УДК 615.478:681.2

Н. Т. Абдуллаев[1], канд. техн. наук, доц., e-mail: a.namik46@mail.ru,
О. А. Дышин[2], канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., **М. И. Керимова**[2], ассистент
[1] Азербайджанский технический университет
[2] Азербайджанская государственная нефтяная академия, г. Баку

Дифференциальная диагностика заболевания желудочно-кишечного тракта на основе мультифрактального анализа электрогастроэнтерографических сигналов

Рассмотрен алгоритм мультифрактального анализа электрогастроэнтерографических сигналов, позволяющих оценить биоэлектрическую активность органов желудочно-кишечного тракта. Поскольку эти сигналы обладают фрактальной природой, то для их характеристики пользуются целым спектром показателей. Исследованы электрогастроэнтерографические сигналы для нормального состояния и при язвенных поражениях органов желудочно-кишечного тракта. Для дифференциальной диагностики этой болезни используются обобщенные показатели Херста, скейлинговые экспоненты, обобщенные фрактальные размерности и спектральные функции.

Ключевые слова: *желудочно-кишечный тракт, электрогастроэнтерографические сигналы, мультифрактальный анализ, язвенная болезнь, дифференциальная диагностика, спектр показателей*

Введение

Для исследования моторно-эвакуаторной функции (МЭФ) гладкомышечной клетки желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) все шире стали применять методы измерения ее электрической активности [1, 2]. В результате многочисленных экспериментальных работ по исследованию электрической активности гладкой мускулатуры пищеварительного тракта в совокупности со стандартными методиками оценки МЭФ (рентгенографией, баллонографией, иономанометрией и др.) получены доказательства тесной связи между электрической и моторной активностями гладких мышц ЖКТ [2—5].

Для исследования биоэлектрической активности органов ЖКТ применяют электрогастроэнтерографию — метод исследования, позволяющий оценить биоэлектрическую активность желудка, двенадцатиперстной кишки и других отделов ЖКТ. Он основан на регистрации изменений электрического потенциала от органов ЖКТ, т. е. снятии электрогастроэнтерограмм (ЭГЭГ) [6]. Данные, полученные при ЭГЭГ, не противоречат и часто опережают результаты рентгенологического и эндоскопического исследований, что свидетельствует о более высокой чувствительности метода для диагностики моторных нарушений [7].

ЭГЭГ относится к нестационарным сигналам в виде колебаний сложной формы. Классическими методиками обработки ЭГЭГ являются статистический, спектральный, вейвлет-анализы, широко применяемые в медицинской практике. Анализ существующих методов обработки ЭГЭГ [7—9] позволяет сделать вывод о том, что практически все методы дают возможность оценивать состояние ЖКТ интегрально или усредненно (пусть даже для каждого отдела ЖКТ) и не могут давать некоторые прогнозы о динамике состояния ЖКТ в ближайшем будущем.

В связи с вышесказанным интерес представляет разработка новых быстродействующих алгоритмов анализа этих биосигналов. Одним из примеров таких методов является популярный в радиофизике фрактальный анализ. В работе [8] показано, что ЭГЭГ-сигнал обладает фрактальной природой и для его расшифровки предлагается использовать показатель Херста H.

Однако константа Херста H характеризует лишь монофрактальные сигналы (например, фликкер-шум $1/f$, винеровский случайный процесс и т. д.), которые являются однородными в том смысле, что их скейлинговые характеристики остаются неизменными в любом диапазоне масштабов. Спектр таких сигналов имеет вид $S(f) \sim f^{-\beta}$ и не меняется в широком частотном диапазоне, т. е. β представляет собой постоянную величину. Простые самоподобные объекты, характеризуемые постоянным показателем Херста, являются идеализацией реальных явлений [10]. Сложные сигналы, к которым, по нашему мнению, относятся и ЭГЭГ-сигналы, имеют такие структуры, которые характеризуются целым спектром показателей. Размерность Хаусдорфа (фрактальная размерность) представляет собой лишь один из них, и показатель Херста для них не есть постоянная величина. Мультифрактальные процессы допускают разложение на участки с различными локальными свойствами скейлинга. Спектр таких процессов не может быть описан степенным законом с единственным показателем β, для их описания вводится обобщенная фрактальная размерность (размерность Реньи) [11].

