

ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Т.В. ОВЧИНКИНА

*ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94*

**Аннотация.** В статье рассматривается необходимость разработки прогностических моделей для управления функциональным состоянием сердечно-сосудистой системы, так как основной задачей медицинской техники является автоматический анализ биомедицинской информации. Нарушение определенных параметров функционального состояния сердечно-сосудистой системы может привести к внезапной острой коронарной недостаточности и смерти. Приведены основные принципы построения системы оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Представлена нечеткая система мониторинга и метод построения топологического портрета странного аттрактора, используемого как один из факторов определения нарушения функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Описан известный метод определения размерности топологического портрета странного аттрактора, предложенный Паркером и Чжуа. Хаотический процесс порождается неустойчивостью систем, относится к классу нестационарных. Снижение хаотической составляющей, которая накладывается на регулярные ритмы, является маркером осложнения течения болезни. Предложена структурная схема прогностической модели и описание ее блоков, которая позволяет выполнять краткосрочные прогнозы. В статье представлены рисунки топологических портретов странных аттракторов здоровой группы пациентов и пациентов с заболеванием кардиологического профиля. Применение топологического портрета странного аттрактора, для мониторинга оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы может обеспечить повышение точности в постановке диагноза и обеспечении оперативного принятия врачебного решения.

**Ключевые слова:** функциональное состояние сердечно-сосудистой системы, аттрактор, внезапная сердечная смерть, прогнозирование заболевания.

CREAT A PREDICTIVE MODEL FOR CONTROL AND DIAGNOSTICS OF THE FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM

T.V. OVCHINKINA

*Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)*

**Abstract.** The article discusses the need to develop predictive models for the control of the functional state of the cardiovascular system, as the main task of medical equipment is the automatic analysis of biomedical information. Abnormalities certain parameters of the functional state of the cardiovascular system lead to sudden acute coronary insufficiency and death. The basic principles of the system of evaluation of the functional state of the cardiovascular system are presented. Fuzzy monitoring system and method of construction of topological portrait of a strange attractor as a factor determining abnormalities of the functional state of the cardiovascular system are demonstrated. Popular method determining the dimension of a topological portrait of a strange attractor proposed by Parker and Zhuang is described in this paper. Chaotic process is generated by the instability of the system, belongs to a class of non-stationary. Reduction of the chaotic component, which is superimposed on the regular rhythms, is a marker of acute complications of a disease. A block diagram of a predictive model and a description of its blocks allow to made short-term forecasts. The paper presents the topological drawings of portraits of strange attractors of healthy patients and patients with cardiac disease profile. The use of topological portrait of a strange attractor for monitoring evaluation of the functional state of the cardiovascular system can provide improved accuracy in diagnosis and providing medical aid decision making.

**Key words:** functional state of the cardiovascular system, attractor, sudden cardiac death, prediction of disease.

Во многих странах, в том числе и в России, развивается компьютерная диагностика функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Созданы научные школы под руководством таких выдающихся российских ученых, как Бокерия Л. А., Чазов Е. П., Анищенко В. С., Баевский Р. М. и др.

Одной из задач медицинской техники является автоматический анализ биомедицинской информации. Целями такого анализа являются: автоматическая диагностика патологических изменений состояния человека, поддержка принятия решений врача, а также оценка физиологических параметров организма. Поэтому в медицинской технике присутствуют вычислительные компоненты, программное обеспечение которых реализует функции автоматической обработки данных.

Во время определения состояния здоровья на первом месте стоит исследование и оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы, так как сердечно-сосудистая система определяет и лимитирует доставку кислорода работающим органам.

Опираясь на данные по диагностике и профилактике внезапной сердечной смерти, можно оценить риск наступления наиболее опасных моментов [1]. Для этого используется анализ факторов риска. Однако используемые в подобных системах информативные признаки не всегда удается классифицировать правильно, так как очень часто они являются нечеткими величинами. Повысить точность, оперативность и качество принимаемых решений можно путем внедрения современных систем поддержки принятия решений. Необходимость разработки прогностических моделей для управления функциональным состоянием сердечно-сосудистой системы является актуальной проблемой [2,3].

