

Министерство здравоохранения Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Приволжский исследовательский медицинский университет»
ООО «СкринКардио-НН»
ООО «Кардиотехника-НН»

**АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА
МЕТОДАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ
с использованием программного обеспечения «Скрин-Варио»**

Методическое пособие

Нижний Новгород – 2021

УДК 612.178/176:612.897:616-71

ББК 52.527.0:53.433.7

Мухина И.В., Самодро В.А., Голубев А.Г. Анализ variability сердечного ритма методами нелинейной динамики с использованием пакета программ «Скрин-Варио»: методическое пособие / Мухина И.В., Самодро В.А., Голубев А.Г. - Н. Новгород: Изд-во ПИМУ, 2020. – 36 с.: ил.

Рецензенты:

заведующий кафедрой физиологии и анатомии института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», д.б.н., доцент
А.В. Дерюгина

заведующий Городским кардиологическим диспансером и ревматологическим центром ГБУЗ НО ГКБ № 5, г. Нижний Новгород, врач-кардиолог
Е.С. Тимощенко

Рекомендовано Центральной методической комиссией

ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России

В методическом пособии дана подробная информация по использованию программного пакета «Скрин-Варио», предназначенного для анализа variability сердечного ритма методами нелинейной динамики. Пособие разработано для хронокардиографа «Скрин-Варио».

Методическое пособие предназначено для врачей различных специальностей, специалистов со средним медицинским образованием, обучающихся по программам дополнительного профессионального образования, и студентов медицинских вузов.

©

Коллектив авторов, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	7
Глава 1. Общее понятие о функциональном состоянии организма и аналитических методах его оценки.....	8
1.1 Функциональное состояние организма.....	8
1.2 Основные научно-теоретические концепции, положенные в основу анализа вариабельности сердечного ритма.....	8
1.3 Анализ вариабельности сердечного ритма методами нелинейной динамики.....	13
1.4 Построение классификационных моделей функционального состояния регуляторных систем организма человека.....	23
Глава 2. Анализ вариабельности сердечного ритма с помощью пакета программ «Скрин-Варио».....	25
2.1 Принцип работы.....	25
2.2 Особенности программы.....	26
ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	28
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	30

ПРЕДИСЛОВИЕ

Анализ variability сердечного ритма применяется для объективной оценки функционального состояния человека (физиологической, количественной оценки степени выраженности функциональных, психосоматических расстройств; управления режимом воздействия при использовании автоматизированных методов коррекции функционального состояния; контроля динамики состояния пациента в процессе лечения, оценки эффективности проводимой терапии и т.п.).

По набору показателей пакет программ «Скрин-Варио» соответствует международным требованиям к оценке variability ритма сердца. Оперативно определяет функциональное состояние организма, позволяет дать количественную оценку реакции организма на комплекс стресс-реакций и восстановительных мероприятий в условных единицах (баллах) показателей уровня адаптации регуляторных систем.

В соответствии с классификационной моделью функционального состояния регуляторных систем организма человека, построенной на основе применения известных критериев стадий адаптационного процесса, выделяется 9 вариантов функционального состояния адаптации регуляторных систем: (1) нормальный уровень регуляции (оптимальный уровень активности регуляторных систем при балансе симпатического и парасимпатического звеньев ВНС, умеренной активности гуморальной системы регуляции); (2) состояние функционального напряжения, 1 стадия срочной адаптации (физиологически адекватная стресс-реакция, повышение вклада в регуляцию симпатического звена автономной нервной системы); (3) состояние функционального напряжения, 2 стадия срочной адаптации (избыточная стресс-реакция, значительное напряжение механизмов срочной адаптации, повышение вклада в регуляцию симпатического звена автономной нервной системы,

гуморальной системы регуляции, надсегментарного звена регуляции); (4) переходный уровень к долговременной адаптации, 1 стадия (баланс симпатического и парасимпатического звеньев ВНС, высокая активность автономной нервной системы); (5) переходный уровень к долговременной адаптации, 2 стадия (повышенная активность парасимпатического звена автономной нервной системы, высокая активность всех регуляторных систем); (6) долговременная адаптация (повышенная активность парасимпатического звена автономной нервной системы); (7) долговременная адаптация 2 степени (напряженный уровень долговременной адаптации регуляторных систем при преобладании парасимпатического звена ВНС); (8) состояние перенапряжения (снижение адаптационного резерва, переходный уровень долговременной адаптации регуляторных систем к стадии истощения); (9) стадия истощения (дезадаптация).

Пакет программ «Скрин-Варио» для анализа variability сердечного ритма методами нелинейной динамики разработан специалистами федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации и общества с ограниченной ответственностью «СкринКардио-НН» на основе методических рекомендаций «Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем», подготовленных в соответствии с решением Комиссии по клинко-диагностическим приборам и аппаратам Комитета по новой медицинской технике Министерства здравоохранения Российской Федерации, протокол № 4 от 11 апреля 2000 г.) и соответствует международным стандартам измерения, физиологической интерпретации и клинического использования параметров variability сердечного ритма, принятых Европейским обществом кардиологов и северо-американским обществом и электрофизиологии (1996).

В методическом пособии дана информация по основным понятиям оценки функционального состояния организма с помощью анализа вариабельности сердечного ритма, в том числе методами нелинейной динамики, описанию и использованию программного пакета «Скрин-Варио», используемого в хронокардиографе «Скрин-Варио» (ООО «АФС 52», Нижний Новгород).

По всем вопросам, связанным с приобретением и эксплуатацией пакета программ «Скрин-Варио», обращайтесь в ООО «СкринКардио-НН» по адресу 603105, г. Нижний Новгород, ул. Ванеева, д. 5/4, vs@screencardio.com

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АНС	- автономная нервная система
ВСР	- вариабельность сердечного ритма
мс	- миллисекунда
ПО	- программное обеспечение
СА	- синусовая аритмия
СР	- сердечный ритм
ЧСС	- частота сердечных сокращений
ЭКГ	- электрокардиограмма
N_n	- геометрический цикл хаосграммы
RR	- длина интервала ЭКГ

Глава 1. Общее понятие о функциональном состоянии организма и аналитических методах его оценки

1.1 Функциональное состояние организма

Важнейшими характеристиками функционирования организма на всех этапах его жизни являются не только определенный результат физиологически и социально целесообразной деятельности, но и динамика широкого спектра показателей различных физиологических систем человеческого организма.

Регуляторные системы организма – это постоянно действующий аппарат слежения за состоянием всех систем и органов, их взаимодействием и за соблюдением равновесия между организмом и средой. Активность регуляторных систем зависит от функционального состояния организма.

Функциональное состояние – тоническая составляющая активности отдельных систем, органов или целостного организма, обеспечивающая реагирование на внешние и внутренние воздействия.

Для оценки функционального состояния организма общепринятым объективным тестом является анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР). Как российские, так и международные эксперты единогласно отмечают значительный потенциал оценки ВСР при различных функциональных состояниях здорового организма, в том числе при спортивных нагрузках, а также при сердечно-сосудистых, неврологических заболеваниях и др. заболеваниях для оценки тяжести патологического процесса, прогнозирования риска и исходов, динамики эффективности лечения с учетом персонального фона вегетативной/гуморальной регуляции сердца.

1.2 Основные научно-теоретические концепции, положенные в основу анализа вариабельности сердечного ритма

В соответствии с концепцией В.В. Парина (Парин, 1963) система кровообращения, в том числе сердце, может служить индикатором адаптационных реакций целостного организма. Практическая реализация этой концепции в виде конкретной методологии и технологии измерения параметров функционального состояния организма характеризуется рядом важных особенностей.

Во-первых, хорошо известны и общедоступны методы измерения уровня функционирования системы кровообращения (минутный и ударный объем сердца, частота пульса, артериальное давление).

Во-вторых, для оценки системы вегетативной регуляции сердца и сосудов могут быть использованы данные о вариабельности параметров системы кровообращения, из которых наиболее простым и доступным для анализа является сердечный ритм. Сердце как центральный орган системы кровообращения имеет несколько контуров регуляции – миогенной, нервной и гуморальной. Это обеспечивает гибкость приспособления сердца к непрерывно изменяющимся условиям окружающей среды в результате деятельности механизмов регуляции. Таким образом, контролируя деятельность механизмов регуляции сердца, можно фактически получить информацию об адекватности реакции приспособительных механизмов организма в целом на разнообразные воздействия изменяющихся условий окружающей среды.

