На рис. 4 представлены индексы прироста кедра сибирского с 1890 по 1990 гг., полученные как среднее арифметическое по выборке из 23 образцов, отобранных п. Зоркальцево. Также показаны изменения количества летних осадков (июнь, июль) по данным метеостанции г. Томска за этот же период времени.

Анализ приведённых данных позволяет судить о влиянии количества осадков на радиальный прирост древесной массы. Высокие значения индексов прироста наблюдаются при большом количестве осадков.

Выводы

1. Разработан алгоритм двумерного анализа изображений дисков деревьев, включающий вычисление направления и среднеквадратичной ширины области максимального прироста годичных колец деревьев и позволяющий восстанавливать функцию роста в пределах вегетационного периода.
2. Разработан алгоритм вычисления значений индексов прироста ширины годичных колец деревьев.
3. Проведен анализ данных о влиянии окружающей среды на формирование годичных колец сосны. Получены результаты, которые совместно с картографической информацией позволяют объяснить неравномерный рост дерева на границе природных зон.
4. Проведен анализ индексов прироста кедра сибирского и соответствующего количества летних осадков по данным метеостанции г. Томска.

Поступила 29.06.2011 г.

УДК 004.925.8:616.441−002

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАЗОВОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ЭЭГ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ПАЦИЕНТОВ С ТИРЕОПАТОЛОГИЕЙ

В.А. Кочегуров, Л.И. Константинова, В.В. Марченко

Томский политехнический университет
E-mail: vlad_marchenko@mail.ru

Рассмотрена возможность аппроксимации фазового отображения электроэнцефалограмм эллипсом. Показана зависимость параметров аппроксимирующего эллипса от формы нозологии пациентов. Впервые предложено использовать фазовое отображение электроэнцефалограммы для контроля состояния здоровья пациентов с заболеваниями щитовидной железы.

Ключевые слова:
Анализ, фазовый портрет, аппроксимирующий эллипс, критерий Вилкоксона.

Key words:
Analysis, phase portrait, enclosing ellipse, Wilcoxon criteria.

Введение

В процессе реабилитационной терапии пациентов с заболеванием щитовидной железы необходим оперативный контроль над состоянием их здоровья. В связи с этим возникает задача выбора показателей организма, которые могли бы дать нужную информацию о состоянии пациента и в то же время были бы доступны для оперативного измерения и обработки. Очевидно, что гормональный и химический анализ крови, не смотря на его информативность, крайне затруднительно использовать для оперативного контроля в силу того, что данный метод является инвазивным и относительно высоко затратным, как с точки зрения времени, так и финансов.

Из физиологии [1] известно, что гипоталамус, гипофиз и щитовидная железа образуют уникальную саморегулирующуюся систему, функционирующую по принципу обратной связи. Гормоны щитовидной железы регулируют практически все виды обмена веществ в организме, их недостаток или избыток сказывается на всех процессах жизнедеятельности, так как воздействие происходит на клеточном и даже на молекулярном уровне. Деятельность гипоталамуса зависит также от высших отделов центральной нервной системы – подкорковых ядер, мозжечка и коры больших полушарий, с которыми гипоталамус связан как прямыми нервными путями, так и через посредство ретикулярной формации ствола.

Учитывая описанную выше взаимосвязь, в настоящей работе обосновывается возможность использования фазового отображения электроэнцефалограмм (ЭЭГ) пациентов для контроля состояния их здоровья в процессе реабилитационной терапии.

Метод фазовых траекторий отражает общие качественные свойства поведения динамических систем во времени и не требует стационарности исследуемого сигнала, как традиционные методы

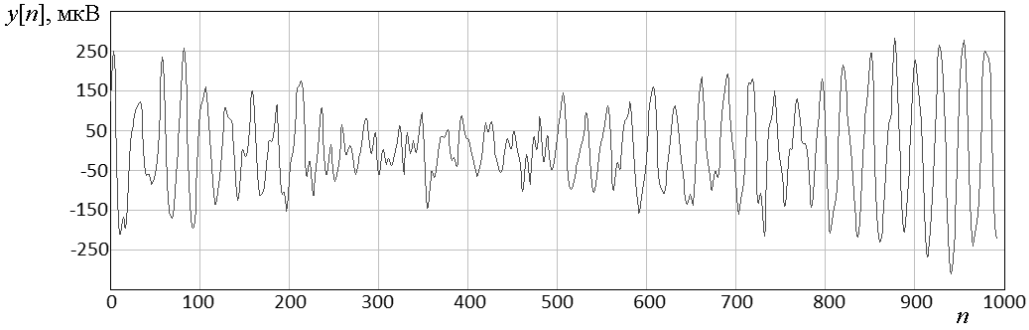

Рис. 1. *Пример цифрового сигнала ЭЭГ*

спектрального анализа, широко используемые в настоящее время. Методы нелинейной динамики для анализа биомедицинских сигналов пока еще не получили столь широкого распространения в медицинской практике, но в печати уже обсуждаются результаты применения этих методов для обработки электромиограмм и вариабельности сердечного ритма [2–6].