При диагностике функционального состояния сердечно-сосудистой системы важную роль играет анализ *электрокардиограммы* (ЭКГ), представляющей собой запись наблюдаемых на поверхности тела проекций объёмных электрических процессов, происходящих в сердце. ЭКГ несёт информацию как о текущем состоянии сердечно-сосудистой системы, так и о патологических изменениях в самом сердце. Заболевания сердечно-сосудистой системы широко распространены в индустриально развитых странах и являются одной из наиболее частых причин летальных исходов. Профилактика и своевременная диагностика – основные пути снижения смертности от сердечно-сосудистых заболеваний.

Нарушение определенных параметров функционального состояния сердечно-сосудистой системы может привести к внезапной сердечной смерти или появлению патологического состояния.

Внезапная сердечная смерть – это естественная смерть, связанная с сердечными причинами, которой предшествует внезапная потеря сознания в течении часа после появления острых симптомов. Независимо от того, известно или нет было сердечное заболевание, смерть будет внезапной [4].

Патологическое состояние – комплекс внешне видимых изменений организма, субъективных ощущений физикальных, лабораторных инструментальных признаков, которые расцениваются врачом как отклонение от нормы.

Под основными факторами риска подразумеваются клинические признаки, наличие которых предполагает отнесение больного к категории лиц с высоким или умеренным риском внезапной сердечной смерти в течение календарного года (вероятностный риск может достигать 20-50% или 5-15% соответственно).

Основные факторы:

- эпизод сердечного ареста в анамнезе и/или гемодинамически значимая устойчивая желудочковая тахикардия;
- указания в анамнезе на перенесенный инфаркт миокарда;
- систолическая дисфункция левого желудочка;
- синкопальные состояния;
- неустойчивая желудочковая тахикардия и частая желудочковая экстрасистолия [5].

Для оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы нами учитываются как выше перечисленные факторы, так и показатели лабораторного анализа крови, спектральный анализ, общий опросник (курение, употребление алкоголя, пол, вес, рост и др), анализ QT интервала. Учитывая эти данные была разработана прогностическая модель управления функциональным состоянием сердечно-сосудистой системы с применением нейронных сетей (рис. 1).

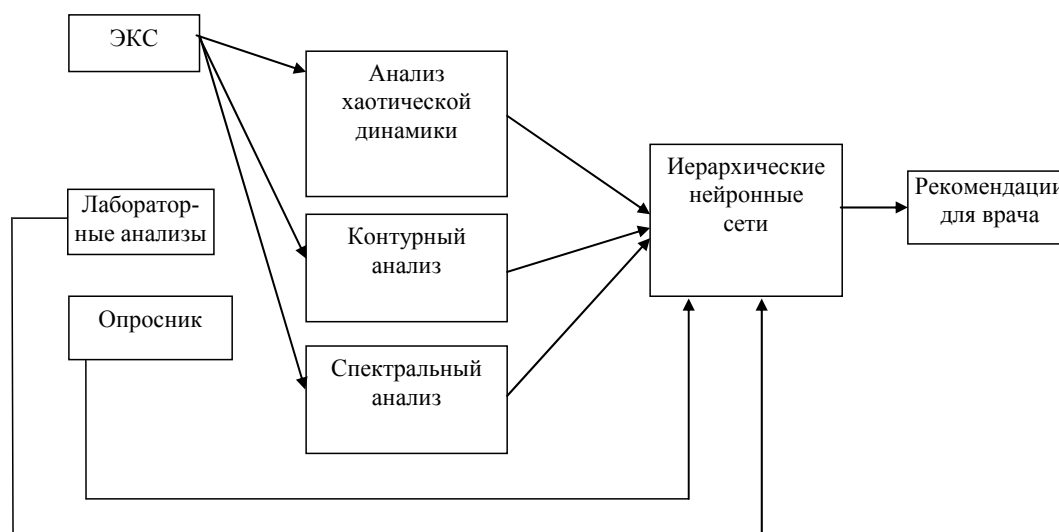


Рис. 1. Структурная схема прогностической модели

Рассмотрим каждый из блоков.