В-третьих, хорошо известны компенсаторные механизмы, обеспечивающие приспособление кардиореспираторной системы к изменениям среды. К ним относятся разнообразные рефлекторные механизмы, увеличение легочной вентиляции, скорости кровотока, потребления кислорода, гиперфункция сердца, оптимизация метаболических процессов в тканях и др. Все эти механизмы как звенья единой функциональной системы действуют в направлении получения конечного результата - поддержания сердечно-сосудистого гомеостаза. Следовательно, имеется возможность при использовании соответствующих методов анализа вариабельности показателей

сердечной деятельности оценить не только результат адаптационной реакции организма, но и выявить степень участия в этой реакции различных уровней и звеньев регуляторного механизма.

У здоровых людей интервал времени от начала цикла одного сердечного сокращения до начала другого не является одинаковым, он постоянно меняется. Непостоянство интервала (вариабельность) между кардиоциклами находится в пределах определенной средней величины, являющейся оптимальной для рассматриваемого функционального состояния организма и возрастной нормы. Вариабельность сердечного ритма хорошо отражает также степень напряжения регуляторных систем, обусловленную возникающей в ответ на любое стрессорное воздействие активацией системы гипофиз-надпочечники и реакцией симпатoadреналовой системы.

Анализ вариабельности сердечного ритма основан на распознавании и измерении временных интервалов между R-зубцами ЭКГ (R-R-интервалы), построении динамических рядов кардиоинтервалов (кардиоинтервалограммы) и последующего анализа полученных числовых рядов различными математическими методами.

В зависимости от научных или практических задач используется один из следующих трех подходов к оценке вариабельности кардиоинтервалов:

1. изменения сердечного ритма исследуются в связи с адаптационной реакцией целостного организма на внешнее стрессорное воздействие, как проявление различных стадий общего адаптационного синдрома;

2. изменения сердечного ритма исследуются в связи с деятельностью механизмов нейрогормональной регуляции как результат активности различных звеньев автономной нервной системы (АНС) и гуморальной системы регуляции;

3. изменения сердечного ритма исследуются как результат влияния многоконтурной, иерархически организованной многоуровневой системы управления физиологическими функциями организма. При этом изменения показателей вариабельности сердечного ритма считаются обусловленными

формированием различных функциональных систем, соответствующих требуемому на данный момент адаптивному результату (Мухина, 2005).

Функциональная система регуляции сердечной деятельности может быть представлена в виде двух уровней (контуров) – центрального и автономного, с прямой и обратной связью (Баевский, 2001). При этом воздействие автономного уровня (контура) идентифицируется с дыхательной аритмией, а центрального – с недыхательной аритмией. В состав центрального уровня регуляции входит и канал гуморальной связи (рис. 1).

Рабочими структурами автономного контура регуляции являются: синусовый узел, блуждающие нервы и их ядра в продолговатом мозгу (контур парасимпатической регуляции). При этом дыхательная система рассматривается как элемент обратной связи в автономном контуре регуляции сердечного ритма.

Деятельность центрального контура регуляции, который идентифицируется с симпатoadреналовыми влияниями на ритм сердца, связана с недыхательной синусовой аритмией и характеризуется различными по длительности медленноволновыми составляющими сердечного ритма. Прямая связь между центральным и автономным контурами осуществляется через нервные (в основном симпатические) и гуморальные связи (Рябыкина, Соболев, 2000). Обратная связь обеспечивается афферентной импульсацией с барорецепторов сердца и сосудов, хеморецепторов и обширных рецепторных зон органов и тканей.

Автономная регуляция в условиях покоя характеризуется наличием дыхательной синусовой аритмией, особенно выраженной у лиц молодого возраста. Дыхательные волны усиливаются во время сна, когда уменьшаются центральные влияния на автономный контур регуляции. Стрессорные нагрузки на организм, требующие включения в процесс управления сердечного ритма центрального контура регуляции, ведут к ослаблению дыхательного компонента синусовой аритмии и к усилению ее недыхательного компонента.

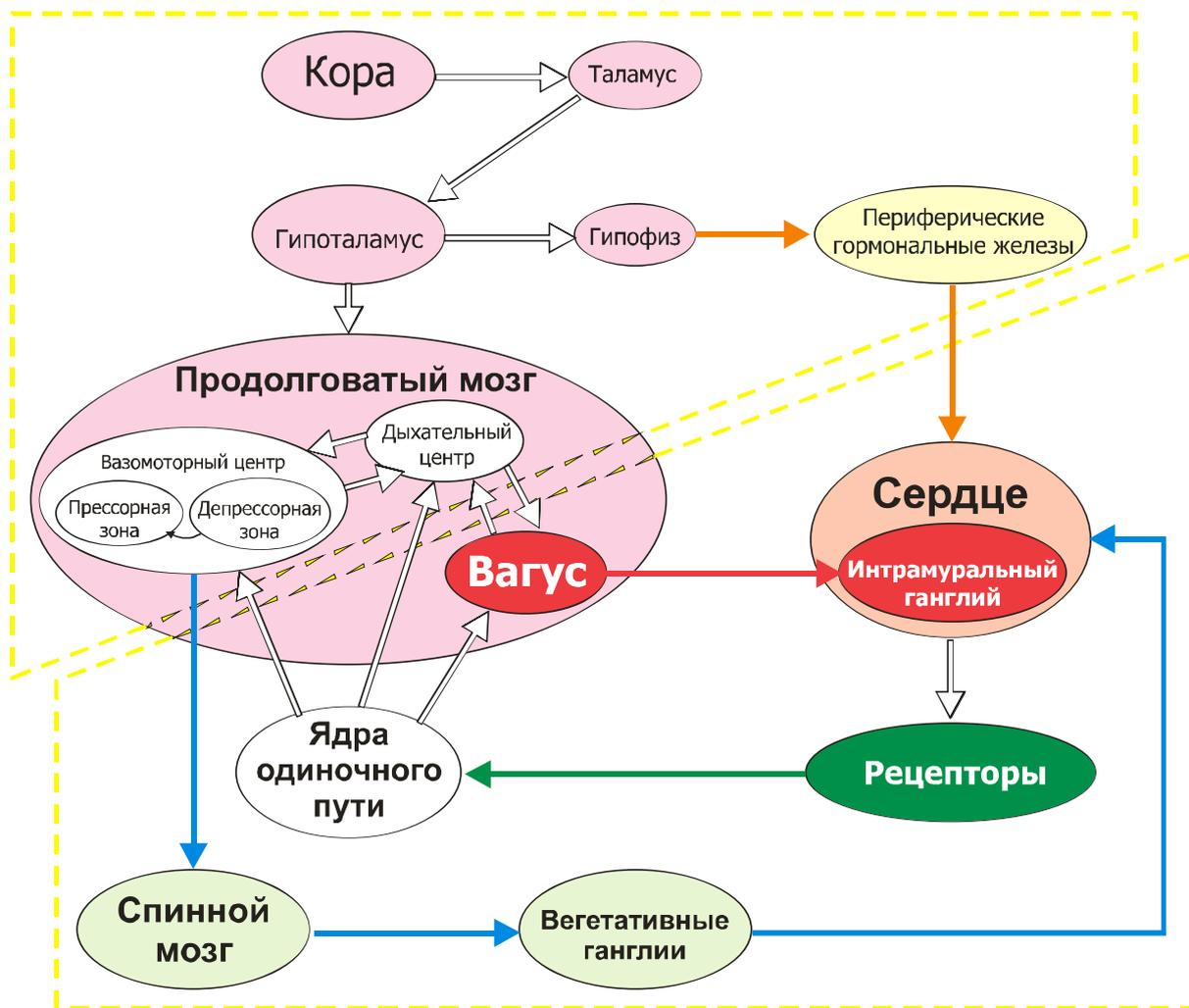


Рисунок 1 - Схема двухконтурной модели регуляции сердечного ритма по Баевскому с дополнениями (Мухина и др., 2015)

Центральный контур регуляции сердечного ритма – это многоуровневая система нейрогуморальной регуляции физиологических функций, которая включает в себя многочисленные звенья от подкорковых центров продолговатого мозга до гипоталамо-гипофизарного уровня вегетативной регуляции и коры головного мозга. Ее структуру можно схематично представить состоящей из трех подуровней. Этим подуровням соответствуют не столько анатомо-морфологические структуры мозга, сколько определенные функциональные системы регуляции, обеспечивающие:

- (1) взаимодействие организма с внешней средой (срочная адаптация организма к внешним стрессорным воздействиям);
- (2) устойчивое равновесие различных систем организма между собой и межсистемный функциональный гомеостаз за счет работы гипоталамо-гипофизарной системы, обеспечивающей гормонально-вегетативный гомеостаз;
- (3) внутрисистемный гомеостаз в различных системах организма, в частности в кардиореспираторной системе за счет надсегментарных нервных центров ствола головного мозга, в частности вазомоторный центр, оказывающего стимулирующее или угнетающее действие на сердце через волокна симпатических нервов.

