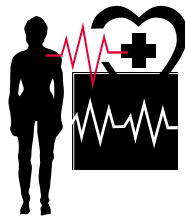


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт»

Л. А. Краснов, В. П. Олейник

**МОНИТОРИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РИТМА СЕРДЦА.  
ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ  
И КОМПЬЮТЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ В МЕДИЦИНЕ**

Учебное пособие



Харьков «ХАИ» 2014

УДК 616.12 – 008.318 : 616 – 7 : 621.396.6 (075.8)

**K78**

Розглянуто теоретичні основи та практичні аспекти оцінювання варіабельності серцевого ритму (**ВСР**) за результатами тривалого електрокардіографічного моніторингу. Наведено методики оцінювання стану вегетативної нервової системи за результатами аналізу **ВСР**. Указано основні області застосування методу і показання до його використання.

Для студентів напряму підготовки «Радіоелектронні апарати» спеціальності «Біотехнічні та медичні апарати і системи».

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. А. И. Завгородний,  
канд. техн. наук, доц. В. И. Огарь

**Краснов, Л. А.**

**K78** Мониторирование и анализ ритма сердца. Технические средства электронной и компьютерной диагностики в медицине [Текст]: учеб. пособие / Л. А. Краснов, В. П. Олейник. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2014. – 84 с.

Рассмотрены теоретические основы и практические аспекты оценки вариабельности сердечного ритма (**ВСР**) по результатам длительного электрокардиографического мониторинга. Приведены методики оценки состояния вегетативной нервной системы по результатам анализа **ВСР**. Указаны основные области применения метода и показания к его использованию.

Для студентов направления подготовки «Радиоэлектронные аппараты» специальности «Биотехнические и медицинские аппараты и системы».

Ил. 33. Табл. 8. Библиогр.: 13 назв.

**УДК 616.12 – 008.318 : 616 – 7 : 621.396.6 (075.8)**

© Краснов Л. А., Олейник В. П., 2014  
© Национальный аэрокосмический  
университет им. Н. Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт», 2014

## ВВЕДЕНИЕ

Все органы и системы организма человека постоянно контролируются вегетативной нервной системой. Взаимодействие симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы и гуморальных влияний обеспечивает оптимальную адаптацию организма к изменяющимся условиям внутренней и внешней среды. Сердечный ритм – это индикатор гемодинамических, метаболических и других отклонений от нормы. Поэтому исследование variability ритма сердца (**ВСР**) имеет важное диагностическое и прогностическое значение при различных патологиях: заболеваниях сердечно-сосудистой, нервной, дыхательной, эндокринной систем, психоэмоциональных и стрессовых нарушениях. Методику учета параметров **ВСР** можно использовать для оценки функциональной готовности здоровых людей и уровня тренированности спортсменов.

Отметим, что адекватные физиологические модели **ВСР** и методы оценки вегетативного статуса человека были созданы в середине XX века. Однако они не получили широкого применения в клинике ввиду большой трудоемкости вычислений и сложностей длительной регистрации электрокардиограмм (**ЭКГ**). Ситуация радикально изменилась с появлением компьютерных технологий и специализированных программ для анализа **ВСР**. Это позволило использовать метод в повседневной клинической практике, а также при выполнении различного рода исследований медико-биологического характера.

Ознакомление с методом анализа **ВСР** принесет несомненную пользу студентам и аспирантам, специализирующимся в области проектирования и использования биотехнических и медицинских аппаратов и систем, а также окажет помощь при медико-биологических исследованиях.

В работе приведены обширный список литературы, посвященной данной проблеме, а также ссылки на международные стандарты по методам исследования **ВСР** и стандартам измерения.

# 1. ФИЗИОЛОГИЯ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

**Вегетативная нервная система (ВНС)** – это автономная нервная система, которая является частью нервной системы. **ВНС** регулирует деятельность органов кровообращения, дыхания, пищеварения, выделения, размножения, а также обмен веществ и рост. Основное назначение **ВНС** – поддержание постоянства внутренней среды организма, а также приспособительных и адаптивных реакций человеческого организма. Термин «вегетативная нервная система» введен исходя из того, что эта часть нервной системы регулирует большую часть всех жизненно важных органов и систем.

Анатомически и функционально вегетативную нервную систему разделяют на симпатическую (**СНС**) и парасимпатическую (**ПНС**). Симпатические и парасимпатические центры находятся под контролем гипоталамических центров мозга, а также коры больших полушарий головного мозга, которые посредством вегетативной нервной системы осуществляют целостную ответную реакцию организма на различные внешние и внутренние воздействия и обеспечивают поддержание функций жизненно важных процессов в организме.

Симпатические нервы выходят из спинного мозга в области первого грудного и четвертого поясничного сегментов, а прерываются в узлах пограничного симпатического ствола или в расположенных несколько дальше (экстрамуральных) ганглиях, откуда распространяются по всему телу. Поэтому в **ПНС** постганглионарные волокна короткие, в **СНС** – более длинные. Раздражения **СНС** носят более распространенный, диффузный характер, а проявления **ПНС** более локальны, охватывают один какой-либо орган.

Большинство внутренних органов имеют двойную иннервацию **СНС** и **ПНС**. Некоторые органы, такие, как сосуды, потовые железы, мозговой слой надпочечников, контролирует только симпатическая нервная система. Симпатическая и парасимпатическая отделы нервной системы на большинство органов оказывают противоположное друг другу влияние: расширение и сужение зрачка, учащение и замедление сердечных сокращений, изменение секреции и перистальтики кишечника. В зависимости от медиаторов, находящихся в окончаниях нервных волокон, их разделяют на холинергические (связанные с выделением ацетилхолина в парасимпатическом отделе вегетативной нервной регуляции) и адренергические (выделение норадреналина в **СНС**). Для нервных волокон функции вегетативной нервной системы характерна малая скорость проведения возбуждения и низкая возбудимость. Они обладают способностью к восстановлению.

Вегетативной нервной системе принадлежит ведущая роль в осуществлении приспособительных реакций организма при охлаждении, кровопотере, интенсивной мышечной работе, эмоциональном напряжении и

других факторах влияния внешней и внутренней среды. **ВНС** оказывает на организм тройное действие:

1. Пусковое, характеризующееся возбуждением органа, функционирующего непостоянно (например, секреция потовых желёз).
2. Корректирующее (направляющее), проявляющееся в усилении или ослаблении деятельности органа, обладающего автоматизмом (работа сердца, перистальтика кишечника).
3. Адаптационно-трофическое, заключающееся в регуляции обмена веществ.

Центры вегетативной нервной системы расположены в мозговом стволе и спинном мозге:

1. В среднем мозге находятся мезэнцефальные центры парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, вегетативные волокна от них проходят в составе глазодвигательного нерва.
2. В продолговатом мозге расположены бульбарные центры парасимпатического отдела нервной системы. Эфферентные волокна от них проходят в составе лицевого, языкоглоточного и блуждающего нервов.
3. В грудных и поясничных сегментах спинного мозга (от первого грудного до двух – четырех поясничного) находятся грудинно-поясничные (тораколюмбальные) центры симпатического отдела вегетативной нервной системы. От них вегетативные волокна проходят через передние корешки спинно-мозговых сегментов вместе с отростками моторных нейронов.
4. В крестцовых сегментах спинного мозга размещены сакральные центры парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, их волокна расположены в составе тазовых нервов.

Таким образом, центры вегетативной нервной системы расположены в четырёх отделах центральной нервной системы (**ЦНС**). Ядра, находящиеся в мезэнцефальном, бульбарном и сакральном отделах, образуют парасимпатическую часть вегетативной нервной системы, а в тораколюмбальном отделе – симпатическую часть.

## **2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВАРИАбельНОСТИ РИТМА СЕРДЦА**

Ритм сердца определяется способностью специализированных клеток проводящей системы сердца спонтанно активироваться, это свойство сердечного автоматизма. Регуляция сердечного ритма в физиологических условиях – это результат ритмической активности пейсмекеров синусового узла (**СА-узла**) и модулирующего влияния вегетативной и центральной нервной систем, ряда гуморальных и рефлекторных воздействий.

Рассмотрим основные факторы физиологического влияния различных отделов вегетативной нервной системы на механизм формирования сердечного ритма. Понимание этих явлений позволяет объективно оценить вегетативный статус человека в норме и патологии.

## 2.1. Влияние вегетативной нервной системы на регуляцию сердечного ритма

Основное модулирующее действие на сердечный ритм оказывает вегетативная нервная система. При этом симпатический отдел стимулирует деятельность сердца, а парасимпатический – угнетает ее. Центральная нервная система контролирует относительные уровни активности симпатического и парасимпатического отделов по механизму обратной связи. Однако при одновременной активации обоих отделов эффекты симпатической и парасимпатической нервных систем не складываются простым алгебраическим способом, поэтому взаимодействие их эффектов нельзя выразить линейной зависимостью. Кроме того, вегетативная иннервация различных отделов сердца неоднородна и несимметрична. В частности, в узловых тканях преобладают эффекты парасимпатической системы, реализуемые через блуждающий нерв, а в миокарде желудочков влияние симпатического отдела выражено значительно сильнее, чем парасимпатического. Различают влияния на сердце левого и правого блуждающего нерва. Волокна правого блуждающего нерва иннервируют в основном синусовый узел, а волокна левого блуждающего нерва подходят главным образом к атриовентрикулярному узлу. В результате правый блуждающий нерв влияет преимущественно на частоту сердечных сокращений (**ЧСС**), а левый – на атриовентрикулярное проведение. Соответственно при раздражении правого блуждающего нерва более выражен отрицательный хронотропный эффект (замедление **ЧСС**), а при стимуляции левого – отрицательный дромотропный (замедление атриовентрикулярного проведения).

Асимметрия наблюдается и в симпатической иннервации сердца. Симпатические нервы правой стороны обычно иннервируют переднюю поверхность желудочков и в большей степени синусовый узел, а левой – заднюю поверхность желудочков и атриовентрикулярный узел.

Парасимпатическую систему регуляции считают высокочастотной системой. Её медиатор – ацетилхолин. Он быстро разрушается холинэстеразой. При непрерывной стимуляции блуждающего нерва латентный период реакции составляет около 200 мс. Колебания активности парасимпатической системы порождают изменения сердечного ритма с частотой 0,15...0,4 Гц и более, формируя так называемые быстрые (высокочастотные) волны (**HF-high frequency**).

Повышение симпатической активности вызывает увеличение **ЧСС**. Норадреналин (**НА**), освобождающийся из симпатических нервных окончаний, повышает частоту спонтанных возбуждений автоматических клеток **СА**-узла. При стимуляции сердечных симпатических нервов **ЧСС** начинает повышаться – латентный период составляет 1 – 3 с. Установившийся уровень **ЧСС** достигается лишь через 30 – 60 с после начала стимуляции симпатических волокон.

После прекращения стимуляции симпатических волокон хронотропный эффект постепенно исчезает и ритм возвращается к контрольному уровню. Таким образом, симпатическая система регуляции кровообращения – это медленная система регуляции. Соответственно и волны, обусловленные колебанием симпатической системы, называются медленными (низкочастотными) (**LF**-low frequency).

Приведем одну из гипотез, доказывающих присутствие парасимпатических влияний в медленных волнах. Выброс крови из сердца и пульсация сосудов зависят от дыхания. На вдохе снижается систолический объем выброса из левого желудочка и увеличивается приток крови к сердцу. Это сопровождается увеличением присасывающей волны крови из периферии. Таким образом, в пульсовом движении крови возникает дополнительная волна – дыхательная, когда в такт дыханию (с частотой, меньшей, чем частота пульса) меняется высота пульсовой волны крови. Так парасимпатическая система оказывает модулирующее влияние на активность симпатической системы.

Кроме того, в последнее время обнаружены особые клетки, содержащие большие запасы катехоламинов. На них расположены синапсы, образованные терминальными окончаниями блуждающего нерва. Следовательно, возможно и прямое воздействие блуждающего нерва на адренергические рецепторы. Установлено также, что часть внутрисердечных нейроцитов имеет положительную реакцию на моноаминоксидазу. Это указывает на взаимосвязь и взаимозависимость обоих звеньев вегетативной системы.

Самая медленная система регуляции кровообращения – гуморально-метаболическая. Она связана с активностью как циркулирующих гормонов в крови, так и активных веществ в самой ткани (тканевых гормонов). Ее регулирующее влияние связано с 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).

Деятельность вегетативной нервной системы находится под влиянием центральной нервной системы. В продолговатом мозге расположен сердечно-сосудистый центр, объединяющий парасимпатический, симпатический и сосудодвигательный центры, которые регулируются подкорковыми узлами и корой головного мозга. Условно выделяют четыре уровня центральной регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы – спинной мозг, ствол мозга, область гипоталамуса, кора головного мозга.

Ствол мозга постоянно поддерживает вегетативный тонус. Гипоталамус и лимбическая система ответственны за координацию вегетативных, поведенческих, эмоциональных реакций и вегетативного обеспечения деятельности. Раздражение эрготропных отделов гипоталамуса вызывает симпатическую активацию, а раздражение тропотропных отделов оказы-

вает тормозное воздействие на сердечно-сосудистую систему. Кора головного мозга – высший регуляторный центр интегративной деятельности, активирует как моторные, так и вегетативные центры.

## 2.2. Рефлекторная регуляция сердечной деятельности

**Барорецепторный рефлекс.** Барорецепторы представляют собой рецепторы, воспринимающие механическое растяжение стенки артерий, они расположены в каротидных синусах и дуге аорты. Аfferентные импульсы от рецепторов каротидных синусов поступают в головной мозг по ветвям языкоглоточных нервов (IX пара). Импульсы от барорецепторов аорты поступают в мозг по ветвям блуждающего нерва (X пара). Эfferентное плечо барорецепторного рефлекса образуется симпатическими и парасимпатическими волокнами. Частота импульсов барорецепторов стенки артерий увеличивается при повышении среднего артериального давления в области каротидных синусов и дуги аорт, что приводит к уменьшению активности в эfferентных симпатических волокнах и увеличению активности в эfferентных парасимпатических волокнах. Снижение симпатической активности, в свою очередь, уменьшает вазомоторный тонус в резистивных и емкостных сосудах, способствует понижению **ЧСС**, увеличивает время **АВ**-проводимости и уменьшает сократимость миокарда. Повышение активности блуждающего нерва вызывает те же эффекты, что и снижение симпатической активности.

Противоположные изменения эfferентной симпатической и парасимпатической активности в ответ на изменение артериального давления наблюдаются только тогда, когда артериальное давление приблизительно соответствует нормальному диапазону давлений. Если артериальное давление резко снижается, то тонус блуждающего нерва практически исчезает. В этом случае рефлекторная регуляция происходит исключительно в результате изменений эfferентной симпатической активности. И наоборот, если артериальное давление резко повышается, то симпатический тонус полностью угнетается, а градация рефлекторной регуляции осуществляется только вследствие изменений эfferентной регуляции вагуса.

**Рефлекс Бейнбриджа.** Суть этого рефлекса заключается в том, что при увеличении объема крови и повышении давления в крупных венах происходит увеличение **ЧСС**, несмотря на сопутствующее увеличение артериального давления. Рефлекс устраняется двусторонней ваготонией. Рефлекс Бейнбриджа преобладает над барорецепторным рефлексом при увеличении объема циркулирующей крови. И наоборот, снижение объема крови уменьшает минутный объем и артериальное давление. При этом **ЧСС** повышается. Следовательно, при уменьшении объема циркулирующей крови барорецепторный рефлекс должен преобладать над рефлексом Бейнбриджа.

**Хеморецепторный рефлекс.** Периферические артериальные хеморецепторы реагируют на снижение  $pO_2$  и  $pH$  артериальной крови и на повышение  $pCO_2$ . Стимуляция артериальных рецепторов вызывает гипервентиляцию легких, брадикардию и сужение сосудов. Однако амплитуда этих сердечно-сосудистых реакций зависит от сопутствующих изменений легочной вентиляции. Например, если стимуляция хеморецепторов вызывает умеренную гипервентиляцию, то реакцией сердца, скорее всего, будет брадикардия, и, наоборот, при сильной гипервентиляции **ЧСС** обычно возрастает.

Несмотря на обилие и сложность механизмов, оказывающих влияние на ритм сердца, в последние годы стало очевидно, что реципрокное взаимодействие парасимпатической и симпатической систем может быть эффективно исследовано с помощью оценки частотного спектра сердечного ритма. Это доказательство основано на следующих основных принципах:

- дыхательные волны, определенные как высокочастотные спектральные компоненты, – это маркеры модуляции блуждающего нерва;
- ритм, относящийся к вазомоторным волнам с присутствием вариативности ритма сердца и **АД**, определенный как низкочастотные компоненты, – маркер симпатической модуляции;
- существует реципрокное соотношение между двумя ритмами, характеризующими баланс симпатических и парасимпатических влияний;
- при короткой записи (200–500 интервалов **R-R**) можно адекватно оценить только **LF** и **HF** компоненты. Оценивать баланс **VNS** необходимо с учетом соотношения **LF/HF** в нормализованных единицах, из которого исключен показатель **VLF**.

В настоящее время не существует одного конкретного количественного показателя, достоверно характеризующего баланс симпатического и парасимпатического отделов, так называемого вегетативного гомеостаза. Уменьшение тонуса парасимпатического отдела может сопровождаться определенным уменьшением тонуса симпатического отдела нервной системы. Мощность высокочастотных (**HF**) и низкочастотных волн (**LF**) отражает не абсолютную интенсивность парасимпатического и симпатического тонуса, а колебания интенсивности потока импульсов, поступающих к сердцу по соответствующим нервам.

Общая схема влияний различных факторов на ритмическую деятельность сердца показана на рис. 2.1.

Ритм сердца – это реакция организма на различные раздражения внешней и внутренней среды. **ЧСС** определяется многочисленными регуляторными механизмами.

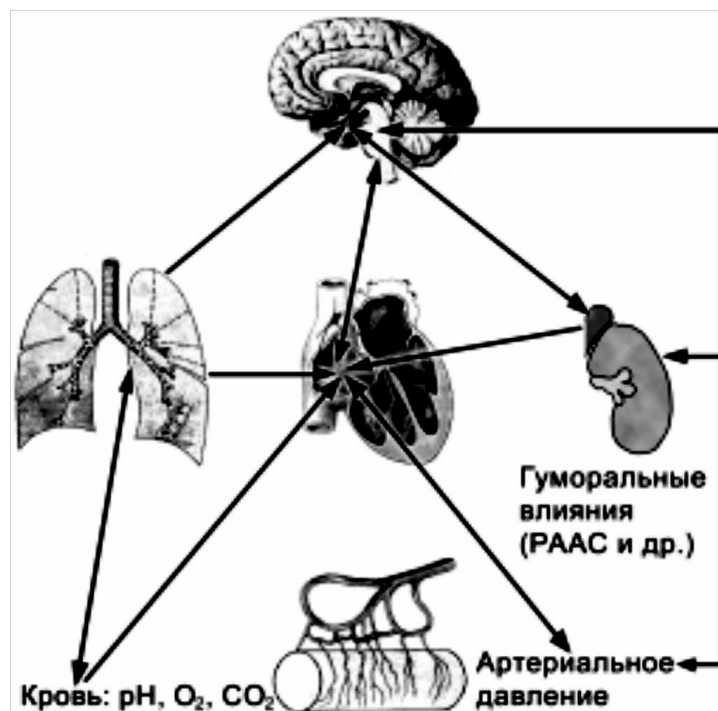


Рис. 2.1. Механизмы экстракардиального регулирования сердечного ритма

Цель исследования variability ритма сердца – это попытка выделить и количественно оценить влияние на ритм сердца каждого из звеньев (центрального, вегетативного, гуморального, рефлекторного), определить на этой основе адаптационные резервы организма, сформировать прогноз заболевания и выработать рекомендации по подбору оптимальной терапии с последующим контролем за проводимым лечением.

### 3. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСР

#### 3.1. Методика записи кардиоритмограммы

Отметим, что существовавшая до последнего времени проблема отсутствия стандартов измерения **ВСР** была решена с помощью рекомендаций Рабочей группы европейского общества кардиологов и Североамериканского общества стимуляции и электрофизиологии, которые разработали и предложили их для практического применения в 1996 г. Поэтому дальнейшие рекомендации по методике записи кардиоритмограммы будут приведены с учетом этих стандартов.

Кардиоритмограмму (**КРГ**) можно формировать посредством записей пульсовой волны (реограмма, сфигмограмма, фотоплетизмограмма и др.). Однако инструментальная точность измерения **R-R**-интервалов при использовании **ЭКГ**-сигналов значительно выше. Поэтому для расчета показателей variability ритма сердца лучше применять запись электрокардиограммы.

**Продолжительность записи**, как правило, 5 мин (300 с). Однако

при обследовании пациентов с частотой сердечных сокращений, отличающейся от средней (60–80 ударов в минуту), целесообразно установить продолжительность записи не по времени, а по количеству регистрируемых кардиоциклов (комплексов **PQRS**). Рекомендуемое число записи – от 300 до 500 кардиоциклов. При нарушениях ритма лучше использовать продолжительность записи не менее 10 мин (600 с). При повторных записях функциональных проб следует регистрировать одинаковое количество кардиоциклов. Данное требование объясняют тем, что для анализа **КРГ** применяют методы, основанные на использовании аппарата математической статистики. Это требует одинаковой длины сопоставляемых выборок.

**Условия записи.** Регистрацию **КРГ** начинают через два часа после еды, в тихой затененной комнате, где поддерживается постоянная температура 20...22 °С. Перед **КРГ**-исследованием обязательно отменяют физиопроцедуры и медикаментозное лечение с учетом срока выведения лекарств из организма. Непосредственно перед записью **КРГ** необходим период адаптации к условиям исследования в течение 5 - 10 мин, иногда больше, по решению врача. Если адаптация оказалась недостаточной, то из анализа исключают искаженный участок или анализ не проводят вообще.

**ЭКГ** записывают в положении лежа на спине при спокойном дыхании. Обстановка во время исследования должна быть приближена к естественным условиям. При изучении динамики патологического процесса тестирование проводят в одно и то же время суток без предшествующих выраженных эмоциональных и физических нагрузок, натощак, после достаточного сна. Необходимо устранить помехи, приводящие к эмоциональному возбуждению, нельзя разговаривать с исследуемым и посторонними, исключить телефонные звонки и появление в кабинете других лиц, включая медработников. В период регистрации **КРГ** пациент должен дышать, не делая глубоких вдохов, не кашлять, не сглатывать слюну. После физической нагрузки ему следует компенсировать возможную нехватку воздуха не глубокими вдохами, а учащением дыхания.


**Выбор отведений и запись мониторной ЭКГ.** Мониторные **ЭКГ**-записи в состоянии покоя (так называемые фоновые пробы) обычно записывают в основных отведениях в положении лежа на спине при спокойном дыхании. Этот метод наиболее комфортен для большинства пациентов. При этом нет необходимости накладывать электроды в грудных отведениях.

Приведем пример регистрации мониторной **ЭКГ** в компьютерной кардиографической системе **Кардиолаб**. Система была разработана и изготовлена научно-техническим центром медицинских приборов и технологий «**ХАИ-МЕДИКА**» Национального аэрокосмического университета «**ХАИ**», прошла технические и медицинские испытания и сертифицирова-

на для применения в Украине, России и в других странах СНГ. Опыт практического использования системы в клинической практике многих лечебных учреждений показал её высокое качество и удобство в эксплуатации. Все дальнейшие примеры компьютерной регистрации, анализа и интерпретации кардиографической информации по анализу **ВСП** будем приводить с помощью системы **Кардиолаб**.



Рис. 3.1. Окно просмотра мониторной ЭКГ

Окно просмотра мониторной ЭКГ (рис. 3.1) предназначено для отображения регистрируемой ЭКГ во всех отведениях для контроля ее качества. Поскольку для анализа ритма достаточно всего одного ЭКГ-отведения, то мониторная ЭКГ сохраняется только в одном выбранном отведении. Принято выбирать отведение с максимальной амплитудой R-пика и минимальным уровнем артефактов. Это обеспечивает высокую точность измерения R-R-интервалов и достоверность определения параметров ВСП. Выбранное для анализа ЭКГ-отведение отмечают стрелкой  рядом с названием отведения. Обычно это II стандартное отведение, но можно выбрать и другое, с

большей амплитудой R-пиков.

Окно просмотра мониторной ЭКГ – промежуточное. Из него можно перейти либо к записи отдельной мониторной ЭКГ для исследования вегетативного фона или общего вегетативного тонуса, либо к записи пакета функциональных проб в соответствии с заданным протоколом для изучения вегетативной реактивности и вегетативного обеспечения деятельности.

Убедившись в устойчивой и качественной регистрации ЭКГ, можно начинать запись в память компьютера (рис. 3.2).

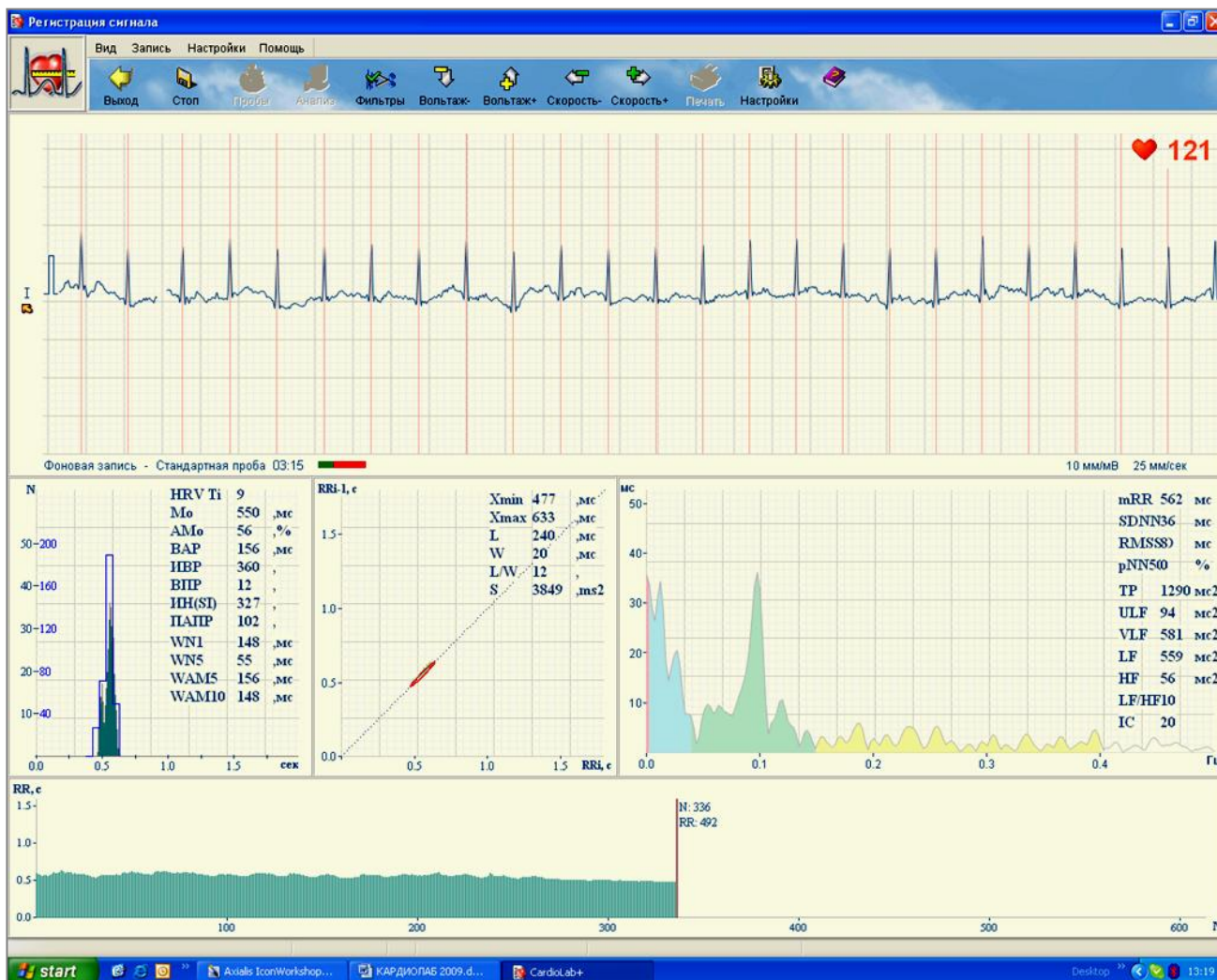


Рис. 3.2. Окно записи мониторной ЭКГ

В верхней части окна представлена регистрируемая ЭКГ и текущая ЧСС. С помощью кнопок управления можно выбрать удобные масштабы отображения ЭКГ-сигнала (по амплитуде и скорости развертки). В этом же окне отображено текущее время записи.

В нижней части окна записи в реальном масштабе времени рассчитывают статистические и спектральные характеристики регистрируемой записи, а также строят кардиоритмограмму.

По окончании времени мониторинга (5 или 10 мин) запись автоматически сохраняется в памяти компьютера для дальнейшего анализа.

### 3.2. Оценка качества записи электрокардиограммы

Следует обратить внимание на наличие помех, обусловленных мышечным тремором, плохим контактом электродов с кожей, беспокойным поведением обследуемого и другими причинами. При выявлении артефактов и эктопических сокращений более 5...10 % целесообразно ограничиться анализом гистограммы и скаттерграммы.

После сохранения мониторной ЭКГ необходимо внимательно просмотреть запись, установить водителю ритма (определить источник возбуждения и ход возбуждения, т.е. отношение зубцов **P** к желудочковым комплексам **QRS**).

Синусовый ритм характеризуется наличием положительных зубцов **P**, за каждым из которых должен следовать комплекс **QRS** с постоянным интервалом **P-R (Q)**, равным или превышающим 0,12 с (у взрослых), за исключением случаев преждевременного возбуждения желудочков, когда он короче. Форма зубца **P** должна быть одинаковой во всех сердечных циклах при нормальной ширине (до 0,12 с) всех зубцов **P**.

