

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»**

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА  
СЕРДЕЧНОГО РИТМА**

*Методические указания к практической работе*

Самара 2016

УДК 57.087

Составитель: А.А. Федотов

**Биотехнические системы мониторинга сердечного ритма:** Метод. указания / Самар. нац. исследов. ун-т.; сост. А.А. Федотов; Самара, 2016. 26 с.

В методических указаниях рассмотрены основы методики вариационной пульсометрии, позволяющей в следящем режиме определять текущие значения показателей активности вегетативной регуляции симпатического и парасимпатического отделов ВНС для использования в медицинской диагностической практике.

Приведены примеры аппаратурной реализации методики в приборах мониторингового контроля состояния человека: мониторе пациента «КОРОС-300», а также в пульсоксиметре «ЭЛОКС-01». Дано описание методики исследования, приведен порядок выполнения работы и требования к отчету.

Методические указания предназначены для магистрантов, обучающихся по направлениям 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии» и 03.04.01 «Прикладные математика и физика», и выполняющих практические работы по дисциплине «Теория биотехнических систем». Подготовлены на кафедре лазерных и биотехнических систем.

Ил. 8. Библиогр. 3 назв.

Рецензент: И.А. Кудрявцев

**Цель работы:** изучение биотехнической системы оценки активности регуляторных процессов в вегетативной нервной системе организма человека методом вариационной пульсометрии используемой для диагностики состояния человека в медицине критических состояний.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Диагностика состояния организма, основанная на результатах наблюдения за изменениями показателей активности регуляции в вегетативной нервной системе, отвечает современной концепции определения состояния человека путем оценки интегральных показателей физиологических систем организма. Подобные показатели позволяют в режиме реального времени оценить комплексную реакцию организма на действие как эндогенных, так и внешних воздействующих факторов.

Ритм сердечных сокращений является наиболее доступным для регистрации физиологическим параметром, отражающим процессы вегетативной регуляции в сердечно-сосудистой системе и организме в целом. Динамические характеристики ритма сердца позволяют оценить выраженность сдвигов симпатической и парасимпатической активности ВНС при изменении состояния пациента.

При анализе адаптационного синдрома, изменение активности ВНС, определяемое по отношению к тоническому уровню, может быть соотнесено с мерой адаптационных реакций организма, что дает возможность контроля выраженности стресса на всех его стадиях. Поскольку ритм сердца находится под контролем звеньев всех уровней управления функциями организма, то его анализ дает достоверную оценку адаптации системы кровообращения и организма в целом к действию стрессорных факторов.

Активность вегетативной регуляции оказывает влияние на изменение хронотропной структуры сердечного ритма. Математические методы анализа длительностей последовательного ряда межсистолических интервалов обнаруживают вариабельность сердечного ритма (ВСР) – изменчивость значений длительностей межсистолических ин-

тервалов относительно друг друга. Показатели ВСП отражают выраженность колебаний длительностей межсистолических интервалов по отношению к среднему уровню.

В покое, когда превалирует тонус парасимпатического отдела ВНС, эти колебания в норме носят относительно быстрый характер и значительная ВСП обусловлена, большей частью, вагусными влияниями. При активации симпатического отдела ВНС, происходящей во время стресса, колебания длительностей межсистолических интервалов происходят медленнее, и вариабельность сердечного ритма падает.

### 1.1 Основы метода вариационной пульсометрии

Для определения характеристик ВСП используется методика вариационной пульсометрии, основанная на регистрации физиологического процесса, параметры которого отражают сердечный ритм. Наиболее часто используется регистрация сигналов биоэлектрической активности сердца и пульсаций периферических артерий.

Методика вариационной пульсометрии заключается в выделении характерных точек сердечного цикла, соответствующих определенной его фазе, измерении длительностей последовательного ряда межсистолических интервалов (кардиоинтервалов – КИ) (рисунок 1) и вычислении диагностических показателей, которые характеризуют ВСП – «разброс» мгновенных значений длительностей относительно средних значений.

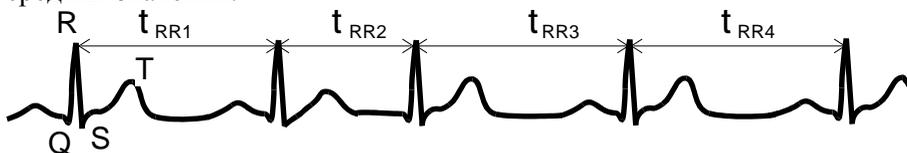


Рисунок 1 – Принцип измерения длительностей межсистолических интервалов (R-R-интервалов) ЭКГ сигнала

Наибольшее распространение в клинической практике получили методы вычисления диагностических показателей состояния организма человека, основанные на анализе ВСП во временной и частотной области.

В аппаратуре мониторингового контроля и управления состоянием человека для определения показателей вегетативной регуляции получил распространение **временной метод анализа** variability, позволяющий получить текущие диагностические оценки в реальном масштабе времени.

Статистический метод временного анализа ВСР основан на оценке параметров и характеристик распределения длительностей зарегистрированных КИ в выборке данных. Данное распределение можно представить в виде ступенчатой фигуры – **гистограммы** (рисунок 2), а показатели variability определить как характеристики формы гистограммы.

Для формирования гистограммы выбирается определенное число значений длительностей КИ, следующих друг за другом, образующих **выборку** КИ. При формировании данных для анализа ВСР производится редактирование массива зарегистрированных КИ с целью исключения «аномальных» по длительности КИ, обусловленных артефактами и наличием несинусового ритма (мерцательная аритмия, экстрасистолия).

