

УДК 616.12-073.97

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ФАЗОВЫХ
ПОРТРЕТОВ ЭКГ ПО ДАННЫМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ БАЗЫ
MIT-BIH ARRHYTHMIA DATABASE**

Т.Ю. Лебедушко

МНУЦ ИТuС

e-mail: tanyalebedushko@yandex.ru

Сердечно-сосудистые заболевания уже давно лидируют среди других болезней, а их несвоевременное лечение остается одной из главных причин инвалидности и смертности трудоспособного населения. Одним из стандартных методов выявления сердечно-сосудистых заболеваний является электрокардиография. К сожалению, традиционные методы оценивание параметров стандартной электрокардиограммы (ЭКГ) не всегда показывают полную картину заболевания. Поэтому очень часто для более глубокого анализа предлагается обрабатывать кардиосигнал дополнительными математическими методами для нахождения скрытых признаков нарушений в работе сердца. Один из таких методов, подтвердивший свою эффективность при масштабных клинических исследованиях, основан на построении фазовых портретов ЭКГ [1].

Цель доклада – исследование двух подходов к построению фазовых портретов на примерах реальных ЭКГ из базы MIT-BIH Arrhythmia Database [2].

История этого подхода началась довольно давно. Еще в работе [3] Амосов Н.М и его коллеги указывали на возможность исследования сократительной функции миокарда в фазовом пространстве, координатами которого является амплитуда $y(t)$ и производная по времени dy/dt наблюдаемого процесса.

Другие исследователи [4] предлагают строить фазовую траекторию ЭКГ на основе метода задержек. В этом случае вместо производной используется сам сигнал, задержанный на определенное время.

Суть метода задержек состоит в переходе от последовательности $y[1], y[2], y[3], \dots$ скалярных значений сигнала, наблюдаемого в дискретные моменты времени, к последовательности D -мерных векторов

$$z[k] = (y[k], y[k-T], y[k-2T], \dots, y[k-(D-1)T]),$$

где T - заданный сдвиг (лаг) преобразования, k - вложенная размерность.

Согласно [6] приемлемое время задержки T должно удовлетворять ряду критериев. Простейший способ – выбрать T близким к первому нулю автокорреляционной функции для ряда x_i :

$$B(T) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} (x_i - \bar{x})(x_{i+T} - \bar{x}), \quad m = M - T, \quad (1)$$

где \bar{x} – среднее значение временного ряда, M – длина временного ряда.

Второй способ [5] требует вычисления спектра мощности временного ряда, т.е. быстрого преобразования Фурье для вычисления автокорреляционной функции. Если в спектре мощности присутствуют кратные пики, то задержка T выбирается равной четверти периода самой высокой из доминирующих частот.

Третий способ [6] основан на вычислении средней взаимной информации между двумя измерениями. Если даны два множества измерений A и B , то взаимная информация между элементом $a_i \in A$ и элементом $b_j \in B$ определяется как количество информации, которое имеют измерения a_i и b_j по отношению друг к другу

$$I_{a_i, b_j} = \ln \left[\frac{P_{AB}(a_i, b_j)}{P_A(a_i)P_B(b_j)} \right]. \quad (2)$$

В том случае, когда измерения независимы, взаимная информация равна нулю. Усредняя по всем измерениям, получаем

$$I_{a_i, b_j} = \sum_{a_i, b_j} P_{AB}(a_i, b_j) \ln \left[\frac{P_{AB}(a_i, b_j)}{P_A(a_i)P_B(b_j)} \right]. \quad (3)$$

Заменяя a_i и b_j на x_i и x_{i+T} соответственно, получаем среднюю взаимную информацию как функцию временной задержки T . Задержка T выбирается равной времени первого минимума во взаимной информации.