Отметим, что большое количество эктопических сокращений, как правило, свидетельствует о наличии у пациента синдрома слабости синусового узла. При этом результаты статистического и спектрального анализа **BCP** нужно воспринимать с большой осторожностью. В этих ситуациях зачастую результаты анализа **BCP** считают некорректными.

### 3.3. Основные методики анализа ВРС

В настоящее время существует большое количество визуальных и количественных методик анализа **ВРС**. Их можно сгруппировать следующим образом:

1. Методы временного анализа (Time domain methods):

А. Статистические.

Б. Геометрические:

– вычисление триангулярного индекса (**HRV triangular index**) и индекса триангулярной интерполяции гистограммы интервалов **R-R (TINN)**;

– определение индекса «Святого Георга»;

– оценка купола гистограммы по Л. Н. Лютиковой.

2. Анализ волновой структуры ритма сердца (частотный анализ, frequency domain methods):

А. Оценка ритмограммы:

– визуально-логический анализ с выделением шести классов ритмограмм по Д. И. Жемайтите (модификация методики четвертого класса **РГ** по Е. А. Березному);

– анализ структуры мощности волн, % (**HF, LF, VLF**).

Б. Спектральный анализ.

3. Нелинейные методы анализа:

А. Показатели скаттерграммы (корреляционной ритмограммы).

Б. Методы анализа нелинейных хаотических колебаний кардиоритма (детерминированный хаос, энтропия сердечного ритма и др.).

4. Вариационная пульсометрия по Р. М. Баевскому, включающая в себя:

– оценку показателей одномерного распределения;

– оценку показателей двумерного распределения;

– вычисление вторичных показателей одномерного распределения;

– методы корреляционно-спектрального анализа.

Учитывая большую популярность и разнообразие методов изучения variability интервалов **R-R** для оценки **BHC**, а также неоднородность их физиологической интерпретации, в 1996 г. на совместном заседании Европейского общества кардиологов и Североамериканского общества электростимуляции и электрофизиологии были выработаны единые стандарты для анализа variability ритма сердца, согласно которым **BPC** рекомендуется измерять либо по коротким (5 мин), либо длинным (24 часа) записям **ЭКГ**. Анализ variability ритма сердца рекомендуется проводить с помощью временных и частотных методов.

### 3.3.1. Методы временного анализа

Методы временного анализа заключаются в измерении продолжительности последовательных интервалов **R-R** между нормальными сокращениями. При этом используют классические статистические характеристики.

Для клинических исследований при короткой записи **ЭКГ** рекомендуется пользоваться перечисленными ниже показателями.

#### А. Статистические методы

Эти методы основаны на статистическом анализе изменений длительности последовательных интервалов **R-R** между нормальными синусовыми кардиоциклами с вычислением различных коэффициентов. Интервалы **R-R** между комплексами **QRS** нормальных кардиоциклов называют интервалами **NN** (normal-normal). При временном анализе ритмограммы оценивают два типа величин – длительность интервалов **NN** и разность длительности соседних интервалов **NN**.

В соответствии с рекомендациями при анализе **BPC** на коротком (5 – 10 мин) участке записи ритмограммы используют следующие характеристики:

– **RRNN** - средняя длительность интервалов **R-R** и обратная величина этого показателя – средняя **ЧСС**. Показатель **RRNN** отражает конечный результат многочисленных регуляторных влияний на синусовый ритм сложившегося баланса между парасимпатическим и симпатическим отделами вегетативной нервной системы;

– **SDNN** (standard deviation of the **NN** interval) – стандартное отклонение (**SD**) величин нормальных интервалов **R-R** (**NN**). Анормальные интервалы **R-R** из анализа исключаются. Стандартное отклонение (**SDNN**) – один из основных показателей вариабельности сердечного ритма – характеризует состояние механизмов регуляции. **SDNN** – это интегральный показатель, характеризующий **BPC** в целом, зависит от влияния на синусовый узел симпатического и парасимпатического отделов вегетативной системы. Увеличение или уменьшение этого показателя свидетельствует о смещении вегетативного баланса в сторону преобладания одного из отделов вегетативной системы, что не позволяет достоверно судить о влиянии на **BPC** каждого из них в отдельности. Кроме того, необходимо принимать во внимание, что величина **SDNN** зависит от длительности анализируемого сегмента **ЭКГ** (имеет тенденцию возрастать при увеличении времени записи);

– **SDNN/RRNNx100 %** – коэффициент вариации (**CV**). По физиологическому смыслу этот показатель не отличается от **SDNN**, но при анализе **BPC** позволяет учитывать влияние **ЧСС**;

– **RMSSD** (the square root of the mean squared differences of successive **NN** interval) – квадратный корень из среднего квадратов разностей величин последовательных пар интервалов **NN**;

– **NN50** – количество пар соседних интервалов **NN**, различающихся более чем на 50 мс в течение всей записи;

– **pNN50 %** – процент (доля) последовательных интервалов **NN**, различие между которыми превышает 50 мс.

Полагают, что на значения показателей **RMSSD**, **NN50** (**pNN50 %**) преимущественно влияет парасимпатический отдел вегетативной системы. Эти показатели являются отражением синусовой аритмии, связанной с дыханием. Как правило, показатели **SDNN** и **RMSSD**, **pNN50 %** изменяются однонаправленно. Однако при длинной записи, например при выполнении функциональных проб, регистрируется существенное увеличение **RMSSD** и **pNN50 %** без значительного роста **SDNN**. Причина заключается в том, что первые два показателя отражают преимущественно кратковременную смену частоты ритма, зависящую от напряжения парасимпатического отдела нервной системы, а на значение **SDNN** влияет разница между максимальной и минимальной частотами сердечных сокращений.

## Б. Геометрические методы

Под геометрическими методами анализа **BPC** подразумевают построение и анализ гистограмм. В гистограмме распределения **R-R**-интервалов высота каждого столбика соответствует количеству **R-R**-интервалов, попавших во временной диапазон, соответствующий положению рассматриваемого столбика на временной шкале. Иногда изображение ступенчатой гистограммы заменяют изображением сглаживающей ее плав-

ной линии. Форма гистограммы (количество столбцов) зависит от ширины разряда, т.е. от того временного диапазона, на которое разбивают основание гистограммы. Ширину разряда выбирают либо фиксированно (0,05 с при объеме выборки около 100 кардиоциклов), либо по формуле Р. М. Баевского

$$h = \frac{(X_{\max} - X_{\min})}{k},$$

где  $X_{\max}$  – максимальное значение интервала R-R;  $X_{\min}$  – минимальное значение интервала R-R;  $k$  – число разрядов:

$$k = 1 + 3,322 \cdot \lg(n),$$

где  $n$  – число наблюдений случайной величины.

При вычислении триангулярного индекса шаг гистограммы принимают равным 1/128 с.

При анализе гистограмм, построенных на коротких участках записи (250–500 интервалов R-R), выделяют несколько типов гистограмм:

**Нормальная гистограмма.** В состоянии покоя у здорового человека распределение величин интервалов R-R близко к нормальному распределению (рис. 3.3).

**Асимметричная гистограмма.** Асимметрия обычно наблюдается при переходных состояниях ритма и указывает на нарушение стационарности процесса (рис. 3.4).

**Экссессивная гистограмма.** Характеризуется очень узким основанием и заостренной вершиной и регистрируется при стрессе и патологических состояниях (рис. 3.5).

**Амодальная гистограмма.** При амодальном распределении все настолько хаотично, что невозможно выделить моду, т.е. наиболее вероятное или доминирующее значение длительности интервала R-R. Подобная гистограмма характерна для фибрилляции предсердий, частой политопной экстрасистолии, множественных артефактов (рис. 3.6).

**Полимодальная гистограмма.** В этом случае кардиоинтервалы распределяются так, что есть несколько выраженных, близких по высоте столбиков на гистограмме, каждый из которых мог бы считаться основным, т.е. претендовать на звание моды. В типичном виде такую гистограмму можно наблюдать при аллоритмии (рис. 3.7).

При описании гистограмм в связи с многообразием форм используют различные математические модели: линейные, треугольные, базирующиеся на анализе кривых второго порядка (показатели асимметрии, эксцесс), и др.

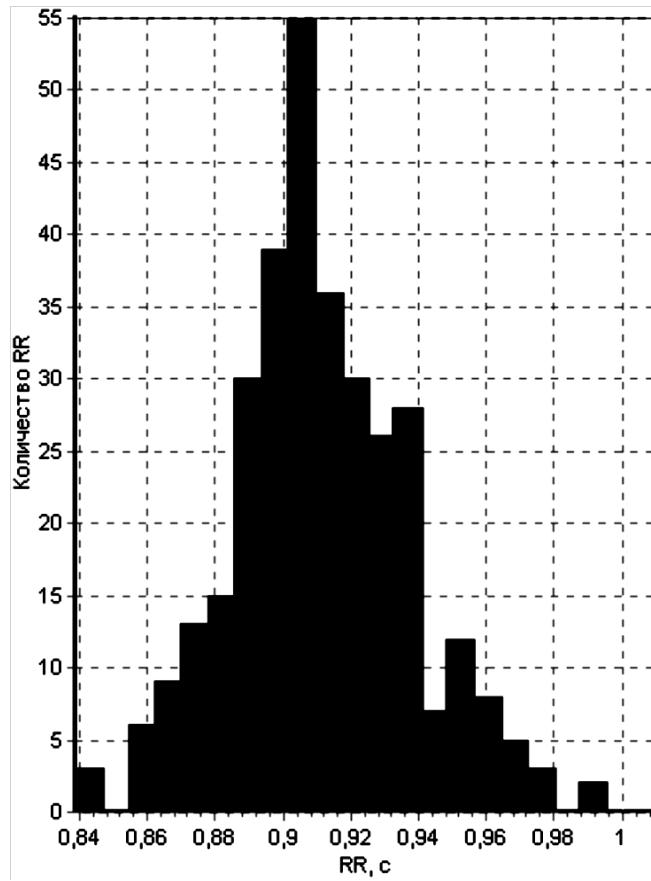


Рис. 3.3. Гистограмма. Нормальное распределение

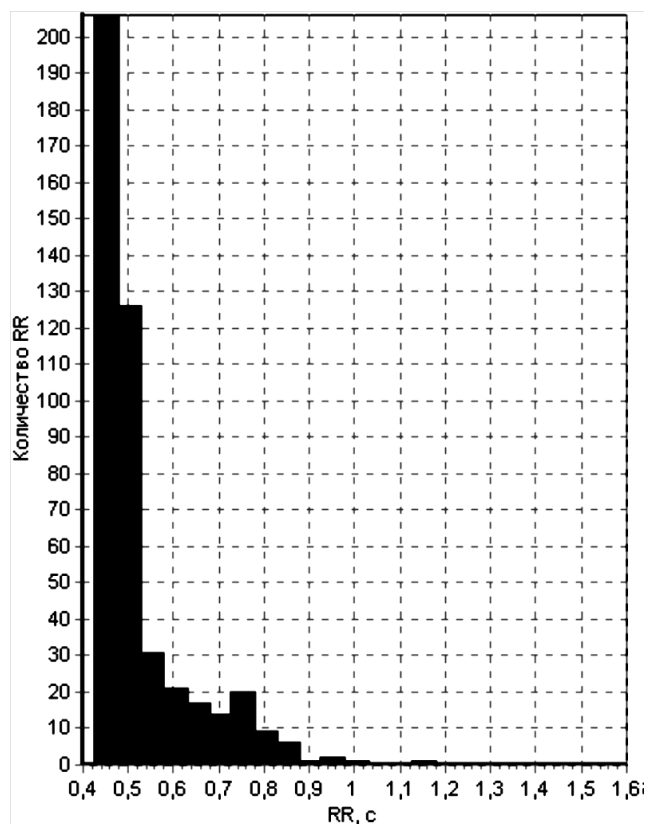


Рис. 3.4. Гистограмма. Асимметричное распределение

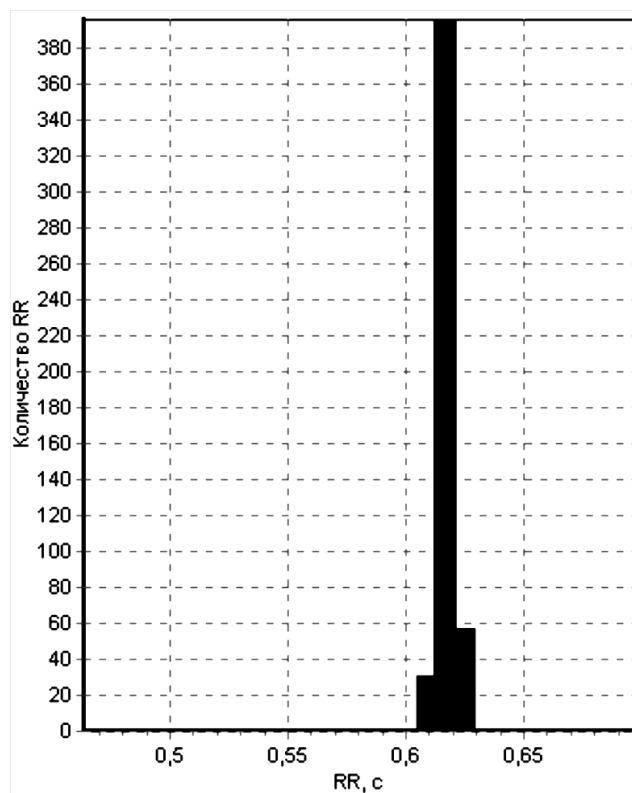


Рис. 3.5. Гистограмма. Эксцессивное распределение

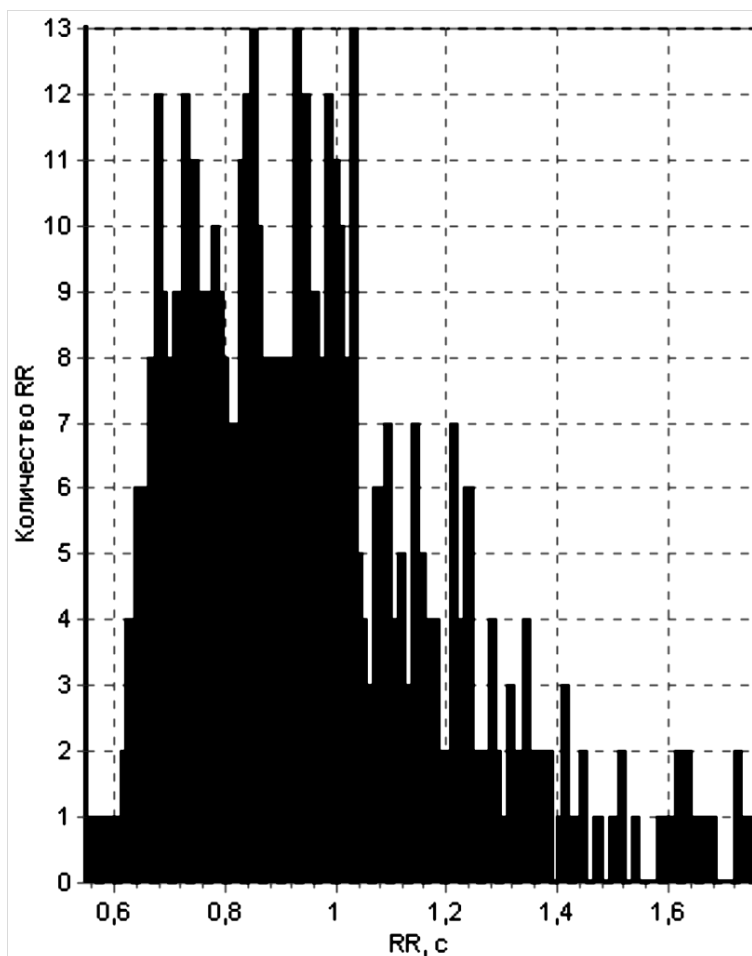


Рис. 3.6. Гистограмма. Амодальное распределение

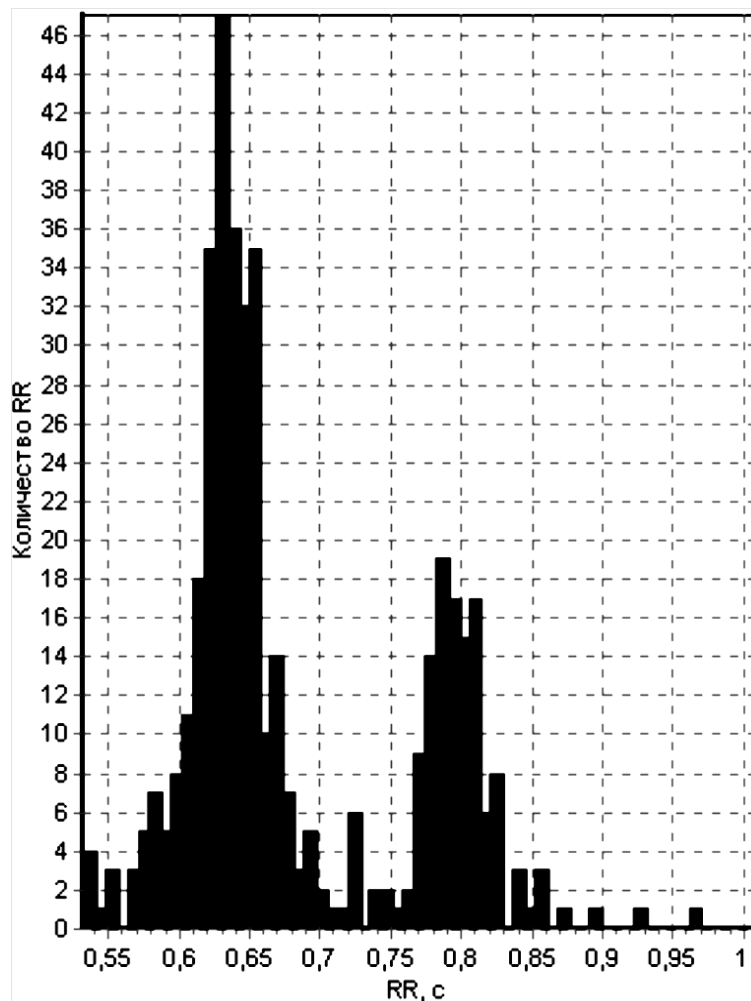


Рис. 3.7. Гистограмма. Полимодальное распределение

В настоящее время наиболее распространенные методы анализа гистограмм – это методы их триангулярной интерполяции.

**Метод определения индекса «Святого Георга».** Если во время записи КРГ встречаются артефакты, эктопические сокращения, выпадения отдельных сердечных комплексов, то для оценки гистограммы целесообразно использовать индекс “Святого Георга”. Суть метода заключается в том, что гистограмму условно представляют в виде треугольника, величину основания которого ( $b$ ) вычисляют по формуле

$$(2 \cdot A) / h,$$

где  $h$  – количество интервалов с наиболее часто встречающейся длительностью;  $A$  – площадь гистограммы, т.е. общее количество всех анализируемых интервалов  $R-R$ .

Величина основания косвенно отражает один из важнейших показателей **ВРС** – вариабельность ритма, а площадь треугольника – общее количество всех анализируемых интервалов  $R-R$ . При этом артефакты, эктопические сокращения автоматически остаются за пределами треугольника, их не учитывают при анализе (рис. 3.8).

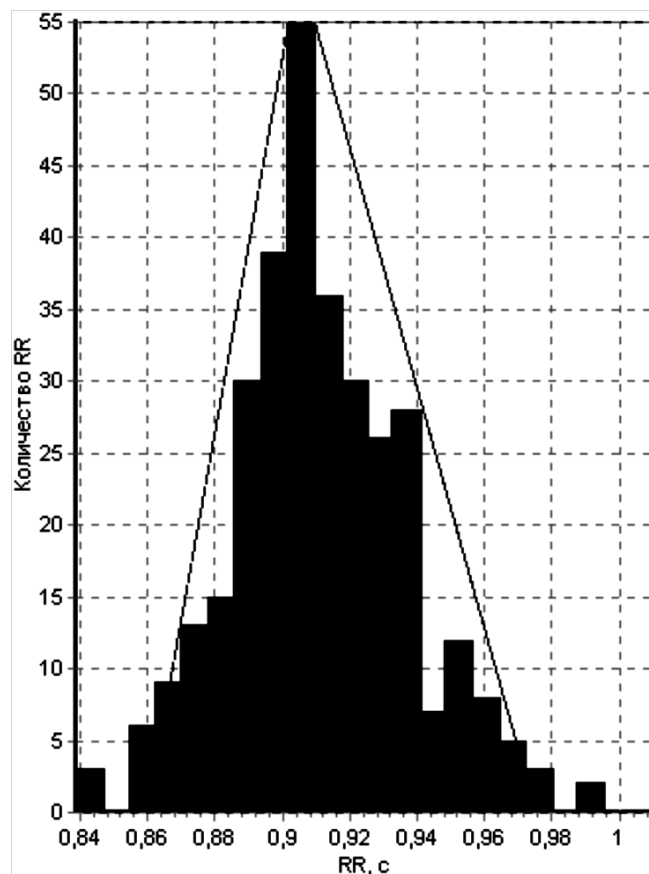


Рис. 3.8. Определение индекса «Святого Георга»

**Триангулярный индекс (HRV triangular index) и индекс триангулярной интерполяции гистограммы интервалов R-R (TINN).** Показатели рекомендованы Европейским обществом кардиологов и Североамериканским обществом по электростимуляции и электрофизиологии. Гистограмму представляют в виде неравностороннего треугольника. Используя математические построения, основанные на методе наименьших квадратов, склон гистограммы приближают отрезком прямой так, чтобы разница площадей смоделированного треугольника и исходной гистограммы была наименьшей. После построения указанного треугольника определяют его основание. Полученная таким образом характеристика называется триангулярным индексом.

**Оценка купола гистограммы по Л. Н. Лютиковой (1995 г.)**

В данном варианте для оценки ширины (**W**) основного купола гистограммы предлагают параметры **WN1**, **WN5**, которые отражают ширину основного купола гистограммы соответственно на уровне 1 и 5 % от общего количества элементов, используемых для построения гистограммы, и параметры **WAM 5** и **WAM 10** – на уровне 5 и 10 % амплитуды моды. По пересечению указанных уровней с контуром гистограммы рассчитывают ширину основного ее купола. Преимущество этих параметров заключается в том, что они характеризуют основной купол гистограммы, представляю-

щий собой распределение нормальных, т.е. наиболее распространенных интервалов **R-R**, а интервалы **R-R**, связанные с артефактами и экстрасистолами, образуют либо отдельные пики, либо малые купола, которые не сказываются на величине **WN**, **WAM** (рис. 3.9).

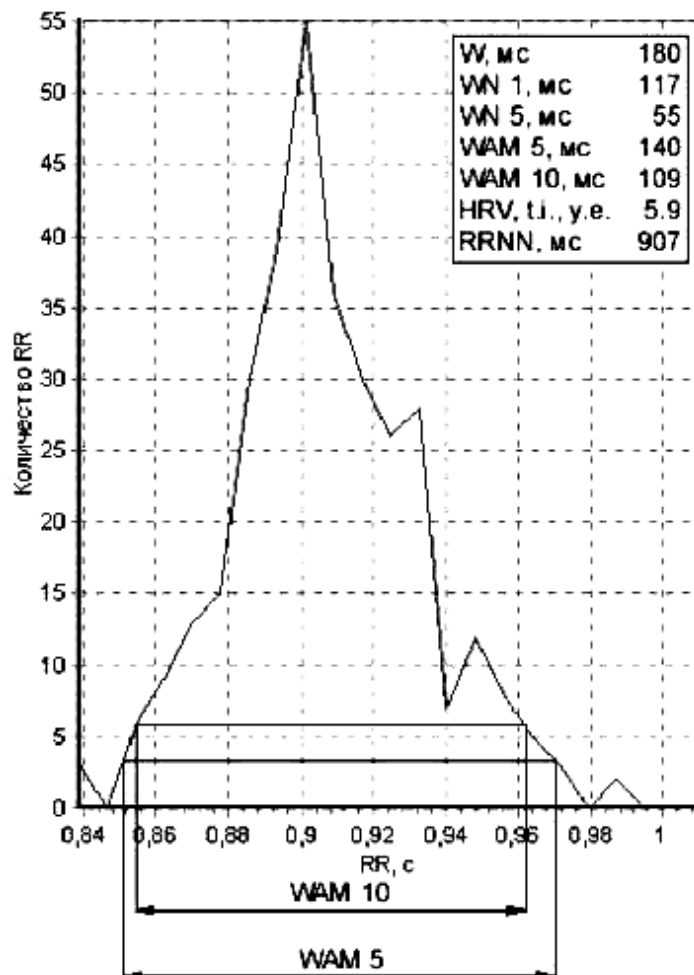


Рис. 3.9. Схема определения основания купола гистограммы по Л.Н. Лютиковой

Оценив показатели временного анализа, можно ответить на вопрос: «Как велика вариабельность?».

### 3.3.2. Анализ волновой структуры ритма сердца

#### А. Оценка ритмокардиограммы

**Визуально-логический анализ с выделением шести классов ритмограмм по Д. И. Жемайтите или четырех классов по Е. А. Березному**

**Ритмокардиограмма** – это графическое изображение последовательного временного ряда кардиоинтервалов в виде отрезков прямой линии, эквивалентных по длине продолжительности пауз между сокращениями сердца. Каждый из отрезков начинается на оси абсцисс, на которой откладывается число интервалов (**n**), и продолжается вверх параллельно

оси ординат со шкалой времени в секундах.

В норме верхний край **КРГ** – неровный, в соответствии с постоянно меняющейся длиной интервалов **R-R**. Рисунок этой неровности формируется тремя видами волн различной частотной характеристики: высокочастотными колебаниями (**HF**), низкочастотными колебаниями (**LF**) и колебаниями очень низкой частоты (**VLF**). Все три вида колебаний различимы визуально, поэтому основу метода ритмограммы составляет визуально-логический и математический анализ волновой структуры сердечного ритма.

Клинико-физиологическую интерпретацию показателей **ВРС** целесообразно проводить по методике Д. И. Жемайтите (1981 г.), на основе которой выделяют шесть классов (типов) ритмограмм (**РГ**).

Приведя указанную классификацию в соответствии с принятой градацией диапазонов частот, предлагаем следующую градацию ритмограмм:

– **РГ-1-го класса** – наличие существенных периодических изменений ритма с частотой 0,15...0,40 Гц (период 2,5 – 6,7 с), так называемые дыхательные (высокочастотные или быстрые) волны (**HF**), соответствующие синусовой дыхательной аритмии с относительно регулярными периодическими волнами;

– **РГ-2-го класса** – то же, но при выраженной нерегулярности периодических волн;

– **РГ-3-го класса** – слабо выраженные быстрые волны и наличие волн частотой от 0,04 до 0,15 Гц (период 6,6 – 25 с), т.е. так называемые низкочастотные колебания (**LF**) с относительным постоянством волн;

– **РГ-4-го класса** – то же, но с выраженной нерегулярностью волн;

– **РГ-5-го класса** – отсутствие описанной выше периодики и наличие волн большого периода (более 25 с), т.е. очень низкочастотные колебания (**VLF**);

– **РГ-6-го класса** – стабильный или ригидный ритм, т.е. отсутствие волновой структуры.

На рис. 3.10 показана ритмограмма с хорошо выраженными волнами различной частоты. Этот тип ритмограммы, как правило, отражает состояние молодых здоровых людей с высоким вегетативным статусом.

**1-й класс РГ** – отражает вариант нормы (высоких функциональных возможностей сердца), встречается, как правило, у спортсменов в период напряженных тренировок и у лиц, занимающихся тяжелым физическим трудом. Обычно реакции на различные стимулы ярко выражены, нагрузки переносятся хорошо. В основе этого класса – предельно высокое преобладание парасимпатического влияния на регуляцию ритма сердца, поэтому волн на такой ритмограмме нет; средние значения межсистолических интервалов – от 1,4 до 1,5 с, что соответствует брадикардии в 40–50 ударов в одну минуту.

**2-й класс РГ** – наиболее часто встречающийся вариант нормы у

практически здоровых молодых лиц. На ритмограмме заметны хорошо выраженные волны **СР**, среди которых можно выделить три вида – высокочастотные парасимпатические (**HF**), среднечастотные симпатические волны (**LF**) и волны очень низкой частоты (**VLF**), обусловленные гуморально-метаболическими и центральными эрготропными влияниями. Рефлекторное симпатопарасимпатическое воздействие на **СР** преобладает над гуморально-метаболическими влияниями.