В настоящей работе исследуются ЭГЭГ-сигналы пациентов с нормальным функционированием ЖКТ и с заболеваниями: язвенная болезнь желудка (ЯБЖ) и язвенная болезнь двенадцатиперстной кишки (ЯБДПК). Электрогастроэнтерографические методы этих заболеваний исследованы в работах [6, 12, 13], а эндоскопические методы — в работах [14, 15]. Для дифференциальной диагностики нами используются обобщенные показатели Херста $h(q)$, скейлинговые экспоненты $\tau(q)$, спектр обобщенных фрактальных размерностей D_q и спектральные функции $f(\alpha)$. Все эти информативные показатели получаются на основе мультифрактального анализа временных рядов, представленных измерениями ЭГЭГ-сигналов с определенной частотой.

Мультифрактальный анализ нестационарных временных рядов

Рассмотрим нестационарный временной ряд, представленный последовательным набором случайных значений

$$x_1, ..., x_N \equiv \{x_k\}_1^N. \qquad (1)$$

По определению нестационарность выражения в том, что кроме беспорядочных изменений средняя величина случайной переменной проявляет определенную тенденцию $f(t)$ изменения со временем, называемую трендом. Для статистической обработки временного ряда (1) в [16] предложен метод мультифрактального флуктуационного анализа (МФФА), называемый в англоязычной литературе *"multifractal detrended fluctuation analysis"* (MF-DFA). Этот метод сводится к следующим шагам.

1^0. Вводим суммарную флуктуацию $i \leqslant N$ значений ряда:

$$Y(i) = \sum_{k=1}^{i} (x_k - \bar{x}), \; i = 1, ..., N, \qquad (2)$$

где

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} x_k \qquad (3)$$

— арифметическое среднее ряда (1).

2^0. Делим полный временной интервал $[1, N]$ на $N_S = \mathrm{int}(N/s)$ сегментов (int — целая часть числа), каждый из которых содержит s значений $x_{(v-1)s+1}$, ..., x_{vs}, где $v = 1, ..., N_s$ — номер сегмента. В результате такого деления на конце интервала $[1, N]$ остается сегмент, содержащий число точек, которое меньше N_s. Поэтому проводим подобное деление в обратном направлении, начиная с противоположного края полного интервала. Получающиеся при этом сегменты нумеруем индексом $v = N_s + 1, ..., 2N_s$.

3^0. Находим полином $y_v(i)$, который наилучшим образом ложится на точки $x_{(v-1)s+1}, ..., x_{vs}$ v-го интервала (это можно сделать с помощью метода наименьших квадратов (МНК), перебирая степени n полинома $y_v(i)$, начиная с $n = 1$). Используя такой полином, находим дисперсию на интервале v:

$$F^2(v, s) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^{s} \{Y[(v-1)s + i] - y_v(i)\}^2, \quad v = 1, ..., N_s. \qquad (4)$$

Повторяем вычисление дисперсии для обратного отсчета интервалов

$$F^2(v, s) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^{s} \{Y[N(v - N_s)s + i] - y_v(i)\}^2, \quad v = N_s + 1, ..., 2N_s. \qquad (5)$$

4^0. Проводим усреднение деформированной дисперсии по интервалам, отсчитанным в обоих направлениях:

$$F_q(s) = \left\{\frac{1}{2N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} [F^2(v, s)]^{q/2}\right\}^{1/q}, \qquad (6)$$

где q — параметр деформации, $-\infty < q < +\infty$.

Во избежание расходимости при $q \to 0$ переходим к определению

$$F_0(s) = \exp\left\{\frac{1}{4N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} \ln[F^2(v, s)]\right\}. \qquad (7)$$

5^0. Используя логарифмические оси, находим обобщенный показатель Херста $h(q)$, отвечающий скейлинговому соотношению

$$F_q^{(s)} \sim s^{h(q)}, \tag{8}$$

характерному для самоподобных систем [17]. Показатель $h(q)$ определяется с помощью МНК по регрессии

$$y = b + ax \ (b = 0),$$

где $y = \ln F(q)$, $x = \ln s$, $a = h(q)$.

Для очень больших масштабов ($s > N/4$) $F_q(s)$ становится статистически незначимым, поскольку число сегментов N_s в процедуре усреднения на шаге 4^0 будет очень малым. Кроме того, при очень малых масштабах ($s < 6$) наблюдаются систематические отклонения от скейлинговой зависимости вида (8). Итак, при обработке ряда методом МФФА следует исключить значения $s > N/4$, а также малые сегменты ($s < 6$), для которых теряет статистическую достоверность усреднение (4), (5) по каждому из сегментов.

В общем случае экспонента $h(q)$ в соотношении (8) зависит от q. Для стационарных временных рядов величина $h(2)$ эквивалентна хорошо известному показателю Херста [17]. Таким образом, функция $h(q)$ определяет обобщенный показатель Херста.