В блоке «ЭКС» – записывается оцифрованный кардиосигнал, полученный с пациента и из которого удалены все помехи.

В блоке «Лабораторные анализы» вносится общий анализ крови, анализ мочи, уровень глюкозы в плазме, биохимический анализ крови.

Блок «Опросник» включает в себя возраст, рост, вес, данные о курении и употреблении алкоголя и др.

В блоке «Анализ хаотической динамики» производится построение топологического портрета странного аттрактора, который используется как один из факторов для прогноза.

В блоке «Контурный анализ» производится выделение QT-интервала по точкам определяющих контур.

В блоке «Спектральный анализ» преобразовании кардиоритма на простые гармонические колебания с различной частотой, последовательность сердечных сокращений преобразуется в спектр мощности колебаний длительности QT-интервалов, представляющих собой последовательность частот.

Блок «Иерархические нейронные сети» – этот блок отвечает за постройку и обучение нейронные сети на основе разработанных решающих правил.

Блок «Рекомендации для врача» предоставляет врачу прогноз заболевания и рекомендации для дальнейшего лечения пациента.

Остановимся подробно на блоке «Анализ хаотической динамики».

Как правило, большинство процессов, происходящих в системах организма человека, являются процессами с хаотической составляющей. Для исследования этих процессов применяется теория самоорганизации и синергетики [6].

Хаотический процесс порождается неустойчивостью систем, относится к классу нестационарных. Снижение хаотической составляющей, которая накладывается на регулярные ритмы, является маркером осложнения течения болезни. Геометрический образ хаотического процесса представляет собой топологический портрет в N-мерном пространстве.

Нелинейная динамика сердечного ритма определяется путем построения непересекающейся ломаной линии на фазовом пространстве ряда QT-интервалов.

Построение топологического портрета выполняется следующим образом. Из полученного оцифрованного кардиосигнала, снятого с пациента, выделяют QT-интервалы. По данному ряду QT-интервала выполняется формирование вектора координат для построения топологического портрета. Построение траекторной плотности начинается с построения многомерных каркасов одномерных QT-интервалов, представляющих собой числовой хаотический ряд:  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ , (1) где  $x_1, x_2, \dots, x_N$  – длина QT-интервала;

Необходимо построить многомерный каркас исследуемого QT-интервала, путем восстановления фазового пространства вложения странного аттрактора. Используется известный метод определения размерности топологического портрета странного аттрактора, предложенный Паркером и Чжуа [7].

Для восстановления фазового пространства странного аттрактора необходимо определить размерность пространства вложения.

Для начальной последовательности координат X, с некоторым количеством элементов N, которая будет являться траекторией странного аттрактора, строится вектор координат центра масс топологического портрета. Определяется размерность Step данного аттрактора, выявляются его дайджесты, т.е. список векторов всех используемых векторов центров масс, которые ставятся в соответствие диагнозам заболеваний.

Изначально размерность пространства вложения полагается равной двум. То есть, изначальноную последовательность мы разбиваем на серии длиной N-(Step-1). По принципу смещения на одну ячейку серии длиной Step, тем самым получаем массив A.

$$A = \begin{Bmatrix} x_1 & x_2 \\ x_2 & x_3 \\ \dots & \dots \\ x_{N-1} & x_N \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Полученный массив A проверяем на полное совпадение элементов в строках.

Если их нет, то размерность получена и более не изменяется. Таким образом далее массив A будет иметь следующую структуру.

$$A = \begin{Bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_{Step} \\ x_2 & x_3 & \dots & x_{Step+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N-Step-1} & x_{N-Step} & \dots & x_N \end{Bmatrix} \quad (3)$$

В результате будет сформирована минимальная величина  $Step$ , при которой отсутствуют самопересечения траектории в  $Step$ -мерном пространстве вложения. На этом этапе процесс построения вектора координат дискретного топологического портрета ряда QT-интервалов завершается.