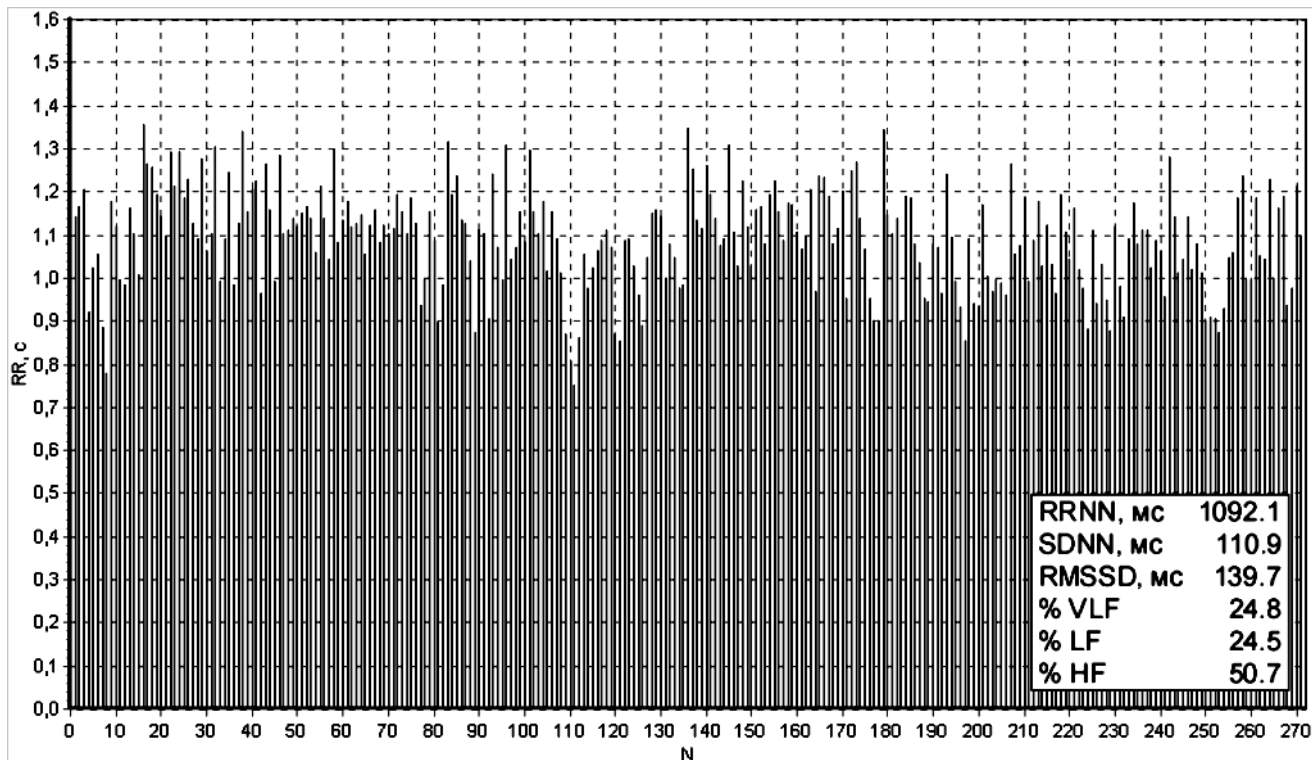


Рис. 3.10. Ритмограмма с хорошо выраженными волнами различной частоты

**3-й класс РГ** – вариант патологических изменений регуляции **СР**, так как преобладают волны **LF**, отражая увеличившееся симпатическое воздействие. Обычно такой ритмограмме в покое сопутствуют изменения сосудистого тонуса.

**4-й класс РГ** – показывает выраженное преобладание симпатического влияния на **СР** над парасимпатическим, но волны **LF** имеют более постоянный период и амплитуду. У пациентов с такой **РГ** возможны повышения **АД**, нередко увеличена **ЧСС**.

**5-й класс РГ** – на фоне увеличения **ЧСС** заметно отсутствие **HF** и **LF**. Происходит стабилизация **СР** с переходом его регуляции с рефлекторного уровня вегетативного руководства на гуморально-метаболический, более низкий и неспособный быстро обеспечивать гомеостаз. Функциональные возможности сердца снижены. Подобной **РГ** соответствует органическая патология сердца. Этот случай – формализованное свидетельство автономной кардионейропатии.

**6-й класс РГ** – демонстрирует крайний вариант срыва вегетативной регуляции **СР**, резко стабилизированный синусовый ритм на фоне тахи-

кардии (ригидный ритм). Функциональные возможности сердца резко снижены, у пациентов наблюдается одышка при небольшой физической нагрузке, высокий риск летального исхода. У больных ИБС 6-й класс предшествует развитию острого инфаркта миокарда, сопутствует ему в остром периоде, но может встречаться и при других патологических состояниях.

При компьютерной оценке типа ритмограммы и в практической деятельности вполне допустимо деление РГ на четыре класса (Е. А. Березный, А. М. Рубин):

**РГ 1-го класса** – наличие существенных периодических колебаний ритма с частотой 0,15...0,40 Гц (с периодом 2,5–6,7 с), т.е. высокочастотные волны (HF) (рис. 3.11).

**РГ 2-го класса** – слабо выраженные дыхательные волны и наличие волн с частотой от 0,04 до 0,15 Гц (с периодом 6,6–25 с), т.е. низкочастотные колебания (LF) (рис. 3.12).

**РГ 3-го класса** – отсутствие описанной выше периодики и наличие волн большого периода (более 25 с), т.е. колебания очень низкой частоты (VLF) (рис. 3.13).

**РГ 4-го класса** – стабильный ригидный ритм, отсутствие волновой структуры (рис. 3.14).

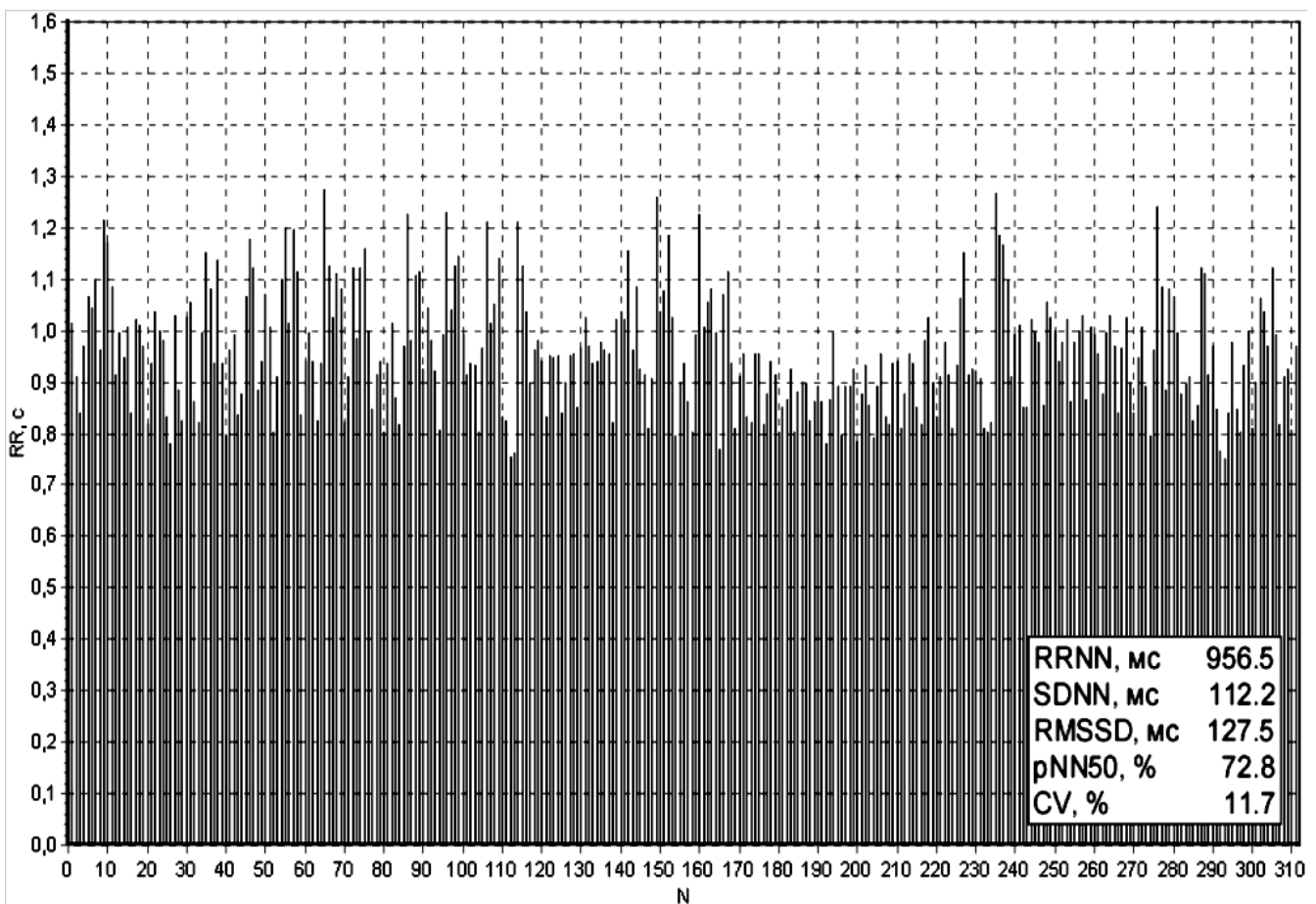


Рис. 3.11. Ритмограмма 1-го класса

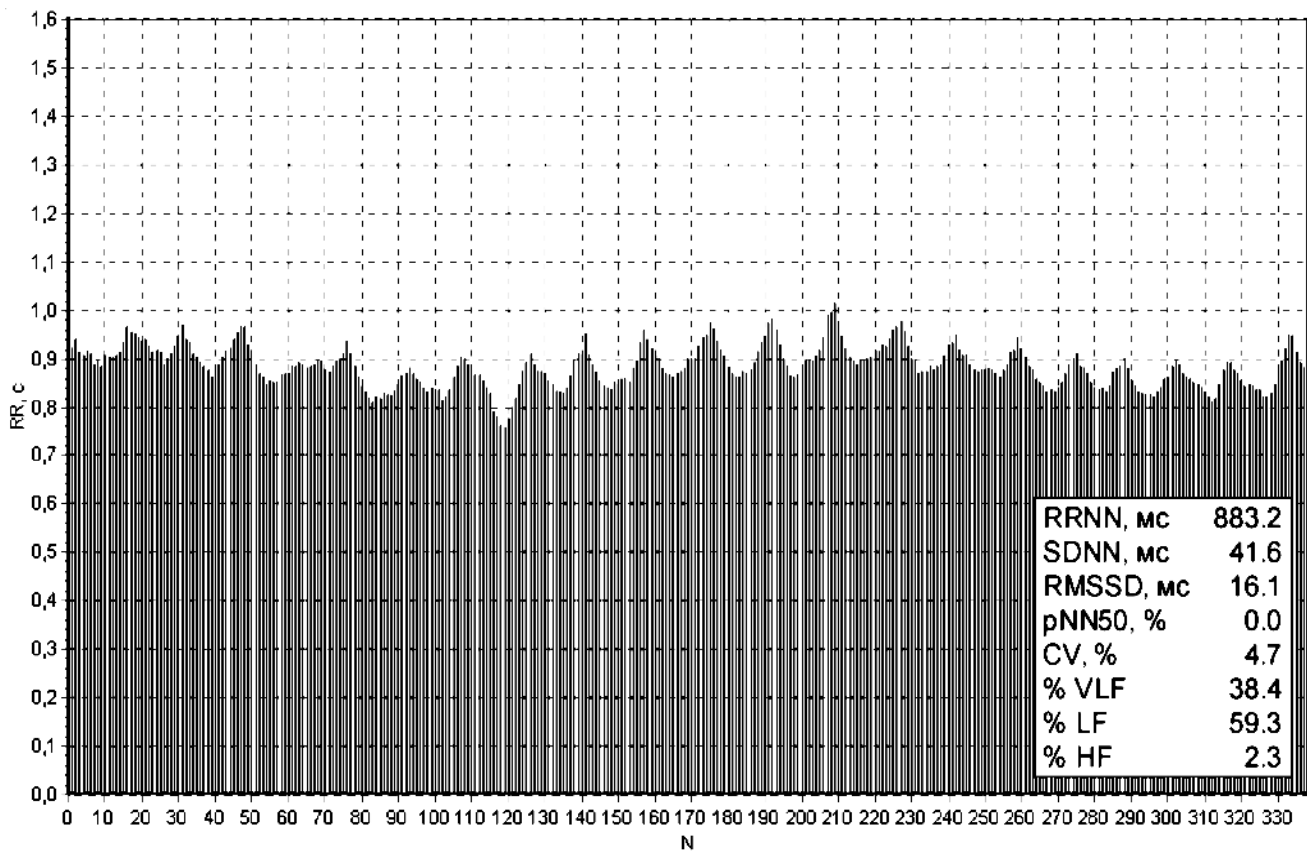


Рис. 3.12. Ритмограмма 2-го класса

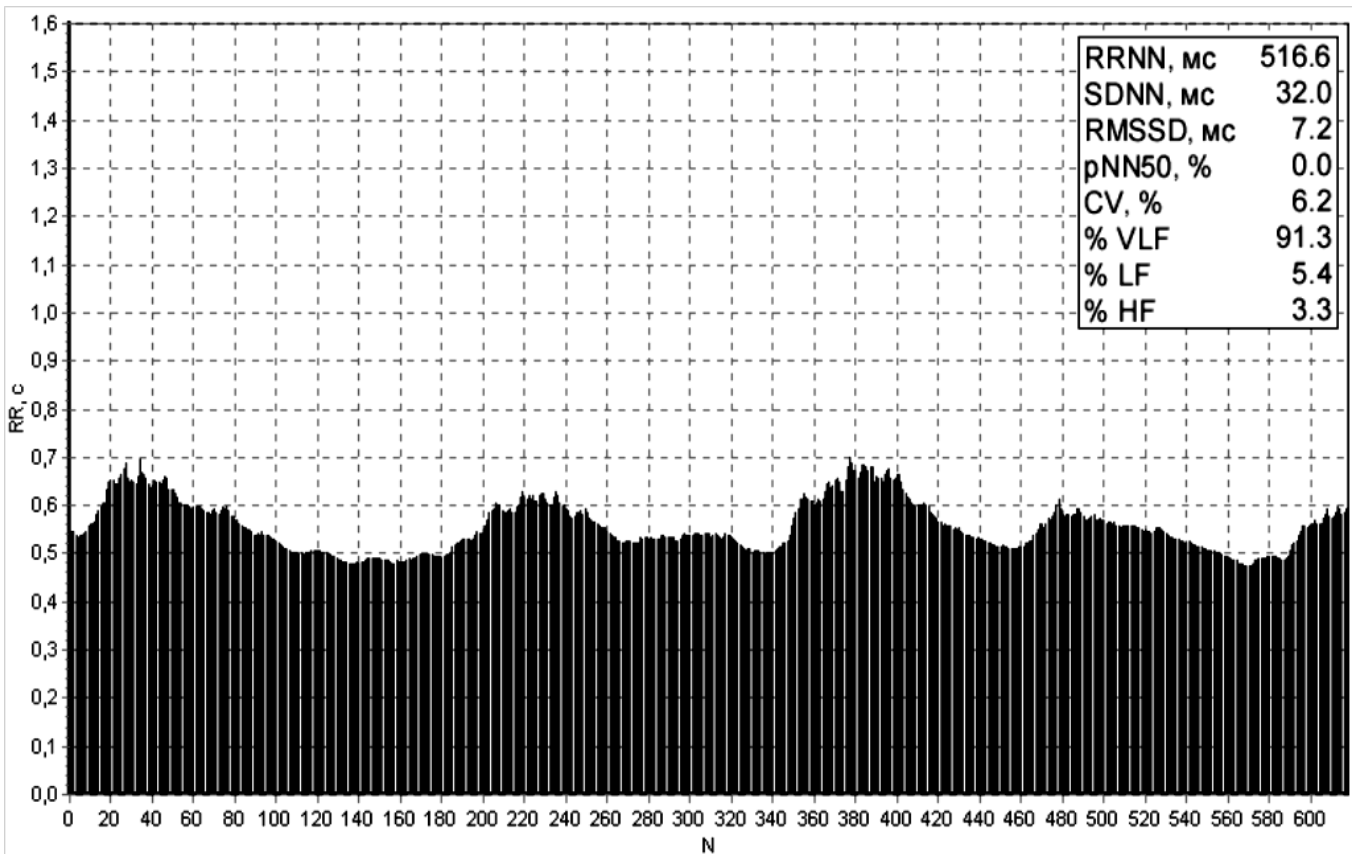


Рис. 3.13. Ритмограмма 3-го класса

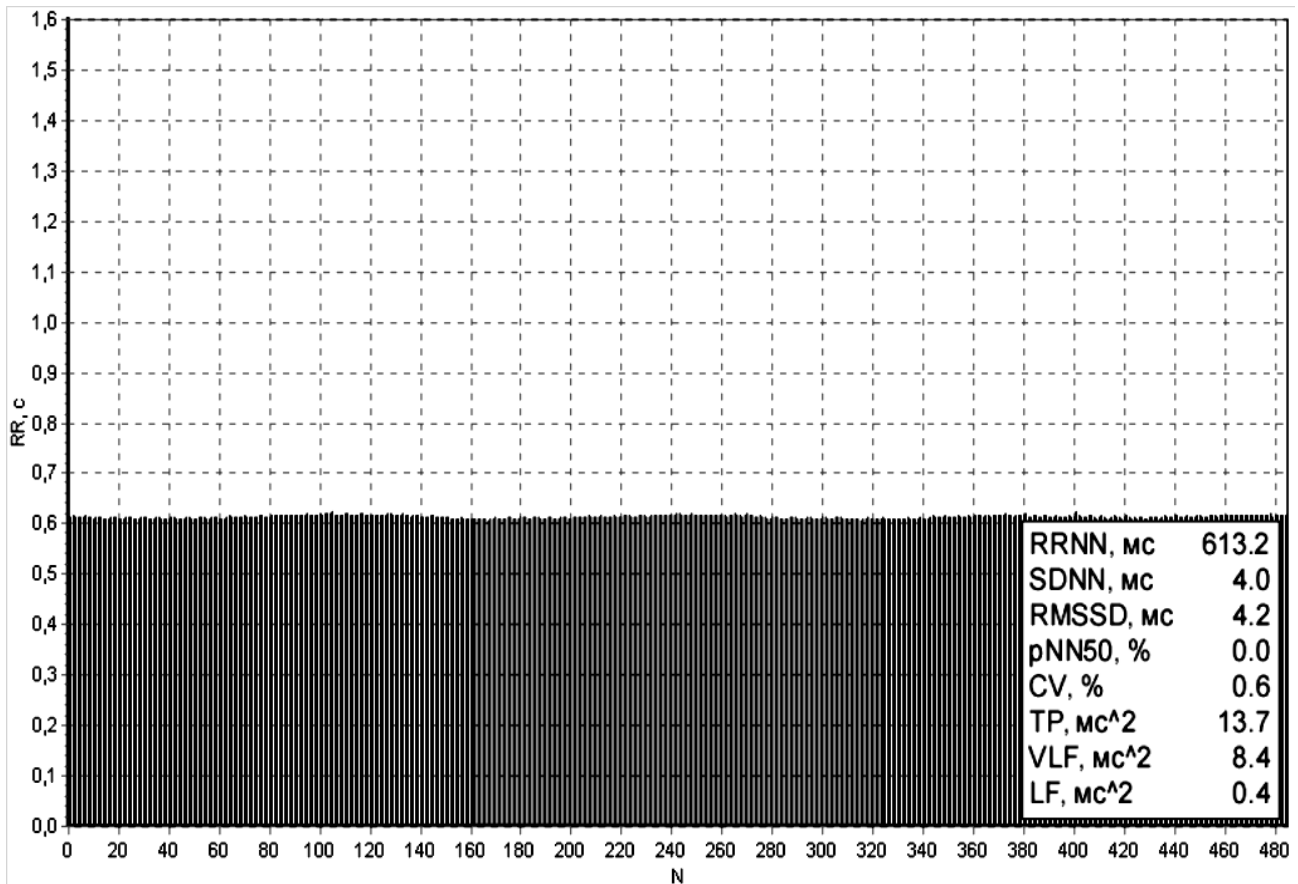


Рис. 3.14. Ритмограмма 4-го класса

### Б. Спектральный (частотный) анализ (Frequency domain measurements, power spectral analysis)

Спектральный анализ подразумевает способ разбиения какой-либо исходной кривой на набор кривых, каждая из которых находится в своем частотном диапазоне. Следовательно, спектральный анализ **ВРС** позволяет обнаружить периодические составляющие в колебаниях сердечного ритма и оценить количественно их вклад в динамику ритма. Схематично процесс формирования спектрограммы можно представить таким образом: измеряют длительность интервалов **R-R**, величину этих интервалов откладывают в виде вертикальных столбиков (ритмограмма). По верхушке ритмограммы проводят огибающую кривую. Данная кривая называется функцией вариации ритма. Она раскладывается на составляющие подобно тому, как солнечный свет, проходя через призму, расщепляется на разнородные спектры. Такой математической призмой является преобразование Фурье, оно позволяет получить спектры изменчивости интервалов **R-R** (рис. 3.15). Таким образом, последовательность интервалов **R-R** преобразуется в спектр мощности колебаний длительности **R-R**, представляющий собой последовательность частот, каждой из которых соответствует определенная амплитуда колебаний.

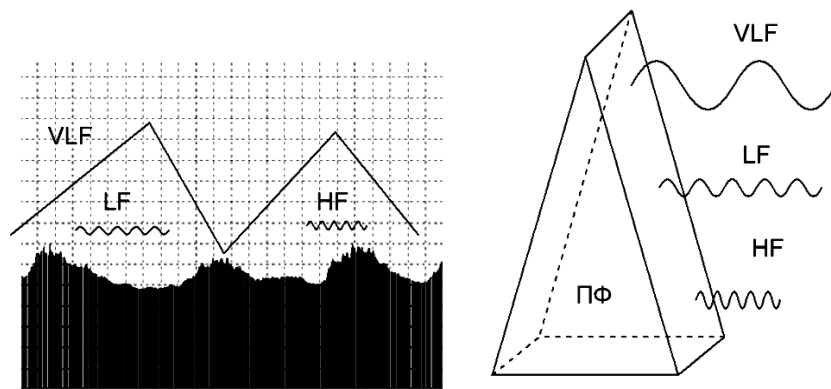


Рис. 3.15. Схема волновой структуры ритмограммы и формирования спектрограммы

Наиболее часто оценивают площадь под кривой спектра, соответствующую некоторому диапазону частот (мощность,  $мс^2$ ) в пределах определенного частотного диапазона. В норме у человека в спектре ритма сердца присутствуют три основные спектральные составляющие, т.е. три пика (рис. 3.16).

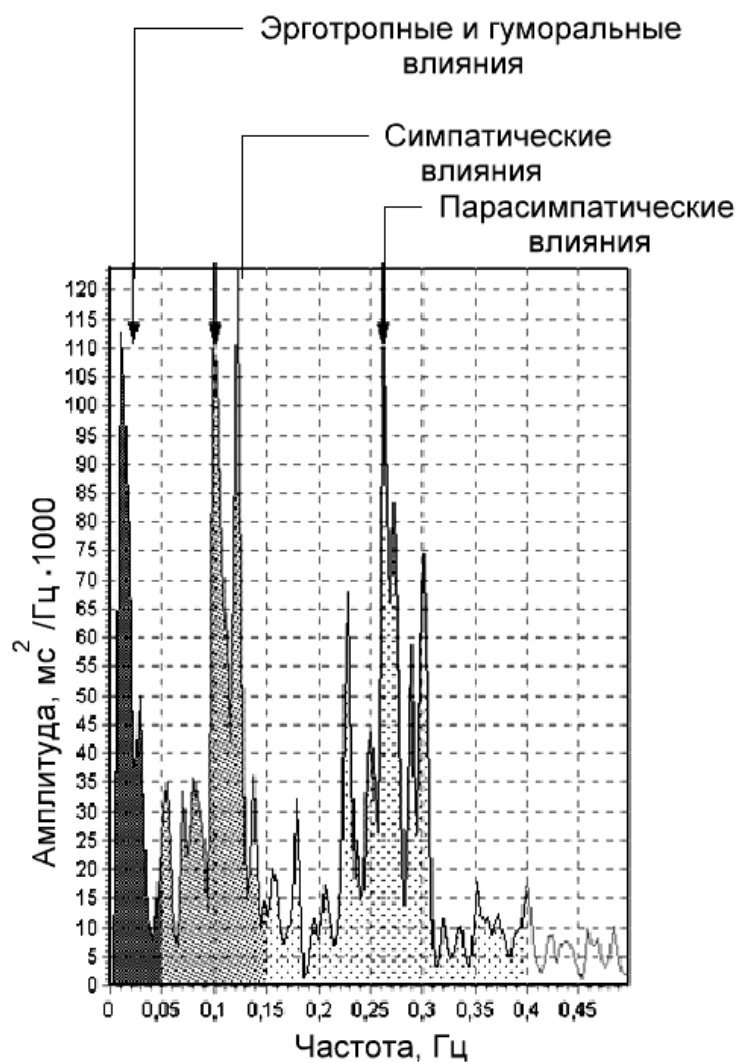


Рис. 3 16. Схема спектрограммы

При спектральном анализе парасимпатическую и симпатическую активность можно оценить за короткие промежутки времени (2–5 минут). С одной стороны, это позволяет изучить влияние на вариабельность ритма сердца различных короткодействующих факторов или вмешательств, а с другой – может помешать быстро воспроизвести результаты в случае отсутствия стандартных условий регистрации **ЭКГ**.

Как и любой другой, этот метод имеет следующие ограничения:

- из анализируемого ритма должны быть исключены все артефакты и эктопические ритмы, т.е. анализу подлежат только «нормальные» кардиоинтервалы;
- не следует анализировать кардиоритмограммы, содержащие более 5...10 % эктопических сокращений;
- нецелесообразно анализировать кривые при смещении водителя ритма (нижнепредсердный ритм, узловой ритм);
- анализу подлежат только стационарные процессы, необходимо исключить из анализа переходные периоды (например, первые одну-две минуты после перехода в положение «стоя» при ортостатической пробе, первые пять-семь минут после проведения проб с физической нагрузкой, в зависимости от уровня нагрузки; в некоторых случаях, если не наступает «стабильное» состояние, нужно отказаться от проведения спектрального анализа после тяжелых физических нагрузок).

При спектральном анализе определяют такие параметры:

1. Высоочастотные колебания (**ВЧ** или **HF-high frequency**) – это колебания **ЧСС** на частоте 0,15...0,40 Гц. Мощность в этом диапазоне, в основном, связана с дыхательными движениями и отражает вагусный контроль сердечного ритма (колебания парасимпатического отдела вегетативной нервной системы).
2. Низкочастотные колебания (**НЧ** или **LF-low frequency**) – это часть спектра в диапазоне частот 0,04 ... 0,15 Гц. Этот участок спектра имеет смешанное происхождение. На мощность в этом диапазоне оказывают влияние изменения тонуса как симпатического (преимущественно), так и парасимпатического отделов **ВНС**.
3. Очень низкочастотные колебания (**VLF-very low frequency**) – диапазон частот – 0,003...0,04 Гц, а при 24-часовой записи – сверхнизкочастотные колебания (**ULF**). Физиологические факторы, влияющие на них, неясны (предположительно, ренин-ангиотензин-альдостероновая система, концентрация катехоламинов в плазме, системы терморегуляции и др.).
4. Мощность в диапазоне высоких частот, выраженная в нормализованных единицах **HF<sub>nu</sub>**, вычисляют по формуле

$$HF_{nu} = \frac{HF}{Total - VLF} \cdot 100.$$

5. Мощность в диапазоне низких частот, выраженная в нормализованных единицах  $LF_n$ :

$$LF_{nu} = \frac{HF}{Total-VLF} \cdot 100.$$

6.  $LF/HF$  – этим значением характеризуют соотношение или баланс симпатических и парасимпатических влияний.  $LF$  и  $HF$  измеряют в относительных единицах, представляющих собой процентный вклад каждой колебательной составляющей в общую мощность спектра, из которой вычитают мощность  $VLF$ -компоненты, т.е.  $HF_{nu}/LF_{nu}$ . Характер симпатико-парасимпатического воздействия оценивается соотношением процентных вкладов ( $LF/HF$ ).
7. Общая мощность спектра ( $OMC$ ) или полный спектр частот, характеризующих  $BPC$  ( $TP$  – Total power), – это мощность в диапазоне 0,003...0,40 Гц. Она отражает суммарную активность вегетативного воздействия на сердечный ритм и имеет тот же физиологический смысл, что и  $SDNN$ . При этом увеличение симпатических влияний приводит к уменьшению  $OMC$ , а активация вагуса – к обратному действию.

Результаты спектрального анализа представляют в виде графика распределения частот, по которому легко можно судить о балансе отделов вегетативной нервной системы (рис. 3.17 – 3.19).

