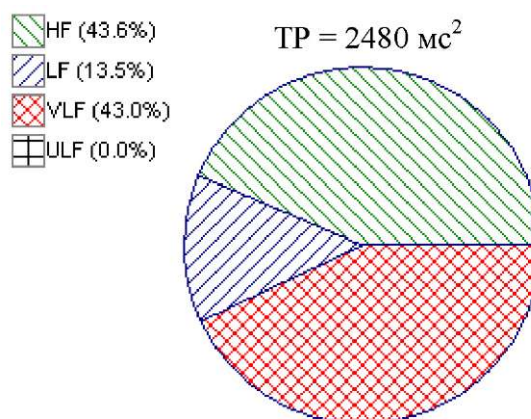
Рис. 13.2. Сниженная реакция ( $K_p=19,3\%$ )

Таблица 6. Типы реакций на ортостатическую пробу по значению показателя  $K_p$

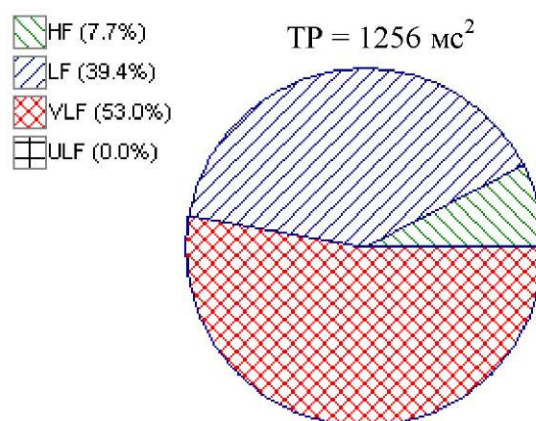
Тип реакции	Значение коэффициента реакции	Интерпретация
Нормальная реакция	$K_p > 30\%$ без выраженной стабилизации ритма	Характерна для здоровых и тренированных людей
Сниженная реакция	$K_p 0-30\%$	Характерна для пациентов с заболеваниями ССС
Парадоксальная реакция	$K_p < 0$ $K_p > 30\%$ , но происходит резкая стабилизация ритма	Не интерпретируется

Оценка ортостатической пробы может быть произведена с помощью спектрального анализа сравнением мощностей высокочастотных и низкочастотных компонентов спектра (HF и LF). Ритмограмма оценивается с исключением ПП. В норме происходит снижение мощностей всех компонентов спектра, однако снижение мощности низкочастотных компонентов выражено в наименьшей степени. Это приводит к

относительному преобладанию мощности волн LF во время проведения пробы.



а) Фоновая проба



б) Ортостатическая проба

Рис. 14. Диаграммы мощностей показателей спектрального анализа при проведении активной ортостатической пробы

Таблица 7. Модифицированная интерпретация ритмограмм.

Тип ритмограммы и его общая характеристика	Заключение
<p>РГ 1 - Ортостатическая проба не вызывает существенных изменений дисперсии сердечного ритма и характера волн. Средняя частота сердечных сокращений после переходного периода остаётся на исходном уровне или не изменяется. Переходный период характеризуется быстрым учащением ритма большой амплитуды с быстрым возвращением к исходному уровню.</p>	<p>Хорошая переносимость ортостатической нагрузки. Широкий диапазон адаптационных возможностей не используется.</p>
<p>РГ 2 - Ортостатическая проба не вызывает существенных изменений дисперсии сердечного ритма и характера волн. Средняя частота сердечных сокращений после переходного периода возрастает. Переходный период характеризуется быстрым учащением ритма большой амплитуды без возвращения к исходному уровню.</p>	<p>Хорошая переносимость ортостатической нагрузки. Определяется увеличение влияния СНС. Широкий диапазон адаптационных возможностей используется умеренно.</p>
<p>РГ 3 - В исходном состоянии определяется высокая дисперсия сердечного ритма. Ортостатическая проба вызывает снижение дисперсии ритма (повышение его стабильности). Средняя частота сердечных сокращений после переходного периода возрастает. Переходный период характеризуется быстрым учащением ритма большой амплитуды без возвращения к исходному уровню.</p>	<p>Переносимость ортостатической нагрузки удовлетворительная. Определяется абсолютное уменьшение влияния парасимпатической и относительное увеличение влияния симпатической нервных систем. Используется значительная часть диапазона</p>
<p>РГ 4 - Ортостатическая проба вызывает незначительное снижение дисперсии сердечного ритма (повышение его стабильности). Средняя частота сердечных сокращений после переходного периода возрастает. Переходный период характеризуется быстрым учащением ритма большой амплитуды без возвращения к исходному уровню.</p>	<p>Переносимость нагрузки удовлетворительная. Определяется увеличение влияния СНС. Используется значительная часть диапазона адаптационных возможностей ССС.</p>
<p>РГ 5 - Ортостатическая проба вызывает значительное снижение дисперсии сердечного ритма (значительное повышение его стабильности). Средняя частота сердечных сокращений после переходного периода возрастает. Переходный период характеризуется быстрым учащением ритма на 20-30% без возвращения к исходному уровню.</p>	<p>Определяется абсолютное и значительное уменьшение влияния ПСНС и умеренное увеличение влияния симпатической регуляции. Уменьшение диапазона адаптационных возможностей сердечно-сосудистой системы.</p>
<p>РГ 6 - Ортостатическая проба вызывает значительное снижение дисперсии сердечного ритма (значительное повышение его стабильности). Средняя частота сердечных сокращений после переходного периода возрастает. Переходный период характеризуется быстрым учащением ритма на 10-20% без возвращения к исходному уровню.</p>	<p>Определяется абсолютное и значительное уменьшение влияния ПСНС и умеренное увеличение влияния симпатической регуляции. Уменьшение диапазона адаптационных возможностей ССС.</p>

