

## Глава 8

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МЕДИЦИНЕ. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

**Цель** Изучить принципы регистрации физиологических параметров больных, новые качества сопряжения мониторных и компьютерных технологий при контроле физиологических показателей организма; освоить методы анализа вариабельности интервалов  $R-R$  ЭКГ.

## МОНИТОРНО-КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИЯМИ ОРГАНИЗМА

Традиционно врачебный мониторинг больных предназначен для наблюдения за состоянием физиологических параметров больных; оповещения врачебного персонала о критических, предкритических значениях физиологических параметров больных; накопления информации о значениях физиологических параметров больных во времени (тренды). Врачебный мониторинг особенно необходим в палатах интенсивной терапии и операционных. В настоящее время возникла необходимость аппаратно-программного сопряжения медицинского монитора с персональным компьютером по ряду причин. В частности, отсутствие сопряжения монитора и компьютера не позволяет врачу формировать «историю болезни» как документ, отражающий весь процесс лечения больного. Вызывают нарекания и накапливаемые тренды измеряемых параметров по форме представления информации, а именно: невозможность долговременного накопления трендов (месяц

и более), одновременного просмотра трендов (графических и цифровых) в один временной срез и наблюдения за процессом формирования трендов в реальном масштабе времени. Следовательно, медицинские мониторные системы требуют подключения компьютерных технологий с целью расширения сервиса, гибкости, возможностей усовершенствования в рамках конкретных медицинских учреждений, совмещения мониторингового контроля с автоматизацией истории болезни.

Сопряжение медицинских мониторных и компьютерных технологий обладает следующими важными качествами:

- предоставляется возможность накапливать информацию о больном путем измерения и регистрации значений выбранных физиологических параметров, исключая субъективные ошибки обслуживающего персонала;
- аналитическая обработка в компьютере измеряемых параметров о пациенте позволяет объективно оценить его состояние и дать рекомендации врачу (на уровне ЭС) по виду и объему необходимой коррекции отдельных параметров;
- компьютерная оценка состояния больного в пространстве измеряемых физиологических параметров позволяет дать объективный прогноз в развитии заболевания пациента;
- предоставляется возможность объединения компьютерных мониторов в единую локальную сеть для создания единой БД при компьютеризации всего медицинского учреждения.

Требования к медицинским компьютерным мониторным системам можно представить следующим образом.

1. Компьютерные мониторные системы должны обладать аппаратной гибкостью в отношении подключаемых к ним измерительных устройств различного назначения, в том числе приборов, не используемых в настоящее время в практике мониторинга (например, реографов, коагулографов и пр.), содержать средства передачи информации в вычислительную сеть медицинского учреждения.

2. Компьютерные мониторные системы должны обладать программной гибкостью для упрощения введения более совершенных алгоритмов обработки сигналов, возможности перестройки, например, дежурного экрана под конкретное медицинское учреждение. Под дежурным экраном понимается экран, на котором отображаются графические и цифровые значения физиологических параметров пациента в процессе мониторинга.

3. Компьютерные мониторные системы должны обеспечивать мониторинг одного или нескольких пациентов и содержать индивидуальные таблицы пределов тревожной сигнализации для каждого больного. Тревожная сигнализация должна быть звуковой, цветовой (по принципу светофора).

4. Компьютерные мониторные системы должны обеспечивать долговременное накопление трендов (до 1 мес) для последующего их использования.

В зависимости от назначения медицинский компьютерный монитор может иметь *различные варианты исполнения*:

- микropедиатрический (неонатальный);
- педиатрический;
- взрослый

и *различные варианты использования*:

- операционный;
- индивидуальный (прикроватный);
- коллективный (палатный).

Варианты исполнения предъявляют определенные требования к электродам, датчикам, манжете, к частоте квантования сигналов и алгоритмам их обработки.

Частный пример компьютерной мониторной системы — *компьютерный неонатальный монитор*. Он предназначен для автоматизированного наблюдения за состоянием, регистрации и документирования процесса лечения неонатальных пациентов, находящихся в терминальном состоянии. Монитор осуществляет контроль состояния сердечно-сосудистой системы и системы дыхания травмированных при родах детей. Контролируемые физиологические показатели:

- электрокардиосигнал (форма, полярность, зубцы, амплитуда, частота сердечных сокращений);
- реопневмосигнал импедансной пневмограммы — вид дыхания, глубина дыхания, частота дыхания, остановка дыхания;
- фотоплетизмограмма (вид кривой периферического кровообращения);
- фотоплетизмограмма «красная» и «инфракрасная» с датчика пульсоксиметра (вид кривой периферического кровообращения, частота сердечных сокращений, процентное содержание кислорода в гемоглобине артериальной крови);
- реограмма (снимается тетрполярным методом, вычисляются частота сердечных сокращений, частота дыхания, гемодинамические показатели);

- поверхностная температура;
- ректальная температура;
- артериальное давление неинвазивное (график тонов Короткова в манжете);
- электроэнцефалограмма.

Отражение текущего значения физиологических параметров и трендов проводится на дисплее компьютера в виде дежурных экранов. Долговременное накопление значений физиологических параметров регистрируется в виде часовых, месячных трендов в графической форме.

Варианты использования компьютерной мониторинговой системы определяют *конфигурацию монитора*. Например, операционный монитор желательно иметь рассредоточенным, чтобы не загромождать операционное поле возле пациента; индивидуальный, наоборот, сосредоточенным. Операционный компьютерный монитор предназначен для автоматического наблюдения за состоянием больного во время операции, ведения наркозной карты с автоматическим занесением в наркозную карту значений физиологических параметров (частоты сердечных сокращений, систолического и диастолического артериального давления, содержания кислорода в гемоглобине артериальной крови) при проведении операции, автоматического ведения протокола наркозной карты с привязкой ко времени, ведения протокола анестезии, автоматического формирования на съемном носителе на дискете результатов (заполненного протокола анестезии, наркозной карты с трендами, протокола заполнения наркозной карты) для передачи в персональный компьютер заведующего отделением. В тех случаях, когда предполагается автоматическое управление капельницами, аппаратом искусственного дыхания, кардиостимуляторами, контрпульсаторами и другой аппаратурой, система должна включать устройство, преобразующее код в управляющий сигнал. Пока проблема автоматического управления лечением находится в стадии научно-технической разработки.

