

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ЦЕЛЬЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ОРГАНОВ И ТКАНЕЙ ОРГАНИЗМА

*А.А. Болотов, Н.В. Тишевская
ЧелГМА, г. Челябинск*

Анализируется возможность использования фрактального анализа в сочетании со стандартным дискриминантным анализом для анализа биоэлектрических сигналов, создаваемых электрической активностью возбудимых клеток, с целью дифференциальной диагностики патологических состояний органов и тканей. Работа проведена на примере распознавания дистрофических и злокачественных процессов в офтальмологии.

Ключевые слова: фрактальный анализ, дискриминантный анализ, биоэлектрические сигналы, дистрофия сетчатки, меланома, ретинобластома.

В медицинской практике широко используется анализ биоэлектрических сигналов, порождаемых электрической активностью органов и тканей. Анализ таких сигналов применяется для определения состояния органов и систем человеческого организма с диагностической целью. Примерами таких сигналов являются электрокардиограммы, электроэнцефалограммы, реограммы, записи во времени и пространстве данных ультразвуковых исследований и т. п. Стандартный спектральный анализ (расчет Фурье-спектра) подобных сигналов показывает, что всем им присуща периодическая составляющая. Однако кроме периодической составляющей, в биоэлектрических сигналах присутствуют квазипериодические и стохастические компоненты. Особенно велика роль квазипериодических и стохастических составляющих в записях электроэнцефалограмм, реограмм и временных разверток ультразвуковых сигналов при ультразвуковых обследованиях. Попытка применить обычный спектральный анализ (Фурье-анализ) сигналов со значительной долей стохастической составляющей в задачах распознавания патологических состояний, как правило, заканчивается неудачей из-за принципиальных ограничений Фурье-анализа, заключающихся в сложности его применения для анализа стохастических сигналов. Такие особенности сигнала как, например, резкие перепады и всплески вызывают лишь незначительные изменения спектра сигнала, которые распределяются по всей частотной оси, что делает невозможным их обнаружение и анализ. По составу высших составляющих спектра практически невозможно определить местоположение особенностей временной зависимости исходного сигнала. Все вышесказанное заставляет использовать для анализа биоэлектрических сигналов новые методы, принципиально подходящие для анализа псевдослучайных нестационарных процессов. К таким методам относятся фрактальный и вейвлетный анализ.

Цель исследования. Целью настоящей работы является изучение возможности применения методов фрактального анализа в сочетании с дискриминантным анализом в задачах дифференциальной диагностики патологических состояний по записям временных разверток ультразвуковых сигналов при обследовании глазного яблока. В качестве исходных сигналов для проверки эффективности применения фрактального анализа рассматривались одномерные записи ультразвукового обследования внутриглазных образований, выполненные на кафедре глазных болезней ЧелГМА и использованные в нашей работе с разрешения профессора В.С. Рыкуна.

Методы исследования. Задача решалась в три этапа. На первом этапе выполнялось ультразвуковое сканирование с высоким разрешением глазного яблока для каждого пациента. Далее проводилась оцифровка полученных сканограмм также с максимально возможным разрешением [3]. Оцифрованные изображения сохранялись в формате ASCII (как текстовый файл). На втором этапе все оцифрованные сканограммы вводились в стандартную программу для стандартного фрактального анализа FRACTAN [1]. На третьем этапе результаты фрактального анализа полученных сканограмм использовались как входные переменные для стандартного дискриминантного анализа [2]. По результатам дискриминантного анализа принималось окончательное решение по дифференциальной диагностике патологий глазного яблока.

Результаты исследования и их обсуждение. Для проверки возможности применения комбинации фрактального анализа и дискриминантного анализа были выбраны пациенты глазного отделения областной клинической больницы с тремя видами патологий глазного яблока: дистрофия сетчатки, меланома, ретинобластома. Всем пациентам было выполнено одномерное с высоким разрешением ультразвуковое сканирование глазного яблока. Первичное сканирование было выполнено профес-

сором Рыкуном В.С. На выходе сканера были получены изображения (сканограммы). Изображения с помощью сканера с высоким разрешением и программы оцифровки изображений [2] оцифровывались и переводились в формат *.xls. После проверки качества оцифровки путем сравнения с исходной сканограммой, сканограммы сохранялись в текстовом формате (ASCII), как того требует программа фрактального анализа.