1.3 Анализ variability сердечного ритма методами нелинейной динамики

Для анализа ВСР в пакете программ «Скрин-Варио» использованы методы математической теории нелинейных динамических систем, в частности теории детерминированного хаоса.

Детерминированный хаос — абстрактное математическое понятие, обозначающее детерминированный процесс в детерминированной нелинейной системе, обусловленный свойством данной системы проявлять неустойчивость, чувствительную зависимость динамики системы от малых возмущений.

Теоретические исследования показали, что системы с детерминированной хаотической динамикой имеют нецелочисленную размерность, т.е. фрактальную. Нелинейная динамическая система с хаотической динамикой может быть более устойчива к возмущающим воздействиям, чем линейная динамическая система, имеющая одно стационарное состояние или периодический режим. Несмотря на хаотичность динамики, некоторые переменные нелинейной динамической системы могут изменяться в узких

пределах и быть устойчивыми к возмущающим воздействиям (состояние гомеостаза для биологических систем). При изменении значений некоторых параметров нелинейной динамической системы ее поведение может меняться от периодического, квазипериодического до хаотического.

Для идентификации детерминированного хаоса используются разные методы теории нелинейных динамических систем. Например, вычисление корреляционной размерности (D_2), корреляционной энтропии (K_2), показателя Ляпунова (λ) (например, при изоляции сердца вариабельность сердечного ритма значительно снижается, однако и в этом случае хаотическая структура ритма, оцененная по экспоненте Ляпунова, сохраняется (Дворников, 2002)), расчет размерности аттрактора — области притяжения точек фазового пространства динамической системы (например, область гомеостаза для биологических систем).

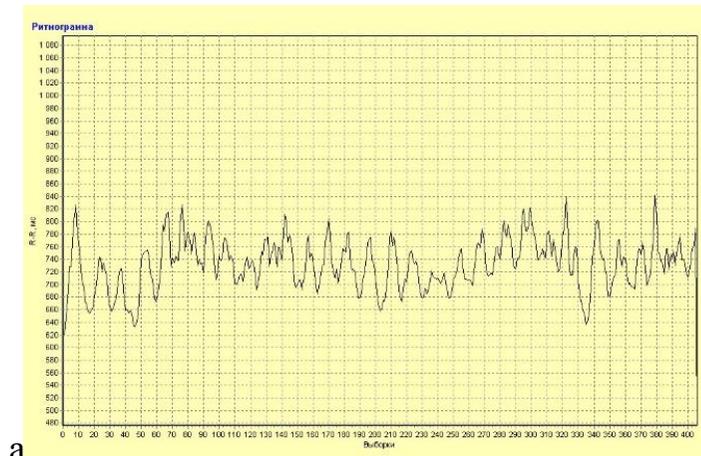
Для некоторых характеристик детерминированного хаоса имеются разногласия по поводу интерпретации терминов, например, для терминов корреляционная размерность и показатель Ляпунова. Размерность - понятие геометрическое и является геометрической мерой «странных аттракторов». Показатель Ляпунова используется в качестве динамической характеристики и вычисляется как скорость экспоненциальной расходимости точек фазового пространства.

Следует отметить, что для детерминированного хаоса характерна нецелочисленная (фрактальная) размерность аттрактора. Такой аттрактор, в отличие от аттракторов с целочисленной размерностью (размерность 1 — неподвижная точка, 2 — предельный цикл, 3 — квазипериодический режим), получил название "странный аттрактор". Наблюдения в живой и неживой природе показали, что детерминированные системы, не являясь хаотическими, могут иметь весьма сложную динамику, и, наоборот, хаотическая динамическая система может иметь аттрактор, не являющийся странным (Гласс, Мэки, 1991).

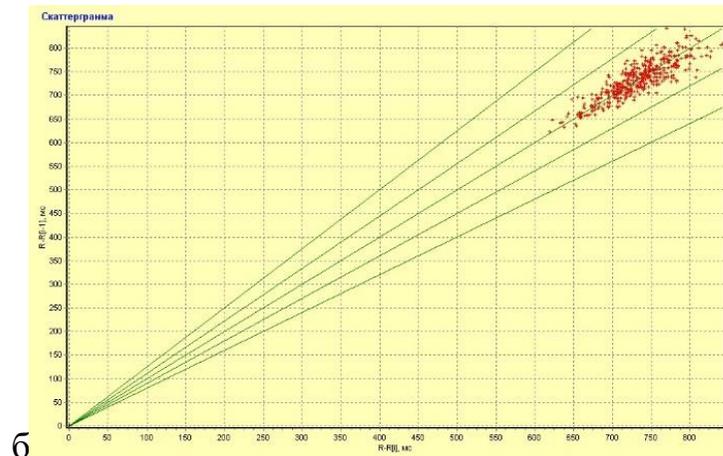
По данным литературы, изменение степени детерминированного хаоса в структуре ритма сердца связывается с повышенным риском внезапной сердечной смерти (Perkiömäki et al., 2005). Уменьшение значений фрактальной размерности временного ряда наблюдалось во время критических состояний у больных с выраженной сердечной недостаточностью, причем снижение сложности процесса изменения сердечного ритма коррелировало с нарастанием декомпенсации (Kleiger et al., 2005). Исследователи, изучавшие вопросы геометрического анализа нелинейной динамики кардиоритма оценивали площадь аттрактора, его периметр и показатель энтропийности системы.

Для идентификации детерминированного хаоса в живой системе, т.е. в организме человека, в программном продукте «Скрин-Варио» использован оригинальный анализ нелинейных колебаний кардиоинтервалограммы, разработанный А.П. Гаврилушкиным (1999, 2012) и основанный на геометрическом анализе аттрактора ("GAHRV" - geometric analysis of heart rate variability). Траектория (аттрактор) колебательного контура, которым является кардиоинтервалограмма (рис. 2а), строится в виде графика приращения интервалов R-R или «хаосграммы» на фазовой плоскости, которая является 3-х мерным пространством, каждая ось которого представлена одной из существенных переменных колебательной системы.

По оси абсцисс отмечается длительность R—R-интервала (мс), а по оси ординат — приращение данного интервала (мс) (рис. 2б). Соединяя линиями последовательность полученных значений, получаем фазовую траекторию в 3-х мерном пространстве или «хаосграмму», из которой, в последствии, используя определенный математический алгоритм (патент RU №2449725, ноу-хау «СкринКардио-НН от 30.04.2021) (рис. 2в), в 2-х мерном пространстве выделяются элементарные геометрические фигуры с различным количеством точек или углов в них (рис. 2 г).



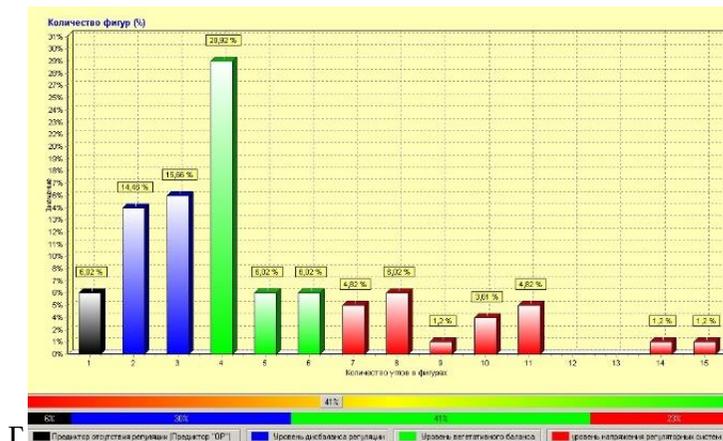
а



б



в



г

Рисунок 2 – Пример кардиоинтервалограммы (а) и построенных по данной КИГ в пакете программы «Скрин-Варио»: скаттерграммы (б), траектории движения состояния живой системы в 3-х мерном фазовом пространстве – «хаосграммы» (в), геометрических циклов (фигур) в 2-х мерном фазовом пространстве - рейтинга «хаос-теста», отражающего нелинейные биоритмические процессы в организме (г)

Соотношение полученных различных геометрических циклов демонстрируется на диаграмме рейтинга «хаос-теста», где по оси абсцисс отмечается количество точек в элементарных геометрических циклах «хаосграммы», а по оси ординат – количество геометрических циклов с соответственным количеством точек (углов) (рис. 2г). В программном продукте «Скрин-Варио» геометрические циклы «хаосграммы» обозначают как N1, N2, N3 и т.п.), длительность которых выражаются в мс.