Коллективный монитор имеет две модификации. Первая модификация не имеет дисплея для индикации у кровати больного, вторая предусматривает размещение у кровати каждого пациента индивидуального монитора с выводением его на общий персональный компьютер. Коллективный монитор предназначен для наблюдения, чаще всего за двумя больными, ведения карт регистрации и выписки больных, формирования врачами-анестезиологами карт интенсивной терапии, для передачи карт регистрации и выписки, карты интенсивной терапии и накопленных трендов в компьютер заведующему отделением.

В компьютерных мониторах используется *программное обеспечение*, осуществляющее сбор и обработку информации, накопление трендов, создание дежурного экрана, таблицы тревожной сигнализации, содержащее меню конфигурации монитора, графические окна с изменением их размеров, регулировкой масштабов отображаемых сигналов. Компьютер позволяет автоматически накапливать знания об измеряемых параметрах, проводить их аналитическую обработку, отслеживать изменения параметров, оценивать и прогнозировать состояние здоровья пациента в пространстве наблюдаемых параметров, давать врачу рекомендации о виде и объеме необходимой коррекции регистрируемых параметров.

Все большую популярность в последнее время в кардиологических исследованиях *при суточном мониторинге ЭКГ* набирает методика анализа *вариабельности сердечного ритма*.

*Вариабельность* — это свойство биологических процессов, которое связано с необходимостью приспособления организма к изменяющимся условиям окружающей среды. Другими словами, вариабельность — это изменчивость различных параметров, в том числе и ритма сердца, в ответ на воздействие каких-либо факторов. Следовательно, вариабельность сердечных ритмов (ВСР) отражает работу сердечно-сосудистой системы и работу механизмов регуляции целостного организма. Ученными была обнаружена взаимосвязь между вегетативной нервной системой (ВНС) и смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний, включая внезапную смерть.

ВСР представляет собой наиболее удобный показатель, благодаря которому можно оценить эффективность взаимодействия сердечно-сосудистой и других систем организма. Данный анализ становится популярным благодаря своей простоте, так как является неинвазивным. Это обследование начинают активно использовать в функциональной диагностике, так как показатель ВСР позволяет дать общую оценку о состоянии пациента, поскольку отражает жизненно важные показатели управления физиологическими функциями организма, к которым относятся функциональные резервы механизмов его управления и вегетативный баланс.

Можно сказать, что сердечный ритм является реакцией организма на действие раздражителей внутренней и внешней среды. Следовательно, изменение ритма будет ответной реакцией на изменение каких-либо факторов и регулируется симпатическим и парасимпатическим отделами нервной системы.

Сердечно-сосудистая система — яркий пример уникальной системы управления, построенной по иерархическому принципу, где каждый нижний уровень в нормальных условиях функционирует автономно. При изменениях внешней среды и (или) при развитии патологического процесса с целью сохранения гомеостаза активируются высшие уровни управления. Процесс адаптации требует расходования информационных, энергетических и метаболических ресурсов организма. Управление ресурсами зависит от предъявленных к организму требований внешней среды и осуществляется через нервные, эндокринные, гуморальные механизмы, которые условно можно разделить на автономные и центральные. Вмешательство центральных механизмов управления в работу автономных происходит только в том случае, когда последние перестают оптимально выполнять свои задачи.

Методы оценки ВСР часто используются в процессе суточного мониторинга ЭКГ.

## АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Анализ ВСР основан на определении последовательности интервалов  $R-R$  ЭКГ. Еще их называют  $N-N$ -интервалами (normal-to-normal), то есть учитываются промежутки только между нормальными сокращениями и не учитываются внеочередные сокращения (экстрасистолы) (рис. 8.1).



**Рис. 8.1.** Учет  $R-R$ -интервалов между очередными сокращениями сердца, исключая экстрасистолы

Благодаря этому анализу можно получить информацию о влиянии на работу сердца ВНС и ряда гуморальных и рефлексорных факторов.

Анализ variability сердечного ритма дает возможность оценить функциональное состояние человека; кроме того, позволяет следить за динамикой и выявлять патологические состояния, а также получить информацию об адаптационных резервах организма, что дает возможность предугадать сбой в работе сердечно-сосудистой системы.

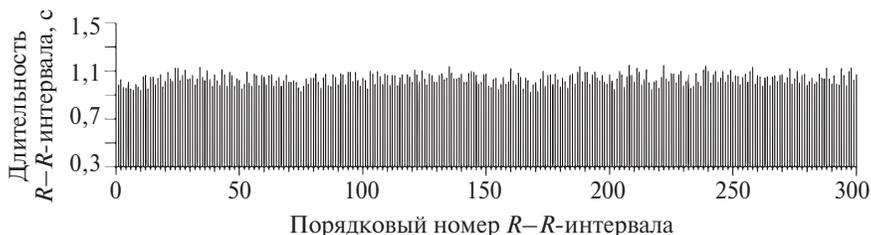
Снижение параметров указывает на нарушение взаимодействия вегетативной и сердечно-сосудистой систем и ведет к патологиям, связанным с работой сердца. Наиболее высокие показатели ВСР свойственны здоровым молодым людям и спортсменам, так как для них характерен более высокий парасимпатический тонус. Разного рода заболевания сердца органической природы ведут к снижению показателей variability — высокий симпатический тонус. Резкое снижение — высока вероятность летального исхода.

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

В настоящее время существует несколько методов оценки variability сердечного ритма. Среди них выделяют три группы:

- методы временной области — опираются на статистические методы и направлены на исследование общей variability;
- методы частотной области — исследование периодических составляющих ВСР;
- интегральные показатели ВСР (относят автокорреляционный анализ и корреляционную ритмографию).

Статистические методы основаны на измерении  $R-R$ -интервалов, а также на сравнении показателей. Они дают количественную оценку variability. Пациент после обследования получает кардиоинтервалограмму, которая представляет собой совокупность  $R-R$ -интервалов, которые отображаются друг за другом (рис. 8.2).



**Рис. 8.2.** Вид кардиоинтервалограммы как последовательной совокупности  $R-R$ -интервалов

*Статистические методы во временной области* применяются для непосредственной количественной оценки ВСР в исследуемый промежуток времени. Наиболее важными статистическими характеристиками динамического ряда кардиоинтервалов являются следующие.