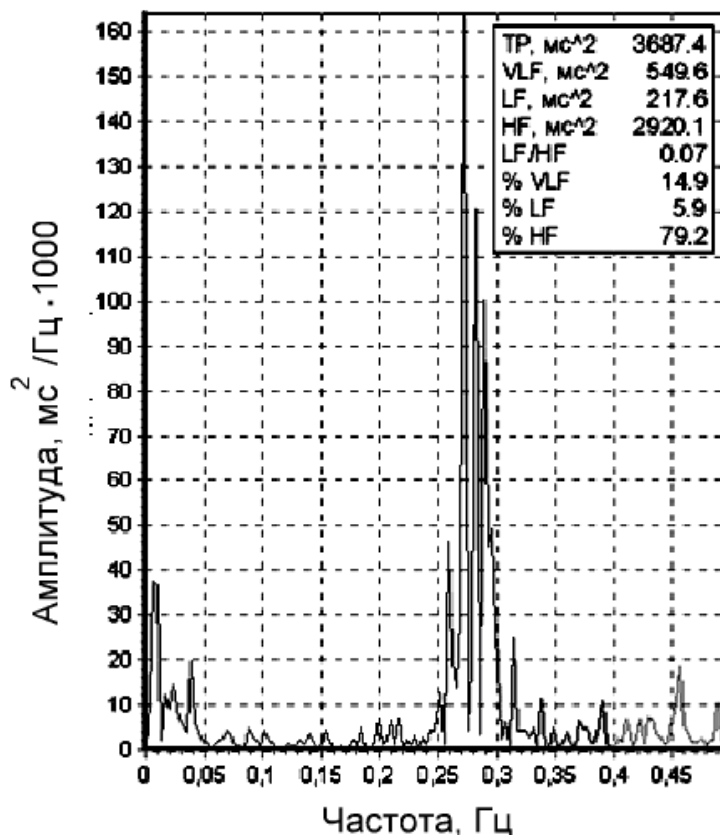


Рис. 3.17. Спектрограмма при преобладании парасимпатических влияний

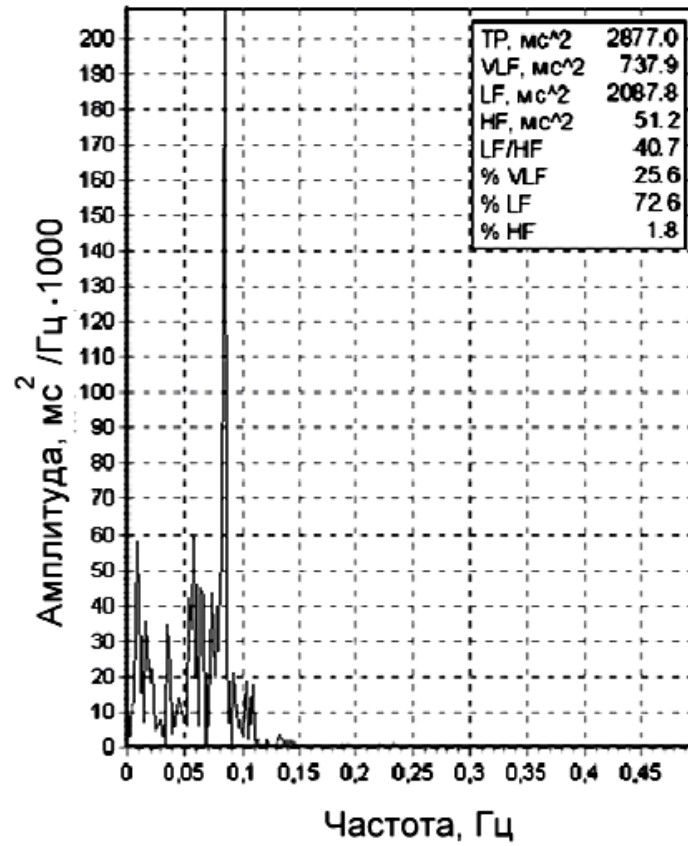


Рис. 3.18. Спектрограмма при преобладании симпатической активности

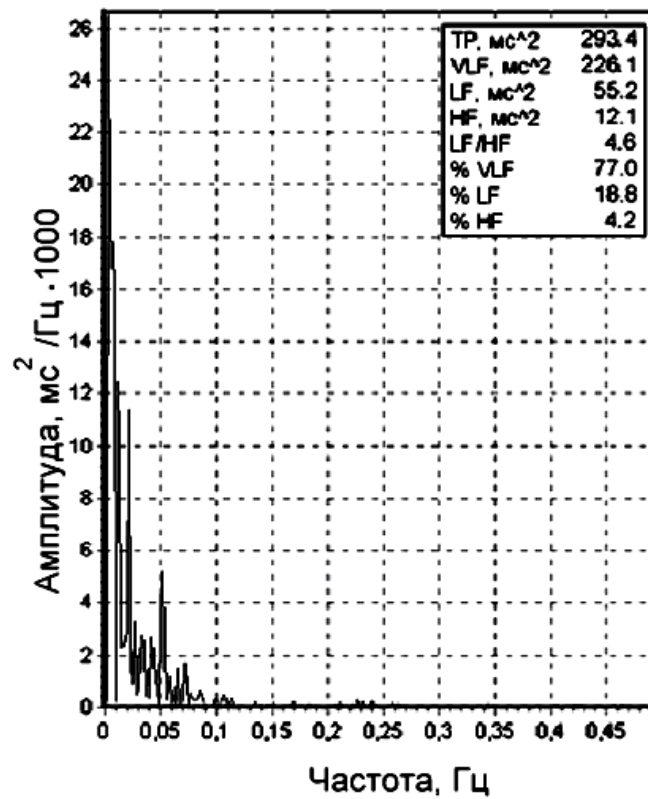


Рис. 3.19. Спектрограмма при преобладании церебральных эрготропных и(или) гуморально-метаболических влияний

### 3.3.3. Нелинейные методы анализа variability ритма сердца

**Показатели скаттерграммы (корреляционной ритмограммы).** Методика разработана и обоснована благодаря работам L. Schamroth и E. Dove (1966 г.), а также M. Hoopen и J. Bongaaris (1969 г.). Наиболее полно анализ корреляционной ритмограммы применительно к анализу аритмий разработал Е. А. Березный.

Скаттерграмма (scatter – рассеивание) – это графическое изображение пар интервалов  $R-R$  (предыдущего и последующего) в двумерной координатной плоскости. При этом по оси абсцисс откладывают величину  $R-R_n$ , а по оси ординат – величину  $R-R_{n+1}$ . График и область точек, полученных таким образом, называют скаттерграммой (пятна Пуанкаре или Лоренца). Этот способ оценки **ВРС** относится к методам нелинейного анализа, он особенно полезен для случаев, когда на фоне монотонности ритма встречаются редкие и внезапные нарушения (эктопические сокращения и (или) «выпадения» отдельных сердечных сокращений).

При формировании скаттерграммы образуется совокупность точек, центр которых расположен на биссектрисе (рис. 3.20). Расстояние от центра до начала осей координат соответствует наиболее ожидаемой длительности сердечного цикла. Величина отклонения точки от биссектрисы влево показывает, насколько данный сердечный цикл короче предыдущего, вправо от биссектрисы – насколько он длиннее предыдущего.

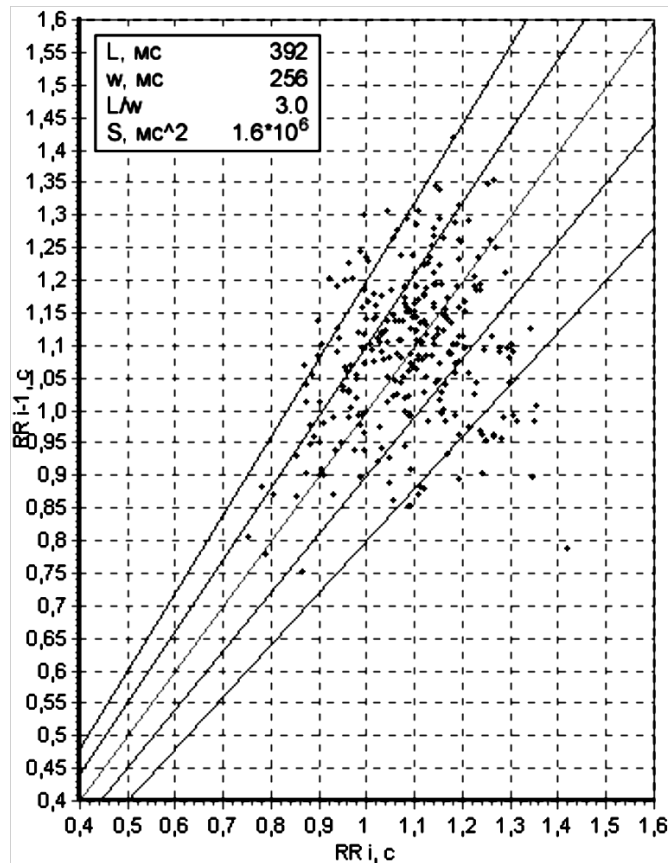


Рис. 3.20. Скаттерграмма молодого здорового человека

Изучены следующие показатели скаттерграммы:

- длина основного (без экстрасистол и артефактов) «облака» (длинная ось эллипса **L**) соответствует вариационному размаху. По физиологическому смыслу этот показатель не отличается от **SDNN**, т.е. отражает суммарный эффект регуляции **ВНС**, но указывает на максимальную амплитуду колебаний длительности интервалов **R-R**;
- ширина скаттерграммы (перпендикуляр к длинной оси, проведенный через ее середину **w**);
- площадь скаттерграммы вычисляют по формуле площади эллипса

$$S = \frac{\pi Lw}{4}.$$

Нормальная форма скаттерграммы представляет собой эллипс, вытянутый вдоль биссектрисы. Именно такое расположение эллипса означает, что к дыхательной компоненте прибавлена некоторая величина недыхательной аритмии.

При аритмиях, когда методы статистического и спектрального анализа variability ритма сердца малоинформативны или неприемлемы, целесообразно использовать оценку корреляционной ритмограммы (скаттерграммы).

### 3.3.4. Вариационная пульсометрия по Р. М. Баевскому

Классическая методика оценки показателей variability ритма сердца изложена в работах Р. М. Баевского. Представления о математико-статистических показателях сердечного ритма как об индикаторах состояния различных уровней управления функциями оказались весьма продуктивными для клинической физиологии и профилактической медицины. Приведем кратко основные положения взглядов Р. М. Баевского на математический анализ сердечного ритма. Он предложил упрощенно рассматривать систему управления ритмом сердца, которая состоит из двух контуров – центрального и автономного.

Автономный контур (**АК**) регуляции ритма сердца – это в определенной степени обособленная система, работающая в режиме компенсации отклонений в ответ на возмущения, вызванные дыханием. Активность автономного контура характеризуется выраженностью дыхательных волн сердечного ритма.

Центральный контур (**ЦК**) регуляции ритма сердца связан с недыхательной компонентой **СР**. Он участвует в управлении ритмом сердца через автономный контур, заставляя его работать в вынужденном режиме. Центральный контур состоит из трех уровней, соответствующих 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 условно и сделано в целях разработки определенного методологического подхода к проблеме математического анализа структуры **СР**, который заключается в том, что по соотношению активности различных контуров регуляции **СР** можно судить о степени напряжения регуляторных механизмов. При этом необходимо иметь в виду следующее:

1. При оптимальном регулировании управление **СР** происходит с минимальным участием высших (центральных) уровней. Оптимальная деятельность низших уровней «освобождает» высшие от необходимости постоянного участия в локальных регуляторных процессах. Если низшие уровни не справляются со своими функциями и необходима координация деятельности нескольких подсистем, то уравнивание организма со средой происходит вследствие напряжения механизмов регуляции. Чем выше централизация управления ритмом сердца, тем больше напряжение регуляторных механизмов, тем выше «физиологическая цена» адаптации.
2. Период волн сердечного ритма связан с уровнями управления. Чем больше период, тем выше соответствующий уровень управления. Дыхательные волны сердечного ритма характеризуют активность **АК**, а медленные – **ЦК**. Централизация управления проявляется путем усиления недыхательной компоненты **СР**, появления медленных волн со все более длинными периодами, усиления мощности медленных волн, ослабления дыхательных волн.

Оценим степень напряжения регуляторных систем.

Адаптация, или приспособление к условиям окружающей среды (социальным, производственным, бытовым или климатическим факторам), – одно из фундаментальных свойств организма человека. Любое заболевание можно рассматривать как результат истощения адаптационных механизмов. Переход из состояния здоровья в состояние болезни проходит через последовательные стадии адаптационного процесса. Следовательно, можно выделить среди здоровых и практически здоровых людей разнородные группы лиц с разной степенью адаптированности к окружающей среде. Р. М. Баевский предложил следующую рабочую классификацию состояний по степени напряжения регуляторных систем, обусловленных адаптивными реакциями организма (Р. М. Баевский, 1999 г.):

1. Состояние нормы, или состояние удовлетворительной адаптации к условиям среды. Класс функциональных состояний с достаточными функциональными (адаптационными) возможностями организма. Понятие нормы включает в себя способность организма

- адаптироваться к определенным воздействиям факторов окружающей среды. Адекватность ответа организма на воздействие тех или иных факторов – один из важнейших компонентов нормы.
2. Состояние повышенного функционального напряжения механизмов адаптации, при которых оптимальные адаптационные возможности организма обеспечиваются более высоким, чем в норме, напряжением регуляторных систем, приводит к повышенному расходованию функциональных резервов организма.
  3. Состояние перенапряжения (или состояние неудовлетворительной адаптации). Характеризуется снижением функциональных возможностей организма с преобладанием неспецифических или специфических изменений со стороны определенных органов и систем.
  4. Состояние истощения регуляторных систем, или срыв адаптации. Характеризуется резким снижением функциональных возможностей организма в связи с нарушением механизмов компенсации. В данном состоянии, как правило, наблюдаются различные заболевания в стадии субкомпенсации или декомпенсации.

Приведенные четыре состояния можно рассматривать как четыре «диагноза» здоровья, четыре его качества. Каждый из последующих уровней адаптации содержит все более значительную вероятность развития или наличия болезни. Наиболее высока эта вероятность в группе лиц со срывом адаптации. В нее входят лица с латентными формами заболеваний, явлениями предболезни, хроническими или нераспознанными болезнями. Определение степени напряжения регуляторных систем связано, по существу, с диагностикой указанных состояний. Исходя из концепции о сердечно-сосудистой системе как об индикаторе адаптационно-приспособительной деятельности целостного организма для оценки состояния регуляторных механизмов обычно используют анализ изменений ритма сердечных сокращений. Изменение сердечного ритма – это универсальная оперативная реакция целостного организма на любое воздействие внешней среды. Информация о том, какова «цена» этой адаптации, содержится в волновой структуре сердечного ритма и может быть выявлена с помощью математического анализа ряда кардиоинтервалов.

#### **Физиологическая интерпретация некоторых показателей математического анализа ритма по Р. М. Баевскому**

**Математическое ожидание (М)** – этот показатель отражает конечный результат всех регуляторных влияний на сердце и систему кровообращения в целом. Он эквивалентен средней **ЧСС**, обладает наименьшей изменчивостью среди всех медико-статистических показателей и его отклонение от индивидуальной нормы обычно сигнализирует об увеличении нагрузки на аппарат кровообращения или о наличии патологических от-

клонений.

**Сигма ( $\delta$ )** – среднее квадратичное отклонение динамического ряда. Это один из основных показателей variability ритма сердца, характеризующий состояние механизмов регуляции. Он указывает на суммарный эффект влияния на синусовый узел симпатического и парасимпатического отделов вегетативной системы (см. также **SDNN**).

**Мода ( $M_o$ )** – наиболее часто встречающееся значение **R-R**, указывающее на доминирующий уровень функционирования синусового узла. При симпатикотонии **M<sub>o</sub>** меньше, при ваготонии – больше.

**Вариационный размах (BP)** – вычисляют как разницу между максимальным и минимальным значениями **R-R**. Отражает степень variability или размах колебаний значений кардиоинтервалов. **BP** рассматривают как парасимпатический показатель.

**Амплитуда моды (AM<sub>o</sub>)** – это число кардиоинтервалов в процентах, соответствующих диапазону моды, отражает меру мобилизирующего влияния симпатического отдела.

**Коэффициент вариации (CV)** – по физиологическому смыслу не отличается от коэффициента вариационного размаха, но является показателем, нормированным по частоте сердечных сокращений, поэтому испытывает меньшее влияние при наличии артефактов и эктопических сокращений.

### **Вторичные показатели вариационной пульсометрии**

**Индекс вегетативного равновесия (ИВР =  $AM_o/BP$ )** – указывает на соотношение между активностью симпатического и парасимпатического отделов. При парасимпатической активности знаменатель будет увеличиваться, а числитель – уменьшаться, в результате чего **ИВР** резко уменьшится. При увеличении симпатических влияний наблюдаются противоположные сдвиги.

**Вегетативный показатель ритма (ВПР =  $1/M_o \times BP$ )** – позволяет судить о парасимпатических сдвигах вегетативного баланса. Чем меньше **ВПР**, тем больше вегетативный баланс смещен в парасимпатическую сторону.

**Индекс напряжения регуляторных систем (ИН =  $AM_o/(2BP \times M_o)$ )** – отражает степень централизации управления сердечным ритмом.

**Показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР =  $AM_o/M_o$ )** – отражает соответствие между активностью симпатического отдела вегетативной системы и ведущим уровнем функционирования **СА**-узла.

Комплексная оценка variability ритма сердца предусматривает диагностику функциональных состояний. Изменения вегетативного баланса в виде активации симпатического звена рассматривают как неспецифический компонент адаптационной реакции в ответ на различные стрессовые воздействия. Один из методов оценки таких реакций – находж-

дение показателя активности регуляторных систем (**ПАРС**). Его определяют в баллах и ориентируются на статистические показатели, показатели гистограммы и данные спектрального анализа.

**ПАРС** вычисляют по алгоритму, учитывающему следующие пять критериев:

1. Суммарный эффект регуляции по показателям частоты пульса (**ЧП**).
2. Суммарная активность регуляторных механизмов по среднему квадратичному отклонению – **SD** (или по суммарной мощности спектра – **TP**).
3. Вегетативный баланс по комплексу показателей – **ИН, RMSSD, HF, IC**.
4. Активность вазомоторного центра, регулирующего сосудистый тонус, по мощности спектра медленных волн первого порядка (**LF**).
5. Активность сердечно-сосудистого подкоркового нервного центра или надсегментарных уровней регуляции по мощности спектра медленных волн второго порядка (**VLF**).

Значения **ПАРС** выражают в баллах от 1 до 10. На основании анализа значений **ПАРС** могут быть диагностированы следующие функциональные состояния:

1. Состояние оптимального напряжения регуляторных систем, необходимое для поддержания активного равновесия организма со средой (норма, **ПАРС** = 1 - 2).
2. Состояние умеренного напряжения регуляторных систем, когда для адаптации к условиям окружающей среды организму требуются дополнительные функциональные резервы. Такие состояния возникают в процессе адаптации к трудовой деятельности, при эмоциональном стрессе или при воздействии неблагоприятных экологических факторов (**ПАРС** = 3 - 4).
3. Состояние выраженного напряжения регуляторных систем, связанное с активной мобилизацией защитных механизмов, в том числе повышением активности симпатико-адреналовой системы и системы гипофиз – надпочечники (**ПАРС** = 4 - 6).
4. Состояние перенапряжения регуляторных систем, для которого характерна недостаточность защитно-приспособительных механизмов, их неспособность обеспечить адекватную реакцию организма на воздействие факторов окружающей среды. Избыточная активация регуляторных систем уже не подкрепляется соответствующими функциональными резервами (**ПАРС** = 6 - 8).
5. Состояние истощения (астенизации) регуляторных систем, при котором активность управляющих механизмов снижается (недостаточность механизмов регуляции) и появляются характерные

признаки патологии. В этом случае специфические изменения отчетливо преобладают над неспецифическими (**ПАРС** = 8 - 10). (Баевский, 1979 г., Берсенева, 1991 г., Баевский, Берсенева, 1997 г.).

Выделяют три зоны функциональных состояний. Для наглядности их представляют в виде «светофора».

**Зеленый** – означает, что все в порядке. Не требуется никаких специальных мероприятий по профилактике и лечению.

**Желтый** – указывает на необходимость повышенного внимания к своему здоровью. Необходимо проведение оздоровительных и профилактических мероприятий.

**Красный** – показывает, что следует провести серьезные мероприятия в отношении своего здоровья. Вначале требуется диагностика, а затем лечение возможных заболеваний.

Выделение зеленой, желтой и красной зон здоровья позволяет характеризовать функциональное состояние человека с точки зрения риска развития болезни.

### 3.4. Основные показатели при оценке ВСП

В заключение приведем в сжатом виде основные расчетные показатели, используемые для оценки **ВСП** для различных методов исследования.

Таблица 1

Расчетные показатели для статистических методов анализа **ВСП**

Показатель	Значение показателя
<b>mRR</b>	Среднее значение кардиоинтервалов, величина, обратная <b>ЧСС</b>
<b>SDNN (СКО)</b>	Суммарный показатель variability величин интервалов <b>R-R</b> за весь рассматриваемый период ( <b>N-N</b> – означает ряд нормальных интервалов, за исключением экстрасистол)
<b>СКО</b>	Среднее квадратическое отклонение, мс
<b>SDNN</b>	Стандартное отклонение <b>N-N</b> интервалов (аналог <b>СКО</b> )
<b>SDANN</b>	Стандартное отклонение средних значений <b>SDNN</b> из 5-минутных сегментов для записей средней длительности, многочасовых или 24-часовых записей
<b>RMSSD</b>	Квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар интервалов <b>N-N</b> (нормальных интервалов <b>R-R</b> )
<b>NN50</b>	Количество пар последовательных интервалов <b>N-N</b> , различающихся более чем на 50 мс
<b>PNN50, %</b>	Процент <b>NN50</b> от общего количества последовательных пар интервалов, различающихся более чем на 50 мс
<b>CV</b>	Коэффициент вариации. Удобен для практического использования, так как представляет собой нормированную оценку <b>СКО</b>

Таблица 2

Расчетные показатели для геометрических методов анализа **BCP**  
(вариационная пульсометрия)

Показатель	Значение показателя
<b>Mo</b> (Мода)	Наиболее часто встречающееся в данном динамическом ряду значение кардиоинтервала. При нормальном распределении и высокой стационарности исследуемого процесса <b>Mo</b> мало отличается от математического ожидания ( <b>M</b> )
<b>Амо</b>	Амплитуда моды – это число кардиоинтервалов, соответствующих значению моды, в процентах к объему выборки. Отражает стабилизирующий эффект централизации управления ритмом сердца, который обусловлен в основном степенью активации симпатического отдела вегетативной нервной системы
<b>MxDMn, BAP</b>	Вариационный размах – отражает степень вариативности значений кардиоинтервалов в исследуемом динамическом ряду. Обычно связан с активностью парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Вычисляют по разности максимального ( <b>Mx</b> ) и минимального ( <b>Mn</b> ) значений кардиоинтервалов
<b>ИВР</b>	Индекс вегетативного равновесия
<b>ВПР</b>	Вегетативный показатель ритма
<b>ПАПР</b>	Показатель адекватности процессов регулирования
<b>ИН</b>	Индекс напряженности регуляторных систем

Таблица 3

Расчетные показатели для корреляционной ритмографии (скаттерграммы)

Показатель	Значение показателя
<b>Скаттер-грамма</b>	По оси абсцисс откладывают величину <b>R-R<sub>n</sub></b> , а по оси ординат – величину <b>R-R<sub>n+1</sub></b> . График и область точек, полученные таким образом (пятна Пуанкаре или Лоренца), называются корреляционной ритмограммой или скаттерграммой ( <b>scatter-рассеивание</b> )
<b>Mo</b>	Расстояние от центра «облака» до начала осей координат – соответствует наиболее ожидаемой длительности сердечного цикла
<b>L</b>	Длина основного (без экстрасистол и артефактов) «облака» рассеяния – соответствует вариационному размаху. Показатель не отличается от <b>SDNN</b> . Отражает суммарный эффект регуляции <b>BCP</b> , но указывает на максимальную амплитуду колебаний длительности интервалов <b>R-R</b>

Показатель	Значение показателя
<b>W</b>	Ширина скаттерграммы (перпендикуляр к длинной оси, проведенный через ее середину)
<b>S</b>	Площадь скаттерграммы рассчитывают по формуле площади эллипса $S = (\pi Lw)/4$

Таблица 4

Спектральные методы анализа **BCP** (частотные диапазоны анализа)

Наименования компонентов спектра	Частотный диапазон, Гц	Период, с
<b>HF (High Frequency)</b>	0,4...0,15	2,0 – 6,6
<b>LF (Low Frequency)</b>	0,15...0,04	6,6 – 20,0
<b>VLF (Very Low Frequency)</b>	0,04...0,015	25,0 – 66,0
<b>ULF (Ultra Low Frequency)</b>	Меньше 0,015	Больше 66,0

Таблица 5

Основные показатели, вычисляемые при спектральном анализе **BCP**

Показатель	Значение показателя
<b>TP</b>	Общая мощность спектра или полный спектр частот, характеризующих <b>BPC</b> ( <b>TP</b> – Total power), – это мощность в диапазоне от 0,003 до 0,40 Гц. Отражает суммарную активность вегетативного воздействия на сердечный ритм и имеет тот же физиологический смысл, что и <b>SDNN</b>
<b>HF</b>	Мощность высокочастотных колебаний <b>BCP</b> – мощность колебаний ритма сердца в диапазоне частот 0,15...0,40 Гц. Мощность в этом диапазоне в основном связана с дыхательными движениями и отражает вагусный контроль сердечного ритма (парасимпатическая активность)
<b>HF %</b>	Относительная мощность <b>BC</b> составляющей спектра, %
<b>LF</b>	Мощность низкочастотных колебаний. Это часть спектра в диапазоне частот 0,04...0,15 Гц. Эти колебания имеют смешанное происхождение. На мощность оказывают влияние изменения как симпатической, так и парасимпатической активности. Механизм этих колебаний имеет барорефлекторную природу
<b>LF %</b>	Относительная мощность <b>BC</b> составляющей спектра, %

Показатель	Значение показателя
<b>VLF</b>	Мощность очень низкочастотных колебаний в диапазоне частот 0,003...0,04 Гц. Физиологические факторы, влияющие на них, – ренин-ангиотензиновая система, концентрация катехоламинов в плазме, системы терморегуляции и др.
<b>VLF %</b>	Относительная мощность <b>ОНЧ</b> составляющей спектра
<b>HFnorm</b>	Мощность в диапазоне высоких частот, выраженная в нормализованных единицах
<b>LFnorm</b>	Мощность в диапазоне низких частот, выраженная в нормализованных единицах
<b>LF/HF</b>	Симпатовагальный индекс, характеризующий соотношение или баланс симпатических и парасимпатических влияний на ритм сердца
<b>ИЦ (IC)</b>	Индекс централизации (Index of centralization)

### 3.5. Анализ вегетативного фона пациента

Первое окно анализа мониторинжной **ЭКГ** предназначено для просмотра записи (рис. 3.21). Рабочее поле этого окна разбито на несколько частей. В верхней части в виде непрерывной строки отображен анализируемый фрагмент **ЭКГ** по выбранному отведению. Ритмограмма, соответствующая анализируемому фрагменту **ЭКГ**, отображена в нижней части рабочего окна. В центре расположены три окна с графиками основных статистических и спектральных характеристик **BCP** – гистограмма распределения вероятностей **R-R**-интервалов, скаттерграмма очередных **R-R**-интервалов и спектр **BCP**, а также их числовые характеристики. Спектральные компоненты **BCP**, соответствующие стандартным областям **VLF**, **LF** и **HF**, окрашены в разный цвет. Значения мощностей в этих частотных диапазонах **BCP** приведены рядом с графиком.

Посредством двойного щелчка мыши в поле кардиограммы можно перейти к более детальному просмотру **ЭКГ**. Окно просмотра примет вид, показанный на рис. 3.22. Щелкнув мышкой на ритмограмме, можно перейти к соответствующему участку **ЭКГ**. Если щелкнуть мышкой в поле **ЭКГ**, то маркер на ритмограмме перейдет в новое положение. Если желательно выполнить анализ **BCP** не по всей записи, а только по выделенному вручную ее участку, то нужно щелкнуть мышкой в любой точке ритмограммы, при этом на ритмограмме появится измерительный маркер. Не отпуская кнопки, следует тянуть маркер в другую точку ритмограммы, выделяя участок для анализа. Все параметры **BCP**, отображающиеся в данном окне, вычисляются только по выделенному участку ритмограммы. Чтобы вер-

нуться в исходное состояние (выделить всю ритмограмму), нужно щелкнуть на ритмограмме правой кнопкой мышки.

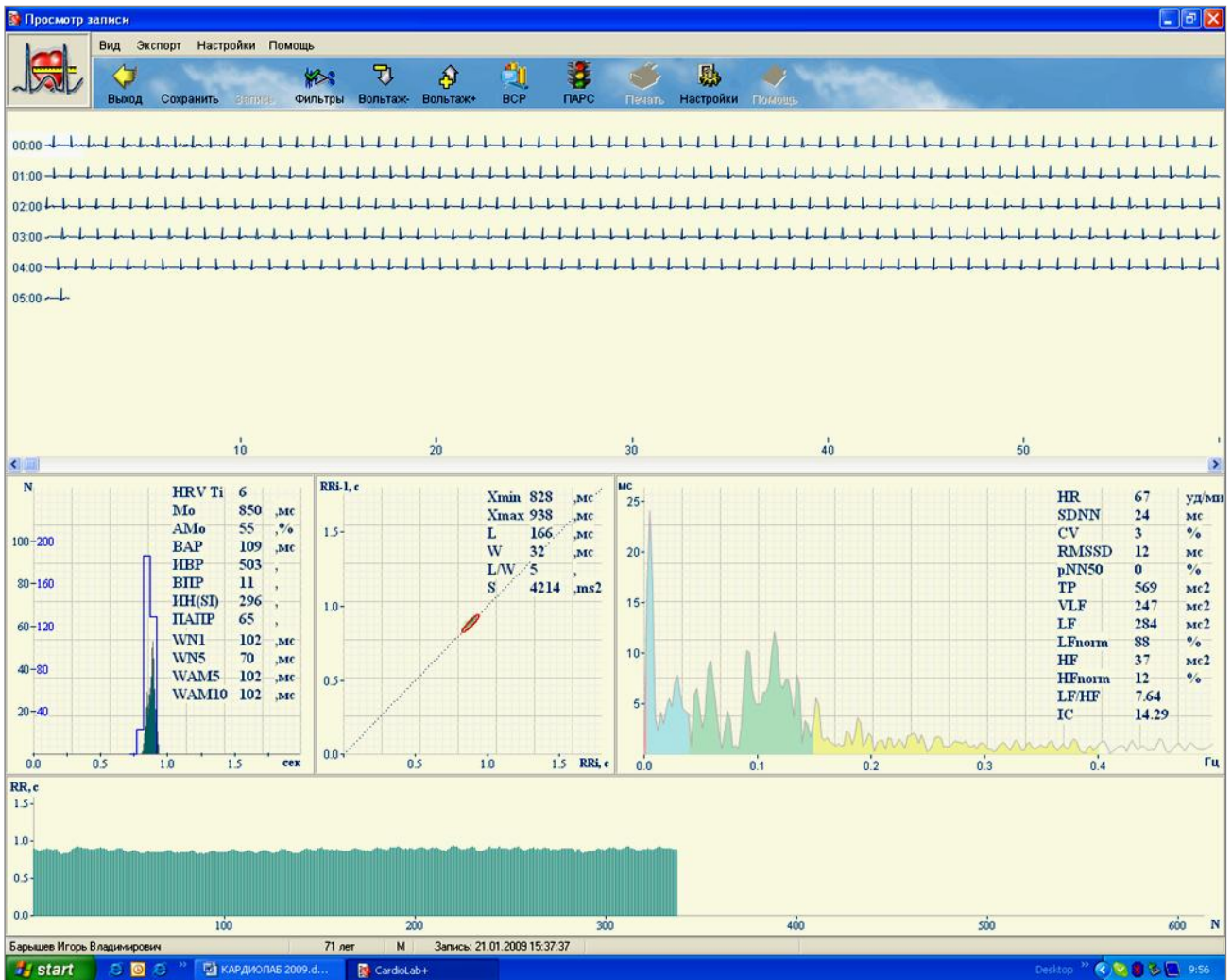


Рис. 3.21. Окно просмотра мониторинговой записи ЭКГ

Для формирования компьютерного варианта оценки общего состояния нейрогуморальной регуляции в покое (вегетативного фона) нужно нажать кнопку **ВСП** на инструментальной панели окна просмотра (см. рис. 3.22). Программа перейдет в окно результатов автоматического анализа и их интерпретации (рис. 3.23).