**Объем выборки  $N_b$**  определяет статистическую достоверность оценки распределения длительностей зарегистрированных КИ. Для диагностики состояния организма используются «короткие» записи данных длительностью, не превышающей 5 минут. При мониторинговой оценке состояния объем выборки может быть сокращен до 50...150 КИ, однако, как показывают исследования, при выборе  $N_b < 100$  КИ падает статистическая достоверность результатов оценки.

При формировании гистограммы весь диапазон длительностей КИ разбивается на **интервалы группирования** равной ширины, например (рисунок 2), при значении интервала группирования равном 0,01с: 0,951–0,960; 0,961–0,970; 0,971–0,980; 0,981–0,990; 0,991–1,000.

Формирование гистограммы производится путем подсчета числа КИ, попадающих в соответствующие интервалы группирования, на которые разбивается весь диапазон длительностей КИ. Для визуальной оценки формы гистограммы она отображается на дисплее мони-

тора. По горизонтальной оси откладывается длительность КИ, по вертикальной, количество КИ в соответствующем интервале группирования (рисунок 2).

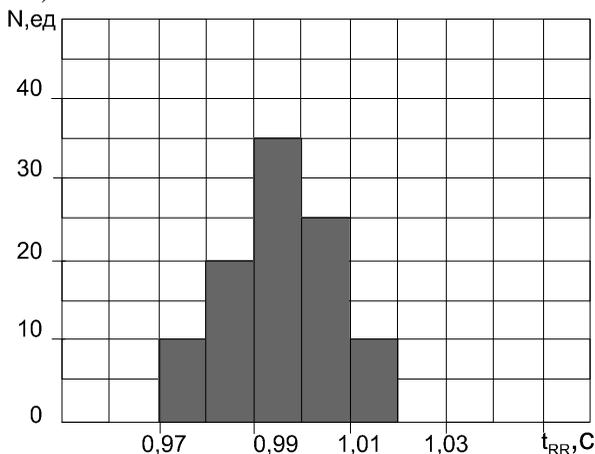


Рисунок 2 – Гистограмма распределения КИ,

$N_{в}=100$  – объем выборки,

$\Delta t_{иг}=0,01$  с – интервал группирования,

$A_{Мо}=35$  – амплитуда моды распределения КИ,

$Mo=0,99$  с – значение моды распределения КИ,

$\Delta X=0,05$  с – вариационный размах.

Для здоровых людей в состоянии покоя формируется «нормальная» гистограмма, огибающая которой близка по виду к симметричной кривой Гаусса. Ассиметричная форма гистограммы указывает на нарушение процесса регуляции ритма сердца и наблюдается при переходных состояниях.

Форма гистограммы отражает закон распределения длительностей зарегистрированных КИ, который можно описать следующим набором параметров – статистических оценок:

**Мо – мода распределения** – значение длительности КИ наиболее часто встречающееся в выборке КИ, в качестве  $Mo$  принимается начальное значение поддиапазона длительности, в котором отмечено наибольшее число КИ, выражается в секундах.

**АМо** – амплитуда моды распределения – число КИ, соответствующих по длительности поддиапазону моды, выражается в % к объему выборки.

**ΔХ** – вариационный размах – разность между максимальным и минимальным значением длительности КИ в выборке, выражается в секундах.

Данные параметры могут быть непосредственно использованы для количественного определения ВСР и, следовательно, для диагностической оценки активности вегетативной регуляции, или использоваться при вычислении более информативных, защищенных от влияния помех диагностических показателей.

В мониторингной аппаратуре для длительного слежения за текущим состоянием пациента, используется автоматизированная обработка данных по методу скользящей выборки.

Первоначально, для формирования гистограммы, вычисления статистических оценок и диагностических показателей берется выборка КИ, установленного объема  $N$ , начиная с 1-го по  $N$ -ый зарегистрированный КИ. Например, при объеме выборки  $N=100$ , сначала для обработки берутся значения длительностей КИ с порядковыми номерами с 1-го по 100-ый.

Результаты анализа в первом такте работы – графическое изображение гистограммы и значения вычисленных показателей отображаются на дисплее прибора.

В следующем такте работы происходит сдвиг «окна» выборки, т.е. для обработки берутся значения КИ с порядковыми номерами на единицу больше (в приведенном выше примере – со 2-го по 101-й). После вычислений, данные на экране дисплея обновляются: отображаются результаты анализа, полученные во втором такте работы. В дальнейших тактах работы происходит последующий сдвиг «окна», в результате чего информация на экране монитора обновляется с каждым тактом работы, то есть с каждым ударом сердца.

Быстродействие современных микроконтроллеров используемых в аппаратуре, позволяет наблюдать изменения отображаемых показателей variability ритма сердца на дисплее в реальном времени,

что обеспечивает оперативное слежение за динамикой изменения состояния человека.

Таблица 1 – Значения временных характеристик ВСР, рекомендуемых для диагностики состояния Европейским кардиологическим обществом

Величина	Ед.	Описание
SDNN	мс	Стандартное отклонение всех NN-интервалов
RMSSD	мс	Квадратный корень из средней суммы квадратов разностей между соседними NN-интервалами
SDSD	мс	Стандартное отклонение разностей между соседними NN-интервалами
NN50	ед	Количество пар соседних NN-интервалов, различающихся более чем на 50 мс
pNN50	%	Значение NN50, деленное на общее число NN-интервалов
TINN, "индекс Святого Георга"	мс	ширина основания треугольника, интерполирующего форму гистограммы распределения NN-интервалов
HRV, triangular index		отношение совокупности плотности распределения к максимуму плотности распределения, т.е. отношение общего числа КИ к количеству интервалов с наиболее часто встречающейся длительностью (АМо).

Анализ ВСР в частотной области применяется для выявления и оценки периодических составляющих сердечного ритма, отражающих волновую структуру динамики изменения ритма сердца за время регистрации.