- SDNN (стандартное отклонение) или СКО (среднее квадратическое отклонение) — величина, равная квадратному корню из дисперсии  $R-R$ -интервалов. Выражается в миллисекундах (мс). Указывает на суммарный эффект влияния на синусовый узел симпатического и парасимпатического отделов ВНС. Увеличение этого показателя свидетельствует о смещении вегетативного гомеостаза в сторону преобладания парасимпатических влияний, уменьшение — симпатических.
- RMSSD (квадратный корень средних квадратов разницы между смежными  $R-R$ -интервалами) отражает быстрые высокочастотные колебания в структуре ВРС, которые продуцируются парасимпатическими влияниями.
- NN50 — количество пар последовательных интервалов  $R-R$ , различающихся более чем на 50 мс, полученных за весь период записи.
- pNN50 — процент от общего количества последовательных пар интервалов, различающихся более чем на 50 мс, полученных за весь период записи.

Для анализа ВРС используются также геометрические методы. Распределение продолжительности кардиоинтервалов отображают на гистограмме (рис. 8.3).

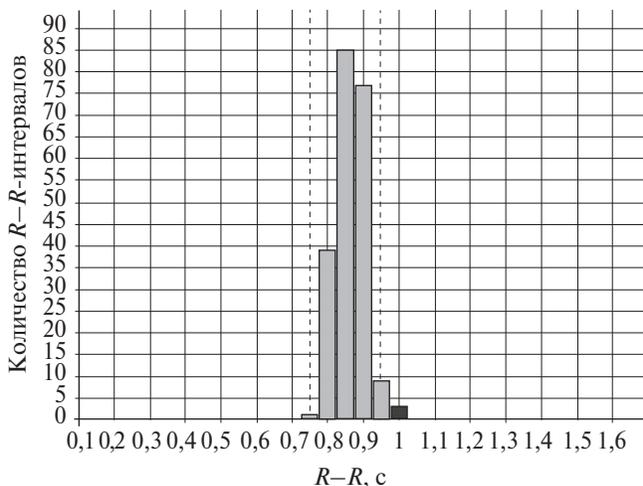


Рис. 8.3. Гистограмма  $R-R$ -интервалов ЭКГ

При количестве кардиоинтервалов в выборке менее 100 ширина интервала ( $H$ ) при построении гистограммы выбирается фиксированно 0,05 с или 50 мс. Если объем выборки  $n \geq 100$ , то определяется по формуле

$$H = \frac{RR_{\max} - RR_{\min}}{1 + 3,322 \lg n},$$

где  $RR_{\max}$  — максимальный по величине  $R$ – $R$ -интервал в выборке;  $RR_{\min}$  — минимальный по величине  $R$ – $R$ -интервал в выборке;  $n$  — объем выборки.

В стрессовых ситуациях, а также при патологических состояниях диаграмма будет с узким основанием и острой вершиной (экссессивная). Асимметричная диаграмма наблюдается при переходных процессах, нарушении стационарного процесса. Многовершинная диаграмма свидетельствует о не синусовом ритме (экстрасистолии, мерцательной аритмии).

Геометрические методы позволяют оценить ВСП с помощью моды, амплитуды моды и вариационного размаха.

*Мода* ( $M_o$ ) — соответствует количеству  $R$ – $R$ -интервалов, которые встречаются наиболее часто, следовательно, позволяют оценить реальное состояние систем регуляции пациента.

Обычно для вычисления этой моды применяется формула:

$$M_o = x_0 + \frac{f_{M_o} - f_{M_o-1}}{(f_{M_o} - f_{M_o-1}) + (f_{M_o} - f_{M_o+1})} \Delta,$$

где  $x_0$  — нижняя граница модального интервала;  $f_{M_o}$  — частота в модальном интервале;  $f_{M_o-1}$  — частота в предыдущем интервале;  $f_{M_o+1}$  — частота в интервале, следующем за модальным;  $\Delta$  — величина интервала.

*Амплитуда моды* ( $A_{M_o}$ ) — показывает долю интервалов, которые соответствуют значению моды. Этот параметр отражает стабилизирующий эффект централизации управления сердечным ритмом.

*Вариационный размах* (VAR) — соответствует разности между длительностью самого большого и самого меньшего из интервалов.

Для того чтобы оценить степень адаптации сердечно-сосудистой системы к различным факторам и посмотреть степень регуляции данных процессов, используются дополнительные параметры, которые рассчитываются. К ним относят индекс вегетативного равновесия (ИВР), показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР), индекс

напряжения регуляторных систем (ИН), вегетативный показатель ритма (ВПР).

*Индекс вегетативного равновесия (ИВР)* показывает соотношение влияния на сердечно-сосудистую систему симпатической и парасимпатической систем.

$$\text{ИВР} = A_{\text{Мо}}/\text{VAR}.$$

При парасимпатической активности ИВР уменьшается, при симпатической — увеличивается.

Физиологические значения ИВР:

- <30 — выраженная инертность и пассивность, явная доминанта парасимпатического отдела;
- 30–100 — незначительное преобладание парасимпатического отдела, расслабление;
- 100–350 — норма, вегетативный баланс находится в равновесии;
- 350–1300 — напряжение, доминанта симпатического отдела;
- >1300 — крайняя степень напряжения симпатического отдела на фоне истощения энергии.

*Показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР)* позволяет определить влияние на синусовый узел симпатического отдела.

$$\text{ПАПР} = A_{\text{Мо}}/\text{Мо}.$$

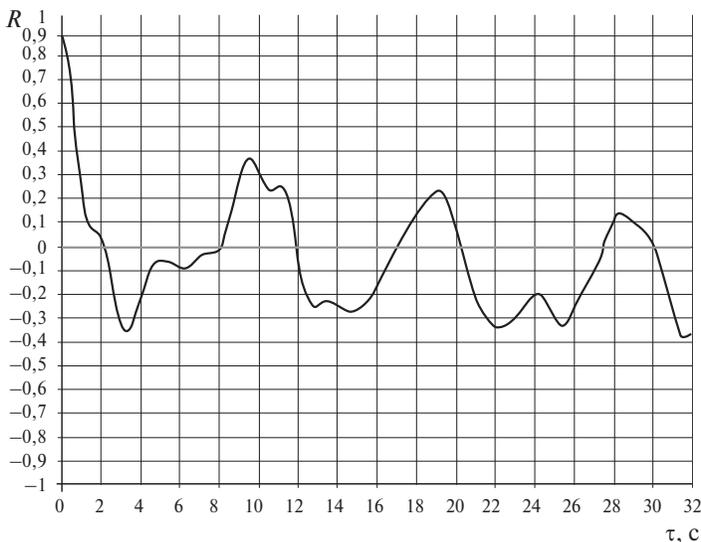
*Вегетативный показатель ритма (ВПР)* отражает баланс регуляции работы сердечно-сосудистой системы со стороны симпатического и парасимпатического отделов ВНС. Чем меньше ВПР, тем более вегетативный баланс смещен в парасимпатическую сторону.

