

Корреляционный анализ нестационарных физиологических временных рядов на основе метода DFA

А.А. Короновский (мл.)

¹Саратовский государственный национальный исследовательский университет имени Н. Г. Чернышевского
alexander.koronovskiy@gmail.com

Сердечный ритм является важным физиологическим показателем, отражающим процессы вегетативной, нейрогуморальной и центральной регуляции в сердечно-сосудистой системе и организме в целом [1].

Комплексное взаимодействие факторов, оказывающих влияние на сердечный ритм, обуславливает нелинейный характер изменений его показателей. Для их описания применяются методы нелинейной динамики, в частности различные подходы к анализу сложности экспериментальных данных.

Для исследования факторов, влияющих на показатели сердечного ритма, используем метод DFA (detrended fluctuation analysis) - один из вариантов корреляционного анализа экспериментальных данных.

DFA позволяет проводить изучение структуры различных процессов или сигналов, в том числе и нестационарных, с точки зрения статистического самоподобия. Таким образом, если рассматривать сердечный ритм как фрактальную структуру, то для ее количественного описания можно определить характеристику самоподобия (показатель скейлинга) [2].

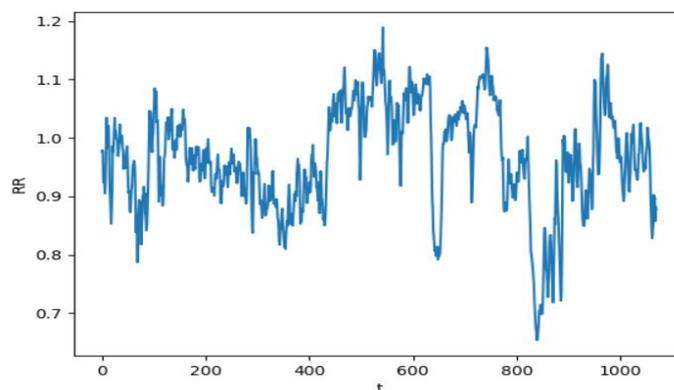


Рисунок 1. Анализируемая последовательность RR интервалов

Расчет этой характеристики по временному ряду проводится таким образом:

1) На первом этапе из временной последовательности кардиоинтервалов X_i составляют кумулятивную сумму Y_k следующим образом:

$$Y_k = \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}), \quad (1)$$

где \bar{X} - среднее значение X_i .

2) На следующем этапе кумулятивная сумма Y_k разбивается на временные окна равной длины L ; для каждого временного окна проводится аппроксимация тренда с помощью полинома, в случае использования метода DFA первого порядка это кусочно-линейная функция Z .

3) В пределах каждого временного окна вычисляется среднеквадратичное отклонение:

$$F(L) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [Y_k - Z_k]^2}. \quad (2)$$

4) Этапы вычисления 2 и 3 повторяются при различных размерах временного окна L .

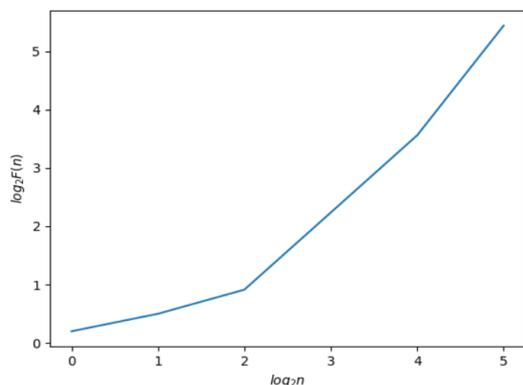
5) Определяют характеристический показатель зависимости $F(L) \sim L^\alpha$ как отношение логарифмов изменения F в зависимости от изменения L .

В зависимости от внутренней структуры изучаемых процессов показатель скейлинга α может принимать различные значения; так для случая белого шума этот показатель равен 0,5, для 1/f-шума, типичного в физиологии, он равен 1, в случае броуновского процесса - 1,5.

В качестве исследуемого сигнала выберем последовательность RR-интервалов электрокардиограммы человека. Покажем на примере этих данных, изображенных на рисунке 1, применение алгоритма метода DFA.

Результат работы алгоритма представлен на рисунке 2.

а)



б)

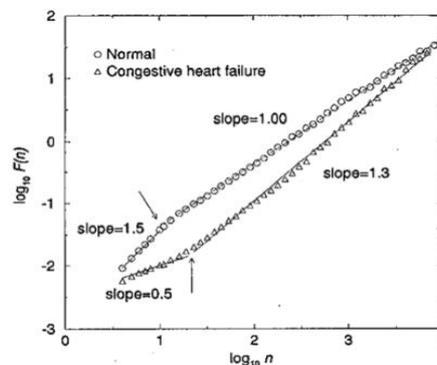


Рисунок 2. а. Результат применения метода DFA к экспериментальным данным, приведенным на рисунке 1. б. Результаты применения метода DFA для диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы, полученные в работе [2]

Значение показателя скейлинга определяется как коэффициент наклона прямой на плоскости зависимости логарифма среднеквадратичного отклонения F от логарифма L . Его значение для приведенного примера экспериментальных данных равно 1.05.

Таким образом, в данной работе был реализован алгоритм метода DFA, с помощью которого проведен анализ последовательности RR-интервалов электрокардиограммы взрослого человека в состоянии нормы.

Полученный результат (близкая к линейной зависимость на рисунке 2а) подтверждает наличие самоподобия в широком диапазоне масштабов. Показатель скейлинга в пределах от 1 до 1.3 свидетельствует о динамике сердечного ритма, находящейся в пределах нормы, что соответствует ожидаемым результатам. В дальнейших исследованиях планируется применить метод DFA и его модификации для диагностики различных типов патологии сердечно-сосудистой системы, а также сопоставить этот подход с методами количественного анализа сложности сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баевский Р.М., Иванов Г. Г. “Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения” М.: Медицина, 2000. - 295 с.

2. С.К. Peng et al. // Chaos 5, 82 (1995)