Метод МФФА определяется только для положительных обобщенных показателей Херста $h(q)$ и становится неточным при существенно некоррелированных сигналах, когда $h(q)$ близко к нулю. В этих случаях рекомендуется [16] использовать модифицированный МФФА, в котором вместо одного суммирования в уравнении (2), описывающим профиль исходных данных x_k, применяется двойное суммирование:

$$\tilde{Y}(i) \equiv \sum_{k=1}^{i} [Y(k) - \bar{Y}], \tag{9}$$

где $\bar{Y} = \dfrac{1}{N} \sum\limits_{i=1}^{N} Y(i)$.

Следуя далее обычной процедуре МФФА, мы получим обобщенные функциональные функции $\tilde{F}_q(s)$, удовлетворяющие скейлинговому соотношению вида (8), но с большей экспонентой $\tilde{h}(q) = h(q) + 1$:

$$\tilde{F}_q(s) \sim s^{\tilde{h}(q)} = s^{h(q)+1}. \tag{10}$$

Таким путем обеспечивается скейлинговое соотношение даже для случая, когда значения $h(q)$ очень малы (но больше, чем -1) для некоторых значений q. Заметим, что $\tilde{F}_q(s)/s$ соответствует $F_q(s)$ в соотношении (8). Если не вычитать на каждом шаге процедуры среднее значение $\bar{Y}$ в сумме (9), то такое суммирование приводит к квадратным трендам в профиле $\tilde{Y}(i)$. В этом случае для исключения таких побочных трендов следует использовать по крайней мере МФФА второго порядка (т. е. степени полиномов $y_v(i)$ в (4) и (5) должны быть не меньше двух).

Для стационарных, положительных и нормализованных временных рядов

$$\{x_k\}_1^N \text{ с } x_k \geqslant 0 \text{ и } \sum_{k=1}^{N} x_k = 1 \tag{11}$$

мультифрактальный скейлинговый показатель $h(q)$, определяемый соотношением (8), связан непосредственно со скейлинговой экспонентой Реньи $\tau(q)$ (так называемый массовый показатель), определяемой с помощью обобщенных статистических сумм $Z_q(s)$ в рамках стандартной мультифрактальной идеологии [11]:

$$\tau(q) = qh(q) - 1, \tag{12}$$

где $\tau(q)$ определяется из скейлингового соотношения

$$Z_q(s) \equiv \sum_{v=1}^{N/s} |p_v(s)|^q \sim s^{\tau(q)}, \tag{13}$$

$$p_v(s) \equiv \sum_{k=(v-1)s+1}^{vs} x_k = Y(vs) - Y((v-1)s). \tag{14}$$

Здесь полагается, что N кратно s, т. е. $N_s = N/s$.

При компьютерной реализации алгоритма МФФА следует провести тестирование составленной программы на самоподобном множестве, мультифрактальные характеристики $h(q)$ и $\tau(q)$ которого могут быть найдены аналитически. В качестве такого множества удобно использовать бинарный мультифрактал Кантора [17].

Отвечающий ему биноминальный ряд определяется равенством

$$x_k = p^{m(k-1)}(1-p)^{n-m(k-1)}, \tag{15}$$

где параметр p определяет вероятность $0{,}5 < p < 1$, а $m(k)$ представляет число единиц в бинарном коде числа k (например, $m(19) = 3$, так как десятеричному числу 19 отвечает бинарный код 10011). Очевидно, такой ряд будет состоять из $N = 2^n$ членов x_k ($k = 1, ..., N$), число которых ограничено максимальным показателем n.

Согласно [16], обобщенный показатель Херста и массовый показатель ряда (15) выражаются равенствами

$$h(q) = \frac{1}{q} - \frac{\ln[p^q + (1-p)^q]}{q\ln 2}; \tag{16}$$

$$\tau(q) = -\frac{\ln[p^q + (1-p)^q]}{\ln 2}. \tag{17}$$

При заданном параметре p эти выражения однозначно описывают бинарный мультифрактал Кантора. Генерируя его согласно определению (15), легко найти мультифрактальные характеристики $h(q)$ и $\tau(q)$ методом МФФА и сравнить их с точными значениями (16), (17).

Если рассматривать вышеуказанный стационарный нормированный временной ряд (11) как фрактальное множество точек A на оси x, покрываемое отрезками длиной s, то соответствующая ему обобщенная статистическая сумма $Z(q, s)$, характеризуемая показателем q, запишется в виде [11]

$$Z(q, s) = \sum_{v=1}^{N(s)} p_v^q(s), \quad (18)$$

где $p_v(s)$ — вероятность того, что наугад взятая точка из множества A находится в ячейке (фрагменте) v длины s, при этом

$$\sum_{v=1}^{N(s)} p_v(s) = 1. \quad (19)$$

Нетрудно видеть, что для ряда (11) $N(s)= N/s$ и $Z(q, s) = Z_q(s)$.