$$\text{ВПР} = 1/(\text{Мо} \times \text{VAR}).$$

*Индекс напряжения (ИН)* регуляторных систем предложен Р.М. Бавским для описания степени напряжения механизмов регуляции сердечного ритма.

$$\text{ИН} = A_{\text{Мо}}/(2 \times \text{Мо} \times \text{VAR}).$$

*Автокорреляционный анализ* используется для оценки сердечного ритма как случайного процесса. Автокорреляционная функция представляет собой график динамики коэффициентов корреляции, получаемых при последовательном смещении анализируемого динамического ряда на один и тот же временной сдвиг  $\tau$  по отношению к своему собственному ряду (рис. 8.4). Представляет собой качественный



**Рис. 8.4.** Автокорреляционная функция  $R$ - $R$ -интервалов.  $R$  — коэффициент корреляции;  $\tau$  — временной сдвиг

анализ, по данным которого можно судить о влиянии на автономную систему сердца центрального звена.

*Корреляционная ритмография*, или *скаттерография*, — это графическое отображение распределения кардиоинтервалов (предыдущего и последующего) в двумерной координатной плоскости. При этом по оси абсцисс откладывается величина  $R-R_t$ , а по оси ординат — величина  $R-R_{t+1}$ . График и область точек, полученных таким образом (пятна Пуанкаре или Лоренца), называются *корреляционной ритмограммой*, или *скаттерограммой*. Этот способ оценки ВСР относится к методам нелинейного анализа и особенно важен для распознавания и анализа сердечных аритмий. На ритмограмме выделяют «облако» — эллипс, который соответствует стандартному отклонению всех  $N-N$ -интервалов.

Благодаря данному методу можно оценить активность симпатической ВНС по отношению к сердцу. У здорового человека на скаттерограмме эллипс будет вытянут вдоль биссектрисы.

Величина отклонения точки от биссектрисы влево показывает, насколько данный сердечный цикл короче предыдущего, вправо от биссектрисы — насколько он длиннее предыдущего.

Вычисляли следующие количественные показатели скаттерограммы.

- *Длинная ось эллипса  $L$ , или длина основного (без экстрасистол и артефактов) «облака»,* соответствует вариационному размаху. По физиологическому смыслу этот показатель не отличается от SDNN, то есть отражает суммарный эффект регуляции ВРС, но указывает на максимальную амплитуду колебаний длительности интервалов  $R-R$ .
- *Ширина скаттерограммы  $w$*  — перпендикуляр к длинной оси, проведенный через ее середину.
- *Площадь скаттерограммы* вычисляются по формуле площади эллипса:

$$S = (p \times L \times w) / 4.$$

Нормальная форма скаттерограммы представляет собой эллипс, вытянутый вдоль биссектрисы (рис. 8.5). Именно такое расположение эллипса означает, что к дыхательной прибавлена некоторая величина недыхательной аритмии.

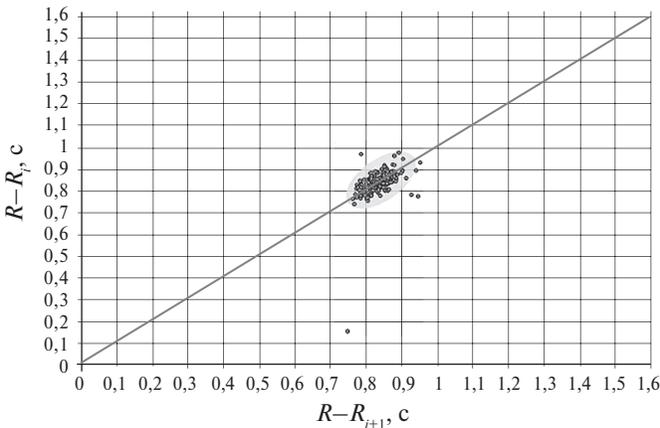


Рис. 8.5. Вид скаттерограммы в норме

Форма скаттерограммы в виде круга означает отсутствие недыхательных компонентов аритмии. Узкий овал соответствует преобладанию недыхательных компонентов в общей variability ритма, которая определяется длиной «облака». Длина овала хорошо коррелирует с величиной HF (High Frequency), а ширина — с LF (Low Frequency). При аритмиях, когда методы статистического и спектрального анализа ВРС малоинформативны или неприемлемы, используют оценку корреляционной ритмограммы (скаттерограммы).

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНЫХ РИТМОВ

Применение спектрального анализа позволяет количественно оценить влияние на работу сердца различных регуляторных систем.

Выделяют три основных спектральных компонента, которые соответствуют колебаниям ритма сердца различной периодичности: *высокочастотные* (High Frequency, HF), *низкочастотные* (Low Frequency, LF) и *очень низкочастотные* (Very Low Frequency, VLF) компоненты, которые используются при кратковременной записи ЭКГ. Для длительных записей используют также дополнительные компоненты — *ультранизкочастотные* (Ultra Low Frequency, ULF).

Согласно стандартам предлагаются следующие диапазоны частот: высокочастотный диапазон (дыхательные волны) — 0,4–0,15 Гц (2,5–6,5 с); низкочастотный диапазон (медленные волны 1-го порядка) — 0,15–0,04 Гц (6,5–25 с); очень низкочастотный диапазон (медленные волны 2-го порядка) — 0,04–0,003 Гц (25–333 с).

При спектральном анализе для каждого из компонентов вычисляют абсолютную суммарную мощность в диапазоне, среднюю мощность в диапазоне, значение максимальной гармоники и относительное значение в процентах от суммарной мощности во всех диапазонах.

*HF-компонент* связан с дыхательными движениями и отражает влияние на работу сердца блуждающего нерва.

*LF-компонент* характеризует влияние на сердечный ритм как симпатического отдела, так и парасимпатического.

*VLF-* и *ULF-компоненты* отражают действие различных факторов, к которым относят, например, сосудистый тонус, систему терморегуляции и др.

На рис. 8.6 представлен график спектральности плотности  $R$ – $R$ -интервалов.

Важными параметрами являются также:

- полный спектр частот TF (Total Frequency), или общая мощность спектра, которая позволяет оценить суммарную активность воздействий на ритм сердца ВНС;
- индекс централизации IC (Index of Centralization) [вычисляется по формуле  $(HF+LF)/VLF$ ];
- индекс вагосимпатического взаимодействия LF/HF, который характеризует баланс влияния на сердце парасимпатического и симпатического отделов.