С физиологической точки зрения, выделенные геометрические циклы (фигуры) отражают определенные биоритмические процессы в организме, обусловленные взаимным влиянием различных контуров регуляции –

- (1) сегментарным: парасимпатическая автономная нервная система и симпатическая автономная нервная система;
- (2) надсегментарным: подкорковые и корковые центры;
- (3) гуморальным каналом регуляции.

Таким образом, геометрический анализ нелинейных хаотических колебаний кардиоритма, основанный на теории детерминированного хаоса, позволяет оценить:

- функциональное состояние человека,
- вклад различных контуров регуляции в общую структуру регуляторных процессов в организме,
- степень нарушения вегетативного баланса,
- выявить дополнительные механизмы изменения регуляторных процессов,
- прогнозировать течение патологического процесса.

Важными суммарными показателями рейтинга хаос-теста являются количество элементарных геометрических циклов с определенным содержанием точек в них, выраженных в % от общего количества геометрических циклов, такие как N1-3, N4-6, N7-8 и N9-Nn (Мухина и др., 2005) и представленных в программе «Скрин-Варио» в виде рейтинга хаос-теста.

Физиологическая интерпретация каждого геометрического цикла или их совокупности определялась на основе имеющихся научных физиологических данных о временных или частотных характеристиках работы систем регуляции физиологических показателей и собственных данных, полученных при обследовании испытуемых различных возрастов и пола (в таблице 1 представлены в виде среднего значения и ошибки среднего значения, $M \pm SEM$).

Таблица 1 - Перечень основных показателей variability сердечного ритма

№ п/п	Обозначения показателей	Физиологическая интерпретация
1	N1-3	Отражает усиление вклада в регуляторные процессы одного из контуров регуляции (например, только симпатического или парасимпатического звена вегетативной нервной системы), либо наличие эктопического очага в самой сердечной мышце, что дополнительно фиксируется наличием предельных циклов в хаосграмме. Увеличение $N3 > 35\%$ отражает снижение вклада различных типов экстракардиальной регуляции с выделением единственного доминирующего очага активности экстракардиальной системы регуляции либо наличие аритмии сердца
2	N4-6	Сопряжен с ритмом дыхания и отражает модулирующее влияние парасимпатической нервной системы на активность синусного узла. При нормотонии составляет в среднем $46,8 \pm 4,0\%$
3	N7-8	Отражает активность симпатоадреналовой системы. При нормотонии составляет в среднем $10,9 \pm 2,5\%$, при усилении симпатической активности возрастает до $16,2 \pm 2,2\%$
4	N7-Nn	Отражает вклад в регуляторные процессы симпатоадреналовой системы, церебральных эрготропных и гуморальных механизмов регуляции. При ваготонии снижен

		и составляет в среднем $4,2 \pm 2,5\%$, при нормотонии составляет $11,5 \pm 2,6$, при симпатикотонии может увеличиваться до $38,4 \pm 2,4\%$ и выше
5	N9-Nn	Является частью суммарного показателя N7-Nn и отражает вклад церебральных эрготропных систем регуляции с активацией гуморальных механизмов. При нормотонии составляет в среднем $2,5 \pm 1,2\%$. При выраженной активации гуморальной регуляции составляет $16,8 \pm 2,7\%$ и выше

Описанная выше физиологическая сущность показателей «хаосграммы» выявлена при изучении нелинейных процессов в кардиоритме при 5-минутных записях электрокардиограммы обследуемых в условиях покоя (спокойного бодрствования) и в положении лежа. Исследование с использованием анализа нелинейных колебаний кардиоинтервалограммы было проведено в сравнении с методами и подходами, описанными в методических рекомендациях «Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем», подготовленных в соответствии с решением Комиссии по клинко-диагностическим приборам и аппаратам Комитета по новой медицинской технике Министерства здравоохранения Российской Федерации, протокол № 4 от 11 апреля 2000 г.) и международными стандартами измерения, физиологической интерпретации и клинического использования параметров variability сердечного ритма, принятыми Европейским обществом кардиологов и северо-американским обществом и электрофизиологии (1996), а именно статистическими и спектральными методами анализа variability сердечного ритма.

Примеры результатов геометрического анализа кардиоинтервалограмм здоровых людей с использованием методики Гаврилушкина А.П. в сравнении с общепринятым спектральным анализом приведены на рисунках 3 – 6.

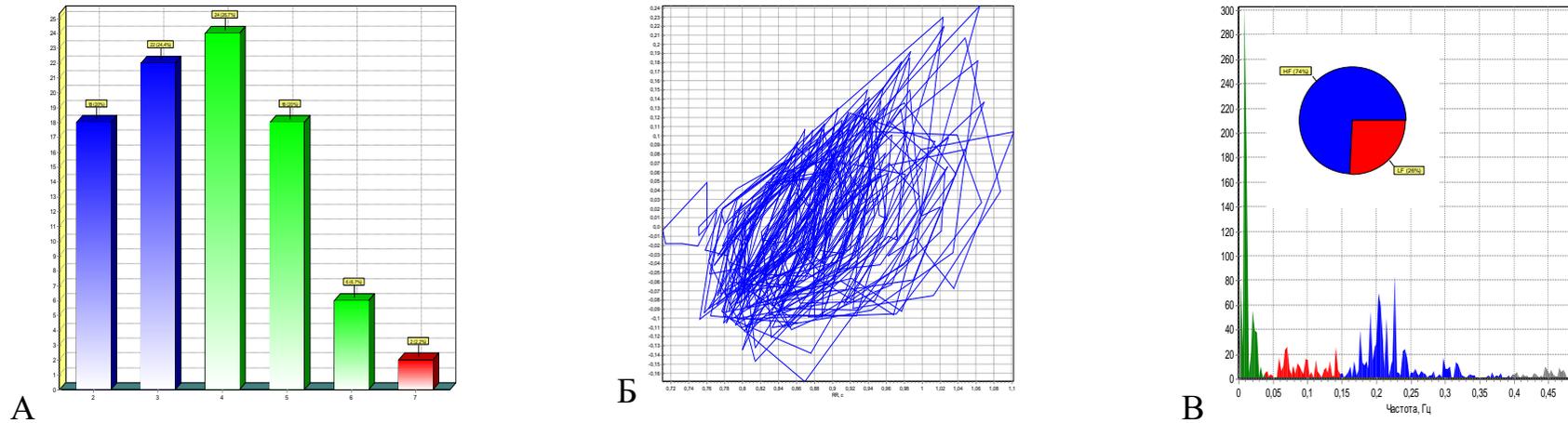


Рисунок 3 - Пример рейтинга хаос-теста (А), хаосграммы (Б) и спектрограммы (В) практически здорового юноши с преобладанием модулирующего влияния парасимпатической нервной системы

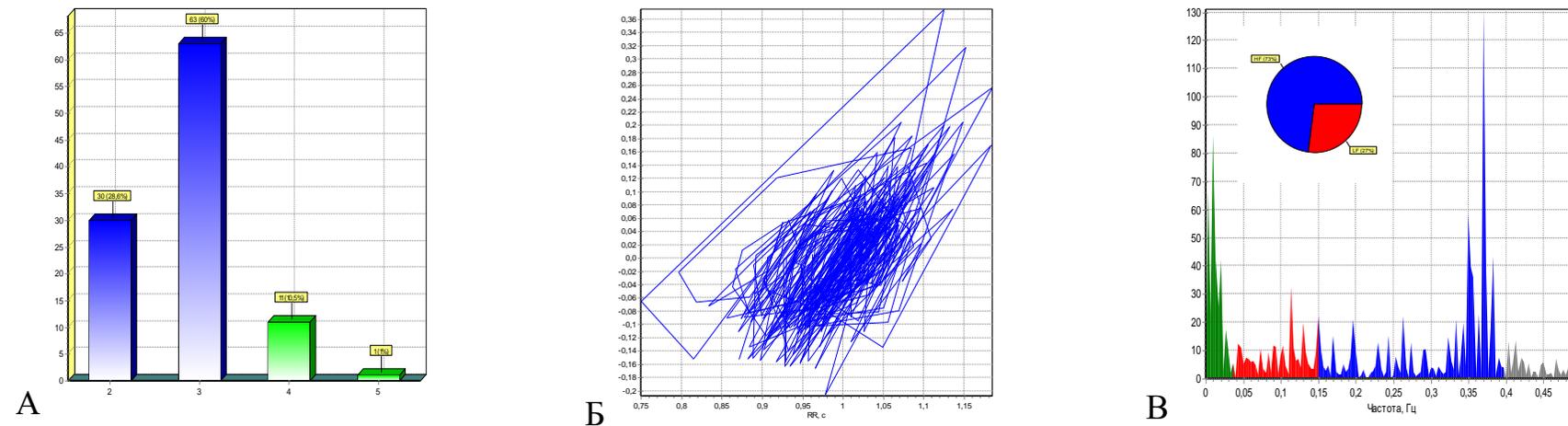


Рисунок 4 - Пример рейтинга хаос-теста (А), хаосграммы (Б) и спектрограммы (В) практически здоровой девушки с преобладанием тонического влияния вагуса