В дальнейшем выполняется определение вектора координат центра масс всего топологического портрета, как и вычисление центров масс в полупространствах пространства вложения странного аттрактора. Вычисление координат центров масс, которое вычисляется как среднее арифметическое всех точек, позволяет определять смещение общего центра портрета во время его транспозиции. Для определения центров в полученных полупространствах пространства вложения топологического портрета странного аттрактора определяется, какому из полупространств принадлежит очередная точка, а потом среди всех найденных точек данного полупространства вычисляется центр масс данного полупространства [8, 9].

Для разметки области отображения строятся положительные полуоси системы координат в виде квадриметрической диаграммы. В целях повышения качества представления данных при визуализации на экране отображаются только положительные полуоси, отрицательная часть осей считается направленной в противоположную сторону. На рисунке 2 положительные полуоси обозначены цифрам 1, 2, ..., 5; отрицательные полуоси – соответственно пунктирное продолжение соответствующей полуоси.

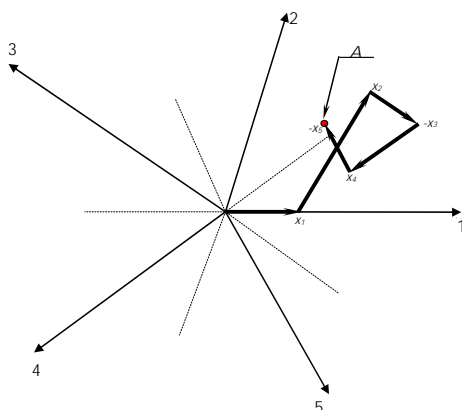


Рис. 2. Пример построения аттрактора

Полученное отображение строится для «плавающего» окна вдоль координат исходного ряда, таким образом, достигается транспозиция портрета во времени, путём последовательного накладывания текущего по времени отображения на ранее отображенные.

Топологический портрет странного аттрактора пациента можно использовать в качестве вспомогательного фактора для оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы.

Было проведено исследование с использованием QT-интервалов здоровых испытуемых и пациентов, имеющих риск внезапной сердечной смерти в количестве 50 человек соответственно. Выявлено, что портрет пациентов имеющих риск внезапной сердечной смерти имеет упорядоченную форму, напоминающую восьмерку с уплотнением в центре. Портрет странного аттрактора же здоровых испытуемых характерна хаотичность и имеет большой разброс точек в пространстве. Топологические портреты странных аттракторов двух групп представлены на рис. 3.

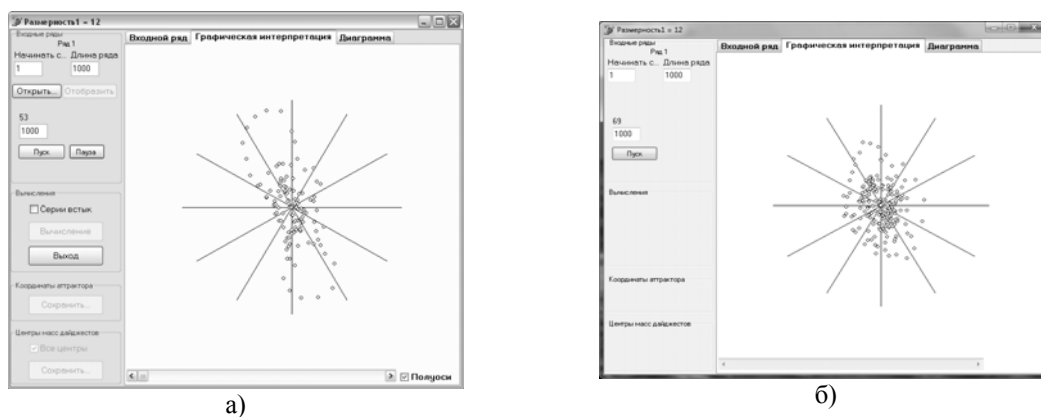


Рис. 3. Результат построения топологического портрета странного аттрактора: а) пациенты имеющие риск внезапной сердечной смерти; б) здоровые испытуемые