В левой части окна (см. рис. 3.23) показаны графики основных показателей **ВСП**, по которым оценивают ритмограмму, спектр **ВСП**, распределение вероятностей **R-R**-интервалов, скаттерграмму и круговую диаграмму спектральных компонент **ВСП**.

Справа приведены основные числовые характеристики **ВСП**, которые используют при оценке вегетативного фона. Эти же параметры отображены рядом в виде столбчатой диаграммы, наглядно показывающей абсолютные значения каждого из параметров и степень их отличия от нормы (**зеленый** – в границах нормы, **красный** – существенно ниже нормы, **си-**

ний – существенно выше нормы).

В нижнем поле окна отображено вербальное описание общего состояния нейрогуморальной регуляции в покое, автоматически формируемое программой на основе выполненных измерений. Описание включает в себя оценку типа регуляции по виду ритмограммы (по Д. Жемайтите), а также оценку состояния нейрогуморальной регуляции на основе показателей спектрального анализа **BCP**.

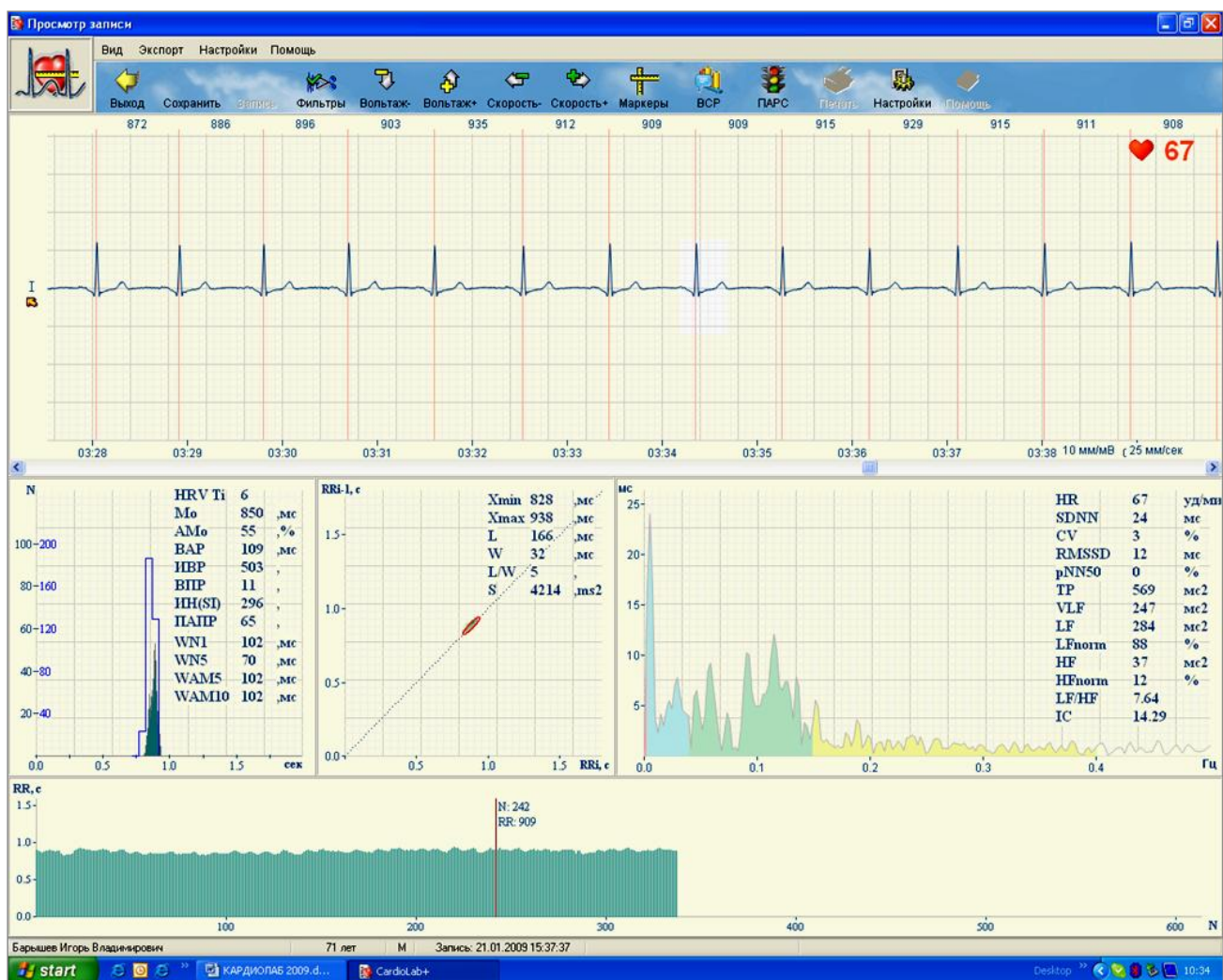


Рис. 3.22. Окно просмотра мониторинговой записи ЭКГ

Алгоритм описания состоит из таких разделов: общая мощность спектра **BCP**; состояние нейрогуморальной регуляции в целом (под этим понимают характеристику спектральной мощности в каждом из диапазонов **VLF**, **LF** и **HF**); характеристика соотношения (вклада) вегетативных влияний (**LF** и **HF**) и доля **VLF**-компонента в модуляции ритма сердца; 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 регу-

ляции (абсолютная или относительная); смешанный (сбалансированный) тип регуляции, т.е. баланс отделов **ВНС** по показателю **LF/HF**.

Половозрастные нормы числовых показателей **ВСР**, используемые при формировании оценки вегетативного фона, приведены в таблице **Норм ВСР**. Отметим, что нормативные показатели были получены разными авторами при выполнении большого числа клинических испытаний с различными репрезентативными группами пациентов (здоровых и больных). Эти показатели верифицированы, их рекомендуют для работы врачам-клиницистам. Нормативные показатели основных характеристик **ВСР** приведены в прил. 1.

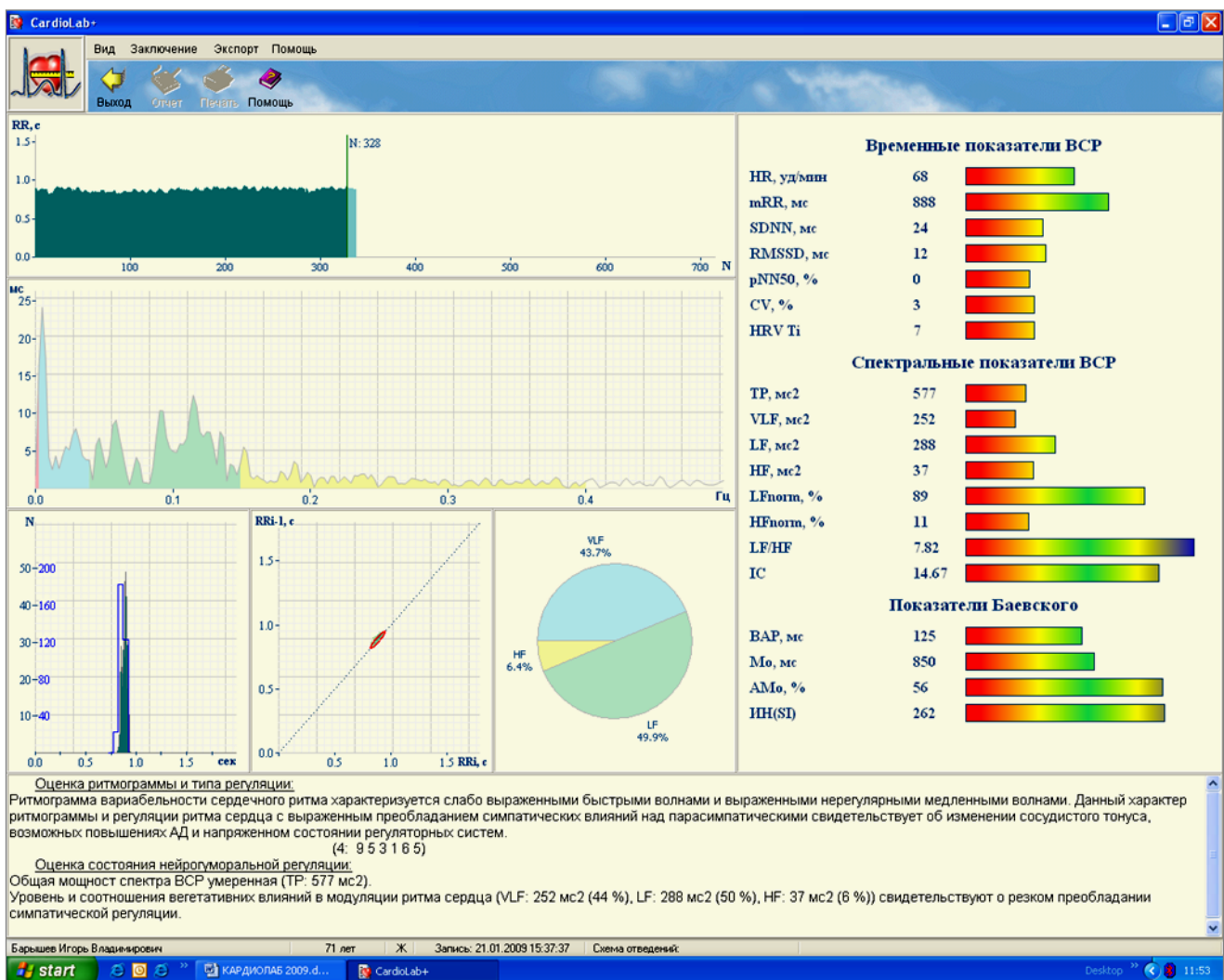


Рис. 3.23. Окно результатов анализа оценки общего состояния нейрогуморальной регуляции в покое

### 3.6. Оценка степени напряжения регуляторных систем по Р. М. Баевскому

Программа позволяет оценить функциональное состояние организма количественно в условных единицах (баллах) показателя активности ре-

гуляторных систем, который был предложен в начале 80-х годов Р. М. Бавским. **ПАРС** эффективен в оценке адаптационных возможностей организма.

В окно оценки функционального состояния организма (рис. 3.24) можно войти, нажав кнопку **ПАРС** на инструментальной панели в окне просмотра (см. рис. 3.21, 3.22).

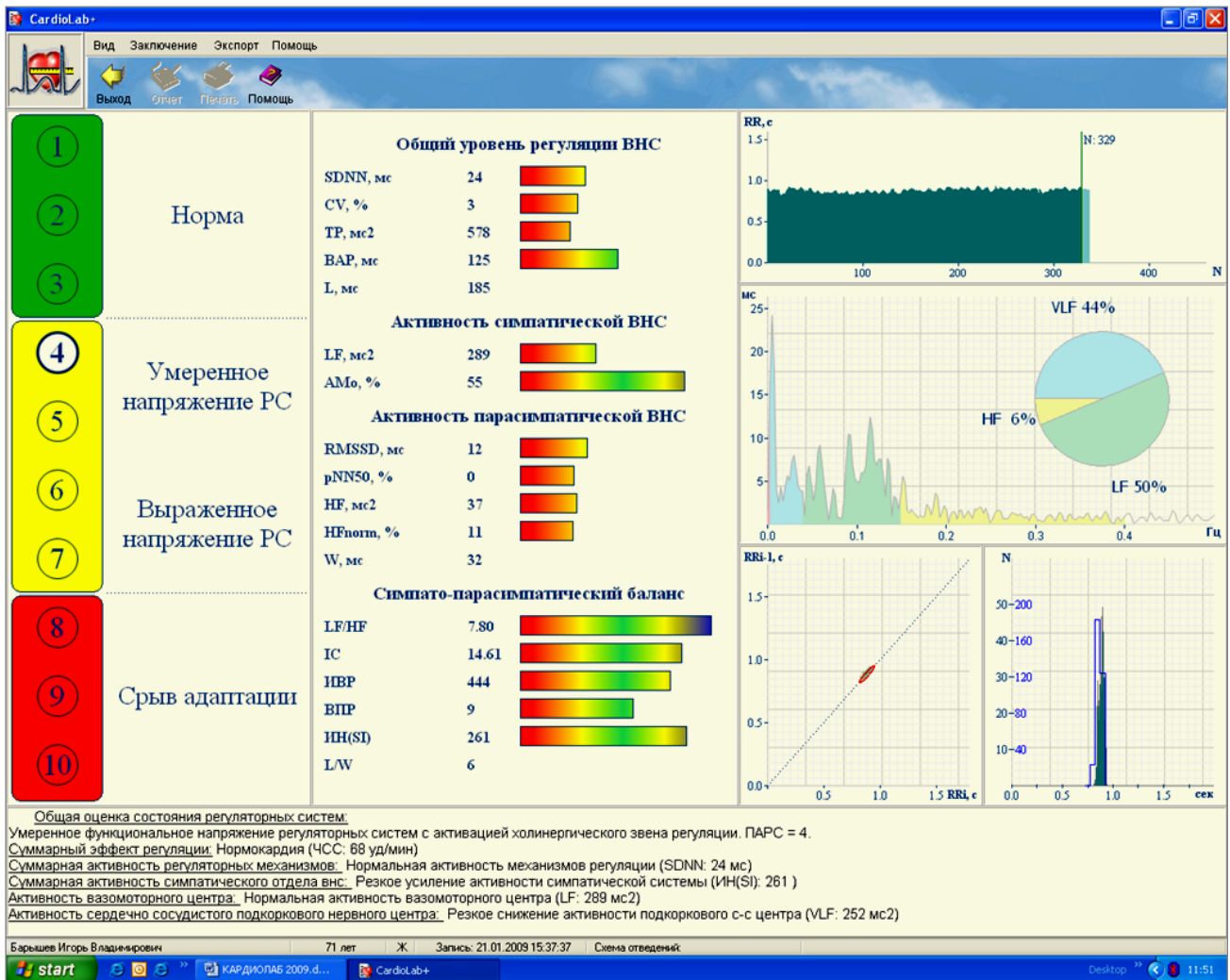


Рис. 3.24. Окно оценки ПАРС

Окно состоит из нескольких полей, в которых отображена следующая информация:

1. В правой части окна находятся графики основных показателей **ВСР**, по которым оценивают **ПАРС** (ритмограмма, спектр **ВСР**, круговая диаграмма спектральных компонент **ВСР**, скаттерграмма и распределение вероятностей **R-R**-интервалов).
2. В центре расположены основные числовые характеристики **ВСР**, которые используют при оценке **ПАРС**, а также показатели, близкие к ним по физиологическому значению. Эти же параметры наглядно отображены рядом в виде столбчатой диаграммы, графически показывающей абсолютное значение параметра и степень его

отличия от половозрастной нормы (**зеленый** – в границах нормы, **красный** – существенно ниже нормы, **синий** – существенно выше нормы).

3. В левой части окна изображен «**Светофор**» текущего функционального состояния пациента.
4. В нижнем поле окна отображено вербальное описание общей оценки состояния регуляторных систем, автоматически формируемое программой.

По оценкам **ПАРС** выделяют пять основных групп состояний:

**1. Норма.** Состояние полной или достаточной уравновешенности организма с внешней средой. Удовлетворительные функциональные (адаптационные) возможности (резервы). Высокая приспособляемость организма к текущим условиям достигается при минимальном напряжении регуляторных систем. **ПАРС** = 0,1.

**2. Умеренное функциональное напряжение.** Донозологические состояния, при которых функции организма реализуются более высоким, чем в норме, напряжением регуляторных систем. Возникают как результат высокой активности человека или после работы, к концу рабочего дня. Постоянное пребывание в этом состоянии указывает на то, что регуляторные механизмы работают с более высокой нагрузкой, чем это должно быть в норме. **ПАРС** = 2 - 4.

**3. Выраженное функциональное напряжение.** Преморбидное состояние, характеризующееся снижением функциональных резервов. Для здорового человека – это состояние во время физической или умственной работы. Характерно также для лиц со сниженными функциональными возможностями системы кровообращения, с неудовлетворительной адаптацией организма к условиям окружающей среды. Состояние постоянного стресса приводит к ускоренному расходованию жизненных ресурсов и развитию заболеваний. **ПАРС** = 5,6.

**4. Резко выраженное функциональное напряжение.** Состояние неудовлетворительной адаптации с резким снижением функциональных возможностей организма. Характеризуется наличием симптомов заболеваний. У здоровых людей может кратковременно возникать в моменты выполнения больших нагрузок (например, у спортсменов) или ответственных заданий (космонавты, летчики). У пациентов с различными заболеваниями это состояние указывает на недостаточность функциональных резервов, на истощение жизненных сил и требует серьезного отношения. **ПАРС** = 7,8.

**5. Астенизация (истощение) регуляторных систем.** Означает срыв адаптационных процессов, истощение регуляторных систем, неспособность организма поддерживать равновесие с окружающей средой. Обострение патологического состояния требует немедленного применения средств коррекции состояния в клинических условиях (**ПАРС** = 9, 10).

**ПАРС** вычисляют по специальному алгоритму, учитывающему следующие локальные критерии:

- суммарный эффект регуляции по показателям **ЧСС** или **mRR**;
- суммарная активность регуляторных механизмов по среднеквадратичному отклонению – **СКО**, **SDNN** (или по суммарной мощности спектра **TP**);
- суммарная активность симпатического отдела вегетативной нервной системы по индексу напряжения регуляторных систем (**ИН**) или вегетативный баланс по комплексу показателей – **RMSSD**, **ИЦ**, **АМо** и **CV**;
- активность вазомоторного центра, регулирующего сосудистый тонус, по мощности спектра низких частот **LF**;
- активность сердечно-сосудистого подкоркового нервного центра или надсегментарных уровней регуляции по мощности спектра **VLF**.

Результаты наглядно отображены в виде «**Светофора**», где выделены три зоны функциональных состояний:

- **зеленый** – означает, что состояние **ВНС** удовлетворительное. Не требуется никаких специальных мероприятий по профилактике и лечению;
- **желтый** – указывает на необходимость повышенного внимания пациента к своему здоровью и проведения оздоровительных и профилактических мероприятий;
- **красный** – показывает, что существует высокая степень риска развития заболеваний, следует срочно обратить внимание на диагностику и при необходимости лечение возможных заболеваний.

## 4. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЫ

Наиболее интересная часть работы с кардиоритмограммой (**КРГ**) – проведение функциональных проб. Это дает существенную дополнительную информацию по оценке функционального состояния сердца и позволяет оценить реактивность вегетативной системы и вегетативное обеспечение деятельности.

Одна из главных целей проведения проб – это выяснение реакции вегетативной системы на внешние раздражители.

### 4.1. Протоколы проведения функциональных проб

Рекомендуемый перечень функциональных проб:

- активная ортостатическая проба;
- проба с управляемым дыханием;
- проба Вальсальвы;
- изометрическая нагрузочная проба;
- кардиоваскулярные пробы;
- нагрузочная проба (велозэргометрия);
- фармакологические пробы (с  $\beta$ -блокаторами, атропином и др.);

- проба Ашнера;
- синокаротидная проба;
- психофизиологические пробы.

Таблица 6


Стандартные функциональные пробы

Типы проб	Методика проведения пробы	Нормальная реакция на пробу
Активная ортостатическая проба	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Записать фоновую пробу в положении лежа – 5 – 7 мин</li> <li>2. Быстро принять вертикальное положение, записать <b>ЭКГ</b> в течение 5 – 7 мин</li> </ol>	<p>Быстрое учащение ритма более чем на 30% с последующим установлением <b>ЧСС</b> после переходного процесса на уровне исходного. <b>К<sub>30-15</sub> &gt; 1,35</b></p>
Дыхательная проба	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Записать фоновую пробу в положении лежа – 5 – 7 мин</li> <li>2. Не изменяя положения, записать <b>ЭКГ</b> при глубоком ритмическом дыхании (6/мин, 50 : 50) в течение 3 – 5 мин</li> <li>3. Записать <b>ЭКГ</b> в спокойном положении, лежа – 5 мин</li> </ol>	<p>Переход от преобладания симпатической к преобладанию парасимпатической активности</p>
Проба Вальсальвы	<p>Запись <b>ЭКГ</b> проводится в положении лежа в течение ~ 2 мин:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- сделать глубокий вдох;</li> <li>- в течение 15 – 20 с выдыхать воздух через мундштук или сжатые губы;</li> <li>- в течение 30 – 40 с после выдоха спокойно дышать</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышение <b>ЧСС</b> на 40...60 % во время выдоха</li> <li>2. Восстановление <b>ЧСС</b> до исходного уровня в течение 20 – 40 с</li> <li>3. <b>К<sub>Вальс</sub> &gt; 1,29</b></li> </ol>
Проба с физической нагрузкой	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Записать фоновую пробу в положении лежа в течение 5 мин</li> <li>2. Быстро принять вертикальное положение (активная ортостатическая проба). Выполнить запись в течение 3 – 5 мин</li> <li>3. Выполнить нагрузочную пробу на уровне 0,1·ДОО Вт (до достижения <b>ЧСС</b> = 80 % max)</li> <li>4. Записать <b>ЭКГ</b> начиная с пятой-седьмой минуты этапа восстановления в течение 5 мин</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Восстановление <b>ЧСС</b> до исходного уровня к седьмой минуте восстановительного периода</li> <li>2. Происходит незначительный сдвиг в сторону преобладания симпатической и гуморальной регуляций</li> <li>3. Волновая структура ритмограммы не изменяется</li> </ol>

Тип пробы	Методика проведения пробы	Нормальная реакция на пробу
Кардиоваскулярная проба (КВП)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выполнить фоновую запись в течение 5 мин</li> <li>2. Выполнить пробу с глубоким управляемым дыханием (6 в 1 мин) в течение 5 мин</li> <li>3. Выполнить пробу Вальсальвы</li> <li>4. Измерить АД в положении лежа</li> <li>5. Выполнить ортостатическую пробу в течение 5 мин</li> <li>6. Измерить АД в положении стоя</li> <li>7. Выполнить изометрическую пробу в течение 3 мин</li> </ol> Измерить АД	Разброс интервалов $R - R_{max} / R - R_{min}$ при глубоком дыхании $K_{RR} > 1,21$ Изменение ЧСС при вставании $K_{30-15} > 1,35$ Изменение ЧСС при выполнении пробы Вальсальвы $K_{Вальс} > 1,29$ Изменение АД при вставании $< 10$ мм рт. ст. Норма – результаты всех четырех тестов отрицательные
Проба Даньини – Ашнера	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выполнить фоновую запись в течение 5 мин</li> <li>2. Надавливать подушечками пальцев на оба глазных яблока до появления легкого болевого ощущения в течение 15 – 20 с</li> <li>3. Записать ЭКГ в течение 2 мин после надавливания</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Замедление пульса на 6–12 ударов через несколько секунд после начала надавливания</li> </ol>
Синокаротидный рефлекс	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выполнить фоновую запись в течение 5 мин</li> <li>2. Попеременно (через 1,5 – 2 с) в течение 20 с указательным и большим пальцами надавливать на область верхней musculus sternocleidomastoideus ниже угла нижней челюсти до ощущения пульсации сонной артерии</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Снижение ЧСС на 5–12 ударов в минуту</li> <li>2. Снижение АД на 10 мм рт. ст.</li> </ol>

#### 4.2. Регистрация функциональных проб по принятому протоколу

Запись функциональных проб так же, как и запись фоновой пробы для исследования общей вегетативной регуляции в покое, выполняют через окно просмотра и записи мониторной ЭКГ (см. рис. 3.1). Для входа в ре-

жим записи функциональных проб нужно нажать кнопку  – **Пробы** на инструментальной панели.

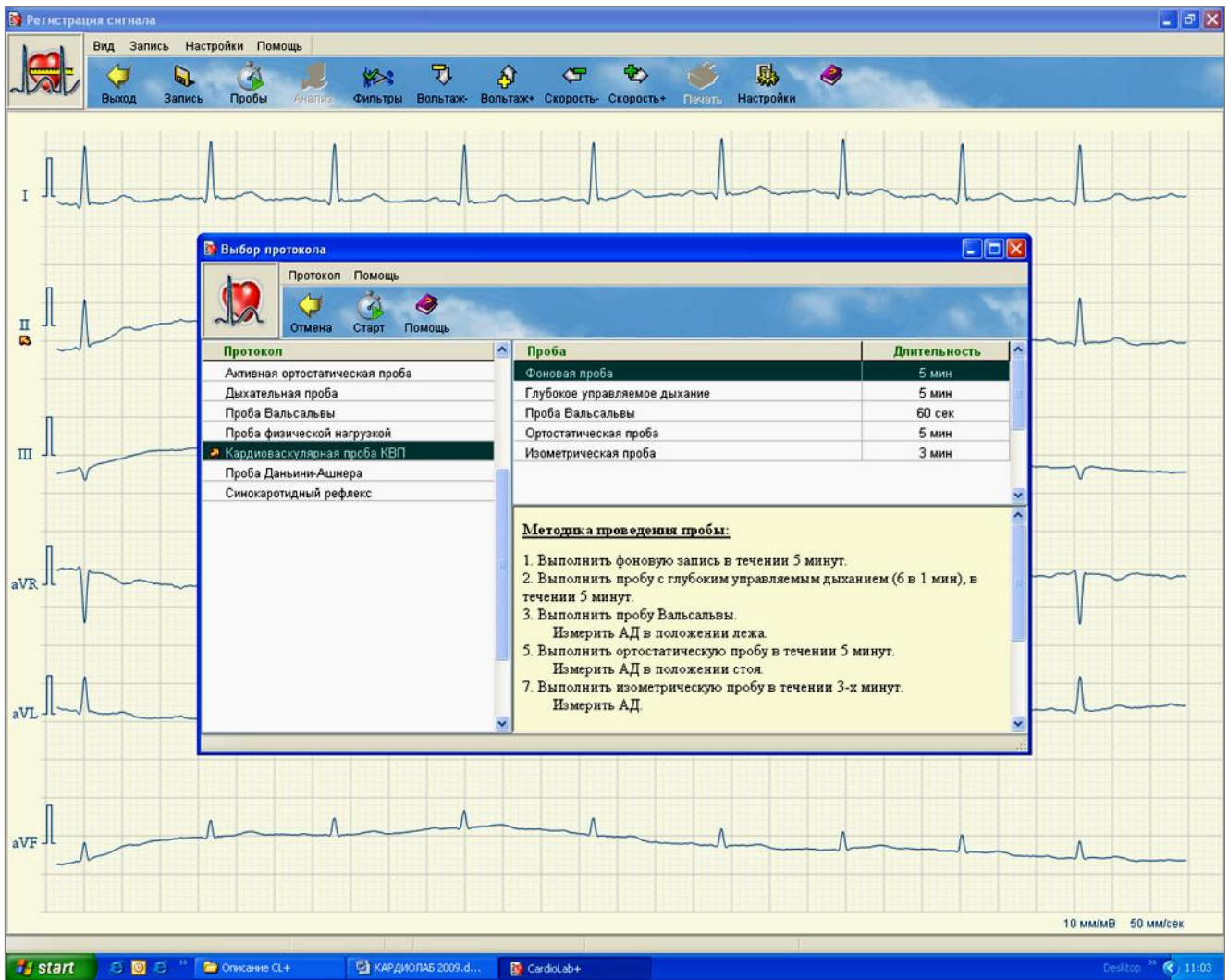


Рис. 4.1. Окно выбора протокола для записи нужных функциональных проб

Откроется окно выбора протокола (рис. 4.1), в котором можно выбрать необходимую для текущего исследования пробу.

Программа перейдет в стандартное окно записи мониторинга ЭКГ, одинаковое для всех функциональных проб, в котором открыто дополнительное информационное окно с содержанием выбранного протокола. Оно будет автоматически заполняться по мере выполнения протокола (рис. 4.2). Для начала записи функциональной пробы в соответствии с выбранным протоколом нужно нажать кнопку **Начать** в информационном окне.

При выполнении некоторых функциональных проб желательно (или обязательно) у пациента измерить артериальное давление, величина которого будет использована программой при формировании автоматического описания результатов пробы. АД<sub>сист</sub> и АД<sub>диаст</sub> вводят через специ-

альное выпадающее окно, появляющееся при окончании очередного этапа протокола.