С точки зрения исследования физиологических особенностей процессов, порождающих ЭКГ, более предпочтительным является метод обработки ЭКГ в фазовом пространстве, координатами которого являются амплитуда y и производные по времени \dot{y}, \ddot{y}, \dots наблюдаемого сигнала [1]. Диагностическая ценность данного метода состоит в использовании дополнительной информации, содержащейся в скоростных характеристиках исследуемого процесса.

Следуя работе [7], будем рассматривать метод фазовых портретов как графоаналитический метод исследования систем, который описывается уравнением вида

$$\frac{dx}{dt} = P(x, y), \quad (4)$$

$$\frac{dy}{dt} = Q(x, y), \quad (5)$$

где x, y – переменные состояния системы, $P(x, y), Q(x, y)$ – функции, которые удовлетворяют условиям теорем существования и однозначности решения, t – время, независимая переменная.

Совместное решение уравнений (4) и (5) позволяет получить уравнение фазовых траекторий кардиосигнала.

Для получения фазового портрета необходимо построить фазовые траектории системы, то есть исключить из уравнений (4) и (5) время. Разделив (5) на (4), получим уравнение фазовых траекторий в дифференциальной форме

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Q(x, y)}{P(x, y)}.$$

Поведение такой системы можно представить геометрически на плоскости в декартовых координатах. При таком представлении каждому состоянию динамической системы однозначно соответствует точка на фазовой плоскости с координатами x, y и, наоборот.

Для исследования этих подходов использовались реальные ЭКГ из базы MIT–BIH Arrhythmia Database, созданной Массачусетским технологическим институтом совместно с израильским госпиталем Beth Israel, которая свободно доступна в Интернет. База содержит 48 записей по 30 минут с частотой дискретизации 360 Гц каждая.

На рисунке 1 сверху представлена запись ЭКГ № 100 мужчины 69 лет. Данный пациент принимает медицинские лекарственные препараты (Aldomet, Inderal). В нижней части рис.1 представлены фазовые портреты, построенные методом дифференцирования (слева) и методом задержки (справа) при $T = 6$.

На рис.2 сверху представлена запись ЭКГ № 112 мужчины 54 лет. На ЭКГ наблюдается депрессия ST сегмента. Пациент принимает лекарственные препараты (Digoxin, Pronestyl). В нижней части рис.2 представлены фазовые портреты, построенные методом дифференцирования (слева) и методом задержки (справа) при $T = 14$.