Неравномерная выборка КИ при помощи методов передискретизации и интерполяции преобразуется в эквивалентную численную последовательность с равномерной выборкой, к которой применяются математические методы спектрального анализа (преобразование Фурье). Результатом частотного анализа является график спектра – зависимости мощности колебаний (по оси ординат) от их частоты (по оси абсцисс) (рисунок 3).

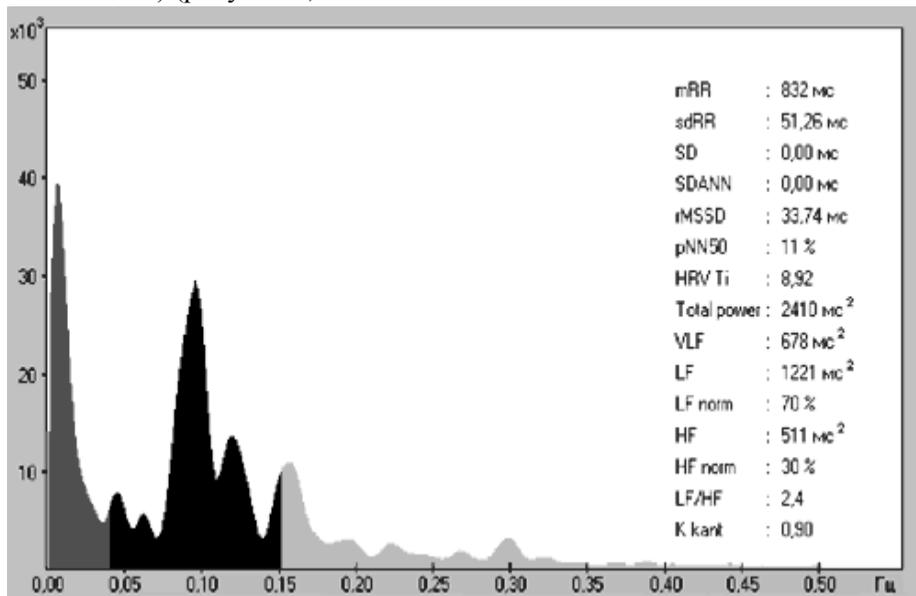


Рисунок 3 – Спектр ВСР при преобладании симпатической активности

Таблица 2 – Значения частотных показателей ВСР для коротких записей (5 минут), рекомендуемых для диагностики состояния Европейским кардиологическим обществом:

Величина	Ед.	Описание	Частотный диапазон
5-min total power	мс <sup>2</sup>	общая спектральная мощность,	до 0.4 Гц
VLF (very low frequency)	мс <sup>2</sup>	спектральная мощность очень низких частот	до 0.04 Гц

LF (low frequency)	мс <sup>2</sup>	спектральная мощность низких частот	0,04 – 0.15 Гц
HF (high frequency)	мс <sup>2</sup>	спектральная мощность высоких частот	0.15 – 0.4 Гц
LF/HF		отношение низкочастотной компоненты к высокочастотной	

### **Оценка показателей активности вегетативной регуляции**

Степень активности ВНС может быть определена по результатам контроля вегетативной регуляции важнейших систем организма и, в частности, по реакции сердечно-сосудистой системы. Здесь наиболее доступным для регистрации параметром, отражающим процессы регуляции, является ритм сердечных сокращений, динамические характеристики которого позволяют оценить выраженность симпатических и парасимпатических сдвигов при изменении состояния пациента.

Анализ активности вегетативной регуляции позволяет выявить сдвиги, характерные для диагностики целого ряда заболеваний, а также проследить за динамикой реакции ВНС в ответ на действие неблагоприятных факторов. Активность ВНС, определяемая по отношению к своему тоническому уровню, может быть соотнесена с мерой адаптационных реакций организма, что дает возможность контроля выраженности стресса на всех его стадиях: тревоги, резистентности, истощения.

Изучение диагностических показателей ВСР полученных по результатам вариационной пульсометрии для оценки выраженности стресса у здоровых лиц и у больных различного профиля проведено в ряде физиологических и клинических работ. Показано, в частности, по результатам массовых обследований практически здоровых лиц, что неудовлетворительная адаптация к условиям среды, оцененная по результатам вариационной пульсометрии, ведет к росту общей заболеваемости в этой группе обследуемых.

В кардиологии результаты вариационной пульсометрии используются как важный прогностический показатель при оценке риска после острого инфаркта миокарда, при диагностике недостаточности крово-

обращения, при оценке риска внезапной смерти. Показатели ВСР применяются для диагностики диабетической нейропатии; для оценки степени тяжести состояния больного в педиатрии при таких заболеваниях, как ОРВИ, бронхит, пневмония и т. д.; для контроля за действием лекарственных препаратов и эффективностью проводимого лечения; для объективизации выбора рецептуры точек при проведении игло-рефлексотерапии. В медицине критических состояний при проведении общей анестезии мониторинг показателей ВСР дает возможность проследить за динамикой реакции ВНС на операционную травму и наркоз.

Известно, что изменения показателей ВСР при стрессе наступает раньше, чем появляются выраженные гормональные и биохимические сдвиги, т.к. реакция нервной системы обычно опережает действие гуморальных факторов. Это позволяет в анестезиологии, путем наблюдения за показателями активности ВНС, своевременно корректировать глубину анестезиологической защиты и предупреждать появление выраженных проявлений стрессовой реакции.

В современных приборах клинического мониторинга (например, в мониторе пациента «КОРОС-300» и пульсоксиметре «ЭЛОКС-01»), реализующих методику вариационной пульсометрии, оценка состояния пациента проводится путем наблюдения и интерпретации гистограммы распределения КИ, величин и трендов вычисляемых в приборах диагностических показателей.