Спектр обобщенных фрактальных размерностей D_q, характеризующий распределение точек x_k во множестве A, определяется с помощью соотношения

$$D_q = \frac{\tau(q)}{q-1}, \quad (20)$$

где функция $\tau(q)$ имеет вид

$$\tau(q) = \lim_{s \to 0} \frac{\ln Z(q, s)}{\ln s}. \quad (21)$$

Из (20) и (21) следует

$$D_q = \lim_{s \to 0}\left(\frac{1}{q-1}\frac{\ln Z(q, s)}{\ln s}\right). \quad (22)$$

Поскольку при $q = 1$, в силу условия нормировки вероятностей (16), $Z(1, \varepsilon) = 1$, где ε — размер разрешающей ячейки, покрывающей множество A, то $\tau(1) = 0$, что приводит к неопределенности вида 0/0 в выражении (20). Эта неопределенность раскрывается после очевидного равенства

$$Z(q, s) = \sum_{v=1}^{N(s)} p_v^q(s) = \sum_{v=1}^{N(s)} p_v(s)\exp[(q-1)\ln p_v(s)].$$

Устремляя $q \to 1$, раскладывая экспоненту и учитывая условие нормировки (19), получим

$$Z(q \to 1, s) \approx \sum_{v=1}^{N(s)} [p_v(s) + (q-1)p_v(s)\ln p_v(s)] =$$
$$= 1 + (q-1)\sum_{v=1}^{N(s)} p_v(s)\ln p_v(s).$$

Применяя теперь к выражению (22) правило Лопиталя по q, получим

$$D_L = \lim_{s \to 0}\frac{\sum_{i=1}^{N(s)} p_v(s)\ln p_v(s)}{\ln s}.$$

Для любого фрактального множества L, которое получается делением исходного отрезка на N_n, $n \to \infty$, фрагментов длиной $l_v \to 0$, $v = 1, 2, ..., N_n$, в случае самоподобия L вероятность попадания в v-й фрагмент дается степенной функцией

$$p_v = l_v^{\alpha} \quad (23)$$

с показателем Гельдера α [18]. Фрактальное множество L определяется мерой

$$Z(q) = \sum_{v=1}^{N_n} p_i^q, \quad (24)$$

обобщающей определение статистической суммы за счет деформации показателем $q \ne 1$. При положительных q эта деформация приводит к тому, что максимальный вклад в меру (24) дают большие значения вероятности p_v, а при отрицательных — малые.

Для произвольного распределения вероятностей p_v, не сводящегося к геометрическому распределению (23), мера (24) определяет энтропию Реньи

$$S_q^R \equiv \frac{1}{1-q}\ln\sum_{v=1}^{N_n} p_v^q = \ln[Z(q)]^{1/1-q}. \quad (25)$$

Поэтому спектр обобщенных фрактальных размерностей D_q, определяемый формулой (20) или (22), называют размерностью Реньи фрактального множества.

При заданном значении n показателю α в (23) отвечает

$$N_n(\alpha) = \ln^{-f(\alpha)} \quad (26)$$

фрагментов, число которых определяется спектром мультифрактала $f(\alpha)$, определяемым формулами [18]

$$f(\alpha) = 1 + q(\alpha)[\alpha - h(q(\alpha))]; \quad (27)$$

$$\alpha(q) \equiv \frac{d\tau(q)}{dq} = h(q) + q\frac{dh}{dq}. \quad (28)$$

Набор различных значений функции $f(\alpha)$ (при разных α) представляет собой спектр фрактальных размерностей (размерностей Хаусдорфа) однородных полумножеств L_α, на которые можно разбить исходное множество L. Так что мультифрактал можно понимать как некое объединение различных однородных фрактальных подмножеств (монофракталов) L_α исходного множества L, каждое из которых имеет собственное значение фрактальной размерности $f(\alpha)$ [11].