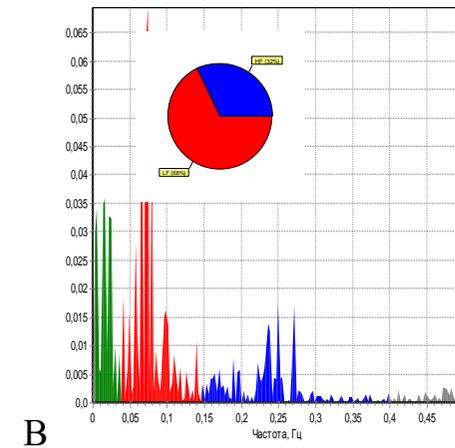
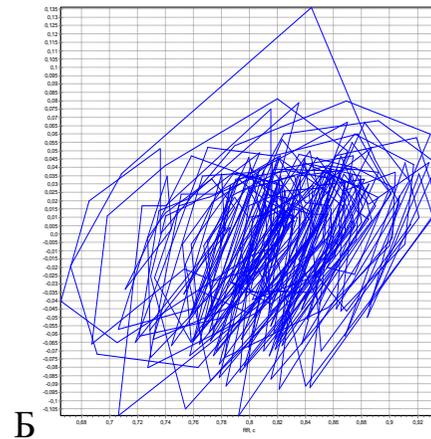
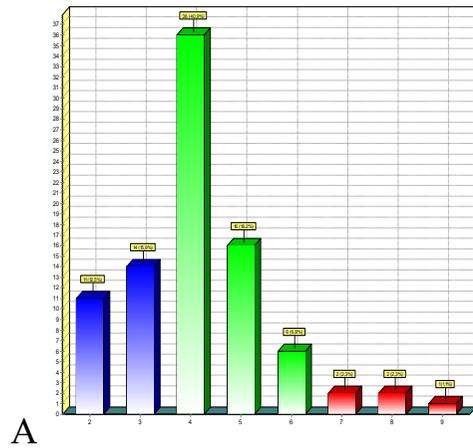


Рисунок 5 - Пример рейтинга хаос-теста (А), хаосграммы (Б) и спектрограммы (В) практически здорового юноши с состоянием вегетативного баланса

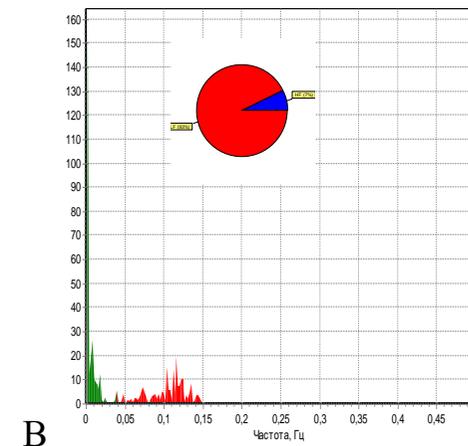
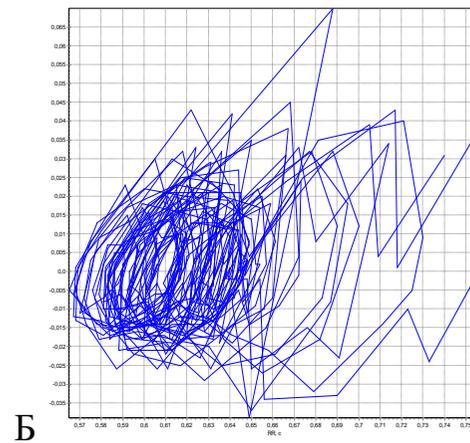
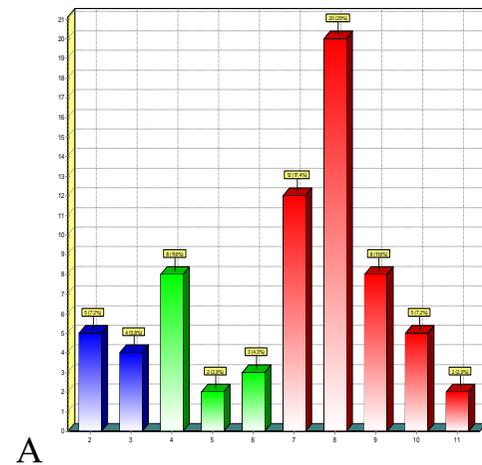


Рисунок 6 - Пример рейтинга хаос-теста (А), хаосграммы (Б) и спектрограммы (В) практически здорового юноши с преобладанием церебральных эрготропных и гуморальных механизмов регуляции

Проведенные ранее исследования с использованием геометрического метода оценки нелинейных колебаний кардиоритма показали его высокую значимость не только при анализе синусового ритма, но и в прогнозировании экстрасистолических аритмий. Так, при экстрасистолии и в преэктрасистолический период на фоне ядра «хаосграммы» наблюдается как правило появление определенного количества треугольных циклов, с направленной вершиной (точнее, наиболее острым углом) (рис. 7).

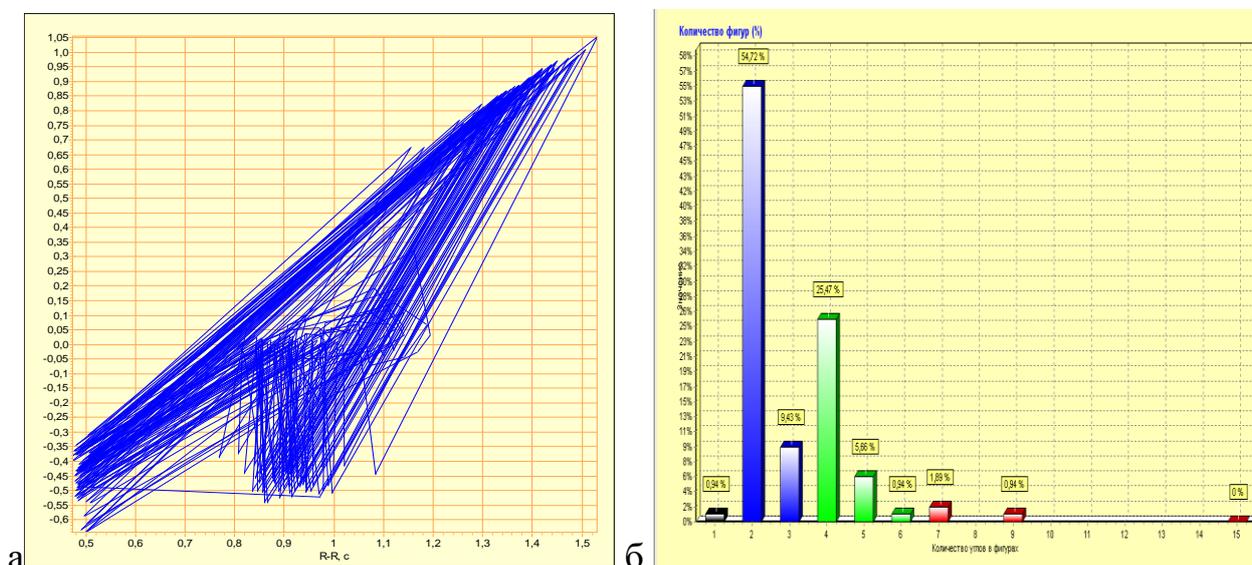


Рисунок 7 - Пример рейтинга хаосграммы (а) и хаос-теста (б) пациента с левожелудочковой экстрасистолией

Степень выраженности эктопической активности по «хаосграмме» будет определяться количеством треугольных циклов. При политопной эктопической активности на «хаосграмме» определяется несколько уровней треугольных геометрических фигур. При этом увеличивается % от общего количества геометрических циклов N1-3 относительно возрастной нормы (на рисунке 7 отражено 54,72%).

1.4 Построение классификационных моделей функционального состояния регуляторных систем организма человека

Вариабельность сердечного ритма является результатом реакции многоконтурной и многоуровневой системы регуляции кровообращения, изменяющей во времени свои параметры для достижения оптимального приспособительного ответа, который отражает адаптационную реакцию целостного организма. В связи с чем в литературе существует несколько методик, оценивающих адаптационные возможности организма с использованием классификационных моделей (Баевский и др., 2001; Аболенская, 1996; Рунова и Мухина, 2008; Мухина и др., 2009).