При наблюдении гистограммы распределения КИ можно выделить, по крайней мере, три ее основных типа, качественно и количественно характеризующих три основных состояния регуляторных систем организма: нормотоническое, симпатикотоническое, парасимпатотоническое, которые имеют определенные значения параметров.

Для количественной оценки формы гистограммы распределения КИ в приборах, названных выше, производится расчет статистических параметров  $M_0$ ,  $A_m$ ,  $\Delta X$  и диагностических показателей.

Для мониторингового контроля состояния пациента в приборах «ЭЛОН-001», «КОРОС-300» выбраны следующие диагностические показатели:

**ИН** – индекс напряжения (по Р.М. Баевскому), характеризующий состояние адаптационных реакций организма в целом;

**СИМ, ПАР** – индексы активности симпатического и парасимпатического отделов ВНС соответственно, характеризующих баланс вегетативной регуляции.

В приборе «ЭЛОКС-01» определяются следующие диагностические показатели:

**SDNN**, мс – стандартное (среднеквадратичное) отклонение КИ в выборке,

**HRV индекс** – триангулярный индекс,

ИН вычисляется по формуле:

$$ИН = A_{Mo} / 2 \cdot Mo \cdot \Delta X$$

где:  $A_{Mo}$ , ед – значение амплитуды моды гистограммы распределения КИ;  $Mo$ , с – значение моды;  $\Delta X$ , с – вариационный размах.

ИН учитывает отношение между основными показателями ритма сердца и отражает степень централизации процессов регуляции.

При объеме выборки КИ равное 100 ед и значении интервала группирования гистограммы 10мс состояние организма характеризуется следующими значениями показателей.

У хорошо физически тренированных лиц  $ИН = 80 \dots 140$  (среднесуточные колебания от 68 до 150) при среднесуточном значении 120.

В норме, как правило, имеют место координированные изменения показателей ВСР. Так для симпатикотонии характерно уменьшение значения моды (учащение пульса), обычно сопровождаемое увеличением  $A_{Mo}$  и уменьшением  $\Delta X$ , что приводит к увеличению ИН. Усиление парасимпатического тонуса, наоборот, ведет к уменьшению  $A_{Mo}$  и увеличению  $Mo$  и  $\Delta X$ , а ИН уменьшается.

ИН является наиболее часто используемым показателем, однако, недостатком его является нелинейность: интервал изменения ИН при парасимпатической активности колеблется от 0 до 100, а при симпатической от 200 до 1000 и более, т.е. количественная оценка изменений активности в разных диапазонах оказывается трудно сопоставимой.

Для наблюдения за балансом регуляции со стороны симпатического и парасимпатического отделов ВНС используются диагностические показатели СИМ и ПАР, имеющие одинаковую размерность, что позволяет, наблюдая за динамикой взаимного изменения индексов оценить реакцию отделов ВНС на воздействующие факторы:

менее 15 ед. – слабая активность,  
16-30 ед. – умеренная активность,  
более 30 ед. – высокая активность.

Индекс активности симпатического отдела ВНС вычисляется по формуле:

$$\text{СИМ} = 4 \cdot \text{АМо} / n_{20\%},$$

где:  $n_{20\%}$  ед. – число интервалов группирования гистограммы, содержащих количество КИ, превышающих уровень 20% от значения АМо.

У взрослого здорового человека в состоянии физического и психического покоя СИМ не превышает 15 ед. Увеличение СИМ свидетельствует о преобладании симпатического звена в регуляции ритма сердца (увеличение АМо и снижение  $n_{20\%}$  обуславливающее уменьшение степеней свободы в регуляции) и росте напряженности состояния организма.

Индекс активности парасимпатического отдела ВНС, ПАР, характеризует степень отклонения гистограммы распределения КИ от Гауссовского закона распределения. Чем больше отклонений от Гауссовского распределения, характеризующегося плавным убыванием количества КИ влево и вправо относительно моды распределения, тем сильнее активность вагусного влияния на регуляцию ритма сердца.

Визуальный контроль гистограммы на экране монитора позволяет быстро определить преобладающее влияние одного из отделов вегетативной нервной системы в регуляции ритма сердца.

При симпатикотонии (рисунок 4) гистограмма имеет узкое основание (малая величина вариационного размаха  $\Delta X$ ), большую высоту (рост АМо), возрастает величина СИМ, снижается ПАР.

Для преобладающего влияния парасимпатического отдела характерно: широкое основание (большое значение  $\Delta X$ ), малая высота

(уменьшение АМо) гистограммы, показатель СИМ снижается, возрастает ПАР.

Для гистограмм при симпатикотонии характерно плавное снижение высоты ее элементов с обеих сторон от значения  $M_0$ , гистограмма состоит, часто, из 2-3-х элементов. Для парасимпатикотонии характерны: отсутствие плавного снижения высоты элементов гистограммы слева и справа от  $M_0$ , неравномерность, "зазубренность" огибающей гистограммы.