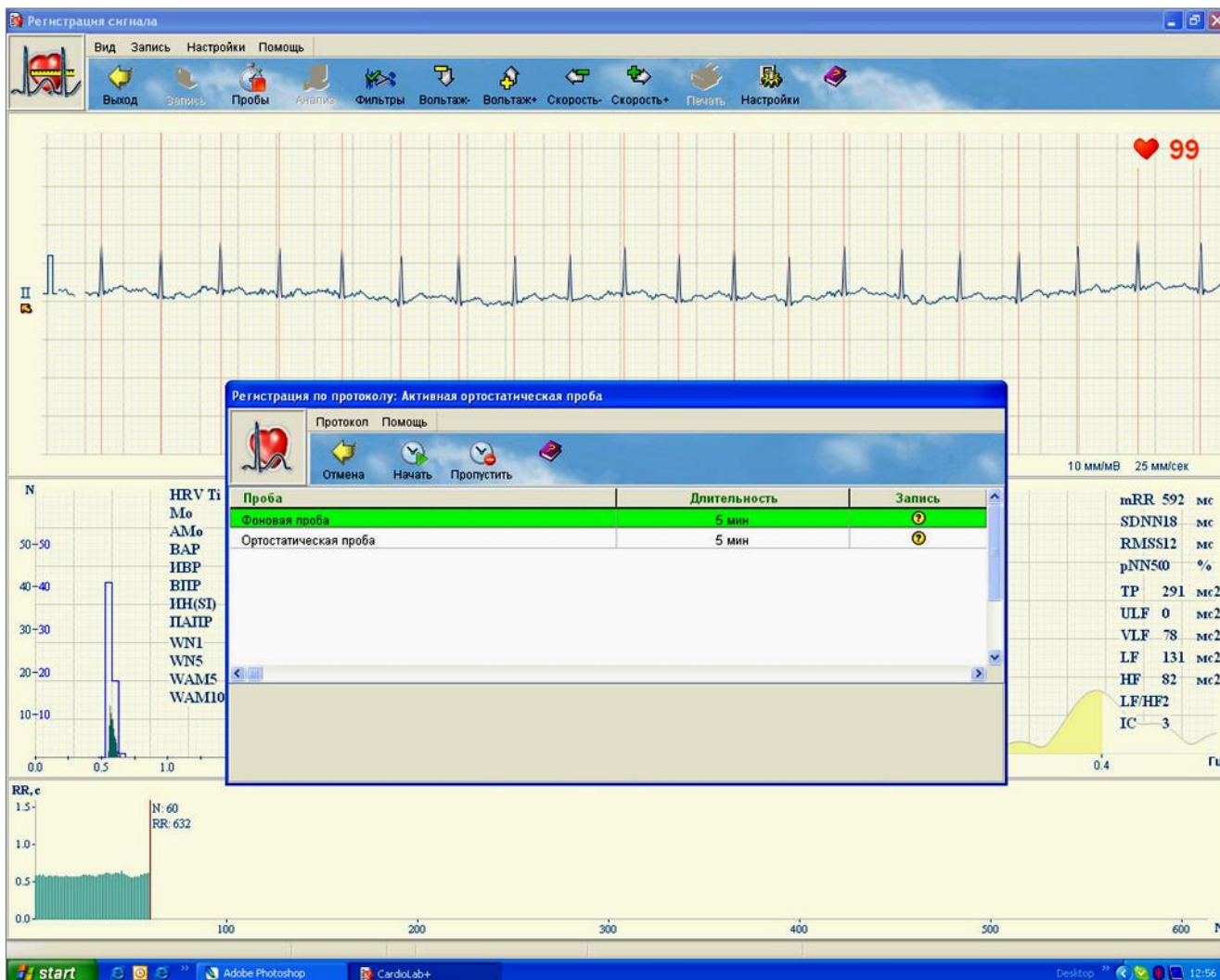


Рис. 4.2. Окно выполнения протокола записи пробы

### 4.3. Примеры анализа функциональных проб

По завершении всех этапов протокола запись мониторной ЭКГ автоматически сохраняется в архиве для анализа на основании правил, определенных для соответствующего протокола. Поскольку анализ и интерпретация различных функциональных проб выполнят по-разному, каждое из окон анализа для стандартного набора проб также будет иметь различный вид. Общим для всех протоколов является наличие в каждом из них фоновой записи, предшествующей главной функциональной пробе протокола (например, перед выполнением ортостатического теста или дыхательной пробы обязательно записывают фоновую пробу в покое).

**Анализ ортостатической пробы.** В архиве выбирают нужную запись и просматривают её в окне мониторных ЭКГ (рис. 4.3).

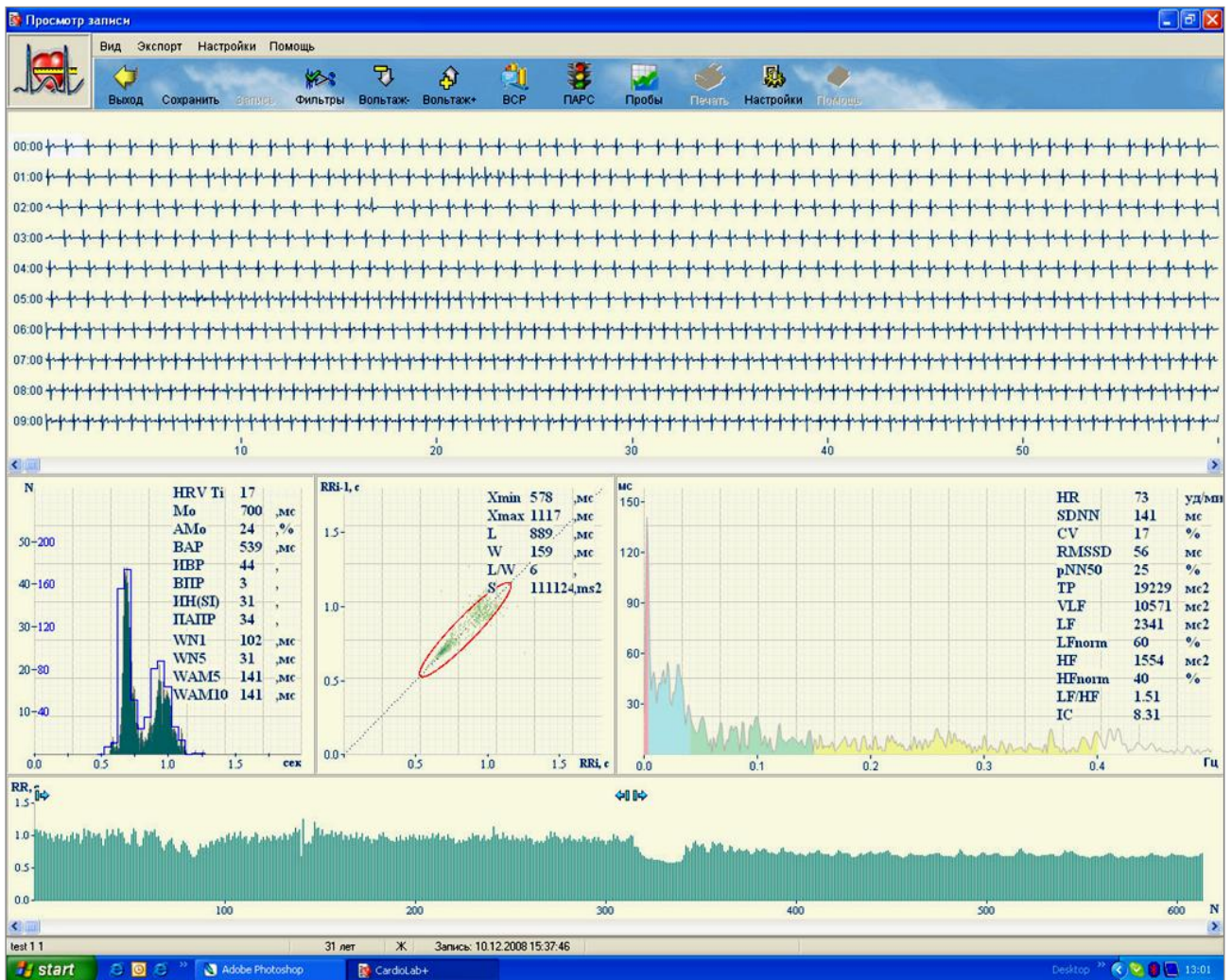


Рис. 4.3. Просмотр записи ортостатической пробы

Для выполнения анализа **Ортопробы** и формирования автоматического описания результата нужно нажать кнопку – **Пробы**. Программа перейдет в специальное окно результатов анализа ортопроб (рис. 4.4).

Это окно разбито на четыре поля. В левой части окна отображены графики результатов анализа фоновой записи, в центре – такие же графики для ортостатического положения, справа приведены для сравнения основные числовые параметры **ВСР** для двух этапов ортостатической пробы.

В нижней части окна отображено автоматически формируемое программой по результатам анализа словесное описание результатов ортостатической пробы, включающее в себя характеристики исходного состояния (фон), переходного процесса и вегетативного обеспечения в ортостатическом положении.

При анализе результатов ортостатической пробы самостоятельное диагностическое значение имеют характер и параметры переходного процесса, представляющего собой характерного вида «яму» с последующим

«пиком», отражающим ускорение, а затем замедление ЧСС (см. ритмограмму на рис. 4.3).

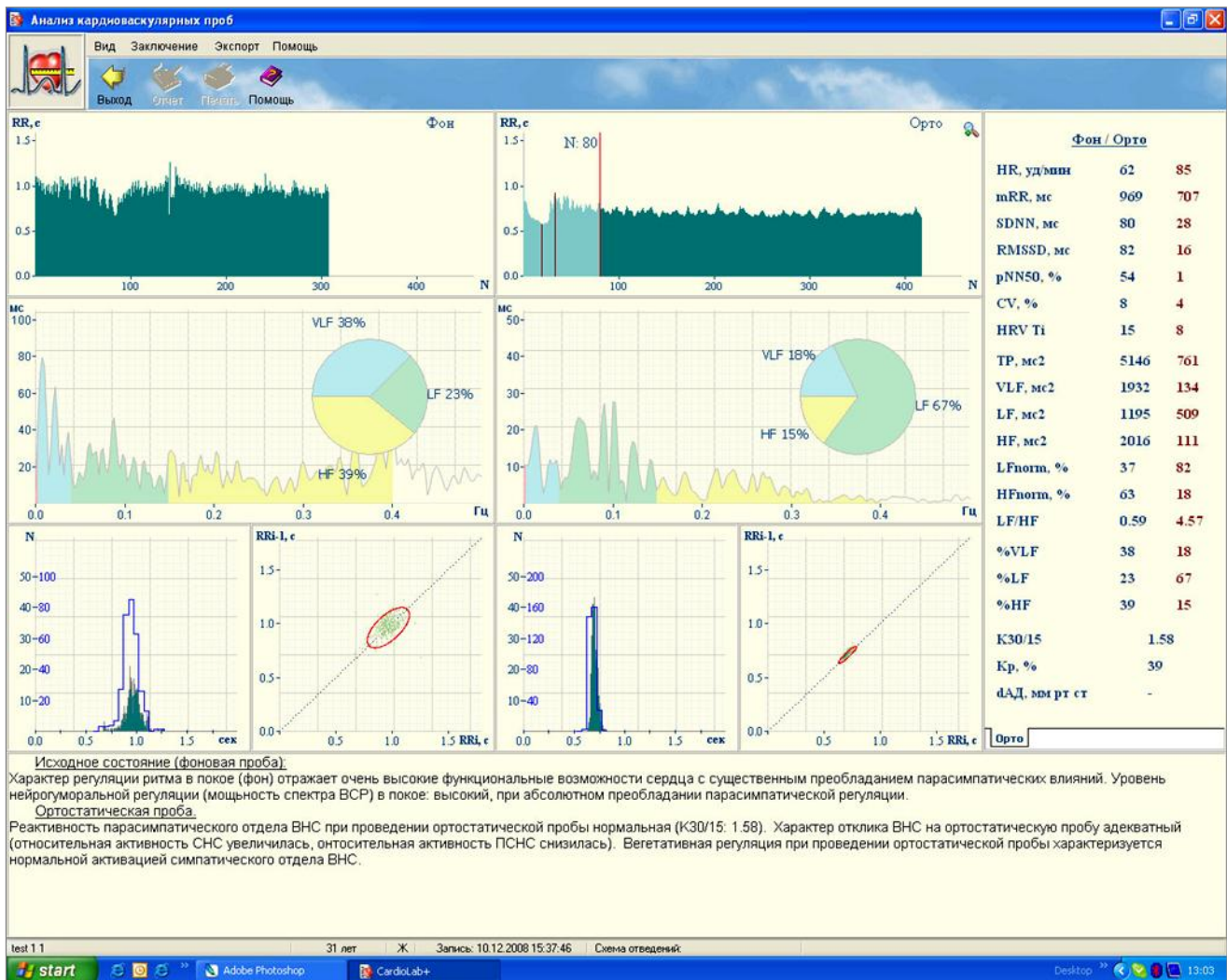



Рис. 4.4. Окно результатов анализа ортопроб

Для более детального анализа переходного процесса при ортопробе нужно нажать кнопку  в поле **Ритмограммы**. В центральном поле окна в увеличенном масштабе отобразится участок ритмограммы, содержащий переходный процесс с отметками  $RR_{15}$  и  $RR_{30}$  (рис. 4.5).

При анализе переходного периода важно отношение минимального, соответствующего "дну ямы", значения **R-R**-интервала (обычно 15-й удар от начала вставания) к самому длинному **R-R**-интервалу, обычно около 30-го **R-R**-интервала ( $R-R_{30}$ ), так называемый коэффициент 30:15. Основой для вычисления  $K_{30:15}$  послужили работы Ирвинга, показавшего, что в первые секунды вставания учащение пульса происходит за счет понижения тонуса вагусного нерва, который становится минимальным в районе 15-го удара от начала вставания, а около 30-го удара вагусный тонус восстанавливается и становится максимальным (регистрируется относительная брадикардия). Таким образом, отношение  $K_{30:15}$  характеризует функ-

цию блуждающего нерва. Низкий коэффициент  $K_{30:15}$  указывает на недостаточность функции вагуса и, следовательно, позволяет уточнить генез тахикардии при вегетативных кризах, которая не всегда имеет симпатическое происхождение, а может быть обусловлена проявлением вагусной недостаточности.

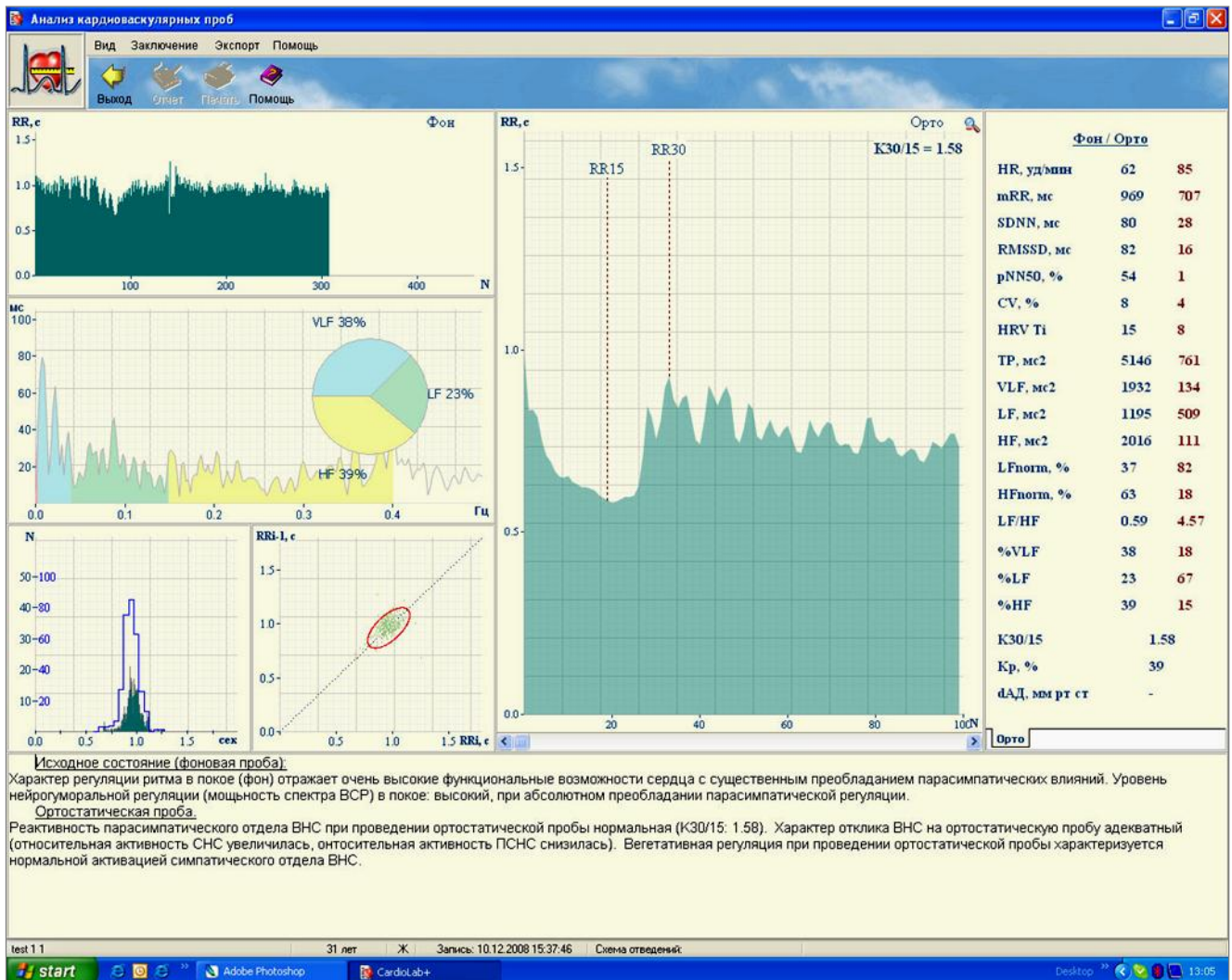


Рис. 4.5. Окно детального анализа переходного процесса ортостатической пробы

**Анализ дыхательной пробы.** Технология анализа пробы с глубоким управляемым дыханием не отличается от анализа ортостатической пробы. В архиве выбирают ЭКГ-запись, выполненную по соответствующему протоколу. Далее, нажав кнопку – **Пробы**, необходимо перейти в окно результатов анализа дыхательной пробы (рис. 4.6).

Внешне и по набору функций это окно имеет практически такой же вид, как и окно для анализа ортопробы (см. рис. 4.4). Отличие состоит в том, что в правом поле окна можно выбирать закладки **Дыхание** или **Отдых**, отображая тем самым результаты анализа трех этапов протокола дыхательной пробы -- **Фон/Дыхание/Отдых**.

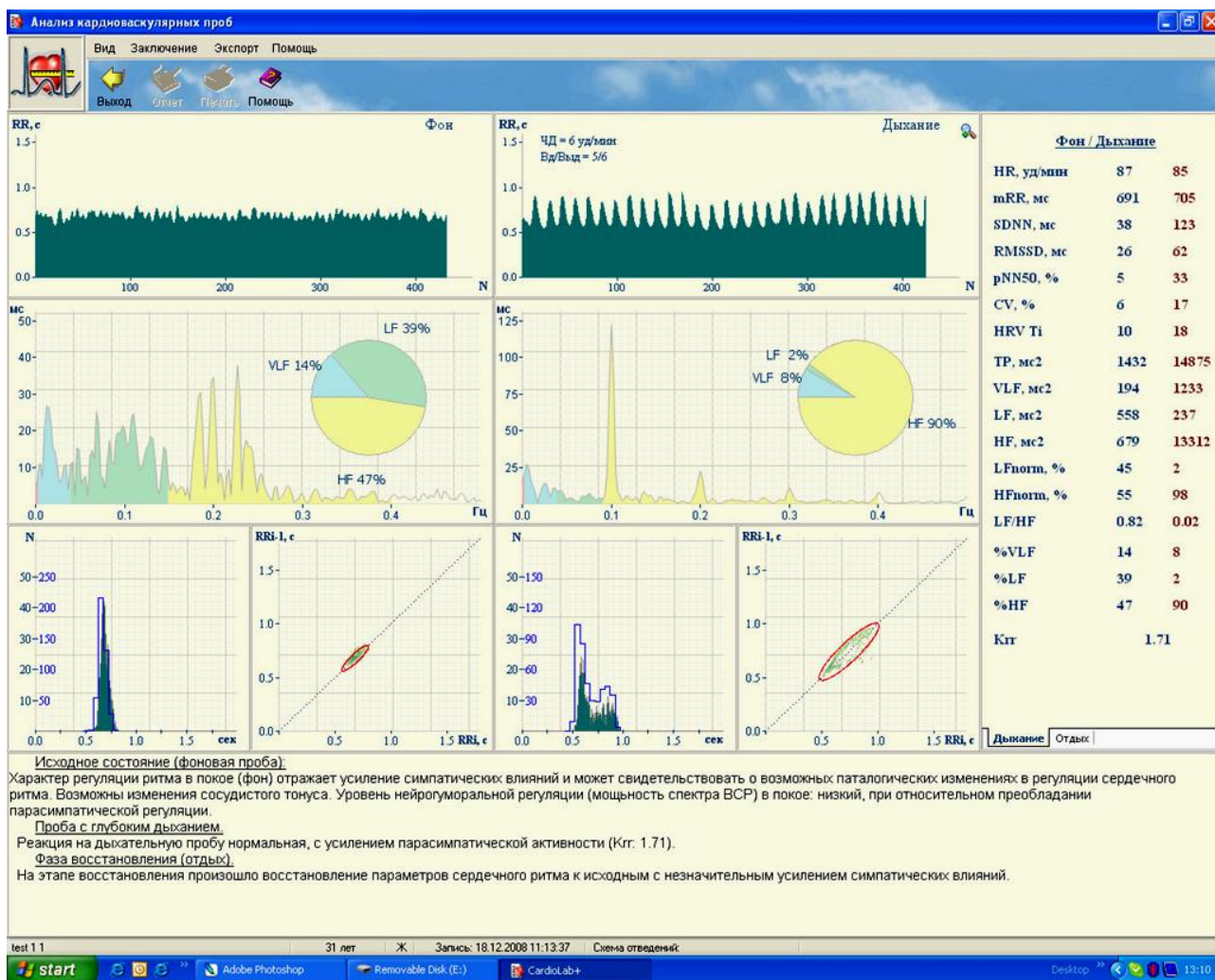


Рис. 4.6. Окно результатов анализа дыхательной пробы


В нижней части окна, как и ранее, отображено автоматически формируемое программой по результатам анализа словесное описание результатов дыхательной пробы, включающее в себя характеристику исходного состояния (фон), изменение состояния **ВНС** при ритмическом дыхании и характеристику вегетативного обеспечения в фазе отдыха.

Так как цель дыхательной пробы – выяснение характера реакции на стимуляцию парасимпатического отдела **ВНС**, то частоту управляемого дыхания желательно выбирать более высокой, чем нижняя граница диапазона **HF** – 0,15 Гц, соответствующего парасимпатике (**ЧД** > 9 дых/мин). Если же пациенту трудно дышать с постоянной высокой частотой в течение пяти минут, то можно установить и более низкий темп дыхания, например 6 дых/мин (0,1 Гц). (Именно при такой частоте дыхания в наибольшей степени стимулируется блуждающий нерв). При этом нижняя граница диапазона **HF** автоматически смещается в область более низких частот, что исключает некорректность интерпретации результатов анализа дыхательной пробы.

Количественным показателем оценки реактивности парасимпатиче-

ского отдела **ВНС**, вычисляемым программой при выполнении дыхательной пробы, является дыхательный коэффициент (инспираторно-экспираторное отношение)  $K_{r-r}$ , определяемый как среднее значение отношения  $R-R_{max} / R-R_{min}$ . Нормальное значение  $K_{r-r}$  при глубоком дыхании должно составлять не менее 1,21, значения  $K_{r-r}$  менее 1,1 свидетельствуют о патологиях.

Нормальная реакция **ВНС** на дыхательную пробу – это переход от преобладания симпатической активности к преобладанию парасимпатки или усиление выраженности парасимпатических влияний. При сниженной реакции происходит незначительный сдвиг в область усиления парасимпатической активности или отсутствие такого усиления. Парадоксальной и свидетельствующей о возможных патологических изменениях является реакция с усилением симпатической активности.

**Анализ пробы Вальсальвы.** Анализ пробы Вальсальвы не отличается от анализа ортостатической пробы или дыхательной. В архиве выбирается ЭКГ-запись, выполненная по соответствующему протоколу. Далее, нажав кнопку  – **Пробы**, необходимо перейти в окно результатов анализа пробы Вальсальвы (рис. 4.7).

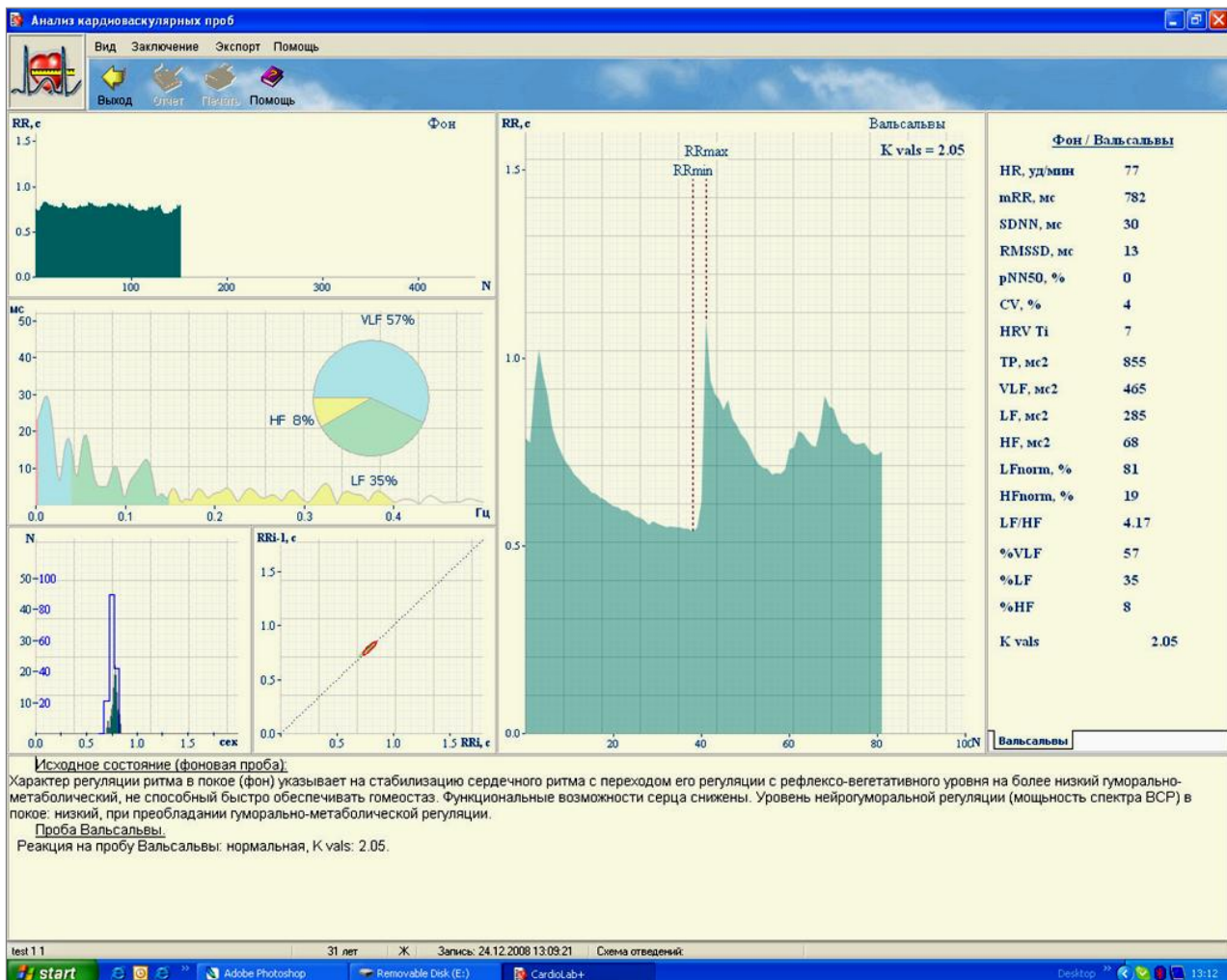


Рис. 4.7. Окно результатов анализа пробы Вальсальвы

При компьютерной обработке результатов пробы Вальсальвы вычисляют коэффициент  $K_{\text{вальс}}$  как отношение продолжительности максимального  $R-R$ -интервала после выполнения пробы  $R-R_{\text{max}}$  к минимальной продолжительности  $R-R$ -интервала во время выполнения пробы  $R-R_{\text{min}}$ . Нормальные значения  $K_{\text{вальс}}$  не должны быть меньше 1,29. При значении  $K_{\text{вальс}}$  менее 1,11 реакцию на пробу Вальсальвы считают патологической.

**Проба с физической нагрузкой.** Предназначена для оценки вегетативного обеспечения физической деятельности и позволяет охарактеризовать состояние гомеостаза и адаптационные резервы как у больных, так и у относительно здоровых пациентов.

Проба предполагает выполнение дозированной физической нагрузки (велозергометрия, тредмил, степ-тест) до достижения максимальной (для здоровых), субмаксимальной или пороговой (для больных) нагрузки. Протокол пробы с физической нагрузкой включает в себя четыре этапа записи ЭКГ: в исходном состоянии (фон), при выполнении активной ортостатической пробы, при выполнении физической нагрузки (обычно на уровне  $0,1 \cdot \text{ДОО Вт}$ ) и на этапе восстановления. Вид рабочего окна анализа пробы с физической нагрузкой показан на рис. 4.8.