В программном обеспечении «Скрин-Варио» в качестве сопряженных функций классификационной матрицы функциональных состояний систем регуляции сердечной деятельности предложены показатели геометрического анализа нелинейной динамики колебательного контура кардиоинтервалограммы, наиболее точно отражающие параметры всех звеньев регуляции, в зависимости от возраста обследуемых.

Таким образом, группу обследуемых, попавшую в тот или иной квадрат данной классификационной матрицы, можно охарактеризовать в соответствии с физиологической интерпретацией выбранных переменных. Данный подход является универсальным для любой выборки людей, однако при этом референсные значения параметров матрицы могут существенно меняться, что может служить показателем, отражающим возрастные отличия анализируемых групп.

Описание 9-ти вариантов функционального состояния адаптации регуляторных систем, определенных с использованием геометрического анализа нелинейных колебаний кардиоритма, строится на основе применения известных критериев стадий адаптационного процесса:

(1) нормальный уровень регуляции (оптимальный уровень активности регуляторных систем при балансе симпатического и парасимпатического звеньев автономной нервной системы, умеренной активности гуморальной системы регуляции);

(2) состояние функционального напряжения, 1 стадия срочной адаптации (физиологически адекватная стресс-реакция, повышение вклада в регуляцию симпатического звена автономной нервной системы);

(3) состояние функционального напряжения, 2 стадия срочной адаптации (избыточная стресс-реакция, значительное напряжение механизмов срочной адаптации, повышение вклада в регуляцию симпатического звена автономной нервной системы, гуморальной системы регуляции, надсегментарного звена регуляции);

(4) переходный уровень к долговременной адаптации, 1 стадия (баланс симпатического и парасимпатического звеньев автономной нервной системы, высокая активность автономной нервной системы);

(5) переходный уровень к долговременной адаптации, 2 стадия (повышенная активность парасимпатического звена автономной нервной системы, высокая активность всех регуляторных систем);

(6) долговременная адаптация (повышенная активность парасимпатического звена автономной нервной системы);

(7) долговременная адаптация 2 степени (напряженный уровень долговременной адаптации регуляторных систем при преобладании парасимпатического звена автономной нервной системы);

(8) состояние перенапряжения (снижение адаптационного резерва, переходный уровень долговременной адаптации регуляторных систем к стадии истощения);

(9) стадия истощения (дезадаптация).

Глава 2. Анализ variability сердечного ритма с помощью пакета программ «Скрин-Варио»

2.1 Принцип работы

Пакет программ «Скрин-Варио» используется для определения функциональных состояний человека, отражающих состояние различных систем регуляции физиологических функций (нервной, гуморальной) по данным математического анализа кардиоинтервалограммы. С физиологической точки зрения механизмы, участвующие в регуляции системы кровообращения, являются межсистемными, обеспечивающими согласование реакций системы кровообращения и других систем организма. Поэтому математический анализ ритма сердца с позиций управления системой кровообращения позволяет дать оценку состояния регуляторных механизмов целостного организма.

В качестве обрабатываемых данных для математического анализа используется кардиоинтервалограмма (ритмограмма), построенная по 5-минутной записи электрокардиограммы обследуемого в одном из отведений в соответствии с Европейско-Американскими и Российскими методическими рекомендациями.

По результатам анализа колебательного контура кардиоинтервалограммы методами нелинейной динамики рассчитываются интегральные показатели - количество элементарных геометрических циклов с определенным содержанием точек в них, выраженных в % от общего количества геометрических циклов, такие как N1-3, N4-6, N7-8 и N9-Nn. В соответствии с классификационной моделью функционального состояния регуляторных систем организма человека, построенной на основе применения известных критериев различных стадий адаптационного процесса, автоматически определяется один из 9 вариантов функционального состояния адаптации регуляторных систем обследуемого.

По набору показателей пакет программ «Скрин-Варио» соответствует международным требованиям к оценке вариабельности ритма сердца. Оперативно определяет функциональное состояние организма и уровень адаптации регуляторных систем, позволяет дать количественную оценку реакции организма на комплекс стресс-реакций и восстановительных мероприятий в условных единицах (баллах) показателей рейтинга хаос-теста, отражающих вклад каждой из систем регуляции (нервной, гуморальной).

2.2 Особенности программы «Скрин-Варио»

Программное обеспечение (ПО) разрабатывается для следующих операционных систем: Windows 7 (Service Pack 1), Windows 8, Windows 8.1, Windows 10.

В основу ПО заложен алгоритм обработки файлов, получаемых по каналам связи от абонентского рабочего места врача. Обработка результатов исследования происходит на выделенном сервере.

По окончании измерений на клиентском приборе формируется файл в формате `gtd` и в автоматическом режиме данные направляются по протоколу `http` на облачный сервер вычислений.

На сервере по определенному алгоритму (GAHRV) данные обрабатываются и в автоматическом режиме отправляются на компьютер (ноутбук, планшет) для отображения результатов тестирования с помощью клиентской программы, прилагаемой к хронокардиографу «Скрин-Варио».

Особенности ПО «Скрин-Варио»:

1. Имеет режим мониторинга (обновление информации о состоянии пациента происходит через каждый R-R интервал).
2. Экспорт отчетов в pdf формате.
3. Расширенные возможности поиска информации в базе данных.

4. Информационные окна программы «Скрин-Варио» включают:

- карту пациента;
- мониторинг обследования (регистрация кардиоинтерваллограммы в реальном времени);
- отчет об обследовании;
- заключение.

Примеры информационных окон программы «Скрин-Варио» приведены в Приложении.

ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Аболенская А.В. Адаптационные возможности организма и состояние здоровья детей // Москва, 1996, с.15.
2. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П., Довгалевский П.Я., Кукушкин Ю.А., Миронова Т.Ф., Прилуцкий Д.А., Семенов Ю.Н., Федоров В.Ф., Флейшман А.Н., Медведев М.М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 65-87.
3. Гаврилушкин А.П., Медведев А.П., Киселев С.В., Шелепнев А.В., Смирнов Н.А., Маслюк А.П. Применение теории нелинейной хаотической динамики в анализе variability ритма сердца // Нижегородский медицинский журнал. 1999. №4. С.15-21.
4. Гаврилушкин А.П., Вадилов С.А., Маслюк А.П. Способ контроля функционального состояния биологического объекта. Патент RU 2127549, 1999.
5. Гаврилушкин А.П., Мухина И.В., Самодро В.А., Надыгин Д.В. Способ контроля функционального состояния сердца. Патент RU 2449725, 2012.
6. Гласс Л., Мэки М. От часов к хаосу. - М.: Мир, 1991.- 248 с.
7. Мухина И.В., Гаврилушкин А.П., Бугрова М.Л., Тюльникова Н.Н. Особенности регуляции кардиоритма у практически здоровых молодых людей на основе спектрального метода и геометрического анализа нелинейно хаотической динамики. Сборник научных трудов «Медленные колебательные процессы в организме человека. Теоретические и прикладные аспекты нелинейной динамики в физиологии и медицине». Новокузнецк, 2005, 154-160.
8. Мухина И.В., Лукьянова И.В., Кузмичев Ю.Г. Способ оценки адаптационных возможностей у подростков. Патент RU 2344749, 2009.

9 Рунова Е.В., Мухина И.В. Метод временной локализации изменений частотной структуры сердечного ритма, основанный на дискретном вейвлет-преобразовании. Физиология человека, 2008.- Т.34, №2. - С. 124-127.

10 Рябыкина Г.В., Соболев А.В. Вариабельность ритма сердца. - М.: "Оверлей". - 2001. - 200 с.

11 The European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use // European Heart Journal, 1996. - Vol. 17. - P.354-381.

12 Kleiger R.E., Stein P.K., Bigger T.Jr. Heart rate variability: measurement and clinical utility // Ann Noninvasive Electrocardiol, 2005 Jan;10(1):88-101/

13 Perkiömäki J.S, Mäkikallio T.H, Huikuri H.V. Fractal and complexity measures of heart rate variability. 2005;27(2-3):149-58/

ПРИЛОЖЕНИЕ

ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ «СКРИН-ВАРИО»

Начальный экран

The screenshot shows the main interface of the 'Скрин-Варио' application. At the top, there is a header with the application name and standard window controls. Below the header, there is a dashed box containing the text 'Заполнить карту нового пациента'. Underneath, there is a section titled 'Список пациентов (48)' with a dropdown menu for 'ФИО (убыв.)' and a search input field with the placeholder text 'Начните ввод ФИО для поиска'. The main content area displays a list of five patients, each with their full name and date of birth in parentheses, followed by the date of the study and a blue button labeled 'Начать осмотр'.