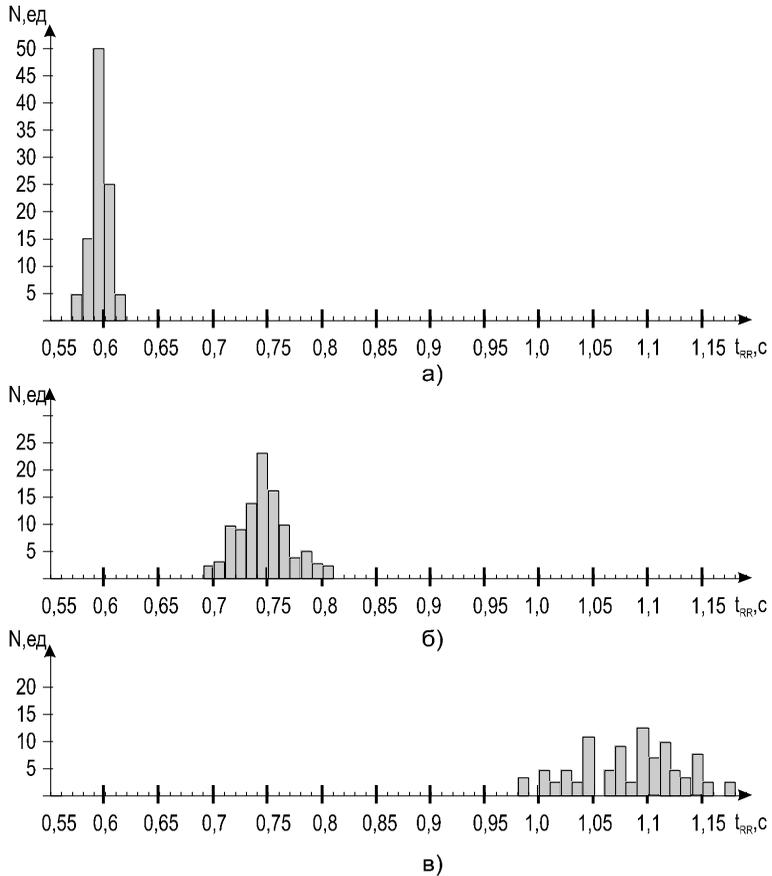


Рисунок 4 – Типы распределения длительностей КИ, здесь величина интервала группирования выбрана равной 10мс

- а) симпатотонический тип распределения КИ:  $AMo=50\%$ ,  $\Delta X=0.05c$ ,  $Mo=0.59c$ , СИМ=67, ПАР=0, ИН=847;
- б) нормотонический тип распределения КИ:  $AMo=23\%$ ,  $\Delta X=0.12c$ ,  $Mo=0.74c$ , СИМ=13, ПАР=10, ИН=129;
- в) парасимпатотонический тип распределения КИ:  $AMo=13\%$ ,  $\Delta X=0.2c$ ,  $Mo=0.109c$ , СИМ=3, ПАР=44, \ИН=30.

### 1.3 Монитор пациента анестезиологический «КОРОС 300»

Прибор предназначен для оперативного контроля состояния пациента во время анестезии и критических состояний путем наблюдения двух физиологических кривых – ЭКГ в одном из стандартных отведений и фотоплетизмограммы периферического пульса, а также слежения за текущими значениями частоты сердечных сокращений (ЧСС), степени насыщения гемоглобина артериальной крови кислородом ( $SpO_2$ ), показателей, получаемых методом вариационной пульсометрии, позволяющих в реальном масштабе времени оценить активность симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы.

Анализ сердечного ритма методом вариационной пульсометрии включает определение длительностей RR-интервалов зарегистрированной ЭКГ, построение гистограммы распределения КИ методом скользящей выборки, вычисление статистических показателей, вычисление диагностических показателей – индекса активности симпатического (СИМ) и парасимпатического (ПАР) отделов вегетативной нервной системы, индекса напряжения по методике Р.М. Баевского (ИБ).

#### *Технические данные:*

Диапазон входных напряжений канала регистрации ЭКГ, мВ	0,03...5
Неравномерность АЧХ канала ЭКГ в диапазоне 0.5...60 Гц, %	85...105
Диапазон измерения $SpO_2$ , %	0 – 100
ЧСС, уд/мин	30 – 250
Скорость развертки (ЭКГ, фотоплетизмограмма), мм/с	25, 50
Напряжение питания	220 В, 50 Гц

Потребляемая мощность, Вт, не более	12
Масса, кг, не более	2,5

Прибор имеет 4 режима отображения информации:

Режим ЭКГ – отображение электрокардиограммы

Режим пульсоксиметрии – отображение фотоплетизмограммы

Режим трендов – отображение трендов  $SpO_2$ , ЧСС, показателей активности симпатического и парасимпатического отделов ВНС за 20 мин., 1 час или 4 часа.

Режим анализа сердечного ритма – отображение гистограммы распределения RR интервалов, статистических показателей распределения, диагностических показателей.

Одновременно на экране может присутствовать два любых режима. В любом из режимов на дисплее индицируются значения  $SpO_2$ , ЧСС, установленные значения порогов срабатывания сигнализации, текущее время, а также предупреждения о неподключенных датчиках, отсутствии пульсовой волны и др.

На передней панели прибора расположены (рисунок 5):

графический жидкокристаллический дисплей 1;

блок кнопок управления 2, содержащий кнопки:

“Параметры” – установка параметров работы прибора;

“Печать” – включение режима печати;

“Режимы” – выбор режима отображения;

“Пороги” – установка порогов срабатывания сигнализации;

“Тревога” – отключение сигнализации;

“←”, “→”, “↓”, “↑” - управление меню.

кнопка 3 "Сеть" включения питания прибора;

регулятор контрастности дисплея 4;

гнездо разъема 5 для подключения кабеля первичного преобразователя канала  $SpO_2$ ;

гнездо разъема 6 для подключения кабеля электродов;

индикатор срабатывания сигнализации 7.