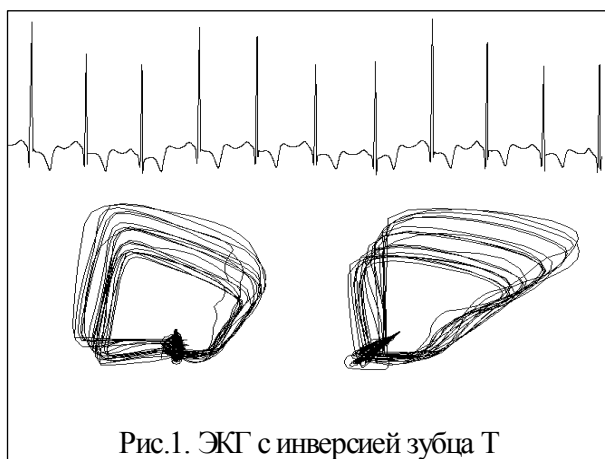


Рис.1. ЭКГ с инверсией зубца Т

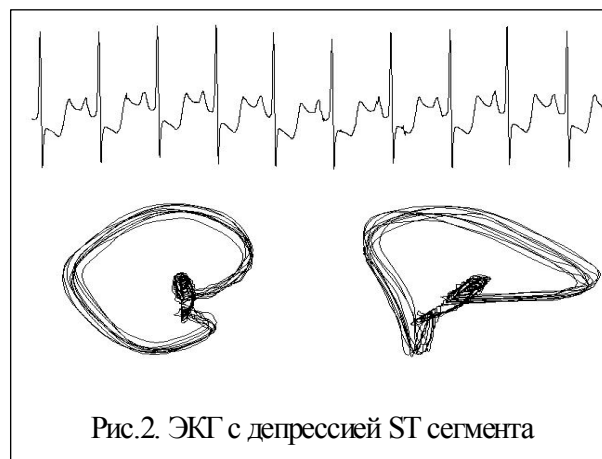


Рис.2. ЭКГ с депрессией ST сегмента

На рис.3 сверху представлена запись ЭКГ № 207 женщины 89 лет. На ЭКГ наблюдается преобладающий нормальный синусовый ритм с первой степенью AV блокады и блокада левой ножки пучка Гиса. Идеоventикулярный ритм появляется после длинного эпизода трепетания желудочков. Запись заканчивается в эпизоде SVTA (supraventricular tachyarrhythmia). Пациент принимает лекарственные препараты (Digoxin, Quinaglute). В нижней части рис.3 представлены фазовые портреты, построенные методом дифференцирования (слева) и методом задержки (справа) при $T = 24$.

На рис.4 сверху представлена запись ЭКГ № 222 женщины 84 лет. На ЭКГ наблюдается пароксимальное трепетание предсердий, узловой ритм. Пациент принимает лекарственные препараты (Digoxin, Quinidine). В нижней части рис.4 представлены фазовые портреты, построенные методом дифференцирования (слева) и методом задержки (справа) при $T = 7$.

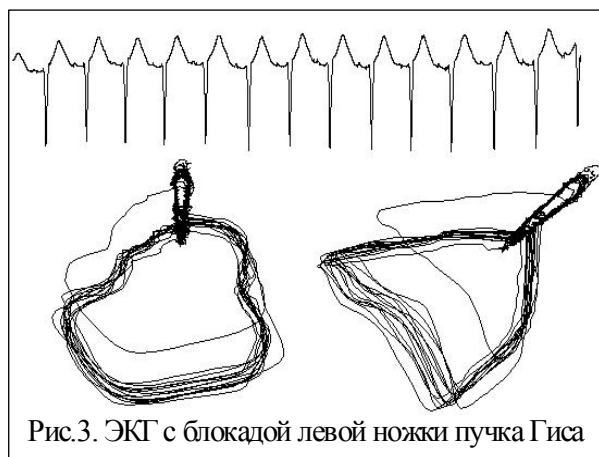


Рис.3. ЭКГ с блокадой левой ножки пучка Гиса

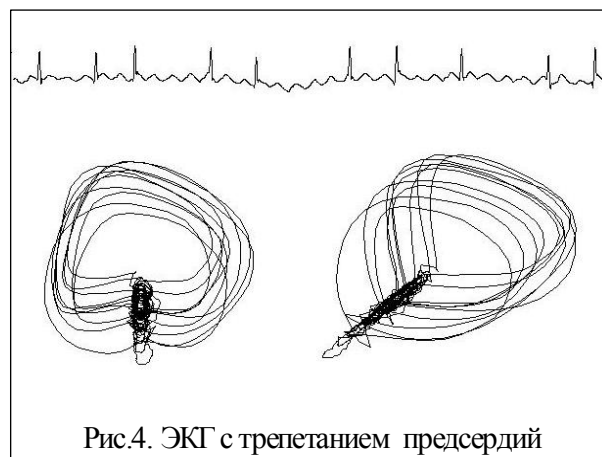


Рис.4. ЭКГ с трепетанием предсердий

На рис.5 сверху представлена запись ЭКГ № 230 мужчины 32 лет. Пациенту поставлен диагноз Синдром Вольфа-Паркинсона-Уайта (WPW). Пациент принимает лекарственные препараты (Dilantin). В нижней части рис.5 представлены фазовые портреты, построенные методом дифференцирования (слева) и методом задержки (справа) при $T = 8$.

На рис.6 сверху представлена запись ЭКГ № 119 женщины 51 года. На ЭКГ присутствуют extrasystoles. Пациент принимает лекарственные препараты (Pronestyl). В

нижній частині рис.6 представлені фазові портрети, побудовані методом диференціювання (слева) і методом затримки (справа) при $T = 10$.