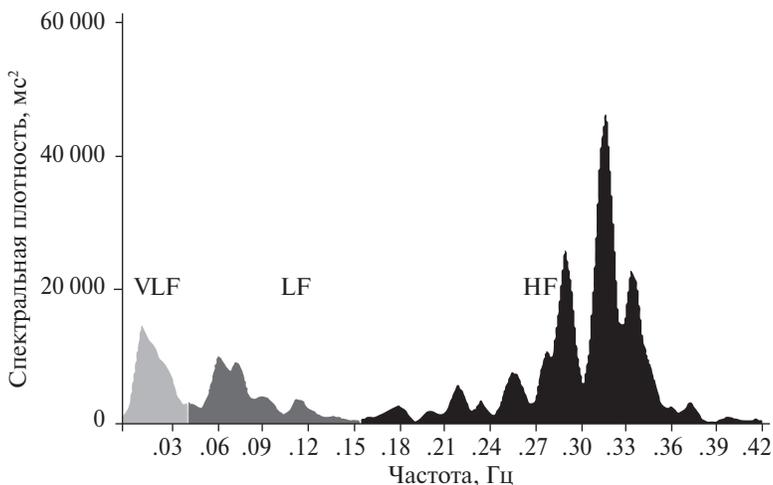


Рис. 8.6. График спектральной плотности  $R-R$ -интервалов

Анализ ВСП позволяет оценивать общее состояние человека, выявлять адаптационные возможности организма, анализировать психоэмоциональное состояние. ВСП может использоваться в терапевтической практике и в донозологических исследованиях.

### Задание 1. Расчет статистических характеристик динамического ряда кардиоинтервалов

Используйте математические и статистические функции табличного процессора MS Excel для расчета статистических характеристик ВСП во временной области.

#### Технология выполнения задания

1. Создайте новый документ в табличном процессоре. Сохраните файл под названием ВСП.
2. Выделите ячейку A1.
3. Введите сокращенное название  $R-R, мс$  и нажмите клавишу <Enter>.
4. Начиная с ячейки A2 в столбец введите значения интервалов  $R-R$ , представленные в табл. 8.1.
5. В ячейку B1 введите сокращенное название  $R-R_{i+1}$ .
6. В столбце B необходимо получить значения ряда  $R-R$ -интервалов, смещенные на единицу. Для этого в ячейку B2 введите =A3. Обратите внимание, что имена ячеек вводятся латинскими буквами. Нажмите клавишу <Enter>. В ячейке B2 появится результат —  $R-R$

Таблица 8.1. Значения R–R-интервалов

| № строки | R–R  | № строки | R–R  | № строки | R–R  |
|----------|------|----------|------|----------|------|
| 2        | 750  | 22       | 898  | 42       | 992  |
| 3        | 752  | 23       | 976  | 43       | 906  |
| 4        | 757  | 24       | 914  | 44       | 1015 |
| 5        | 703  | 25       | 890  | 45       | 976  |
| 6        | 695  | 26       | 968  | 46       | 851  |
| 7        | 734  | 27       | 796  | 47       | 773  |
| 8        | 1101 | 28       | 789  | 48       | 742  |
| 9        | 960  | 29       | 703  | 49       | 781  |
| 10       | 921  | 30       | 687  | 50       | 1015 |
| 11       | 898  | 31       | 640  | 51       | 929  |
| 12       | 859  | 32       | 734  | 52       | 984  |
| 13       | 804  | 33       | 1000 | 53       | 890  |
| 14       | 734  | 34       | 867  | 54       | 812  |
| 15       | 671  | 35       | 921  | 55       | 812  |
| 16       | 640  | 36       | 750  | 56       | 820  |
| 17       | 679  | 37       | 757  | 57       | 828  |
| 18       | 859  | 38       | 750  | 58       | 1125 |
| 19       | 945  | 39       | 718  | 59       | 781  |
| 20       | 1023 | 40       | 1085 | 60       | 804  |
| 21       | 953  | 41       | 1054 | 61       | 902  |

интервал, соответствующий адресу A3. Далее воспользуйтесь автозаполнением: маркер заполнения протащите до ячейки B60.

7. Для дальнейшего расчета показателей необходимо найти различие по модулю между смежными R–R-интервалами. С этой целью в ячейке C2 вставьте функцию =ABS(B2-A2). Нажмите клавишу <Enter>. В ячейке C2 появится результат (рис. 8.7). Далее вновь воспользуйтесь автозаполнением: маркер заполнения протащите до ячейки C60.

8. Далее в ячейки E2:E11 последовательно введите название рассчитываемых показателей: *Средняя величина R-R, мс; Дисперсия; СКО*

| C2 |         | fx: =ABS(B2-A2)    |   |
|----|---------|--------------------|---|
| A  | B       | C                  | D |
| 1  | R-R, мс | R-R <sub>i+1</sub> |   |
| 2  | 750     | 752                | 2 |
| 3  | 752     | 757                |   |
| 4  | 757     | 703                |   |
| 5  | 703     | 695                |   |
| 6  | 695     | 734                |   |
| 7  | 734     | 1101               |   |
| 8  | 1101    | 960                |   |

Рис. 8.7. Расчет разницы по модулю между смежными R–R-интервалами

| F1 | fx                       | Норма  |
|----|--------------------------|--------|
| E  | F                        |        |
| 1  |                          | Норма  |
| 2  | Средняя величина R-R, мс |        |
| 3  | Дисперсия                |        |
| 4  | СКО (SDNN), мс           | 30-100 |
| 5  | R-R <sub>max</sub> , мс  |        |
| 6  | R-R <sub>min</sub> , мс  |        |
| 7  | Вариационный размах, мс  |        |
| 8  | Коэффициент вариации, %  | 3-12   |
| 9  | RMSSD                    | 20-50  |
| 10 | pNN50, %                 |        |
| 11 | Число R-R-интервалов     |        |
| 12 |                          |        |
| 13 | Интервалы гистограммы    |        |
| 14 |                          |        |