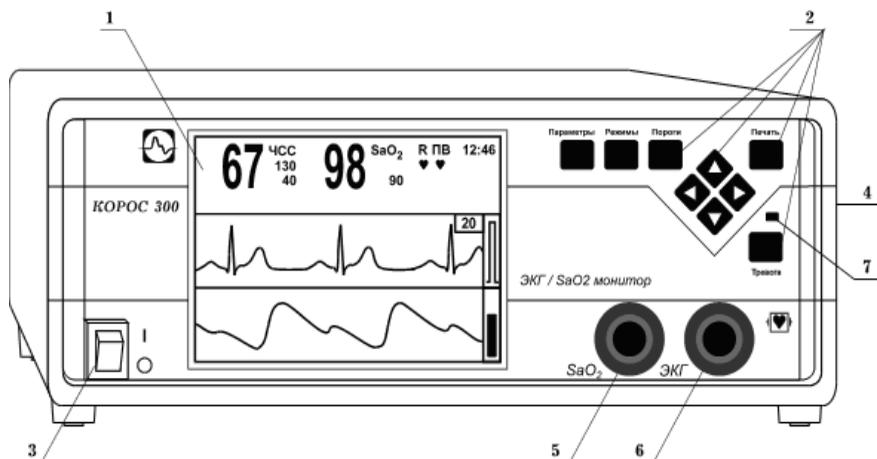


Рисунок 5 – Внешний вид прибора «КОРОС-300»

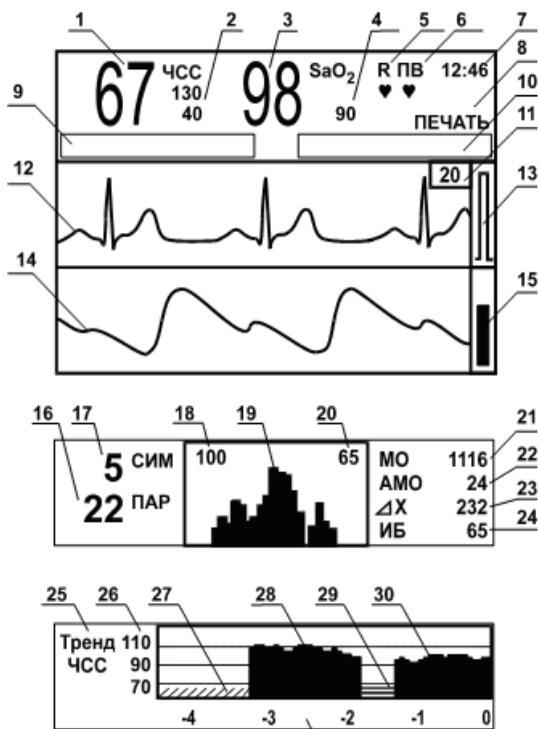


Рисунок 6 – Информация, отображаемая на дисплее прибора «КОРОС-300»

На дисплее прибора отображается следующая информация (рисунок 6):

Значение ЧСС в ударах в минуту 1. Величины верхнего и нижнего порогов срабатывания сигнализации по ЧСС 2. Это значение может быть изменено с помощью меню (кнопка “ПОРОГИ”). Значение SpO<sub>2</sub> в процентах 3. Величина нижнего порога срабатывания сигнализации по SpO<sub>2</sub>, 4. Это значение может быть изменено с помощью меню (кнопка “ПОРОГИ”). Индикатор обнаружения R-зубца 5. Символ “♥” появляется на короткое время при каждом обнаружении R-зубца. Индикатор обнаружения пульсовой волны 6. Символ “♥” появляется на короткое время при каждом обнаружении пульсовой волны. Текущее время 7. Установка текущего времени производится с помощью меню (кнопка “ПАРАМЕТРЫ”); Индикатор режима печати 8. Индикатор состояния канала регистрации ЭКС 9. Индикатор состояния канала SpO<sub>2</sub> 10.

В режиме ЭКГ на дисплее прибора отображаются:  
графическое изображение электрокардиограммы 12;  
калибровочный сигнал, соответствующий амплитуде 1 мВ 13;  
значение чувствительности 11, выраженное в мм/мВ – только при установке чувствительности вручную.

В режиме фотоплетизмограммы на дисплее отображаются:  
- кривая фотоплетизмограммы 14;  
- столбик в виде прямоугольника 15, высота которого характеризует уровень периферического кровотока в месте расположения датчика. Низкий уровень, зафиксированный индикатором, свидетельствует о значительном снижении кровотока. При улучшении гемодинамики индикатор увеличивает свои показания.

В режиме гистограммы (анализа сердечного ритма) на дисплее отображаются:

графическое изображение гистограммы распределения КИ 19;  
значения статистических параметров распределения КИ (моды 21, амплитуды моды 22, вариационного размаха 23);  
значения диагностических показателей (СИМ 17, ПАР 16, ИБ 24);

при количестве зарегистрированных КИ меньше установленного значения выборки также отображается значение выборки 18 и количество зарегистрированных КИ 20.

В режиме трендов на дисплее отображаются:

индикатор типа тренда 25 (ЧСС, SpO<sub>2</sub>, СИМ, ПАР);

координатная ось по Y (значение ЧСС, SpO<sub>2</sub>, СИМ или ПАР) 26;

координатная ось по X (время) 31;

тренд одного из значений (ЧСС, SpO<sub>2</sub>, СИМ, ПАР) 28, 30 отображаемый для интервалов времени, когда прибор выдавал показания;

- отметка 27 в виде ряда наклонных линий, соответствующая интервалам времени;

- отметка 29 в виде двух горизонтальных линий, соответствующая интервалам времени, когда данные отсутствовали (например, при отключенном датчике канала SpO<sub>2</sub>).