Программа фрактального анализа для каждого пациента рассчитывает основные характеристики фракталов: размерность фазового пространства, фрактальную размерность, показатель Херста, корреляционную размерность и корреляционную энтропию. Для предварительного анализа использовано 24 записи по 8 независимых записей для каждой нозологии.

Основные характеристики фракталов использовались как входные переменные для дискриминантного анализа. По рассчитанным характеристикам фракталов применялся дискриминантный анализ с расчетом нормированных и ненормированных коэффициентов дискриминирующей функции с полным включением всех переменных и пошаговый метод для выявления информативных фрактальных показателей.

Для метода полного включения всех фрактальных показателей получены следующие результаты. Поскольку классов патологий три, то результаты дискриминантного анализа отображаются на плоскости с расчетом двух дискриминирующих функций. В табл. 1 приведены собственные значения и коэффициенты канонической корреляции.

Таблица 1
Собственные значения и процент объясненной дисперсии

Функция	Собственное значение	% объясненной дисперсии	Каноническая корреляция
1	7,458 ^a	91,5	0,939
2	0,696 ^a	8,5	0,641

Значимость первой дискриминирующей функции менее 0,001, второй – 0,032.

В табл. 2 приведены нормированные значения коэффициентов дискриминирующих функций, в табл. 3 – ненормированные значения, которые и должны использоваться при расчетах. Нормированные коэффициенты используются для сравнения силы влияния показателей на распознавание патологий.

Соответственно дискриминирующие функции имеют вид:

$$F1(x) = KP \cdot 2,6 + РФП \cdot 0,158 + ПХ \cdot 4,162 + ФР \cdot 0,552 + КЭ \cdot 0,197 - 9,622;$$

$$F2(x) = -KP \cdot 0,317 - РФП \cdot 0,094 + ПХ \cdot 10,041 + ФР \cdot 2,715 - КЭ \cdot (-4,4) - 6,241.$$

Таблица 2
Нормированные коэффициенты канонической дискриминирующей функции

Переменная	Функция	
	1	2
Корреляционная размерность	0,858	-0,104
Размерность фазового пространства	0,406	-0,240
Показатель Херста	0,404	0,975
Фрактальная размерность	0,120	0,590
Корреляционная энтропия	0,018	-0,408

Таблица 3
Ненормированные коэффициенты канонической дискриминирующей функции

Переменная	Функция	
	1	2
Корреляционная размерность (КР)	2,600	-0,317
Размерность фазового пространства (РФП)	0,158	-0,094
Показатель Херста (ПХ)	4,162	10,041
Фрактальная размерность (ФР)	0,552	2,715
Корреляционная энтропия (КЭ)	0,197	-4,400
Константа (К)	-9,622	-6,241

На рис. 1 показаны в координатах дискриминирующих функций положения центров групп пациентов разных патологий глазного яблока и отдельные пациенты.

В табл. 4 приведены результаты классификации при использовании всех показателей фрактального анализа.

Для выявления только информативных показателей фрактального анализа на следующем этапе использовался пошаговый метод дискриминантного анализа. При этом на каждом шаге используется для анализа только самые информативные показатели. Когда вклад очередного показателя не превышает 0,05, анализ останавливается.

В табл. 5 и 6 приведены нормированные и ненормированные коэффициенты дискриминирующих функций для пошагового метода. Из таблиц видно, что для дифференциальной диагностики достаточно только двух показателей фрактального анализа: корреляционной размерности и показателя Херста. При этом коэффициенты канонической корреляции для первой функции 0,927 при значимости менее 0,001, а для второй – 0,545 при значимости 0,006.

Вполне понятно, что коэффициенты канонической корреляции стали меньше, но не существенно. При этом значимость функций сохранилась.