Рис. 8.8. Фрагмент оформления таблицы с названием и нормой рассчитываемых показателей

| E  | F                        | G  |
|----|--------------------------|--|
| 1  | Норма                    | Данные                                     |
| 2  | Средняя величина R-R, мс | =СРЗНАЧ(A2:A61)                            |
| 3  | Дисперсия                | =ДИСП(A2:A61)                              |
| 4  | СКО (SDNN), мс           | =СТАНДОТКЛОН(A2:A61)                       |
| 5  | R-R <sub>max</sub> , мс  | =МАКС(A2:A61)                              |
| 6  | R-R <sub>min</sub> , мс  | =МИН(A2:A61)                               |
| 7  | Вариационный размах, мс  | =G5-G6                                     |
| 8  | Коэффициент вариации, %  | =G4*100/G2                                 |
| 9  | RMSSD                    | =КОРЕНЬ(СУММКВРАЗН(A2:A60;A3:A61))/(G11-1) |
| 10 | pNN50, %                 | =СЧЁТЕСЛИ(C2:C60;">50")*100/G11            |
| 11 | Число R-R-интервалов     | =СЧЁТ(A2:A61)                              |

Рис. 8.9. Формулы в ячейках G2:G11

(SDNN), мс; R-R<sub>max</sub>, мс; R-R<sub>min</sub>, мс; Вариационный размах, мс; Коэффициент вариации, %; RMSSD; pNN50, %; Число R-R-интервалов.

В ячейку F1 введите текст *Норма* и укажите норму рядом с СКО (SDNN) — 30–100, рядом с коэффициентом вариации — 3–12 и ячейкой RMSSD — 20–50 (рис. 8.8). Для того введенные значения правильно отобразились, задайте текстовый формат данных.

9. В ячейку G1 введите текст *Данные*, а затем вставьте формулы (рис. 8.9):
- в ячейку G2 вставьте функцию и диапазон значений =СРЗНАЧ(A2:A61);

- в ячейку G3 —  $=ДИСП(A2:A61)$ ;
- в ячейку G4 —  $=СТАНДОТКЛОН(A2:A61)$ ;
- в ячейку G5 —  $=МАКС(A2:A61)$ ;
- в ячейку G6 —  $=МИН(A2:A61)$ ;
- в ячейку G7 —  $=G5-G6$ ;
- в ячейку G8 —  $=G4*100/G2$ ;
- в ячейку G9 —  $=КОРЕНЬ(СУММКВРАЗН(A2:A60;A3:A61))/(G11-1)$ ;
- в ячейку G10 —  $=СЧЁТЕСЛИ(C2:C60;">50")*100/G11$ ;
- в ячейку G11 —  $=СЧЁТ(A2:A61)$ .

10. В ячейках G2:G11 появятся рассчитанные значения изучаемых показателей (рис. 8.10).

|    | E                        | F      | G           |
|----|--------------------------|--------|-------------|
| 1  |                          | Норма  | Данные      |
| 2  | Средняя величина R-R, мс |        | 851,2166667 |
| 3  | Дисперсия                |        | 15127,96921 |
| 4  | СКО (SDNN), мс           | 30-100 | 122,9958097 |
| 5  | R-R <sub>max</sub> , мс  |        | 1125        |
| 6  | R-R <sub>min</sub> , мс  |        | 640         |
| 7  | Вариационный размах, мс  |        | 485         |
| 8  | Коэффициент вариации, %  | 3-12   | 14,44941277 |
| 9  | RMSSD                    | 20-50  | 16,06936987 |
| 10 | pNN50, %                 |        | 58,33333333 |
| 11 | Число R-R-интервалов     |        | 60          |

**Рис. 8.10.** Рассчитанные значения статистических характеристик динамического ряда кардиоинтервалов после ввода формул

11. Проанализируйте полученные показатели, сравните с нормой и сделайте вывод об особенностях регуляции сердечного ритма в данной клинической ситуации.

## **Задание 2. Построение гистограммы кардиоинтервалов (геометрический метод анализа variability сердечных ритмов)**

Используйте геометрические методы для анализа ВСР.

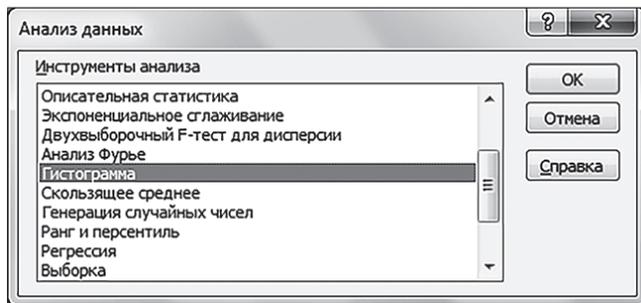
### **Технология выполнения задания**

1. В ячейку E13 введите текст *Интервалы гистограммы*.
2. Поскольку минимальное значение R–R-интервалов 640 мс, максимальное — 1125 мс, число R–R-интервалов — 60 (менее 100), то ширина интервала выбирается фиксированно — 50 мс (0,05 с) в пределах

от 600 до 1200 мс. В результате все кардиоинтервалы будут учтены в этом диапазоне с шагом 50 мс.

3. В ячейки E14:E26 последовательно введите величины *600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1050, 1100, 1150, 1200*.

4. На вкладке **Данные** нажмите кнопку **Анализ данных**. Среди категорий инструментов анализа выберите **Гистограмма** (рис. 8.11). Нажмите кнопку **ОК**.



**Рис. 8.11.** Вызов инструмента анализа данных **Гистограмма**

Если на вкладке **Данные** отсутствует группа **Анализ**, следует активировать надстройку **MS Excel Пакет анализа**. Для этого нажмите кнопку **Office**, а затем в появившемся меню нажмите кнопку **Параметры Excel** (в MS Excel 2010 на вкладке **Файл** выберите команду **Параметры**). В появившемся окне слева выберите категорию **Надстройки**. Внизу окна, правее раскрывающегося списка **Управление**, нажмите кнопку **Перейти**, а затем в появившемся окне **Надстройки** отметьте флажок **Пакет анализа** и нажмите кнопку **ОК**. На вкладке ленты **Данные** появится группа **Анализ**.

5. В диалоговом окне **Гистограмма** в категории **Входной интервал** укажите диапазон ячеек. Для этого выделите мышью ячейки A2:A61. В категории **Интервал карманов** укажите диапазон E14:E26. Выходной интервал укажите I2. Поставьте галочку в рубрике **Вывод графика** (рис. 8.12). Нажмите кнопку **ОК**.

6. В ячейку I2 будут вставлены результаты расчета и рядом — гистограмма кардиоинтервалов.

7. Отредактируйте интервалы в ячейках I3:I14, название гистограммы, как представлено на рис. 8.13.