#### 1.4 Пульсоксиметр «ЭЛОКС-01»

Прибор обеспечивает, с помощью оптического пальцевого датчика, непрерывное определение и цифровую индикацию значения степени насыщения гемоглобина крови кислородом (SpO<sub>2</sub>) и значения частоты сердечных сокращений (ЧСС), а также обеспечивает отображение фотоплетизмограммы и тренда насыщения гемоглобина кислородом на графическом жидкокристаллическом дисплее, сигнализацию выхода указанных значений за установленные пределы. Особенностью прибора является реализация новой технологии слежения за состоянием пациента – «OXI-HRV» основанной на одновременном слежении за изменением традиционных «пульсоксиметрических» показателей состояния пациента (SpO<sub>2</sub> и ЧСС) и изменением показателей ВСР, получаемых в приборе за счет кардиоинтервалографической обработки сигнала пульсоксиметрического датчика. Следящее определение показателей вариабельности ритма сердца позволяет получить информацию об адекватности анестезиологической защиты, действии послеоперационного стресса, тяжести состояния больных в реанимации и при проведении интенсивной терапии.

Прибор позволяет подключать ПЭВМ для реализации методики вариационной пульсометрии в реальном масштабе времени с вычис-

лением диагностических показателей активности симпатической и парасимпатической регуляции во временной и частотной области.

*Основные технические данные прибора:*

Диапазон показаний прибора по каналу SpO <sub>2</sub> , %	0...99
Диапазон определения ЧСС, уд/мин	30...250
Время установления показаний ЧСС и SpO <sub>2</sub> , не более, с	10
Время непрерывной работы прибора, час	24
Потребляемая мощность от сети переменного тока 220В, 50 Гц не более, Вт	10
Масса прибора, не более, кг	2

Принцип действия пульсоксиметра «ЭЛОКС-01» основан на различии спектральных характеристик насыщенного и ненасыщенного кислородом гемоглобина. Прибор осуществляет просвечивание участка тела пациента (например, первой фаланги пальца руки) оптическим излучением на двух длинах волн красного и ближнего инфракрасного диапазонов. В результате пульсаций артериальной крови в тканях прошедшее излучение – фотоплетизмограмма, содержит пульсирующую составляющую (пульсовую волну), амплитуда которой связана с поглощением излучения в гемоглобине артериальной крови. Прибор определяет относительную амплитуду пульсовой волны на двух длинах волн и вычисляет значение степени насыщения гемоглобина кислородом по эмпирической формуле.

Величина ЧСС определяется по фотоплетизмограмме на основе измерения длительностей межпульсовых интервалов. Измеренные значения длительностей передаются в ПЭВМ для отображения информации и вычисления диагностических показателей по методике вариационной пульсометрии с помощью программы «ELOGRAPH», рассмотренной ранее.

На передней панели приборов расположены (рисунок 7):  
-сетевой выключатель 6;  
-транспарант «ТРЕВОГА» 5, индицирующий срабатывание сигнализации;

-цифровой дисплей для отображения текущих значений  $SpO_2$  и ЧСС 3;  
 -блок кнопок управления 2, содержащий кнопку отключения сигнализации "X", кнопку включения режима печати "☰", а также кнопки установки режимов работы и порогов сигнализации "↻", "↓", "↑".

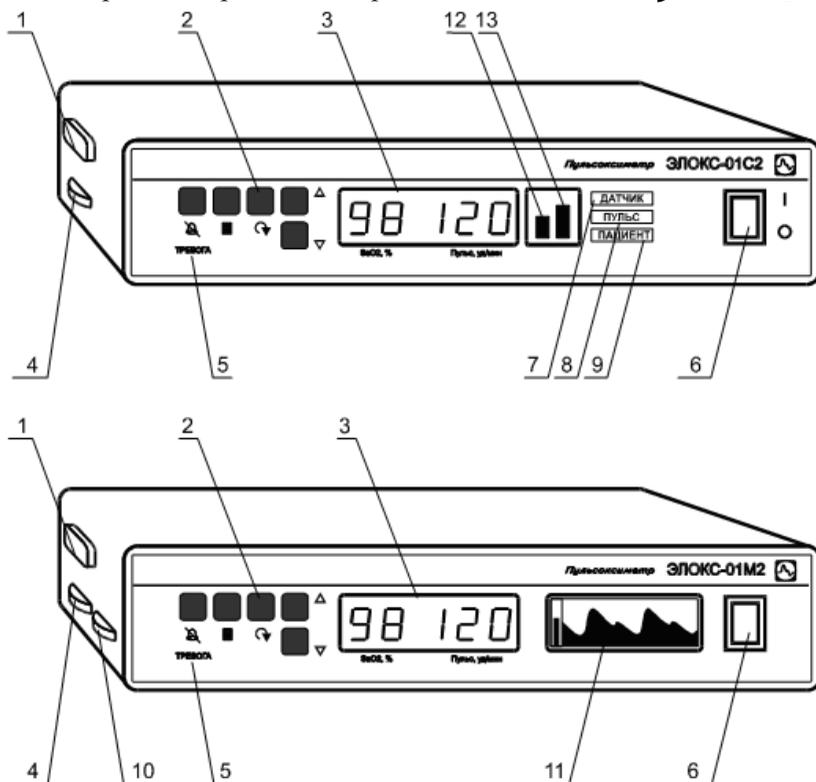


Рисунок 7 – Внешний вид прибора «ЭЛОКС» в двух модификациях – С2 (вверху), М2 (внизу)

Кроме того, у модели М2 на передней панели расположен графический жидкокристаллический дисплей 11, а у модели С2 – световые информационные табло «датчик» 7, «пульс» 8, «пациент» 9, индикатор амплитуды пульсовой волны 12, индикатор артериальных пульсаций 13.

На боковой поверхности корпуса приборов расположены:  
 гнездо разъема 1 для подключения датчика;

регулятор громкости звуковых сигналов 4;

регулятор контрастности дисплея 5;

На задней поверхности корпуса прибора расположены разъем для подключения кабеля от ПЭВМ и ввод сетевого провода.