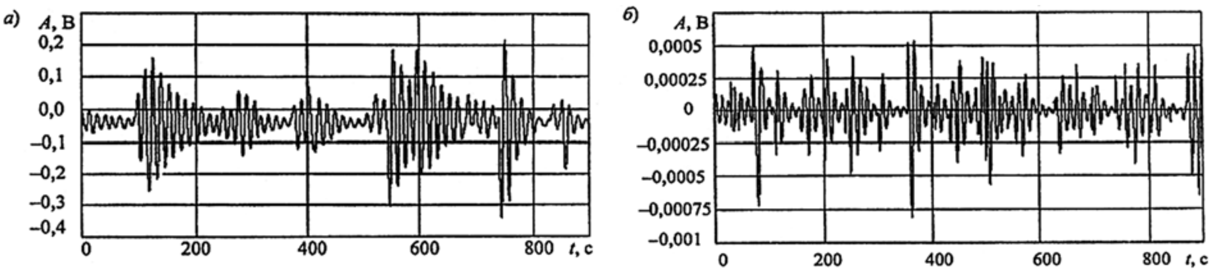

Рис. 1. Электрогастрограмма желудка в норме (*а*) и с язвенной болезнью (*б*)

Наиболее ярко строение самоподобного объекта представляется формой мультифрактального спектра $f(\alpha)$, ширина которого дает набор фрактальных размерностей. Так, для монофракталов кривая $f(\alpha)$ имеет δ-образную форму с фиксированным значением α.

Таким образом, на основе мультифрактального подхода к численному анализу временных рядов, представленных ЭГЭГ-сигналами здоровых и с заболеваниями ЖКТ пациентов, получаются следующие четыре информативных для дифференциальной диагностики показателя: обобщенный показатель Херста $h(q)$, скейлинговая экспонента Реньи $\tau(q)$, спектр обобщенных фрактальных размерностей D_q и спектральная функция $f(\alpha(q))$.

Пусть $i = 1, 2, 3, 4$ — индексы показателей $h(q)$, $\tau(q)$, D_q и $f(\alpha(q))$ соответственно и $j = 0, 1, 2, 3$ — индексы заболеваний ЖКТ, где 0 — отсутствие каких-либо заболеваний ЖКТ и 1, 2, 3 — наличие соответственно язвенной болезни желудка (ЯБЖ), язвенной болезни тощей кишки (ЯБТК) и язвенной болезни двенадцатиперстной кишки (ЯБДПК). Имея усреднение (по ранее обследованным пациентам) эталонные графики зависимостей $h(q)$, $\tau(q)$, D_q и $f(\alpha(q))$ на интервале $[-20, 20]$ изменения параметра q и соответствующие графики зависимостей $h^*(q)$, $\tau^*(q)$, D_q^* и $f^*(\alpha(q))$ исследуемого пациента можно вычислить для каждой пары (i, j), среднеквадратическое отклонение $\text{СКО}_{i,\,j}$-показателей исследуемого пациента от соответствующих этой паре эталонных показателей. Тогда индекс j^0, на котором достигается минимум величин $\text{СКО}_j = \sum\limits_{i=1}^{4} \text{СКО}_{ij}$, т. е.

$$j^0 = \underset{j = 0,\,1,\,2,\,3}{\arg\min}\ \text{СКО}_j,$$

можно принять в качестве номера диагностируемого заболевания исследуемого пациента.

Результаты вычислительного эксперимента и оценка информативных параметров

В качестве исходных данных были рассмотрены реально измеренные тощаковые сигналы (рис. 1) для нормального состояния желудка (*а*) и при язвенной болезни желудка (*б*). Обработке подвергались оцифрованные значения этих сигналов с частотой дискретизации 100 Гц. Обработка полученного временного ряда по методу мультифрактального флуктуационного анализа согласно предложенному выше алгоритму позволила получить зависимости обобщенного показателя Херста $h(q)$ (рис. 2)* и скейлингового показателя Реньи $\tau(q)$ (рис. 3) для указанной болезни ЖКТ. Как видно из графиков, эти зависимости достаточно близки друг другу (а во многих точках и совпадают), поэтому с этой точки зрения использовать данные показатели для дифференциальной диагностики различных орга-

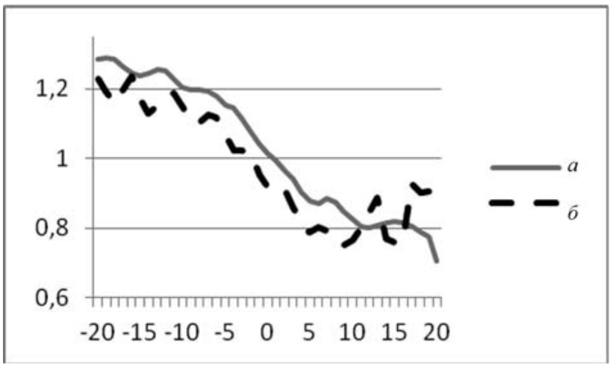

Рис. 2. Зависимость обобщенного показателя Херста *h*(*q*)