ФИО	Дата исследования	Действие
Щаднова Зинаида Васильевна (30.11.1935)	02.09.2020	Начать осмотр
Чикин Игорь Геннадьевич (28.06.1965)	18.08.2020	Начать осмотр
Чевардин Иван Владимирович (03.05.1958)	28.08.2020	Начать осмотр
Трошин Алексей Игорьевич (31.05.1983)	28.08.2020	Начать осмотр
Толмачева Анастасия Владимировна (03.07.1981)	24.08.2020	Начать осмотр

Экран создания карты пациента

The screenshot shows the 'Скрин-Варио' application screen for creating a patient card. The header is the same as the previous screen. The main content area is a dashed box titled 'Создать карту пациента'. It contains several input fields: 'ФИО' with a placeholder 'Введите ФИО пациента', 'Пол' with radio buttons for 'Мужской' (selected) and 'Женский', 'Дата рождения' with a placeholder 'Введите дату рождения в формате ДД.ММ.ГГГГ' and a calendar icon, 'Рост' with a placeholder 'Значение в сантиметрах', and 'Вес' with a placeholder 'Значение в килограммах'. At the bottom, there are two buttons: 'Отменить' and 'Сохранить изменения'.

Новое исследование

Скрин-Варио

[Вернуться к списку пациентов](#) [Редактировать карту пациента](#)

Иванов Иван Иванович

Пол: Мужской
Дата рождения: 09.10.1983

[Провести новое исследование](#)

История исследований

Список исследований пуст

Проведите новое исследование и после его завершения результат исследования появится в данном списке

Ввод дополнительной информации о пациенте

Скрин-Варио

Новое исследование

Вредные привычки	Список вредных привычек
<input type="radio"/> Да <input checked="" type="radio"/> Нет	<input type="text" value="Перечислите вредные привычки"/>
Хронические заболевания	Список хронических заболеваний
<input type="radio"/> Да <input checked="" type="radio"/> Нет	<input type="text" value="Перечислите хронические заболевания"/>
Занятия физкультурой/фитнесом	Вид и регулярность занятий
<input type="radio"/> Да <input checked="" type="radio"/> Нет	<input type="text" value="Введите название вида фитнеса и регулярность занятий"/>
Занятие профессиональным спортом	Вид спорта и уровень
<input type="radio"/> Да <input checked="" type="radio"/> Нет	<input type="text" value="Введите название вида спорта и уровень пациента"/>
Употребляемые препараты	Название употребляемых препаратов
<input type="radio"/> Да <input checked="" type="radio"/> Нет	<input type="text" value="Перечислите употребляемые пациентом препараты"/>
Употребление тонизирующих напитков перед обследованием	
<input type="radio"/> Да <input checked="" type="radio"/> Нет	
Характер трудовой деятельности, ее интенсивность (в свободной форме)	
<input "умственный"="" type="text" value="Введите данные о характере труда (например, " и="" т.д.)"="" тяжелый",=""/>	

[Отменить](#) [Запустить исследование](#)

Запуск исследования

Скрин-Варио

Вернуться к карте пациента

Отменить исследование

Ожидайте начала исследования

Иванов Иван Иванович

Пол: Мужской
Дата рождения: 09.10.1983

5

До начала исследования осталось 5 секунд

Проверьте правильность установки измерительного оборудования и приготовьтесь к исследованию

Ход записи

Скрин-Варио

Вернуться к карте пациента

Отменить исследование

В процессе

Иванов Иван Иванович

Пол: Мужской
Дата рождения: 09.10.1983

Текущий показатель ЧСС

52	68	258
min	ударов в минуту	max

Кардиоритмограмма

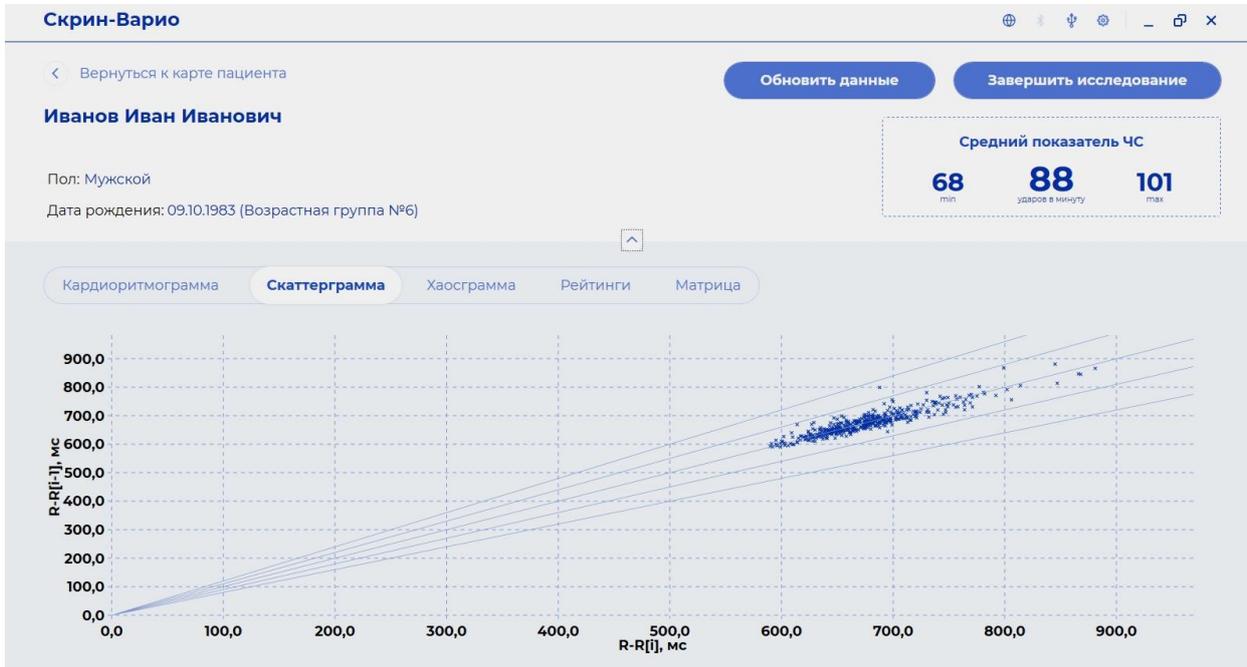
Осталось: 4:48

Секунды	R-R (мс)
0,0	400,0
1,0	800,0
2,0	400,0
3,0	500,0
4,0	900,0
5,0	400,0
6,0	1100,0
7,0	200,0
8,0	500,0
9,0	400,0
10,0	600,0
11,0	700,0
12,0	400,0
13,0	900,0