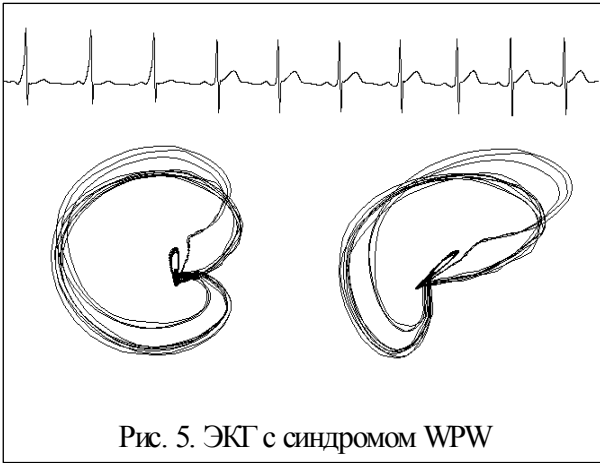


Рис. 5. ЕКГ с синдромом WPW

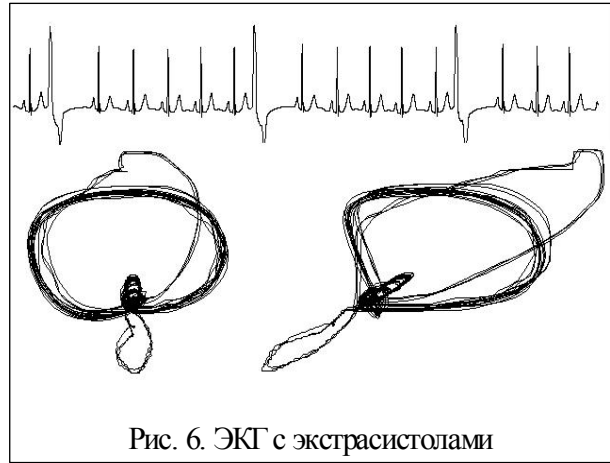


Рис. 6. ЕКГ с экстрасистолами

Сравнение представленных фазовых портретов может служить поддержкой принятия решений для ЭКГ диагностики. Каждый из приведенных фазовых портретов отличается определенными элементами, которые характеризуют заболевание. Это дает возможность получать дополнительную информацию о поражении сердечно-сосудистой системы, а при наличии соответствующих математических методов обработки – количественно оценить степень заболевания, эффективность лечения сердечно-сосудистыми препаратами и другие важные аспекты, которые возникают у врача-кардиолога в лечебной практике.

Литература

1. Файнзильберг Л.С. ФАЗАГРАФ® – эффективная информационная технология обработки ЭКГ в задаче скрининга ишемической болезни сердца // Клиническая информатика и телемедицина. – 2010. – Т.6. – Вып.7. – С. 22-30.
2. Moody G.B., Mark R.G. The impact of the MIT-BIH Arrhythmia Database // IEEE Eng. in Med. and Biol. – 2001. – № 20(3). – P.45-50.
3. Амосов Н.М., Агапов Б.Т., Паничкин Ю.В. Исследование сократительной функции миокарда методом фазовых координат // Доклады АН СССР. – 1972. – Т. 202. – № 1. – С. 245–247.
4. Ахметин А.М., Антропов О.С. // Анализ variability ритмов на основе метода рекуррентного анализа. Вісник харківського національного університету. – 2004. – № 617. –С. 64–65.
5. Малинецкий Г.Г, Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики // М.:Едиториал УРСС. – 2002. – 360 с.
6. Matjaž Perc. Nonlinear time series analysis of the human electrocardiogram // European Journal of Physics. – 2005. – № 26. – P. 757–768.
7. Нікітчук Т.М., Поліщук Ю.А. Використання методу фазової площини для дослідження пульсової хвилі // Вісник житомирського державного технологічного університету. – № 2(57). – С. 80-87.