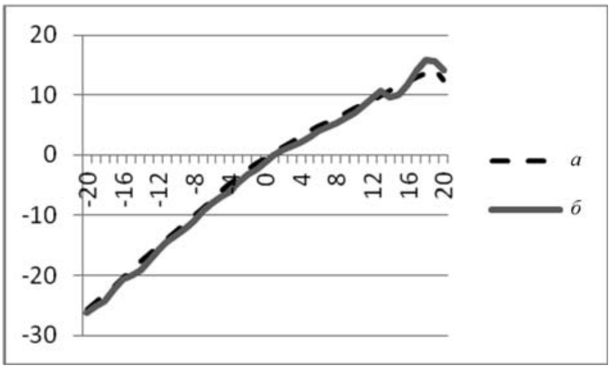

Рис. 3. Зависимость скейлингового показателя τ(*q*)

*На рис. 2—5 показатели *а* — для желудка, *б* — для язвенной болезни.

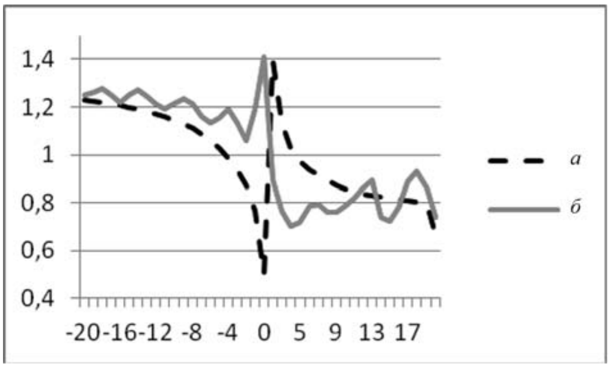

Рис. 4. Зависимость обобщенной фрактальной размерности D_q

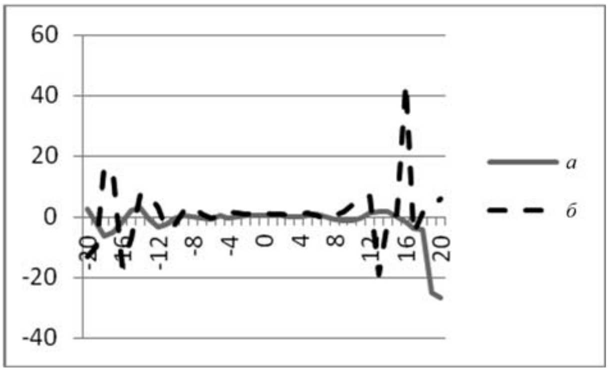

Рис. 5. Зависимость мультифрактальной спектральной функции $f(\alpha)$ информация

нов ЖКТ достаточно сложно. Более информативными являются зависимости обобщенной фрактальной размерности D_q (рис. 4) и мультифрактальной спектральной функции $f(\alpha)$ (рис. 5). Существенные различия этих зависимостей имеют место в определенных диапазонах q. Аналогичные результаты были получены при исследовании язвенной болезни двенадцатиперстной кишки.

Расчеты были повторены по 10 пациентам с указанными диагностическими заключениями, подтвержденные ранее эндоскопическими и рентгенологическими обследованиями. Полученные в целях определения характера поведения предлагаемых диагностически значимых параметров зависимости по остальным пациентам подтвердили результаты проведенных исследований.

Достоверность функционирования программы мультифрактального флуктуационного анализа была проведена тестированием метода МФФА по биномиальному ряду.

Таким образом, можно утверждать, что возможна дифференциальная диагностика органов ЖКТ по полученным показателям.