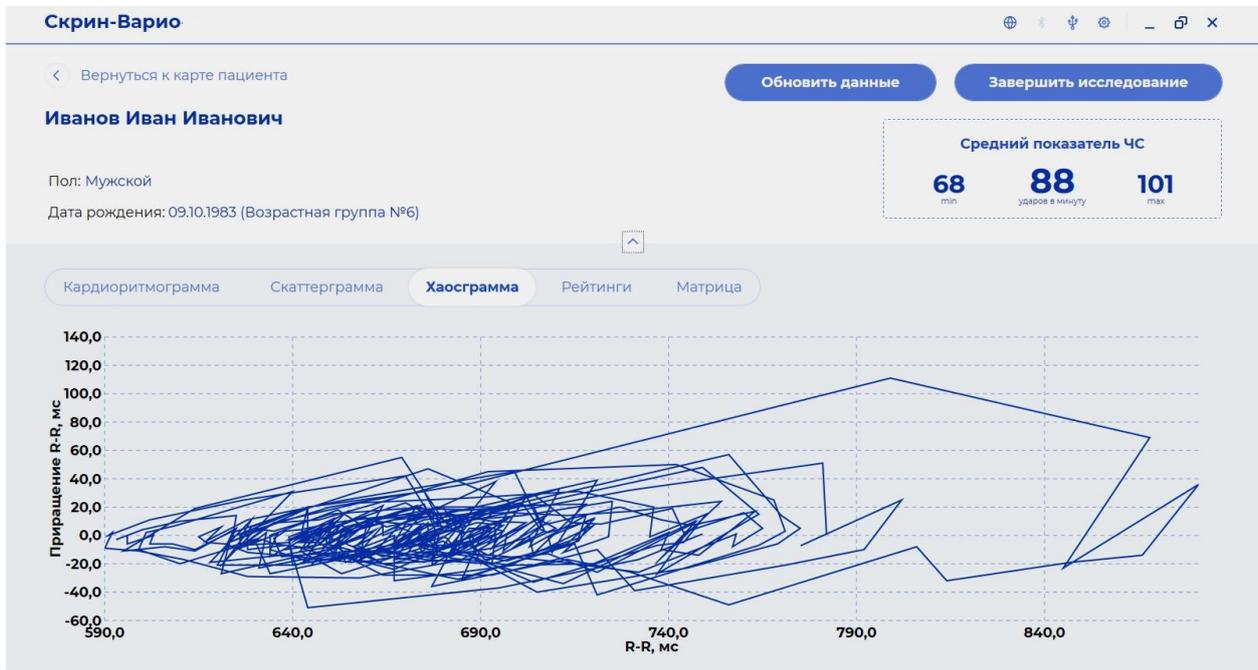
Кардиоритмограмма обследуемого



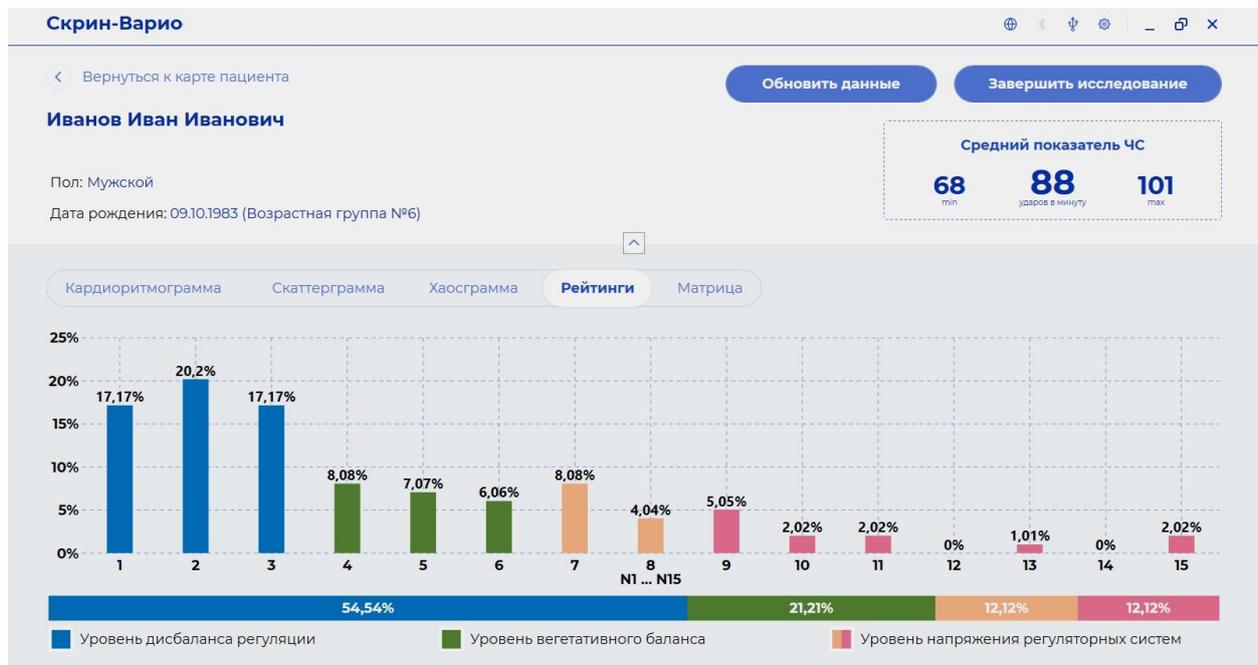
Скаттерграмма обследуемого



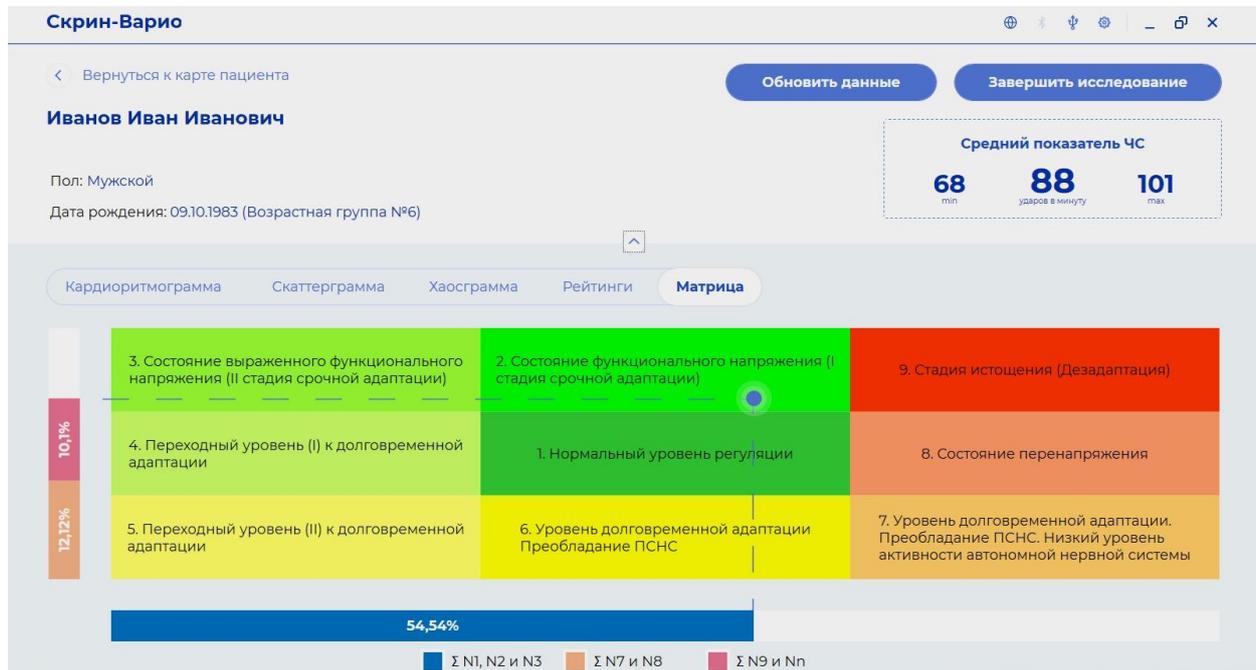
Хаосграмма обследуемого



Гистограмма рейтинга «хаос-теста»



Матрица интегральной оценки функционального состояния



Заключение по исследованию

Скрин-Варио

Заключение по исследованию

Функциональное состояние организма

Напряженный уровень срочной адаптации регуляторных систем при повышении вклада в регуляцию симпатического звена автономной нервной системы (физиологически адекватная стресс-реакция)

Дополнительная информация

ОРВИ 3 день

К результатам исследования Завершить без печати Распечатать отчет

Заключение по исследованию в формате pdf

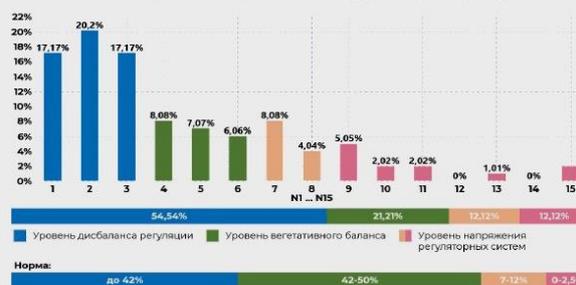
Заключение по исследованию



Сгенерировано программой "Скрин-Варио"

Дата и время проведения исследования: 28.09.2020, 13:43
 Длительность: 5 мин
 ФИО: **Иванов Иван Иванович**
 Дата рождения: **09.10.1983 (36 лет)**
 Вес: **83 кг**
 Рост: **183 см**
 ИМТ (индекс массы тела): **24,78 (норма)**
 Вредные привычки: **отсутствуют**
 Хронические заболевания: **отсутствуют**
 Занятия физкультурой/фитнесом: **отсутствуют**
 Занятия профессиональным спортом: **отсутствуют**
 Употребляемые препараты: **отсутствуют**
 Употребление тонизирующих напитков перед обследованием: **нет**
 Средняя частота сердечных сокращений: **88 уд/мин** (min: 68, max: 101)

Рейтинги: параметры анализа variability сердечного ритма (метод «GAHRV»)



Дополнительная информация:

ОРВИ 3 день

Матрица функциональных состояний организма



Заключение:

Напряженный уровень срочной адаптации регуляторных систем при повышении вклада в регуляцию симпатического звена автономной нервной системы (физиологически адекватная стресс-реакция)

**АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА
МЕТОДАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ
с использованием программного обеспечения «Скрин-Варио»**

Методическое пособие

Работа печатается в авторской редакции
Компьютерная верстка авторская

Подписано к печати

Формат 60x84У16. Гарнитура Гельветика. Бумага типографская.

Печать офсетная. Усл. печ. л. ____ Уч.-изд. л. ____

Тираж 100 экз. Заказ

Издательство Приволжского исследовательского медицинского университета
603005, Нижний Новгород, пл. Минина, 10/1.

Полиграфический участок ПИМУ