Вид дискриминирующих функций:

$$F1(x) = -8,729 + 3,162 \cdot KP + 4,741 \cdot ПХ;$$

$$F2(x) = -3,297 - 0,428 \cdot KP + 9,746 \cdot ПХ.$$

Канонические дискриминантные функции

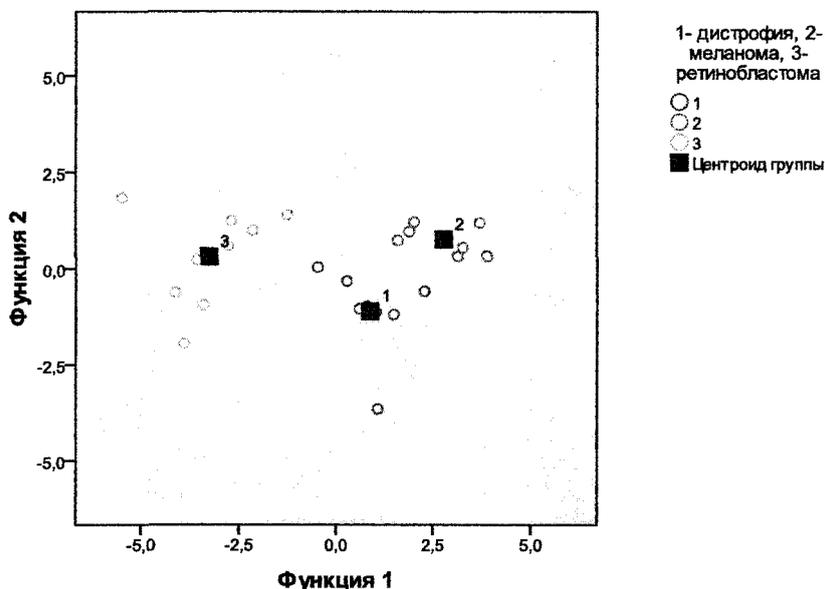


Рис. 1. Положение групп пациентов разных патологий в координатах дискриминирующих функций

Таблица 4

Результаты классификации

Нозология	Предсказанная принадлежность к группе			Итого	Прогноз
	Дистрофия	Меланома	Ретинобластома		
Дистрофия	7	1	0	8	Частота
Меланома	0	8	0	8	
Ретинобластома	0	0	9	9	
Дистрофия	87,5	12,5	0	100,0	Доля, %
Меланома	0	100,0	0	100,0	
Ретинобластома	0	0	100,0	100,0	

Таблица 5

Нормированные коэффициенты канонической дискриминирующей функции

Переменная	Функция	
	1	2
Корреляционная размерность	1,043	-0,141
Показатель Херста	0,461	0,947

Таблица 6

Ненормированные коэффициенты канонической дискриминирующей функции

Переменная	Функция	
	1	2
Корреляционная размерность (КР)	3,162	-0,428
Показатель Херста (ПХ)	4,741	9,746
Константа (К)	-8,729	-3,297

Отметим, что выбор корреляционной размерности и показателя Херста соответствует максимальным значениям нормированных коэффициентов при полном включении всех переменных в дискриминантный анализ. На рис. 2 показано по-

ложение групп пациентов с разными патологиями при выборе только двух переменных.

Как видно из сравнения рис. 1 и 2, различий практически нет. Результаты классификации при использовании только двух переменных (96 % случаев классифицировано правильно) практически не отличаются от общих результатов классификации. Это говорит о том, что действительно работают на классификацию в случае глазной патологии только корреляционная размерность и показатель Херста.

На рис. 3 показана так называемая территориальная карта в координатах двух дискриминирующих функций, на которой показаны центры распределений для трех глазных патологий и выделенные дискриминантным анализом линии, разделяющие эти патологии. Территориальная карта позволяет определить, к какой области относится вновь обследуемый пациент. Для этого для него вычисляются значения двух дискриминирующих функций, эти значения используются как координаты на плоскости. Эти координаты наносятся на территориальную карту, и в какую область попадает точка для данного пациента, выносится пред-