Список литературы

1. **Ребров В. Г., Станковский Б. А., Кулинина Г. И.** Особенности регистрации электрической активности желудка и кишечника с поверхности тела пациента // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 1995. № 2. С. 48—52.
2. **Периферическая** электрогастроэнтерография в детской гастроэнтерологии (Методические аспекты) / [Пономарева А. П и др.]. М.: Российский государственный университет Росздрава, 2007. 48 с.
3. **Ворновицкий Е. Г., Фельдштейн И. В.** Использование накожной электрогастрографии для оценки состояния желудочно-кишечного тракта // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1998. Т. 126, № 11. С. 597—600.
4. **Гальперин Ю. М., Ребров В. Г., Попова Т. С., Горин А. С., Опарин И. С.** К вопросу о соответствии электрогастрографии двигательной активности желудка // Современные вопросы электрогастрографии двигательной активности желудка: Матер. I Всесоюзной конференции по электрогастрографии. М.: Наука, 1975. С. 60—62.
5. **Ребров В. Г.** Практические возможности электрогастрографии при различных способах ее отведения // Современные вопросы электрогастрографии: Матер. I Всесоюзной конференции по электрогастрографии. М.: Наука, 1975. С. 173—176.
6. **Электрогастроэнтерография:** исследование электрической активности желудка и кишечника [Электронный ресурс]: Функциональная гастроэнтерология. М.: ЗАО НПП "Исток-Система". URL: http: //www.gastroscan.ru/phy sician/egg/.
7. **Модели** и алгоритмы обработки электрогастроэнтерографического сигнала [Электронный ресурс]. URL: http //masters. donnta.edu.ua/2009/kita/boutiti/diss/index.html
8. **Нагорная М. Ю.** Применение фрактальных методов анализа к электрогастроэнтерографическим сигналам и их техническая реализация. Дисс. ... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Самара, 2010. 134 с.
9. **Антипов О. И., Нагорная М. Ю.** Показатель Херста биоэлектрических сигналов // Инфокоммуникационные технологии. 2011. Т. 9, № 1. С. 75—77.
10. **Павлов А. Н.** Методы анализа сложных сигналов: учеб. пособие. Саратов: Научная книга, 2008. 120 с.
11. **Божокин С. В., Паршин Д. А.** Фракталы и мультифракталы. Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. 128 с.
12. **Пономарева А. П., Бельмер С. В., Коваленко А. А., Карпина Л. М.** Электромиографическая оценка моторики желудочно-кишечного тракта в педиатрии // Матер. X Конгресса детских гастроэнтерологов России "Актуальные проблемы абдоминальной патологии у детей" (19—21 марта 2003 г. Москва) / Под общей ред. акад. РАМН В. А. Таболина, 2003, 174 с.
13. **Смирнова Г. О., Силуянов С. В.** Периферическая электрогастроэнтерография в клинической практике. Пособие для врачей / Под ред. проф. В. А. Ступина. М.: Издат. дом "Медпрактика-М", 2009. 20 с.
14. **Локтюхин В. Н., Мальченко С. И., Черепнин А. А.** Основы математического обеспечения поддержки диагностических решений в биотехнических системах с использованием нечеткой логики: учеб. пособие. Рязань: Рязан. гос радиотехн. ун-т, 2009. 64 с.
15. **Черепнин А. А.** Модели, алгоритмы и средства для поддержки принятия диагностических решений при эндоскопическом обследовании на основе технологии нечеткой логики. Дисс. ... на соиск. уч. степени канд. техн. наук. Рязан. гос. радиотехн. ун-т. 2010. 206 с.
16. **Kantelhard J. W., Zschiegner S. A., Koscielny-Bunde E., Havlin Sh., Bunde A., Stanley H. E.** Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series // Physica A 316. 2002. P. 87—114.
17. **Федер Е.** Фракталы / Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 254 с.
18. **Синергетика** сложных систем. Феноменология и статистическая теория. М.: КРАСАНД, 2009. 384 с.

N. T. Abdullayev[1], Associate Professor, e-mail: a.namik46@mail.ru,
O. A. Dyshin[2], Senior Researcher, **M. I. Kerimova,** Assistant
[1] Azerbaijan Technical University, [2] Azerbaijan State of Oil Academy

Differential Diagnosis Gastrointestinal Diseases on the Basis of the Multifractal Analysis the Elektrogastroenterographic Signals

The algorithm of the multifractal analysis the elektrogastro enterokgraficheskikh of the signals allowing to estimate bioelectric activity of bodies of a digestive tract is considered. As these signals possess the fractal nature, for their characteristic use the whole range of indicators. Elektrogastrokenterokgrafichesky signals for a normal state are investigated and at stomach ulcers of bodies of a digestive tract. For differential diagnosis of these diseases the generalized Hurst exponents, skeylingovy exhibitors, the generalized fractal dimensions and spectral functions are used.