<p>РГ 7 - Ортостатическая проба вызывает значительное снижение дисперсии сердечного ритма (значительное повышение его стабильности). Средняя частота сердечных сокращений после переходного периода возрастает. Переходный период характеризуется быстрым учащением ритма до 10% по сравнению с фоновой пробой без возвращения к исходному уровню.</p>	<p>Определяется абсолютное и значительное уменьшение влияния ПСНС и умеренное увеличение влияния симпатической регуляции. Уменьшение диапазона адаптационных возможностей ССС.</p>
<p>РГ 8 - В исходном состоянии определяется низкая дисперсия сердечного ритма. Ортостатическая проба вызывает парадоксальное повышение дисперсии сердечного ритма (парадоксальное повышение его стабильности). Средняя частота сердечных сокращений после переходного периода возрастает. Переходный период характеризуется быстрым учащением ритма без возвращения к исходному уровню.</p>	<p>При проведении фоновой пробы определяется преобладание симпатической регуляции сердечного ритма. В ортостатическом положении влияние СНС увеличивается. Определяется уменьшение диапазона адаптационных возможностей ССС.</p>
<p>РГ 9 - В исходном состоянии определяется низкая дисперсия сердечного ритма. Ортостатическая проба вызывает парадоксальное повышение дисперсии сердечного ритма (парадоксальное повышение его стабильности). Средняя частота сердечных сокращений после переходного периода уменьшается. Переходный период характеризуется быстрым, но незначительным учащением ритма (менее 30%) от исходного с постепенным волнообразным урежением.</p>	<p>При проведении фоновой пробы определяется преобладание симпатической регуляции СР. В ортостатическом положении влияние СНС увеличивается.</p>
<p>РГ 10 - В исходном состоянии определяется низкая дисперсия сердечного ритма. Ортостатическая проба вызывает парадоксальное повышение дисперсии сердечного ритма (парадоксальное повышение его стабильности). Средняя частота сердечных сокращений после переходного периода уменьшается. Переходный период характеризуется быстрым, но незначительным учащением ритма (менее 30%) от исходного с постепенным волнообразным урежением.</p>	<p>При проведении фоновой пробы определяется преобладание симпатической регуляции СР. В ортостатическом положении влияние СНС увеличивается.</p>

### Оценка типа вегетативной регуляции по данным анализа ВСР

Важными критериями для экспресс-оценки преобладающего типа регуляции сердечного ритма (автономного или центрального) у спортсменов являются показатели: SI (стресс-индекс), TP (общая мощность спектра) и VLF (мощность низкочастотных составляющих спектра). В таблице 8 указаны значения этих показателей в зависимости от преобладающего типа регуляции сердечного ритма.