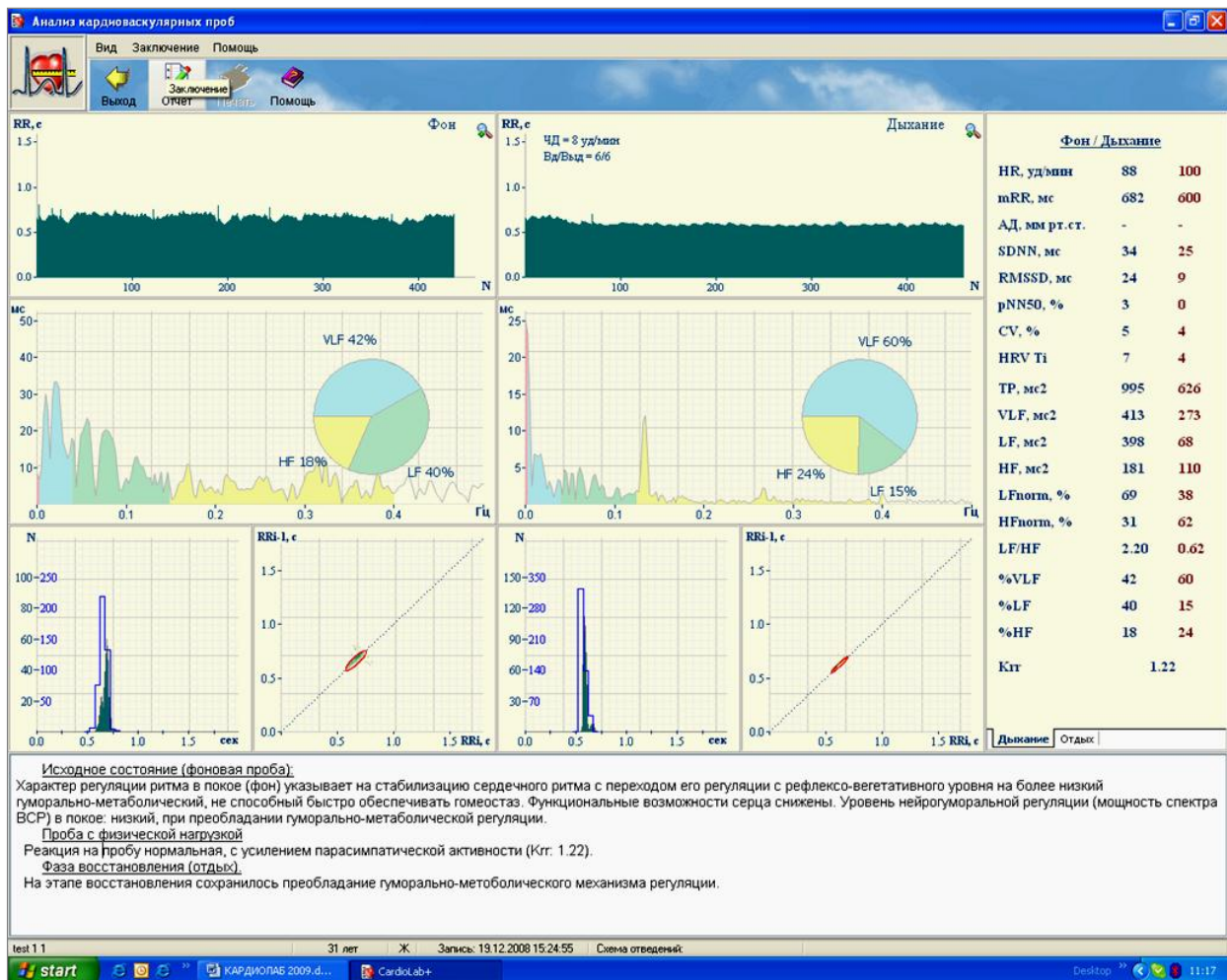


Рис. 4.8. Окно результатов анализа пробы с физической нагрузкой

Анализ пробы с физической нагрузкой проводят так же, как и для ортостатической и дыхательной проб, путем сравнения характеристик **ВСП** в исходном состоянии, в ортостатическом положении и после завершения переходного процесса на этапе восстановления.

Нормальная реакция на нагрузку – это восстановление **ЧСС** практически до исходного уровня к седьмой минуте восстановительного периода. У здоровых лиц парасимпатические волны присутствуют на всех участках **КРГ**, меняется только их амплитуда. Волновая структура постстимульного периода и исходной **КРГ** у здоровых лиц приблизительно одинакова, сохраняется незначительный сдвиг в сторону преобладания симпатических и гуморально-метаболических влияний

Безусловно, приведенные примеры не исчерпывают всего многообразия функциональных проб, применяемых для анализа и оценки функционального состояния организма и его изменений на основе определения параметров вегетативного баланса и нейрогуморальной регуляции. Проанализируем основные факторы, влияющие на результаты исследований **ВСП**. Но, разумеется, что все особенности рассматриваемой технологии можно освоить только в процессе её практического использования.

## 5. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВНС

### 5.1. Основные клинические приложения метода **ВСП**

Несмотря на большое число исследований по изменению **ВСП** у больных с широким спектром заболеваний, клиническое использование определения **ВСП** в настоящее время ограничивается оценкой риска после перенесенного инфаркта миокарда и ранним выявлением диабетической полинейропатии.

Снижение **ВСП** у больных инфарктом миокарда не зависит от других известных показателей (размер зоны некроза, выраженность дисфункции левого желудочка и т.д.) и является фактором риска смертности и развития осложнений. Прогностическое значение всех видов анализа **ВСП** примерно одинаковое. За пограничные значения выраженного снижения **ВСП** при мониторинговании в течение 24 часов рекомендуется принимать **SDNN < 50 мс**, умеренного – **SDNN < 100 мс**. Прогностическая точность метода возрастает с увеличением продолжительности периода мониторингования, делает предпочтительным применение суточных записей. Оценка риска целесообразна примерно через неделю после инфаркта миокарда.

Развитие диабетической полинейропатии увеличивает смертность в течение ближайших 5 лет на 50 %, в то же время ее клинические проявления, как правило, не позволяют диагностировать это состояние на достаточно ранней стадии. Изменения **ВСП** – ранний (субклинический) при-

знак полинейропатии, позволяющий выявить это состояние еще до манифестации клинических признаков. Анализ суточной записи обладает более высокой чувствительностью, однако и 5-минутные записи вполне информативны. Можно использовать все методы анализа **BCP**, однако наиболее постоянные признаки – это изменения параметров спектрального анализа:

- снижение мощности всех спектральных компонентов;
- отсутствие увеличения **LF** при ортостатической пробе;
- «нормальное» отношение **LF/HF**;
- снижение центральной частоты низкочастотного компонента **BCP** (пик **LF** смещен влево).

## Кардиология

**1. Болезни коронарных артерий и ишемия миокарда.** Мощность респираторной компоненты (**HF**) спектра сердечного ритма обратно коррелирует с распространенностью атеросклеротического процесса в коронарных артериях (в том числе с числом пораженных артерий), но не связана со степенью их стеноза. Эта зависимость инвариантна относительно предшествующего инфаркта миокарда, функции левого желудочка, факторов коронарного риска.

Связь сниженной **HF** с повышенным риском коронарного атеросклероза объясняется существующими связями между дыхательными и сердечно-сосудистыми центрами продолговатого мозга, реализуемыми через предсердные барорецепторы и легочные рецепторы натяжения, рефлекс Бейнбриджа (J. Hayano, A. Yamada, S. Mukai et al. Am. Heart J., 1991 г.).

Существенное (более чем 5-кратное) падение мощности **HF** спектра сердечного ритма в велоэргометрическом исследовании на высоте нагрузки ассоциируется с высоким риском фибрилляции желудочков. Блокаторы бета-адреноэргических рецепторов у лиц группы риска усиливают падение мощности **HF** на физическую нагрузку (G. Billman, R. Hoskins, Circulation, 1989 г.).

**2. Артериальная гипертензия.** Ранние результаты вычисления **PS/HRV** и **PS/BPV** у пациентов с артериальной гипертензией указывали на автономный дисбаланс при этом заболевании. Достоверно установлено, что **LF** отчетливо возрастает у больных с выраженной артериальной гипертензией. Ряд авторов показали, что в группе пациентов с артериальной гипертензией отчетливо повышается мощность **LF** и снижается **HF** в сравнении с группой нормальных субъектов. Длительная  $\beta$ -блокада снижала **ЧСС** и **АД** с понижением **LF** и возрастанием **HF**.

**3. Соматическая клиника.** Болезнь Чагаса (**ЧБ**) – это хроническое заболевание с дегенеративными нарушениями в различных органах и тканях, демиелинизацией периферических нервных волокон. Одно из основных проявлений – десимпатизация и депарасимпатизация органных функций.

Нарушенные нервные механизмы при **ЧБ** могут быть диагностированы методом спектрального анализа сердечного ритма. В состоянии покоя при **ЧБ** спектральная картина соответствует картине, наблюдающейся у здоровых лиц. При физической нагрузке (взмах руками) у здоровых людей возрастает мощность низкого спектра (**LF**), тогда как при **ЧБ** спектральная картина не меняется. При **ЧБ** происходят существенные нарушения в неравных регуляторных механизмах, прежде всего со стороны симпатической части автономной нервной системы.

## 5.2. Факторы, влияющие на результаты исследований ВСП

**Методика спектрального анализа ВСП.** Несмотря на то, что результаты спектрального анализа характеризуются высокой устойчивостью и на протяжении суток мало меняются, обследование рекомендуют проводить утром натощак. Как и всякие другие функциональные тесты, его выполняют в базальных условиях при функциональных и фармакологических пробах. При удовлетворительном обследовании двух спектральных областей **LF** и **HF** в каждой из проб оно составляет шесть минут. Анализируют результаты регистрации последних пяти минут. Для оценки всего спектрального диапазона обследование составляет не менее 16 мин, анализируют результаты регистрации последних 15 мин.

**Методика обследования.** Пациент располагается на кушетке горизонтально. Electroды накладывают в выбранном отведении и записывают мониторную **ЭКГ** после установления устойчивого состояния (через четыре-пять минут после принятия горизонтального положения). Длительность записи до шести минут. Анализируют последние пять минут записи. Измеряют **АД**. Затем пациент активно переходит в положение стоя и при получении безартефактного сигнала записывают **ЭКГ** в положении стоя. Как правило, в положении стоя записывают шесть минут. Анализируют последние пять минут записи. Измеряют **АД**.

Кроме этого, часто используют так называемый пассивный наклонный тест «**Tilt test**». Пациента укладывают на устройство с возможностью ступенчатого постепенного пассивного перевода тела из горизонтального положения в вертикальное (например, стол рентгеновского аппарата).

Пациента укладывают в горизонтальное положение, после периода адаптации в одну минуту регистрируют ритм в течение шести минут. Измеряют **АД**. Анализируют последние пять минут записи. Затем стол переводят в наклонное положение под углом 30°. Записывают ритм сердца в течение шести минут. Анализируют также последние пять минут. Измеряют **АД**.

Стол переводят в наклонное положение под углом 60°. Записывают ритм сердца в течение шести минут. Анализируют последние шесть минут записи. Измеряют **АД**. Затем стол переводят в вертикальное положение

под углом 90°. Регистрируют ритмограмму шесть минут. Анализируют последние пять минут записи. Измеряют **АД**.

У здоровых людей при пассивном переходе из горизонтального положения в вертикальное отмечается уменьшение мощности в полосе **HF** и прирост мощности в полосе **LF**. У пациентов, склонных к обморокам или страдающих обмороками, отмечают прирост или отсутствие падения мощности в полосе **HF** или отсутствие прироста мощности в полосе **LF**. При этом могут возникать клинические признаки обморока – снижение **АД**, головокружение, брадикардия и др. У здоровых людей в ортостазе регистрируют незначительное снижение систолического **АД** (на 5...15 мм рт. ст.) и повышение диастолического **АД**. У больных и склонных к обморокам систолическое **АД** значительно снижается (более чем на 20...30 мм рт. ст.) при снижении диастолического **АД** (более 10 мм рт. ст.) или отсутствии изменений последнего.

Разновидности исследований в функциональных и фармакологических пробах:

- с модулированным (метрономизированным) дыханием (влияние респираторной компоненты на спектр);
- метрономизированными взмахами рук (влияние циклической динамической нагрузки на спектр);
- реакции на пассивное изменение положения тела (влияние баро- и хеморецепторного тонуса на спектр);
- фармакологические пробы с антиаритмиками, альфа- и бета-адреностимуляторами и блокаторами, центральными и периферическими **M**- и **H**-холинолитиками и холиномиметриками и др.

Возможны и другие протоколы для проведения исследований, в частности при психологических нагрузках, обследовании оператора на рабочем месте и др.

**Влияние дыхания.** Известно, что дыхание оказывает глубокое влияние на сердечный ритм. Этот феномен называется синусовая дыхательная аритмия (**СДА**). Частота, в которой проявляется **HF**, зависит от частоты дыхания. Показано, что фазовые различия между сердечным ритмом и дыханием есть частотно-зависимый феномен с резонансом, соответствующим частоте дыхания от 5 до 6 дых/мин или 10 – 12 с на дыхательный цикл. Ниже этой дыхательной частоты респираторная дыхательная аритмия больше чем  $20 \pm 5$  уд/мин. Выше частоты  $7,2 \pm 1,5$  дыхательного цикла в минуту **РСА** снижается линейно. Установлено, что **ЧСС** возрастало в инспираторную фазу. Однако 2,5 с после инспираторной фазы **ЧСС** снижалась. Эти 2,5 с задержки имели место до частоты дыхания 24 раза в минуту. Высокое соответствие между дыхательными волнами и вариабельностью сердечного ритма наблюдалось на частотах дыхания менее 24 дыхательных движений в минуту.

**Влияние положения (позы).** На изменение положения тела из положения лежа в положение стоя активируется рефлекторный механизм для предупреждения падения АД. Эти механизмы модифицируют ВСР к одной симпатической доминанте. Такая реакция на физиологический стресс (переход из положения лежа в положение стоя) – наиболее приемлемый метод для изучения изменений АНС. В настоящее время полагают, что отчетливое возрастание мощности под LF пиком при переходе в вертикальное положение обусловлено барорецепторными эфферентными симпатическими влияниями на сердце.

**Влияние нагрузки.** Физическая нагрузка приводит к изменениям в автономном балансе. Ответ АНС на физическую нагрузку может быть исследован с использованием PS/HRV. Показано, что средние уровни нагрузки ведут к возрастанию LF компоненты. Однако было установлено снижение площади LF в течение стабильной нагрузки. Точные механизмы редукции мощности в LF в течение стабильной нагрузки неясны. Однозначно отмечено, что мощность HF подавляется при физической нагрузке. Было описано отчетливое смещение влево в частоте LF пика от  $0,1 \pm 0,02$  Гц в положении лежа к  $0,09 \pm 0,01$  Гц в положении стоя. LF пик смещался к  $0,08 \pm 0,01$  Гц при физической нагрузке, а затем к  $0,11 \pm 0,02$  Гц к 15 мин восстановления. Физиологический смысл этих наблюдений виден в контексте исследований некоторых авторов, которые доказали, что вагомиметические влияния, порождаемые низкими дозами атропина, дают смещение вправо LF компоненты. Так, в восстановительном от физической нагрузки периоде, возвращении в положение лежа смещение LF вправо дает дополнительную нить в отношении вклада вагального тонуса в LF компоненту.

**Влияние тренировки на выносливость.** Синусовая брадикардия у тренированных атлетов – хорошо известный феномен, но механизмы, лежащие в его основе, остаются неизвестными. Ряд авторов измеряли PS/HRV в положении лежа, стоя, при нагрузке и периоде восстановления после нагрузки. Их результаты показывают, что в покое отношение LF/HF было ниже у атлетов ( $0,86 \pm 0,16$ ), чем в контроле ( $1,6 \pm 0,86$ ). Несмотря на то, что во время перемены положения тела и нагрузки нет групповых различий, отношение LF/HF возвращалось к преднагрузочному уровню у атлетов за пять минут. У нетренированных лиц восстановление LF/HF к исходному уровню происходило в течение 15 мин. В других исследованиях было достоверно установлено, что мощность HF к концу дня была выше у тренированных, чем у нетренированных лиц. Эти результаты свидетельствуют о том, что тренировка на выносливость модифицирует ЧСС-контроль через возрастание парасимпатической компоненты модуляции ритма сердца.

**Влияние курения.** Некоторые авторы использовали PS/HRV для исследования количественного эффекта курения на автономную регуляцию

сердца. Было обнаружено, что через три минуты после одной выкуренной сигареты мощность в **LF** возростала отчетливо, в то время как мощность **HF** снижалась. Через 10 минут после курения индекс **PS/HRV** возвращался к исходному уровню. В группе субъектов длительно курящих (более 30 лет) вагальная компонента была отчетливо редуцирована в сравнении с некурящими.

В ответ на изменение положения тела (вставание) **LF** компонента **PS/HRV** возростала более драматически у курильщиков, чем у некурящих. Это исследование показало, что курение остро ограничивает вагальное влияние на синусовый узел и длительное курение является причиной долгосрочной редукции вагального контроля.

**Влияние возраста.** Известно, что увеличение возраста приводит к ограничению вариабельности сердечного ритма и снижению реакции на такие тесты, как ортостатическая проба, проба Вальсальвы и единичный глубокий вдох. Возраст приводит также к повышению периферического сосудистого сопротивления и снижению сосудистой реакции периферических сосудов. Установлено, что изменения **R-R**-интервалов снижаются с возрастом как в положении лежа на спине, так и в вертикальном положении.

У лиц в возрасте более 60 лет падают мощности высоко- (**HF**) и низкочастотных (**LF**) областей спектра сердечного ритма. Доказано, что постепенное снижение чувствительности барорецепторов может быть связано с возрастом.

**Влияние сна.** Сон описывается не как пассивное, а как активное гетерогенное нейрофизиологическое состояние. **ЧСС** отчетливо снижается на всех стадиях сна, за исключением фазы быстрого сна. У нормальных здоровых субъектов отмечено возрастание модуляций **R-R** на всех стадиях сна, в то время как в стадии быстрого сна – снижение респираторной синусовой аритмии.

**Влияние лекарственных средств.** Фармакологические влияния часто обуславливают изменения в автономном контроле сердца. Например, назначение атропина здоровым субъектам снижало площадь под **LF** на 84 % в положении лежа и на 72 % – в положении стоя. При детальном исследовании **PS/HRV** у здоровых субъектов в покое, острой и хронической  $\beta$ -блокаде под влиянием регулируемого дыхания соотношение площадей **LF/HF** было использовано для измерения соотношения симпатического/парасимпатического баланса. Доказано, что мощность **LF** в положении лежа была от 2,6 до 3,6 раз больше, чем **HF** в различных возрастных группах. Во время проведения пассивного наклонного теста это соотношение возросло до 12,6 – 20,8 для некоторых лиц. На основании этого сделано заключение, что пассивный наклонный тест активизирует симпатическую способность предупреждать ортостатическую гипотензию. Отмечено, что острая и хроническая  $\beta$ -блокада снижает мощность в **LF** полосе

и соответственно соотношение **LF/HF** снизилось до 1,74 для острой и 1,1 для хронической b-блокады в положении стоя. При наклонном тесте соотношение **LF/HF** возросло только в 7,5 раз для острой и 3,8 – для хронической  $\beta$ -блокады. Отсюда видно, что **LF** притупляется для обоих типов блокады.

**Ваголитические (антихолинергические) эффекты.** В клинической дозе от 0,5 до 1,0 мг атропина сульфат вызывает кратковременную брадикардию с последующей длительной тахикардией. Назначение меньших доз (от 0,1 до 0,2 мг) атропина сульфата приводит к парадоксальной брадикардии. При исследовании сравнивали эффект низких и высоких доз атропина. Отмечено, что низкие дозы отчетливо редуцируют среднюю **ЧСС** и увеличивают мощность в **HF** полосе в положении лежа и стоя. Другое важное наблюдение – смещение локализации пика мощности **LF** вправо ( $> 0,1$  Гц) по сравнению с высокими дозами атропина.

Различные лекарственные средства по-разному влияют на спектральные характеристики сердечного ритма, что необходимо учитывать в терапевтических мероприятиях. Проведен сравнительный анализ влияния разных блокаторов кальциевых каналов на спектральные характеристики сердечного ритма. Показано, что метопролол и дилтиазем понижают мощность **LF**, тогда как нифедипин не обладает таким эффектом.

Таким образом, два первых препарата в отличие от третьего обладают симпатолитической активностью по типу бета-адренэргических блокаторов (S. Bekheit, M. Tangella, 1990 г.).

### **5.3. Области применения метода и показания к его использованию**

Несмотря на длительный срок применения различных методов анализа **ВСР** в самых разнообразных областях прикладной физиологии и клинической медицины, сфера их использования продолжает расширяться с каждым годом. Принципиально важно то, что анализ **ВСР** не является узкоспециализированным методом для решения конкретных диагностических задач. Можно перечислить только несколько примеров, где он применяется для уточнения диагноза определенных заболеваний. В частности, это диагностика автономной невропатии при диабете. В подавляющем большинстве случаев речь идет об оценке неспецифических реакций организма при воздействии различных факторов или при определенных заболеваниях. Исходя из представленных научно-теоретических положений можно условно выделить четыре направления применения методов анализа **ВСР**:

1) оценка функционального состояния организма и его изменений на основе определения параметров вегетативного баланса и нейрогуморальной регуляции;

2) оценка выраженности адаптационного ответа организма при воздействии различных стрессоров;

3) оценка состояния отдельных звеньев вегетативной регуляции кровообращения;

4) разработка прогностических заключений на основе оценки текущего функционального состояния организма, выраженности его адаптационных ответов и состояния отдельных звеньев регуляторного механизма.

Практическая реализация указанных направлений открывает безграничное поле деятельности как для ученых, так и для практиков. Ниже приведен ориентировочный и весьма неполный перечень областей использования методов анализа **ВСП** и показаний к их применению, составленный на основе анализа современных отечественных и зарубежных публикаций:

1. Оценка вегетативной регуляции ритма сердца у практически здоровых людей (исходный уровень вегетативной регуляции, вегетативная реактивность, вегетативное обеспечение деятельности).

2. Оценка вегетативной регуляции ритма сердца у пациентов с различными заболеваниями (изменения вегетативного баланса, степень преобладания одного из отделов вегетативной нервной системы). Получение дополнительной информации для диагностики некоторых форм заболеваний, например автономной нейропатии при диабете.

3. Оценка функционального состояния регуляторных систем организма на базе интегрального подхода к системе кровообращения как к индикатору адаптационной деятельности всего организма.

4. Определение типа вегетативной регуляции (ваго-, нормо- или симпатотония).

5. Прогноз риска внезапной смерти и фатальных аритмий при инфаркте миокарда и **ИБС** у больных с желудочковыми нарушениями ритма, при хронической сердечной недостаточности, обусловленной артериальной гипертензией, кардиомиопатией.

6. Выделение групп риска по развитию угрожающей жизни повышенной стабильности сердечного ритма.

7. Использование в качестве контрольного метода при выполнении различных функциональных проб.

8. Оценка эффективности лечебно-профилактических и оздоровительных мероприятий.

9. Оценка уровня стресса, степени напряжения регуляторных систем при экстремальных и субэкстремальных воздействиях на организм.

10. Оценка функционального состояния человека-оператора.

11. Использование в качестве метода оценки функциональных состояний при массовых профилактических (донозологических) обследованиях разных контингентов населения.

12. Прогнозирование функционального состояния (устойчивости организма) при профотборе и определение профпригодности.

13. Мониторинг **ВРС** в хирургии в целях объективизации выраженности операционного стресса и контроля адекватности анестезии, а также для выбора типа и дозировок анестезиологической защиты и для контроля в послеоперационном периоде.

14. Объективизация реакций вегетативной нервной системы при воздействии на организм электромагнитных полей, интоксикаций и других патогенных факторов.

15. Выбор оптимальной медикаментозной терапии с учетом фона вегетативной регуляции сердца. Контроль эффективности проводимой терапии, коррекция дозы препаратов.

16. Оценка и прогнозирование психических реакций по выраженности вегетативного фона.

17. Использование метода в неврологии для оценки состояния вегетативной нервной системы при различных заболеваниях.

18. Контроль функционального состояния организма в спорте.

19. Оценка вегетативной регуляции в процессе развития у детей и подростков. Применение в качестве контрольного метода в школьной медицине для социально-педагогических и медико-психологических исследований.

20. Контроль функционального состояния плода в акушерстве. Применение в неонатальном периоде развития организма.

Представленный перечень не является исчерпывающим. Он будет постепенно расширяться. Основное показание к использованию методов анализа **ВСР** – наличие вероятных изменений со стороны регуляторных систем организма, в частности изменений вегетативного баланса. Поскольку практически нет таких функциональных состояний или заболеваний, в которых бы не участвовали механизмы вегетативной регуляции, то сфера применения метода анализа **ВСР** поистине неисчерпаема. Это обусловлено тем, что в настоящее время этот метод оценки вегетативного статуса – единственный доступный, неинвазивный и достаточно простой.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**  
**Основные показатели и нормативы вариабельности сердечного ритма**

Обозначение	Физический смысл показателя и его физиологическая интерпретация	Возраст, лет	Норма $\pm m$
<b>Показатели рабочей группы</b>			
<b>HR</b>	Частота сердечных сокращений, 1/мин	<b>6-8</b>	<b>90 <math>\pm</math> 8</b>
		<b>9-12</b>	<b>79 <math>\pm</math> 8</b>
	Текущий уровень функционирования сердечно-сосудистой системы	<b>13-17</b>	<b>77 <math>\pm</math> 10</b>
		<b>18-35</b>	<b>73 <math>\pm</math> 9</b>
		<b>36-50</b>	<b>68 <math>\pm</math> 8</b>
		<b>Более 50</b>	<b>68 <math>\pm</math> 8</b>
<b>mRR</b>	Средняя длина R-R-интервалов, мс	<b>6-8</b>	<b>667 <math>\pm</math> 70</b>
		<b>9-12</b>	<b>753 <math>\pm</math> 60</b>
	Текущий уровень функционирования сердечно-сосудистой системы. Величина, обратная частоте сердечных сокращений	<b>13-17</b>	<b>780 <math>\pm</math> 80</b>
		<b>18-35</b>	<b>817 <math>\pm</math> 103</b>
		<b>36-50</b>	<b>880 <math>\pm</math> 100</b>
		<b>Более 50</b>	<b>880 <math>\pm</math> 100</b>
<b>SDNN</b>	Стандартное отклонение массива нормальных кардиоинтервалов, мс	<b>6-8</b>	<b>51 <math>\pm</math> 14</b>
		<b>9-12</b>	<b>57 <math>\pm</math> 18</b>
	Суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения (общая ВСР). Уменьшение величины <b>SDNN</b> свидетельствует об усилении активности симпатического отдела вегетативной нервной системы	<b>13-17</b>	<b>61 <math>\pm</math> 21</b>
		<b>18-35</b>	<b>61 <math>\pm</math> 29</b>
		<b>36-50</b>	<b>60 <math>\pm</math> 29</b>
		<b>Более 50</b>	<b>51 <math>\pm</math> 30</b>

## Продолжение прил. 1

Обозначение	Физический смысл показателя и его физиологическая интерпретация	Возраст, лет	Норма $\pm m$
<b>RMSSD</b>	Квадратный корень суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов, мс	<b>6-8</b>	<b>50 <math>\pm</math> 20</b>
		<b>9-12</b>	<b>53 <math>\pm</math> 20</b>
	Активность парасимпатического звена вегетативной регуляции (выраженность дыхательной синусовой аритмии)	<b>13-17</b>	<b>55 <math>\pm</math> 25</b>
		<b>18-35</b>	<b>40 <math>\pm</math> 20</b>
		<b>36-50</b>	<b>37 <math>\pm</math> 17</b>
		<b>Более 50</b>	<b>20 <math>\pm</math> 10</b>
<b>pNN50 %</b>	Число пар кардиоинтервалов с разностью более 50 мс, %, к общему числу кардиоинтервалов в массиве	<b>6-8</b>	<b>16,5 <math>\pm</math> 10,7</b>
		<b>9-12</b>	<b>20,5 <math>\pm</math> 12,5</b>
	Показатель степени преобладания парасимпатического звена регуляции над симпатическим (относительное значение)	<b>13-17</b>	<b>22 <math>\pm</math> 13,6</b>
		<b>18-35</b>	<b>18,3 <math>\pm</math> 13,7</b>
		<b>36-50</b>	<b>9 <math>\pm</math> 7,7</b>
		<b>Более 50</b>	<b>7 <math>\pm</math> 6</b>
<b>CV</b>	Коэффициент вариации полного массива кардиоинтервалов Нормированный показатель суммарного эффекта регуляции		<b>7 <math>\pm</math> 4</b>
<b>TP</b>	Суммарная мощность спектра <b>BCP</b> , мс <sup>2</sup> Суммарный абсолютный уровень активности регуляторных систем	<b>6-8</b>	<b>3282 <math>\pm</math> 1635</b>
		<b>9-12</b>	<b>3848 <math>\pm</math> 1942</b>
		<b>13-17</b>	<b>4554 <math>\pm</math> 2253</b>
		<b>18-35</b>	<b>3466 <math>\pm</math> 1443</b>
		<b>36-50</b>	<b>2720 <math>\pm</math> 913</b>
		<b>Более 50</b>	<b>1665 <math>\pm</math> 872</b>

Обозначение	Физический смысл показателя и его физиологическая интерпретация	Возраст, лет	Норма $\pm m$
<b>VLF</b> <b>(MB-2)</b>	Мощность спектра очень низкочастотного компонента variability, абсолютное значение, $mc^2$ Уровень активности симпатического звена регуляции. Повышение – это вегетативный признак тревоги, наблюдается при стрессе, физической нагрузке, патологии сердца	<b>6-8</b>	<b>1149 <math>\pm</math> 705</b>
		<b>9-12</b>	<b>1460 <math>\pm</math> 765</b>
		<b>13-17</b>	<b>1808 <math>\pm</math> 1025</b>
		<b>18-35</b>	<b>1951 <math>\pm</math> 1110</b>
		<b>36-50</b>	<b>1463 <math>\pm</math> 683</b>
		<b>Более 50</b>	<b>1189 <math>\pm</math> 639</b>
<b>LF</b> <b>(MB-1)</b>	Мощность спектра низкочастотного компонента variability, абсолютное значение, $mc^2$ Уровень активности вазомоторного центра	<b>6-8</b>	<b>1113 <math>\pm</math> 615</b>
		<b>9-12</b>	<b>1287 <math>\pm</math> 655</b>
		<b>13-17</b>	<b>1369 <math>\pm</math> 732</b>
		<b>18-35</b>	<b>1170 <math>\pm</math> 616</b>
		<b>36-50</b>	<b>732 <math>\pm</math> 292</b>
		<b>Более 50</b>	<b>431 <math>\pm</math> 224</b>
<b>LF norm %</b>	Мощность спектра низкочастотного компонента variability, %, от суммарной мощности <b>BCP</b> Относительный уровень активности вазомоторного центра		<b>40 <math>\pm</math> 15</b>
<b>HF</b>	Мощность спектра высокочастотного компонента variability, абсолютное значение Уровень активности парасимпатического звена регуляции	<b>6-8</b>	<b>586 <math>\pm</math> 300</b>
		<b>9-12</b>	<b>620 <math>\pm</math> 420</b>
		<b>13-17</b>	<b>630 <math>\pm</math> 450</b>
		<b>18-35</b>	<b>615 <math>\pm</math> 375</b>
		<b>36-50</b>	<b>452 <math>\pm</math> 347</b>
		<b>Более 50</b>	<b>219 <math>\pm</math> 167</b>
<b>HF norm %</b>	Мощность спектра высокочастотного компонента variability, %, от суммарной мощности колебаний Относительный уровень активности парасимпатического звена регуляции		<b>25 <math>\pm</math> 10</b>