8. В ячейке K2 введите знак **%**. В ячейку K3 вставьте формулу расчета относительно доли числа кардиоинтервалов в диапазоне 600–650 мс  $=J3/60*100$ . Нажмите клавишу **<Enter>**.

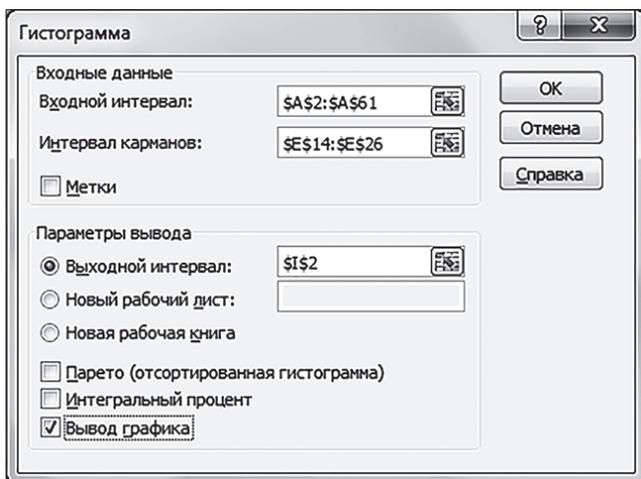


Рис. 8.12. Ввод параметров гистограммы



Рис. 8.13. Результаты расчета и график инструмента анализа Гистограмма

9. Далее воспользуйтесь автозаполнением: маркер заполнения протащите до ячейки K14.

10. Проанализируйте гистограмму кардиоинтервалов: укажите модальный интервал, форму гистограммы, ее симметричность.

11. Постройте скаттерограмму для анализа ритмичности деятельности сердца. Для этого выделите диапазон ячеек A2:B61. На вкладке

**Вставка** выберите среди диаграмм гистограмму **Точечная с маркерами**. Появится прямоугольная область с гистограммой. Удалите легенду. Добавьте название диаграммы (**Макет > Подписи > Название диаграммы > Над диаграммой**): *Скаттерограмма*. Оформите название горизонтальной ( $R-R$ ) и вертикальной ( $R-R_{i+1}$ ) осей, выделив диаграмму и выбрав последовательность команд **Макет > Подписи > Названия осей**.

12. Далее на вкладке **Макет** в группе **Анализ** щелкните по кнопке **Линия тренда** и выберите **Дополнительные параметры линии тренда**. Среди параметров линии тренда выберите **Линейная**. Далее в диалоговом окне **Формат линии тренда** выберите раздел **Цвет линии** и выберите **Сплошная линия**, цвет — красный (рис. 8.14). Нажмите кнопку **Закрыть**. Скаттерограмма приобретет вид, представленный на рис. 8.15.

13. Проанализируйте форму скаттерограммы и сделайте вывод о ритмической деятельности сердца.

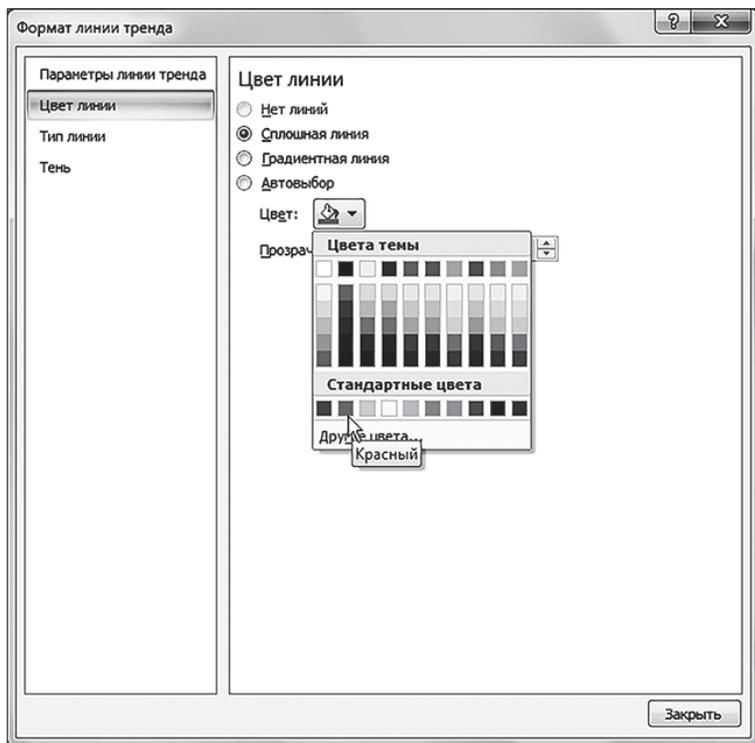


Рис. 8.14. Оформление параметров линии тренда

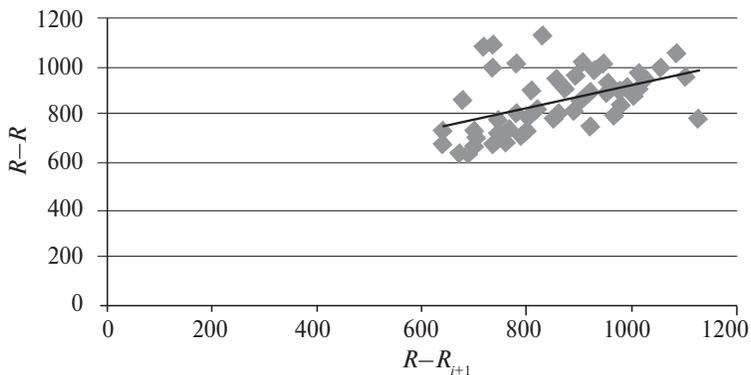


Рис. 8.15. Скаттерограмма кардиоинтервалов

### Задание 3. Оценка степени адаптации сердечно-сосудистой системы по вегетативным индексам

Определите активность влияния парасимпатического и симпатического влияния вегетативных нервов на ритмическую деятельность сердца по вегетативным индексам.

#### Технология выполнения задания

1. В ячейку E28 введите текст *Вегетативные индексы*. Далее в диапазон E29:E40 последовательно введите названия ячеек:

*Нижняя граница модального интервала (в который попадает максимальное число R-R)*

*Частота в модальном интервале*

*Частота в предыдущем интервале*

*Частота в последующем интервале*

*Мода*

*Амплитуда моды*

*Вариационный размах*

*Отношение максимума к минимуму*

*Стресс-индекс (ИН)*

*Индекс вегетативного равновесия (ИВР)*

*Показатель адекватности регуляции (ПАПР)*

*Вегетативный показатель ритма (ВПР)*

2. На графике гистограммы кардиоинтервалов уточните нижнюю границу интервала, куда попадает наибольшее число кардиоциклов, и введите значение (700) в ячейку F29. На той же гистограмме уточните число интервалов в модальном классе и введите значение (10) в ячейку

F30, частоту интервалов в предыдущем интервале — в ячейку F31, в последующем интервале — в ячейку F32.