Keywords: *digestive tract, elektrogastroenterografichesky signals, multifractal analysis, stomach ulcers, differential diagnostics, range of indicators*

References

1. **Rebrov V. G., Stankovskiy B. A., Kulinina G. I.** Osobennosti registratsii elektricheskoy aktivnosti zheludka i kishechnika s poverhnosti tela patsienta, *Rossiyskiy zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii*, 1995, no. 2, pp. 48—52.
2. **Perifericheskaya** *elektrogastroenterografiya v detskoy gastroenterologii* (Metodicheskie aspektyi) [Ponomareva A. P. i dr.], M.: Rossiyskiy gosudarstvennyiy universitet Roszdrava, 2007, 48 p.
3. **Vornovitskiy E. G., Feldshteyn I. V.** Ispolzovanie nakozhnoy elektrogastrografii dlya otsenki sostoyaniya zheludochno-kishechnogo trakta, *Byulleten eksperimentalnoy biologii i meditsinyi*, 1998, vol. 126, no. 11, pp. 597—600.
4. **Galperin Yu. M., Rebrov V. G., Popova T. S., Gorin A. S., Oparin I. S.** K voprosu o sootvetstvii elektrogastrografii dvigatelnoy aktivnosti zheludka, *Sovremennyie voprosyi elektrogastrografii dvigatelnoy aktivnosti zheludka: materialyi i Vsesoyuznoy konferentsii po elektrogastrografii,* M.: Nauka, 1975, pp. 60—62.
5. **Rebrov V. G.** Prakticheskie vozmozhnosti elektrogastrografii pri razlichnyih sposobah ee otvedeniya, *Sovremennyie voprosyi elektrogastrografii: materialyi i Vsesoyuznoy konferentsii po elektrogastrografii*, M.: Nauka, 1975, pp. 173—176.
6. **Elektrogastroenterografiya:** *issledovanie elektricheskoy aktivnosti zheludka kishechnika* [Elektronnyiy resurs]: Funktsionalnaya gastroenterologiya, M.: ZAO NPP "Istok-Sistema" — Rezhim dostupa. URL: http://www.gastroscan.ru /physician/egg/
7. **Modeli** *i algoritmyi obrabotki elektrogastroenterograficheskogo signala* [Elektronnyiy resurs], URL: http: //masters.donnta.edu.ua/ 2009/kita/boutiti/diss/index.html
8. **Nagornaya M. Yu.** *Primenenie fraktalnyih metodov analiza k elektrogastroenterograficheskim signalam i ih tehnicheskaya realizatsiya.* Diss. ... na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk, Samara, 2010, 134 p.
9. **Antipov O. I., Nagornaya M. Yu.** Pokazatel Hersta bioelektricheskih signalov, *Infokommunikatsionnyie tehnologii*, 2011, vol. 9, no. 1, pp. 75—77.
10 **Pavlov A. N.** *Metodyi analiza slozhnyih signalov:* Ucheb. posobie. Saratov: Nauchnaya kniga, 2008. 120 p.
11. **Bozhokin S. V., Parshin D. A.** *Fraktalyi i multifraktalyi.* Izhevsk: NITs "Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika", 2001, 128 p.
12. **Ponomareva A. P., Belmer S. V., Kovalenko A. A., Karpina L. M.** *Elektromiograficheskaya otsenka motoriki zheludochno-kishechnogo trakta v pediatrii.* Mater. X Kongressa detskih gastroenterologov Rossii "Aktualnyie problemyi abdominalnoy patologii u detey" (19—21 marta 2003 g. Moskva). Pod obschey redaktsiey akad. RAMN V. A. Tabolina, 2003, 174 p.
13. **Smirnova G. O., Siluyanov S. V.** *Perifericheskaya elektrogastroenterografiya v klinicheskoy praktike:* Posobie diva vrachev. Pod. red. prof. V. A. Stupina. M.: Izd. dom "Medpraktika-M", 2009, 20 p.
14. **Loktyuhin V. N., Malchenko S. I., Cherepnin A. A.** *Osnovyi matematicheskogo obespecheniya podderzhki diagnosticheskih resheniy v biotehnicheskih sistemah s ispolzovaniem nechetkoy logiki:* Ucheb. posobie, Ryazan. gos. radiotehn. un-t. Ryazan, 2009, 64 p.
15. **Cherepnin A. A.** *Modeli, algoritmyi i sredstva dlya podderzhki prinyatiya diagnosticheskih resheniy pri endoskopicheskom obsledovanii na osnove tehnologii nechetkoy logiki.* Diss. ... na soisk. uch. stepeni kand. tehn. nauk. Ryazan. gos. radiotehn. un-t, 2010, 206 p.
16. **Kantelhard J. W., Zschiegner S. A., Koscielny-Bunde E., Havlin Sh., Bunde A., Stanley H. E.** Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series, *Physica A 316,* 2002, pp. 87—114.
17. **Feder E.** *Fraktalyi.* Per. sangl. M.: Mir, 1991. 254 p.
18. **Sinergetika** *slozhnyih sistem.* Fenomenologiya i statisticheskaya teoriya, M.: KRASAND, 2009. 384 p.