## Продолжение прил. 1

Обозначение	Физический смысл показателя и его физиологическая интерпретация	Возраст, лет	Норма $\pm m$
LF/HF	Отношение средних значений низкочастотного и высокочастотного компонентов <b>BCP</b>  Отношение выраженности сосудистой к дыхательной синусовой аритмии сердца (отношение активности симпатического нерва к вагусу)	6-8	$2 \pm 1,2$
		9-12	$1,8 \pm 1,1$
		13-17	$2 \pm 1,2$
		18-35	$2,5 \pm 1,7$
		36-50	$2,8 \pm 2$
		Более 50	$3 \pm 2,2$
IC	Индекс централизации  Степень централизации управления ритмом сердца (преобладание активности центрального контура регуляции над автономным или преобладание недыхательных составляющих синусовой аритмии над дыхательными)	6-8	$3.9 \pm 1,5$
		9-12	$4,5 \pm 2$
		13-17	$5 \pm 3$
		18-35	$5 \pm 3$
		36-50	$6 \pm 3$
		Более 50	$8 \pm 4,5$
<b>Показатели Р. М. Баевского</b>			
ЧСС	Частота сердечных сокращений, 1/мин  Средний уровень функционирования системы кровообращения	6-8	$90 \pm 8$
		9-12	$79 \pm 8$
		13-17	$77 \pm 10$
		18-35	$73 \pm 9$
		36-50	$68 \pm 8$
		Более 50	$68 \pm 8$
rNN	Средняя длина R-R-интервалов, мс  Текущий уровень функционирования сердечно-сосудистой системы. Величина, обратная частоте сердечных сокращений	6-8	$667 \pm 70$
		9-12	$753 \pm 60$
		13-17	$780 \pm 80$
		18-35	$817 \pm 103$
		36-50	$880 \pm 100$
		Более 50	$880 \pm 100$

Обозначение	Физический смысл показателя и его физиологическая интерпретация	Возраст, лет	Норма $\pm m$
<b>R-Rmin (Xmin)</b>	Наиболее короткий нормальный кардиоинтервал, мс		-
<b>R-Rmax (Xmax)</b>	Наиболее длинный нормальный кардиоинтервал, мс		-
<b>MxDMn (BP, Dx)</b>	Разность между максимальным и минимальным значениями нормальных кардиоинтервалов	<b>6-8</b>	<b>200 <math>\pm</math> 50</b>
		<b>9-12</b>	<b>270 <math>\pm</math> 70</b>
		<b>13-17</b>	<b>270 <math>\pm</math> 50</b>
	Максимальная амплитуда регуляторных влияний вегетативной нервной системы	<b>18-35</b>	<b>230 <math>\pm</math> 50</b>
		<b>36-50</b>	<b>180 <math>\pm</math> 50</b>
		<b>Более 50</b>	<b>130 <math>\pm</math> 50</b>
<b>Mo</b>	Мода, с	<b>6-8</b>	<b>660 <math>\pm</math> 60</b>
	Наиболее часто встречающиеся значения R-R-интервала, соответствующие наиболее вероятному уровню функционирования систем регуляции	<b>9-12</b>	<b>750 <math>\pm</math> 60</b>
		<b>13-17</b>	<b>780 <math>\pm</math> 80</b>
		<b>18-35</b>	<b>820 <math>\pm</math> 100</b>
		<b>36-50</b>	<b>880 <math>\pm</math> 100</b>
		<b>Более 50</b>	<b>880 <math>\pm</math> 100</b>
<b>AMo</b>	Амплитуда моды, доля кардиоинтервалов, %, соответствующая значению моды Условный показатель активности симпатического звена регуляции		<b>40 <math>\pm</math> 10</b>
<b>ИВР</b>	Индекс вегетативного равновесия	<b>6-8</b>	<b>200 <math>\pm</math> 50</b>
	Отражает соотношение симпатической и парасимпатической регуляции сердечной деятельности	<b>9-12</b>	<b>140 <math>\pm</math> 40</b>
		<b>13-17</b>	<b>140 <math>\pm</math> 30</b>
		<b>18-35</b>	<b>165 <math>\pm</math> 35</b>
		<b>36-50</b>	<b>220 <math>\pm</math> 65</b>
		<b>Более 50</b>	<b>300 <math>\pm</math> 120</b>

Обозначение	Физический смысл показателя и его физиологическая интерпретация	Возраст, лет	Норма $\pm m$
<b>ВПР</b>	<p>Вегетативный показатель ритма</p> <p>Мера вегетативного баланса. Чем меньше величина <b>ВПР</b>, тем больше вегетативный баланс смещен в сторону преобладания парасимпатической регуляции</p>		<b>8 <math>\pm</math> 5</b>
<b>ИН (SI)</b>	<p>Индекс напряжения регуляторных систем (стресс-индекс)</p> <p>Отражает степень централизации управления ритмом сердца и характеризует активность симпатического отдела вегетативной нервной системы (степень преобладания активности центральных механизмов регуляции над автономными)</p>	<b>6-8</b>	<b>140 <math>\pm</math> 40</b>
		<b>9-12</b>	<b>110 <math>\pm</math> 40</b>
		<b>13-17</b>	<b>100 <math>\pm</math> 40</b>
		<b>18-35</b>	<b>100 <math>\pm</math> 40</b>
		<b>36-50</b>	<b>130 <math>\pm</math> 50</b>
		<b>Более 50</b>	<b>150 <math>\pm</math> 70</b>
<b>ПАПР</b>	<p>Показатель адекватности процессов регуляции</p> <p>Отражает соответствие между уровнем функционирования синусового узла и симпатической активностью</p>		<b>35 <math>\pm</math> 20</b>
<b>ПАРС</b>	<p>Комплексный показатель активности регуляторных систем</p> <p>Мера функциональных резервов адаптации, включающая в себя суммарный эффект регуляции, функцию автоматизма, вегетативный гомеостаз, устойчивость регуляции и активность подкорковых нервных центров</p>		<b>0 – 10</b>
<b>Геометрические показатели ВСР</b>			
<b>HRV Ti</b>	<p>Триангулярный индекс <b>ВСР</b>. Определяется как отношение общего количества <b>R-R</b>-интервалов к амплитуде моды</p> <p>Отражает общую вариабельность ритма сердца и прямо пропорционален парасимпатической активности</p>		<b>37 <math>\pm</math> 15</b>

Обозначение	Физический смысл показателя и его физиологическая интерпретация	Возраст, лет	Норма $\pm m$
WN1	Ширина основного купола гистограммы распределения R-R-интервалов на уровне одного процента от общего количества Максимальная амплитуда регуляторных влияний вегетативной нервной системы		
WN5	Ширина основного купола гистограммы распределения R-R-интервалов на уровне пяти процентов от общего количества Амплитуда регуляторных влияний вегетативной нервной системы		
WAM5	Ширина основного купола гистограммы распределения R-R-интервалов на уровне пяти процентов амплитуды моды Амплитуда регуляторных влияний вегетативной нервной системы		
WAM10	Ширина основного купола гистограммы распределения R-R-интервалов на уровне 10% амплитуды моды Амплитуда регуляторных влияний вегетативной нервной системы		
L/W	Отношение длинной и короткой осей эллипса, аппроксимирующего основное облако скаттерграммы Мера соотношения симпатической и парасимпатической активности регуляции		
<b>Характеристики переходного процесса ВСП при выполнении функциональных проб</b>			
К30:15	Отношение минимального R-R-интервала, соответствующего «дну ямы» переходного процесса (15 ударов от начала вставания) к самому длинному (30-му) R-R-интервалу Характеризует функцию блуждающего нерва		Норма > 1,35 Граница 1,35...1,2 Патология < 1,2

Обозначение	Физический смысл показателя и его физиологическая интерпретация	Значение показателя
<b>Кр</b>	Коэффициент реакции на ортостатическую пробу Реакция регуляторных систем на ортопробу. Различают нормальную (с восстановлением характера ритма), сниженную или парадоксальную (с резкой стабилизацией ритма) реакцию	Норма > 30% Сниженная < 30% Парадокс > 30 % +СР
<b>АДорто</b>	Вегетативный индекс Кердо (изменение АД <sub>сис</sub> ) на ортопробу	Норма < 10 Граница 11 – 25 Патология > 25
<b>Квальс</b>	Коэффициент Вальсальвы. Определяется как отношение самого длинного R-R-интервала после пробы Вальсальвы к самому короткому R-R во время ее проведения	Норма > 1,29 Граница 1,29 – 1,11 Патология < 1,1
<b>К<sub>RR</sub></b>	Экспираторно-инспираторное отношение или дыхательный коэффициент. Коэффициент разброса R-R-интервалов при глубоком дыхании Характеризует реакцию регуляторных систем на стимуляцию парасимпатического отдела вегетативной системы	Норма > 1,21 Граница 1,2 – 1,11 Патология < 1,1
<b>АД<sub>изо</sub></b>	Прирост уровня диастолического давления (АД <sub>диа</sub> ) при выполнении пробы с изометрическим сокращением Характеризует способность периферических сосудов к сокращению (симпатическую функцию)	Норма > 15 Граница 14 – 10 Патология < 10

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Расчетные формулы для вычисления основных показателей ВСП

Показатель	Определение показателя	Формула
<b>Статистические методы (методы временного анализа)</b>		
<b>ЧСС (HR)</b>	Определяется как количество <b>NN</b> -интервалов в записи, деленное на продолжительность их записи, 1/мин	$HR = 60 \cdot 1000 \frac{n}{\sum_{i=1}^n NN_i}$
<b>Среднее значение</b>	Среднее значение параметра, мс	$x_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i,$ где $x_i$ – значение $i$ -го квантованного элемента функции $x(t) = 1, 2, \dots, N$
<b>Дисперсия</b>	Приравнивается к своему выборочному (эмпирическому) значению, мс <sup>2</sup>	$D = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - x_{cp})^2$
<b>SDNN</b>	Standart deviation of all <b>NN</b> intervals – стандартное отклонение всех <b>NN</b> -интервалов, определяется как корень квадратный из дисперсии, мс	$\sigma = \sqrt{D}$
<b>SDNN index</b>	Mean of the standart deviation of all <b>NN</b> intervals for all 5-minute segments of the entire recording, мс, – среднее значение всех 5-минутных стандартных отклонений <b>NN</b> -интервалов, позволяющее оценить вариабельность с длиной волны менее пяти мин	$SDNN_{index} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N SDNN_i,$ где <b>SDNN<sub>i</sub></b> – стандартное отклонение $i$ -го 5-минутного сегмента, <b>N</b> – число сегментов
<b>SDANN</b>	Standard deviation of the averages of <b>NN</b> intervals in all 5-minute segments of the entire recording, мс, – стандартное отклонение средних <b>NN</b> -интервалов за каждые 5 мин непрерывной записи	$SDANN = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(M_i - M_{avr})^2}{N}},$ где <b>M<sub>i</sub></b> – среднее <b>NN</b> по 5-минутному сегменту; <b>M<sub>avr</sub></b> – среднее по <b>M<sub>i</sub></b> всей записи; <b>N</b> – число 5-минутных сегментов, оценивает изменения сердечного ритма с длиной волны более 5 мин

Показатель	Определение показателя	Формула
Кoeffициент вариации (CV)	Заменяют эмпирической характеристикой и рассчитывают как отношение (в процентах) среднеквадратического отклонения к соответствующему математическому ожиданию	$CV = \frac{\sigma}{x_{cp}} \cdot 100 \%$
RMSSD	The square root of the mean of the sum of the squares of differences between adjacent <b>NN</b> intervals), мс, – среднеквадратичная разностная характеристика	$RMSSD = \frac{1}{(n-1)} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (NN_i - NN_{i+1})^2}$ <p>где <b>NN<sub>i</sub></b> – значение <i>i</i>-го интервала, <b>N</b> – число интервалов</p>
NN50	The number of interval differences of successive <b>NN</b> intervals greater then 50 ms – число <b>NN</b> -интервалов, отличающихся от соседних более чем на 50 мс	
pNN50	The proportion derived by dividing <b>NN50</b> by the total number of <b>NN</b> intervals, %, – отношение <b>NN50</b> к общему числу <b>NN</b> -интервалов	
Показатели <b>RMSSD</b> , <b>NN50</b> , <b>pNN50</b> применяют для оценки коротковолновых колебаний и коррелируют с мощностью высоких частот		
SDSD	Standart deviation of differences between adjacent <b>NN</b> intervals, мс, – стандартное отклонение разницы между соседними <b>NN</b> -интервалами	$SDSD = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(D_i - D_{avr})^2}{N}}$ <p>где <b>D<sub>i</sub></b> – значение <i>i</i>-й разницы соседних интервалов, <b>N</b> – число пар соседних интервалов</p>
Mean Difference	Средняя абсолютная разницa между соседними <b>NN</b> -интервалами	$\text{Mean Difference} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} NN(i+1) - NN_i}{N-1}$ <p>где <b>NN<sub>i</sub></b> – значение <i>i</i>-го интервала, <b>N</b> – число интервалов</p>

Показатель	Определение показателя	Формула
<b>Геометрические методы</b>		
<p>Геометрические методы основаны на построении графика <b>функции плотности распределения вероятностей</b> функции <math>x(t)</math> по следующему алгоритму: строят гистограмму с шагом 50 мс (0,05 с – при вычислении индексов по Р. М. Баевскому или 1/128 с – по нормам европейской рабочей группы). Таким образом, получают набор диапазонов значений функции <math>x(t)</math>, каждый из которых имеет ширину 50 мс (или 1/128 с). Ординаты диапазонов гистограммы определяют как отношение количества элементов <math>x_i</math> в диапазоне к общему количеству элементов <math>N_i</math></p>		
<b>Мода (Mo)</b>	Наиболее часто встречающееся значение R-R, указывающее на доминирующий уровень функционирования синусового узла	
<b>Амплитуда моды (Amo)</b>	Соответствует значению максимума функции плотности распределения, а значение аргумента в точке максимума – моде (Mo). Далее по функции плотности распределения вероятностей на уровне 2 % от Amo находят минимальное ( $x_{min}$ ) и максимальное ( $x_{max}$ ) значения функции $x(t)$	
<b>Вариационный размах (BP, MxDMn)</b>	Разница между наименьшим и наибольшим значениями динамического ряда R-R-интервалов	$MxDMn = x_{max} - x_{min} (мс)$
<b>Отношение максимального значения R-R-интервала к минимальному</b>		$MxDMn = \frac{x_{max}}{x_{min}}$
<b>Стресс-индекс ИН (индекс напряжения регуляторных систем – SI)</b>		$SI = \frac{Amo \cdot 100 \%}{2 \cdot Mo(c)MxDMn(c)}$

Показатель	Определение показателя	Формула
<b>Индекс вегетативного равновесия</b>	Указывает на соотношение между активностью симпатического и парасимпатического центров	<b>ИВР = <math>A_{Mo}/BP</math></b>
<b>Вегетативный показатель ритма</b>	Позволяет судить о парасимпатических сдвигах вегетативного баланса	<b>ВПР = <math>1/Mo \cdot BP</math></b>
<b>Показатель адекватности процессов регуляции</b>	Отражает соответствие между активностью симпатического отдела вегетативной системы и ведущим уровнем функционирования синусового узла	<b>ПАПР = <math>AMo/Mo</math></b>
<b>Спектральный анализ</b>		
<p>Для спектрального анализа динамических рядов кардиоинтервалов чаще всего применяют непараметрические методы, основанные на использовании преобразования Фурье (<b>ПФ</b>). При этом для корректного применения <b>ПФ</b> вначале выполняют переинтерполяцию последовательности <b>R-R</b>-интервалов на равноотстоящие временные отсчеты, следующие с частотой более высокой, чем максимальная <b>ЧСС</b>. Обычно переинтерполируют ритмограммы на отсчеты с шагом 0,1 с</p>		
<b>Алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ)</b>	$X_l = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j l \Delta f k \Delta t}, l = 0, 1, \dots, N-1,$ <p>где <math>x_k = x(k\Delta t)</math>, <math>k = 0, 1, \dots, N-1</math>; <math>X_l = X(k\Delta f)</math>, <math>l = 0, 1, \dots, N-1</math>;  <b>N</b> – количество отсчетов; <math>\Delta t</math> – интервал времени между отсчетами;  <math>\Delta f</math> – шаг спектра в частотной области, который определяют по формуле <math>\Delta f = 1/T</math> (<b>T</b> – временной интервал анализируемого сигнала – <b>длина записи</b>)</p>	
<p>Для получения хорошо сглаженного (интерполированного) спектра по короткой реализации сигнала и повышения точности оценки частоты спектральных пиков исходную временную последовательность дополняют нулями. В результате этого в спектре появляется <math>m = n/N</math> промежуточных значений, где <b>n</b> – число добавленных нулей, а <b>N</b> – исходное число значений сигнала во временной реализации</p>		
<p>На графике мощность спектра отображена при значениях частоты <b>k/T</b>, измеряемой от <math>1/T</math> до <math>1/(2\Delta t)</math>. В России распространено соглашение об использовании обратного масштаба по горизонтальной оси без применения периодограммы. При этом абсциссы измеряют в длинах периодов</p>		

Показатель	Определение показателя	Формула
<p><b>Методика расчета мощности спектра по дискретным значениям <math>x_i</math>, <math>i = 1, 2, \dots, N</math>, функции <math>x(t)</math></b></p>	<p>1. Разбивка пятиминутной записи на три сегмента                  2. Центрирование функции <math>x(t)</math> в каждом сегменте относительно среднего значения (устранение постоянной составляющей) и одновременно её взвешивание (применение окна Ханна) согласно формуле</p> $\epsilon_i = (x_i - x_{cp}) W_i,$ <p>где <math>x_i</math>, <math>\epsilon_i</math> – амплитуды исходного и центрированно-взвешенного сигналов, <math>W_i</math> – окно Ханна, которое во временной области имеет вид возведенной в квадрат косинусной функции</p> $W_i = 0,5 \left[ 1 + \cos \left( 2\pi \frac{\left( i - \frac{N-1}{2} \right)}{N-1} \right) \right], i = 0, 1, 2, \dots, N-1$ <p>3. Дополнение ряда значений <math>\epsilon_i</math>, <math>i = 1, 2, \dots, N</math> в каждом сегменте нулями до ближайшего числа «два в степени»                  4. Преобразование Фурье ряда значений <math>\epsilon_i</math>, <math>i = 1, 2, \dots, N</math> в каждом сегменте с использованием <b>БПФ</b>                  5. Нормирование амплитуд спектра <math>X_i</math> путем умножения на <math>\sqrt{2}</math>                  6. Определение спектральной мощности по формуле</p> $P_i = \frac{N}{2} X_i^2, \quad i = 0, 1, \dots, (N-1)/2$ <p>7. Линейное усреднение спектральной мощности по сегментам</p>	
<p>Диапазоны частот спектрального анализа</p>		
<p><b>HF</b></p>	<p>Высокочастотные колебания в диапазоне <math>\Delta f_{HF}</math></p>	<p>0,4...0,15 Гц (2 – 6,6 с)</p>
<p><b>LF</b></p>	<p>Низкочастотные колебания в диапазоне <math>\Delta f_{LF}</math></p>	<p>0,15...0,04 Гц (7 – 25 с)</p>
<p><b>VLF</b></p>	<p>Сверхнизкочастотные колебания в диапазоне <math>\Delta f_{VLF}</math></p>	<p>0,04...0,015 Гц (25 – 66 с)</p>
<p><b>ULF</b></p>	<p>Ультранизкочастотные колебания в диапазоне <math>\Delta f_{ULF}</math></p>	<p>0,015...0,003 Гц (66 – 333 с)</p>
<p>По спектральным оценкам рассчитывают следующие показатели: <b>HF, LF, VLF, ULF</b>. Это мощности спектров в частотных диапазонах <math>\Delta f_{HF}</math>, <math>\Delta f_{LF}</math>, <math>\Delta f_{VLF}</math>, <math>\Delta f_{ULF}</math>.                  В каждом из частотных диапазонов <math>\Delta f_{HF}</math>, <math>\Delta f_{LF}</math>, <math>\Delta f_{VLF}</math>, <math>\Delta f_{ULF}</math> находят максимальные значения спектральных оценок мощностей гармоник (<b>HFmx, LFmx, VLFmx, ULFmx</b>)</p>		

Показатель	Определение показателя	Формула
<b>Мощность спектра HF</b>	Суммарная мощность спектра, мс, в частотном диапазоне $\Delta f_{HF}$	$HF = \sum_{j=L_{HF1}}^{L_{HF2}} P_j,$ <p>где <math>L_{HF1}</math> и <math>L_{HF2}</math> – номера спектральных оценок, соответствующих границам диапазона <math>\Delta f_{HF}</math></p> <p>Мощности спектров <b>LF</b>, <b>VLF</b>, <b>ULF</b> вычисляются аналогично</p>
<b>TP</b>	Суммарная мощность спектра	$TP = HF + LF + VLF + ULF$
<b>TP<sub>AV</sub></b>	Средняя мощность спектра на всех частотных диапазонах	$TP_{AV} = \frac{TP}{L}$
<b>HF<sub>AV</sub></b>	Средняя мощность спектра в частотном диапазоне $\Delta f_{HF}$	$HF_{AV} = \frac{HF}{(L_{HF2} - L_{HF1})}$
<b>LF<sub>AV</sub></b>	Средняя мощность спектра в частотном диапазоне $\Delta f_{LF}$	$LF_{AV} = \frac{LF}{(L_{LF2} - L_{LF1})}$
<b>VLF<sub>AV</sub></b>	Средняя мощность спектра в частотном диапазоне $\Delta f_{VLF}$	$VLF_{AV} = \frac{VLF}{(L_{VLF2} - L_{VLF1})}$
<b>ULF<sub>AV</sub></b>	Средняя мощность спектра в частотном диапазоне $\Delta f_{ULF}$	$ULF_{AV} = \frac{ULF}{(L_{ULF2} - L_{ULF1})}$
<b>HF %</b>	Мощность спектра в частотном диапазоне $\Delta f_{HF}$ в процентном соотношении ко всему диапазону	$HF \% = \frac{HF}{TP} \cdot 100 \%$
<b>LF %</b>	Мощность спектра в частотном диапазоне $\Delta f_{LF}$ в процентном соотношении ко всему диапазону	$LF \% = \frac{LF}{TP} \cdot 100 \%$
<b>VLF %</b>	Мощность спектра в частотном диапазоне $\Delta f_{VLF}$ в процентном соотношении ко всему диапазону	$VLF \% = \frac{VLF}{TP} \cdot 100 \%$
<b>ULF %</b>	Мощность спектра в частотном диапазоне $\Delta f_{ULF}$ в процентном соотношении ко всему диапазону	$ULF \% = \frac{ULF}{TP} \cdot 100 \%$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы значительно повысился интерес медицинской науки к проблемам здоровья. Это связано с высокими темпами нарастания неблагоприятных сдвигов в здоровье населения даже в развитых странах. В структуре современной заболеваемости и смертности преобладают хронические заболевания, в первую очередь сердечно-сосудистые и онкологические. Однако медицина в подавляющем большинстве случаев пока не в состоянии радикально излечить пациентов при этих патологиях. Поэтому становится все более очевидным, что центром приложения усилий медицины должен быть, прежде всего, здоровый человек, охрана и укрепление его здоровья. Эта проблема в последние годы занимает центральное место в деятельности Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

Одна из основных задач, обеспечивающих укрепление здоровья населения, – своевременная диагностика, комплексное исследование как функциональных, так и структурных изменений в органах и системах. Существующие в традиционной медицине методические подходы к оценке здоровья основаны на противопоставлении здоровья и болезни или на принципах нормологии. Однако большинство ученых, занимающихся этой проблемой, такой подход признают малоперспективным. Наиболее активно в последнее время развивается направление, основанное на оценке уровня здоровья с точки зрения теории адаптации (Р. М. Баевский, 1989 г.). В основу этих исследований положены методы, предложенные еще в 70-е годы прошлого века. Согласно этой концепции здоровье рассматривают как способность организма адаптироваться к условиям внешней среды, а болезнь – как результат срыва адаптации. При этом адаптивные реакции организма оценивают преимущественно по показателям системы кровообращения. Дальнейшее развитие этот подход получил в работах Н. М. Амосова (1981 г.), Г. Л. Апанасенко (1992 г.), предложивших определять «количество здоровья» физиологическими резервами организма, т.е. максимальной производительностью органов при сохранении качественных пределов их функций.

В данной работе отражены не все аспекты изучаемой проблемы. Это касается в первую очередь клинического использования методики. Надеемся, что приведенный библиографический список поможет Вам преодолеть трудности изучения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Heart rate variability. Standarts of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology (Membership of Task Force listed in the Appendix) // *Europ Heart J.* – 1996. –V. 17/ – С. 354-381.
- Баевский, Р. М. Математический анализ измерений сердечного ритма при стрессе [Текст] / Р. М. Баевский, О. И. Кирилов, С. З. Клецкин. – М.: Наука, 1984. – 221с.
- Жемайтите, Д. И. Вегетативная регуляция синусового ритма сердца у здоровых и больных [Текст] / Д. И. Жемайтите. – Вильнюс: Мокслас, 1982. – Кн.: Анализ сердечного ритма. – 155 с.
- Жемайтите, Д. И. Ритмограмма как отражение особенностей регуляции сердечного ритма [Текст] / Д. И. Жемайтите. – Вильнюс: Мокслас, 1970. – Кн.: Ритм сердца в норме и патологии. – 287 с.
- Авакян, О. М. Симпатоадреналовая система. [Текст] / О.М. Авакян. – Л.: Наука, 1977. – 256 с.
- Вегетативная нервная система. [Текст]: БМЭ / В. П. Воробьев, И. Н. Боголепова, Д. М. Голуб и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1976. – 68 с.
- Жемайтите, Д. И. Ритмичность импульсов синоаурикулярного узла в покое и при ишемической болезни сердца: автореф. дис. ... канд. мед. наук / Д. И. Жемайтите. – Каунас, 1965. – 51 с.
- Баевский, Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии [Текст] / Р. М. Баевский. – М.: Медицина, 1979. – 295 с.
- Вариабельность сердечного ритма в современной клинике [Текст] / Н. И. Яблчанский, Б. Я. Кантор, А. В. Мартыненко и др. – Д. : ЧНИП «БУДЕНЬ», 1997. – 107 с.
- Михайлов, В. М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода [Текст] / В. М. Михайлов. – Иваново: Иванов. гос. мед. академия, 2000. – 200 с.
- Zhemaityte D., Brozhaitiene J., Varoneckas G. Evaluation of autonomic heart rhythm control based on the dynamics of heart rhythm characteristics during functional tests and night sleep in patients with ischemic disease. - In *Pathomechanism and Prevention of Sudden Cardiac Death Due to Coronary Insufficiency* / Eds L. Szekeres , J.Gy. Papp, I. Takats. – Budapest : Akademiai Kiado, 1984. – P. 221 - 224.
- Kamath MV, Fallen EL. Power Spectral Analysis of Heart Rate Variability: A Non-invasive Signature of Cardiac Autonomic Function. *Critical Reviews in Biomechanical Engineering.* – 1993. – P. 245 - 311.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ФИЗИОЛОГИЯ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ .....	4
2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА СЕРДЦА .....	5
2.1. Влияние вегетативной нервной системы на регуляцию сердечного ритма.....	6
2.2. Рефлекторная регуляция сердечной деятельности.....	8
3. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСР .....	10
3.1. Методика записи кардиоритмограммы.....	10
3.2. Оценка качества записи электрокардиограммы.....	14
3.3. Основные методики анализа ВРС.....	14
3.4. Основные показатели при оценке ВСР.....	38
3.5. Анализ вегетативного фона пациента.....	41
3.6. Оценка степени напряжения регуляторных систем по Р. М. Баевскому.....	44
4. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЫ.....	47
4.1. Протоколы проведения функциональных проб.....	47
4.2. Регистрация функциональных проб по принятому протоколу.....	49
4.3. Примеры анализа функциональных проб.....	51
5. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВНС .....	58
5.1. Основные клинические приложения метода ВСР.....	58
5.2. Факторы, влияющие на результаты исследований ВСР.....	60
5.3. Области применения метода и показания к его использованию.....	64
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И НОРМАТИВЫ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА .....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВСР .....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	81
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	82

Навчальне видання

**Краснов Леонід Олександрович  
Олійник Володимир Петрович**

**МОНІТОРУВАННЯ І АНАЛІЗ РИТМУ СЕРЦЯ.  
ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ЕЛЕКТРОННОЇ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ ДІАГНОСТИКИ  
В МЕДИЦИНІ**

(Російською мовою)

Редактор В. І. Філатова

Зв. план, 2014

Підписано до видання 21.03. 2014

Ум. друк. арк. 4.6. Обл.-вид. арк. 5.25. Електронний ресурс

---

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»  
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17  
<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»  
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17  
[izdat@khai.edu](mailto:izdat@khai.edu)

Свідоцтво про внесення суб`єкта видавничої справи до Державного  
реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої  
продукції сер. ДК № 391 від 30.02.2001