3. В ячейку F33 введите формулу расчета моды  $=F28+((F29-F30)*50)/((F29-F30)+F29-F31)$ , F34 — амплитуду моды (16,7), которую уточнить в таблице интервального ряда (диапазон I2:K14) как относительную долю числа интервалов в процентах, которая соответствует модальному классу.

4. В ячейку F35 перенесите значение вариационного размаха, набрав  $=G7$ .

5. В ячейку F36 введите  $=G5/G6$ , в ячейку F37 —  $=F33/(2*F32*10^{(-6)}*F34)$ , в ячейку F38 —  $=F33/F34*1000$ , в ячейку F39 —  $=F33/F32*1000$ , в ячейку F40 —  $=1/(F32*F34)*1000000$ .

6. В ячейку G28 введите текст *Норма*, а в диапазон G33:G35 и G37:G40 нормальные диапазоны показателей: 760-840, 42,1-43,9, 150-300, 70-150, 100-350, 35-70, 710-930.

7. Результаты расчетов вегетативных индексов представлены на рис. 8.16.

8. Проанализируйте полученные результаты расчета, сравните с нормой, сделайте вывод об особенностях регуляции сердечного ритма.

#### Задание 4. Анализ variability сердечного ритма по заданным значениям

Введите данные R–R-интервалов, постройте графики и проанализируйте ВСР.

##### Технология выполнения задания

1. Введите значения R–R-интервалов в область A2:A61 (табл. 8.2).
2. После ввода данных рассчитайте статистические характеристики динамического ряда кардиоинтервалов, постройте гистограмму

|    | E   | F        | G                |
|----|---|----------|------------------|
| 27 |   |          |                  |
| 28 | <b>Вегетативные индексы</b>   |          | <b>Норма</b>     |
| 29 | Нижняя граница модального интервала (в который попадает максимальное число R-R) | 700      |                  |
| 30 | Частота в модальном интервале   | 10       |                  |
| 31 | Частота в предыдущем интервале  | 4        |                  |
| 32 | Частота в последующем интервале   | 8        |                  |
| 33 | Мода  | 24,89    | <b>760-840</b>   |
| 34 | Амплитуда моды  | 16,7     | <b>42,1-43,9</b> |
| 35 | Вариационный размах   | 485      | <b>150-300</b>   |
| 36 | Отношение максимума к минимуму  | 1,76     |                  |
| 37 | Стресс-индекс (ИН)  | 93157,84 | <b>70-150</b>    |
| 38 | Индекс вегетативного равновесия (ИВР)   | 1490,53  | <b>100-350</b>   |
| 39 | Показатель адекватности регуляции (ПАПР)  | 3111,47  | <b>35-70</b>     |
| 40 | Вегетативный показатель ритма (ВНР)   | 7485,03  | <b>710-930</b>   |

Рис. 8.16. Результаты расчета вегетативных индексов

Таблица 8.2. Заданные значения  $R-R$ -интервалов

| № строки | R–R  | № строки | R–R  | № строки | R–R  |
|----------|------|----------|------|----------|------|
| 2        | 810  | 22       | 1029 | 42       | 1138 |
| 3        | 823  | 23       | 970  | 43       | 1071 |
| 4        | 818  | 24       | 954  | 44       | 978  |
| 5        | 759  | 25       | 987  | 45       | 996  |
| 6        | 751  | 26       | 961  | 46       | 1054 |
| 7        | 793  | 27       | 1045 | 47       | 919  |
| 8        | 1189 | 28       | 860  | 48       | 835  |
| 9        | 1037 | 29       | 1052 | 49       | 801  |
| 10       | 1021 | 30       | 759  | 50       | 843  |
| 11       | 970  | 31       | 742  | 51       | 1096 |
| 12       | 928  | 32       | 691  | 52       | 1003 |
| 13       | 828  | 33       | 693  | 53       | 563  |
| 14       | 645  | 34       | 1080 | 54       | 961  |
| 15       | 725  | 35       | 1136 | 55       | 877  |
| 16       | 691  | 36       | 995  | 56       | 677  |
| 17       | 733  | 37       | 810  | 57       | 886  |
| 18       | 1028 | 38       | 818  | 58       | 594  |
| 19       | 1021 | 39       | 1010 | 59       | 1215 |
| 20       | 905  | 40       | 775  | 60       | 843  |
| 21       | 829  | 41       | 1172 | 61       | 968  |

и скаттерограмму кардиоинтервалов, проанализируйте полученные результаты в отчетах и графиках.

### Вопросы для самопроверки

1. Какие новые качества возникают при сопряжении медицинских мониторинговых и компьютерных технологий?
2. Какие требования предъявляются к медицинским компьютерным мониторинговым системам?

3. Назовите виды компьютерно-мониторных систем в зависимости от варианта использования и варианта исполнения.
4. Расскажите о предназначении операционных, индивидуальных и коллективных компьютерных мониторных систем.
5. Укажите особенности конфигурации компьютерных мониторных систем различного использования.
6. Перечислите контролируемые физиологические параметры организма с помощью компьютерных мониторных систем.
7. Дайте характеристику программного обеспечения медицинских компьютерных мониторных систем.
8. Охарактеризуйте методы анализа variability сердечного ритма.

### Рекомендуемая литература

Машин В.А. Variability сердечного ритма: трехфакторная модель ВСП в исследованиях функциональных состояний человека. LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co, 2012. 580 с.

Рябыкина Г.В., Соболев В.М. Мониторирование ЭКГ с анализом variability ритма сердца. М. : Медпрактика, 2005. 222 с.

Снежицкий В.А. Variability ритма сердца: применение в кардиологии. Гродно : ГрГМУ, 2010. 211 с.

Углева Т.Н. Мозговой кровоток и variability ритма сердца. Palmarium Academic Publishing, 2013. 160 с.

Ходырев Г.Н., Хлыбова С.В., Циркин В.И. и др. Методические аспекты анализа временных и спектральных показателей variability сердечного ритма (обзор литературы) // Вятский медицинский вестник. 2011. № 3–4. С. 60–70.