Канонические дискриминантные функции

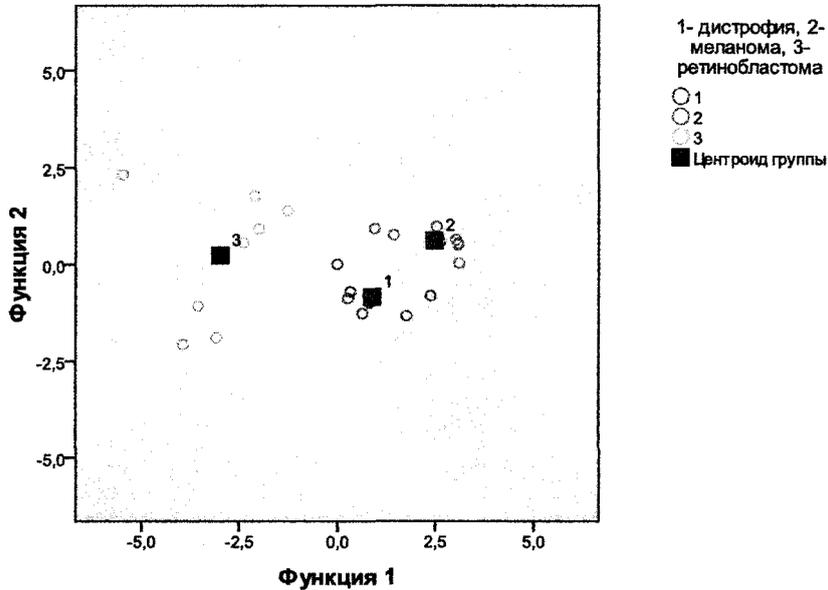


Рис. 2. Положение групп пациентов разных патологий в координатах дискриминирующих функций при выборе только двух переменных

положительный диагноз для него. Квадратиками обозначены центры распределений координат пациентов для разных патологий.

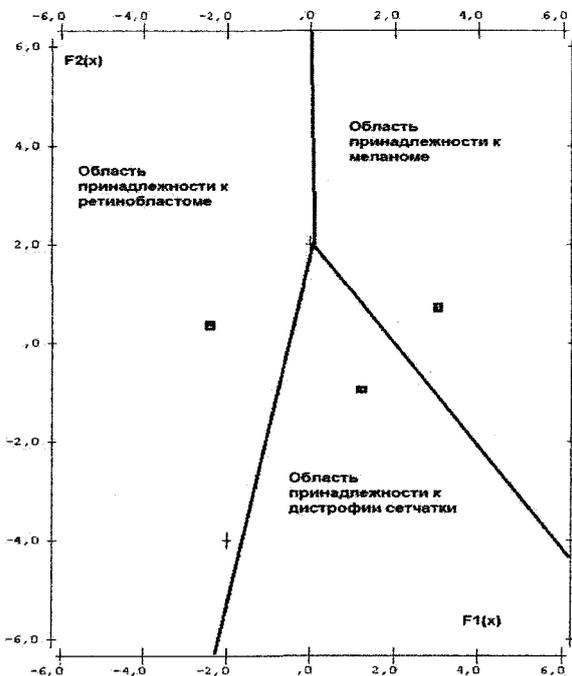


Рис. 3. Территориальная карта

Заключение. Таким образом, применение фрактального анализа с последующим дискриминантным анализом показало его высокую эффективность для решения задач дифференциальной диагностики патологических состояний по данным временных разверток ультразвуковых сигналов. Комбинированное использование фрактального и дискриминантного анализа может найти широкое применение в статистической обработке регистрационных кривых, имеющих периодическую, квазипериодическую и стохастическую составляющие, таких как электрокардиограмма, электроэнцефалограмма, реограмма, запись ультразвукового сканирования и т. д. Использование фрактального анализа для оценки результатов инструментальных методов обследования человека и животных является новым перспективным статистическим методом в биологии и медицине.

Литература

1. Fractan 4.4. – www.beintrend.ru
2. Бююль, А. SPSS: искусство обработки информации / А. Бююль, П. Цёфель. – М.: DiaSoft, 2002.
3. Advanced Grapher 2.2. – www.alentum.com/agraper

Поступила в редакцию 18 февраля 2011 г.