Фотоплетизмографический датчик пальцевого типа (рисунок 8) представляет собой зажим, состоящий из двух элементов 1 и 2, скрепленных осью 3, фиксируемый на пальце пружиной 4. В элементе 1 установлены излучатели, а в элементе 2 – фотоприемник, снабженный выпуклой линзой. Датчик подключается к прибору с помощью кабеля 6 с разъемом 5.

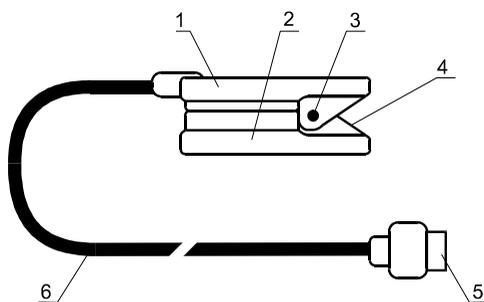


Рисунок 8 – Внешний вид фотоплетизмографического датчика

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### 2.1 Исследование системы мониторинга сердечного ритма с использованием прибора «ЭЛОКС-01»

1. Ознакомиться с руководством по эксплуатации прибора «ЭЛОКС-01» и программы обработки данных «ELOGRAPH»
2. Включить прибор и запустить программу обработки данных «ELOGRAPH»

Изучить изменение показателей ВСР на функциональные пробы:

- а) глубокий вдох, выдох;
- б) физическая нагрузка (приседание, велоэргометр);
- в) ортостатическая проба;
- г) психоэмоциональная нагрузка.

Записать изменения показателей ВСП определенные на фоне проведения проб по сравнению с состоянием покоя.

## **2.2. Изучение способов диагностики функционального состояния и резервов организма**

У лиц, занимающихся физической культурой и спортом с помощью функциональных проб можно выявить степень физической тренированности. С этой целью могут быть использованы Гарвардский степ-тест, активная ортостатическая проба, а также пробы с приседаниями. Пробы позволяют количественно оценить восстановительные процессы в организме после дозированной мышечной работы и сделать заключение об уровне физической работоспособности испытуемого.

Система также позволяет исследовать адаптационные показатели человека, характеризующие меру адекватности нагрузки в физкультуре, спорте, образовании.

### **Гарвардский степ-тест**

С помощью Гарвардского степ-теста количественно оцениваются восстановительные процессы в организме после дозированной мышечной работы и делается заключение об уровне физической работоспособности испытуемого.

Тест заключается в повторных подъемах и спусках со ступеньки стандартной высоты в определенном темпе за определенное время. Оценка физической работоспособности испытуемого производится по величине показателя – индекса Гарвардского степ-теста (ИГСТ), вычисляемого по результатам измерения ЧСС (в уд/мин) по окончании первой – ЧСС<sub>1</sub>, второй – ЧСС<sub>2</sub>, третьей минуты – ЧСС<sub>3</sub> от момента окончания пробы.

$$\text{ИГСТ} = 100 \cdot T / (\text{ЧСС}_1 + \text{ЧСС}_2 + \text{ЧСС}_3),$$

где T, сек – время выполнения теста.

Результаты и оценки:

ИГСТ=51-60 – низкая физическая работоспособность

61-70 – достаточная,

71-80 – хорошая,  
81-90 – очень хорошая,  
более 91 – отличная.

### **Активная ортостатическая проба**

Проба включает измерение ЧСС у испытуемого, находящегося в течении пяти минут в горизонтальном положении лежа и через 1 минуту после принятия положения стоя.

Результаты оценки физической тренированности определяются по разности значений ЧСС измеренных в положении стоя – ЧСС<sub>1</sub> и лежа – ЧСС<sub>2</sub>:

$$\Delta\text{ЧСС}=\text{ЧСС}_1-\text{ЧСС}_2$$

Результаты оценки:

$\Delta\text{ЧСС}=0-12$  – хорошая физическая тренированность,  
13-18 – слабая,  
18-25 – отсутствие физической тренированности,  
более 25 – переутомление, заболевание.

### **Пробы с приседаниями**

Проба включает выполнение 20 приседаний с подниманием рук вперед. Результаты оценки физической тренированности определяются по разности значений ЧСС, измеренных до (ЧСС<sub>1</sub>) и после (ЧСС<sub>2</sub>) приседаний:

$$\Delta\text{ЧСС}=100\% \cdot (\text{ЧСС}_2-\text{ЧСС}_1)/\text{ЧСС}_1$$

Результаты оценки:

$\Delta\text{ЧСС}=\text{менее } 25\%$  – отлично,  
от 25 до 50% – хорошо,  
от 50 до 75% – удовлетворительно,  
более 75% – плохо.

Проведение данных проб позволяет изучить методики объективной диагностики состояния человека и показать на конкретных примерах необходимость мониторинга и контроля состояния.

## **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Цель работы.
2. Структура системы мониторинга сердечного ритма.
3. Графики показателей ВСР в ответ на проведение функциональных проб.
4. Алгоритмы диагностики состояния по методике п.2.2.
5. Результаты диагностики состояния по одной из методик п.2.2.
6. Выводы о полученных результатах, сопоставление с теорией.

## **Библиографический список**

1. Калакутский Л.И., Манелис Э.С. Аппаратура и методы клинического мониторинга, Самара, СГАУ, 1999. – 160с.
2. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения, Москва. – 2000. – 314 с.
3. Баевский Р.М., Кирилов О.И., Клецкин С.В. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. – М.:Наука, 1984. – 219с.

*Учебное издание*

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СЕРДЕЧНОГО РИТМА**

*Методические указания*

Составители: Федотов Александр Александрович

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева  
443086 Самара, Московское шоссе, 34