Таблица 8. Оценка функционального состояния регуляторных систем организма у спортсменов по данным ВСР основанная на определении типа регуляции сердечного ритма

Тип регуляции сердечного ритма	Группа	Критерии отбора в группы		Отличительные особенности показателей ВСР в зависимо- сти от преобладающего типа регуляции	Интерпретация полученных данных ВСР
		SI (усл. ед.)	VLF (мс <sup>2</sup> )		
ПЦР	I	>100	>240	<p>Малые значения R-R, и MxDMn, MxRMn кардиоритма, RMSSD, SDNN, pNN50. Большие значения AMO50, AMO7.8, SI.</p> <p>Умеренно низкие величины D и TP, преобладание LF-волн над HF, VLF, ULF-волнами в спектре. Относительное содержание ULF% и VLF% по сравнению с другими группами высокое. Характерный тип спектра (LF&gt;HF&gt;VLF&gt;ULF).</p>	Умеренное преобладание симпатической и центральной регуляции сердечного ритма, снижение активности автономного контура регуляции. Умеренное напряжение регуляторных систем организма.
	II	>100	<240	<p>Еще более малые значения значения R-R, и MxDMn, MxRMn, RMSSD, SDNN, PNN50%, SV, D. Малая суммарная площадь спектра (TP). Большие значения AMO50, AMO7.8, SI. Низкие абсолютные значения волновой структуры спектра и особенно VLF по сравнению с I группой. При этом типе регуляции необходимо применение ортостатического тестирования.</p>	<p>Выраженное преобладание симпатической регуляции сердечного ритма. Резкое увеличение активности центральной регуляции над автономной. Сниженное функциональное состояние регуляторных систем. Состояние вегетативной дисфункции.</p> <p>У спортсменов может отражать состояние выраженного утомления, перетренированности. А у спортсменов высокого класса в короткий предсоревновательный период может отражать пик спортивной формы.</p>
ПАР	III	>25 и <100	>240	<p>Умеренно увеличенные показатели R-R, и MxDMn, MxRMn, RMSSD, SDNN, PNN50%, SV, D. Малые значения SI, AMO50, AMO7.8.</p> <p>Умеренно высокие абсолютные значения TP, HF, LF. Умеренное преобладание HF% над LF% волнами. У спортсменов могут преобладать LF, VLF, ULF, что требует особой трактовки состояния и регуляции. Характерные типы спектров (LF&gt;HF&gt;VLF&gt;ULF), (LF&gt;HF&gt;ULF&gt;VLF).</p>	Умеренное преобладание парасимпатической активности. Оптимальное состояние регуляторных систем организма. У спортсменов отражает нормальный уровень тренированности. Для спортсменов высокого класса (III группа) может быть показателем недостаточной тренированности.



	IV	<25	>500 TP>800- 10000	<p>Выраженное увеличение R-R, и MxDMn, MxRMn - кардиоинтервалов.</p> <p>Многофокусный ритм на фоне миграции водителя ритма, особенно часто встречается у спортсменов.</p> <p>Очень большие значения RMSSD, SDNN, PNN50%, SV, D.</p> <p>Очень малые значения LF/HF, IC, AMO50, CC0, SI. Большие значения TP (больше 8000-10000 мс<sup>2</sup>), HF, LF, VLF, ULF. волн. Резкое преобладание HP% над BP% - волнами. Самые низкие относительные показатели УБР% и ББР% по сравнению с другими группами.</p> <p>У спортсменов встречается выраженное увеличение абсолютных значений мощности LF, VLF, ULF волн и их преобладание над HF волнами. Характерные типы спектров: HF&gt;LF&gt;VLF&gt;ULF; VLF&gt;HF&gt;LF&gt;ULF; LF&gt;HF&gt;VLF&gt;ULF и др. требуют соответствующей трактовки</p>	<p>Выраженное преобладание парасимпатического отдела ВНС над симпатическим. Этот тип регуляции может иметь как патологический, так и физиологический характер.</p> <p>У спортсменов этот тип регуляции может иметь «физиологический» характер при условии динамических наблюдений за ВСР с использованием ортостатической пробы. А также может отражать состояние переутомления, перенапряжения, перетренированности или различные дисфункции синусового узла и нарушение ритма и проводимости. Или наоборот, отражать высокий уровень тренированности у спортсменов высокого класса.</p> <p>У спортсменов-новичков наличие IV группы свидетельствует о необоснованном форсировании физических нагрузок и выраженном утомлении.</p>
--	----	-----	--------------------------	--	---