При построении топологического портрета странного аттрактора вычисляется размерность пространства. Размерность топологического портрета странного аттрактора определяется как наименьшее число компонент декартова произведения координат, при котором не обнаруживается ни одного повторения всех значений векторов в их траекторной последовательности. Одна запись QT-интервалов может иметь несколько различных размерностей пространств по всей длине отсчетов. Используя метод сравнения, мы получили, что при размерности пространства равной 12 наибольшее число совпадений топологических портретов странных аттракторов в каждой группе пациентов (табл.). При данной размерности почти нет совпадений внутри строчках значения, с учетом позиций, что дает нам наилучший результат. Количество совпадений составляет от 40 до 45 из 50 испытуемых, для каждой группы. Что составляет более 90% удачных исходов теста.

*Таблица*

**Совпадение одинаковых портретов странных аттракторов в разных группах больных**

Размерность пространства	5	6	7	10	12	20
Кол-во совпадений в группе здоровых	10/50	8/50	2/50	7/50	45/50	3/50
Кол-во совпадений в группе имеющей сердечное заболевание	2/50	10/50	10/50	3/50	40/50	4/50

Из выше изложенного, мы можем сделать вывод, что часто хаос выступает как признак здоровья, а излишняя упорядоченность – как симптом болезни, что может быть использовано в мониторинге, диагностике и управлении функциональным состоянием сердечно-сосудистой системы.

Применение нейронных сетей и топологического портрета странного аттрактора, как одного из факторов для мониторинга оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы, может обеспечить повышение точности в постановке диагноза при обследовании пациента.

#### Литература

1. Бокерия, Л.А. Внезапная сердечная смерть / Л.А. Бокерия, А.Ш. Ревитшвили, Н.М. Неминуций.– Изд-во: ГЭОТАР-Медиа, 2013.– 272 с.
2. Павлов, О.Г. Прикладные вопросы ситуационного управления в социально-медицинской сфере.– Старый Оскол: ТНТ, 2009.– 276 с.
3. Черных, С.П. Сопоставление электрокардиографических и эхокардиографических показаний на этапе скрининга сердечно-сосудистых заболеваний / С.П. Черных, А.А. Волков, Ю.С. Липкин, П.В. Стручков, О.С. Цека // Вестник новых медицинских технологий.– 2012.– Т.19.– №3.– С.31–34.
4. Мышкина, А.К. Новый справочник кардиолога: Феникс, 2007.– 352 с.
5. Бокерия, Л.А. Сердечная недостаточность и внезапная сердечная смерть / Л.А. Бокерия, О.Л. Бокерия, Л.Н. Киртбая // Анналы аритмологии.– 2009.– № 4.– С. 7–20.
6. Фролов, В.Н. Управление в биологических и медицинских системах: учеб. пособие / В.Н.Фролов.– Воронеж, 2001.– 327 с.
7. Паркер, Т.С. Введение в теорию хаотических систем для инженеров / Т.С. Паркер, Л.О. Чжуа // ТИИЭР.– 1987.– Т.75.– №8.– С. 6–40.
8. Овчинкин, О.В. Инструментальные средства исследования пространственной транспозиции топологических портретов хаотических процессов / О.В. Овчинкин, И.А. Сараев // Сб. материалов VIII Международной конференции «Распознавание 2008».– Курск, 2008.– С. 30–33.
9. Овчинкин, О.В. Персональное моделирование заболеваний сердечно-сосудистой системы с применением нейронных сетей и инструментальных средств / О.В. Овчинкин, Т.В. Овчинкина, О.Г. Павлов // Вестник новых медицинских технологий.– 2011.– Т. 18.– № 4.– С. 41–43.
10. Дюжева, Е.Н. Динамика дисперсии Q-T в процессе стресс-теста как показатель стенотического поражения коронарных артерий / Е.Н. Дюжева // Креативная кардиология.– 2010.– №2.– С. 80–87.