Метод фазовых траекторий

Суть метода заключается в том, чтобы отразить на квазифазовой плоскости траекторию системы, получив тем самым её фазовый портрет (ФП), и дать его количественное описание. При построении фазовых траекторий используется система координат, в которой на оси абсцисс откладываются значения переменной, а на оси ординат значения той же переменной с некоторой задержкой. Величина задержки в зависимости от цели исследования может быть единичной, либо рассчитываться через автокорреляционную функцию, спектр мощности, либо с помощью информационного критерия [7]. В данной работе на ФП отражались независимые точки, располагающиеся на расстоянии *tau*, определяемом временем первого спада автокорреляционной функции до нуля.

Количественная характеристика ФП возможна при построении вокруг него какой-либо известной геометрической фигуры. Наиболее точного охвата фигуры можно добиться с помощью многоугольника [3], но для описания ФП затруднительно использовать какие-либо параметры данной фигуры, кроме площади. Поэтому в данной работе для аппроксимации ФП использовался эллипс [8], который характеризуется площадью – S, размером его большой и малой полуосей – a и b, соответственно, коэффициентом эксцентриситета – k, сдвигом центра относительно начала координат – R и уголом наклона большой полуоси к оси абсцисс – α.

Методика исследования

В качестве пациентов рассматривались дети подросткового возраста с тиреопатологией, проходящие курс реабилитационной терапии в Томском НИИ курортологии и физиотерапии. Для выявления в сигнале ЭЭГ характерных признаков связанных с заболеванием, электроэнцефалография была проведена 83 детям в возрасте от 8 до 17 лет (средний возраст 12,4±2,3 лет) двукратно – до и после лечения. Все пациенты в зависимости от патологии были разделены на три группы: 20 детей с гипоталамическим ожирением (ГО), 20 детей с аутоиммунным тиреоидитом (ЗОБ), 43 ребенка с конституционально-экзогенным ожирением (КЭО).

Регистрацию ЭЭГ производили электроэнцефалографом-анализатором «Энцефалан-131-03» в системе отведений «10...20 % по 12 каналам» в режиме фоновой записи в течение трех минут после стабилизации электрической активности головного мозга в положении пациента «расслабленное бодрствование» (с закрытыми глазами в течение 5 мин).

Из каждой реализации для анализа выбирался участок фоновой записи в затылочных отведениях, по возможности не содержащий артефактов, длиной не менее 3500 отсчетов, или 14 с, пример представлен на рис. 1. Затем выбранный участок отображался на квазифазовой плоскости (рис. 2) и аппроксимировался эллипсом (рис. 3).

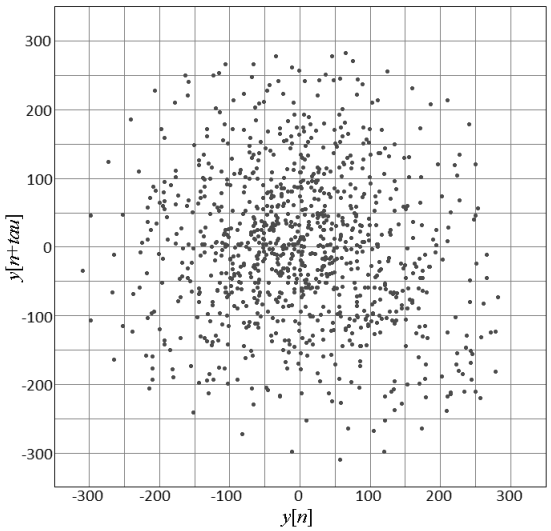

Рис. 2. *Пример фазового портрета сигнала ЭЭГ*

Таким образом, ЭЭГ каждого пациента характеризовалась семью параметрами: *tau*, *a*, *b*, *S*, *R*, *k*, α.

Общий алгоритм обработки данных ходе исследования приведен на рис. 4.

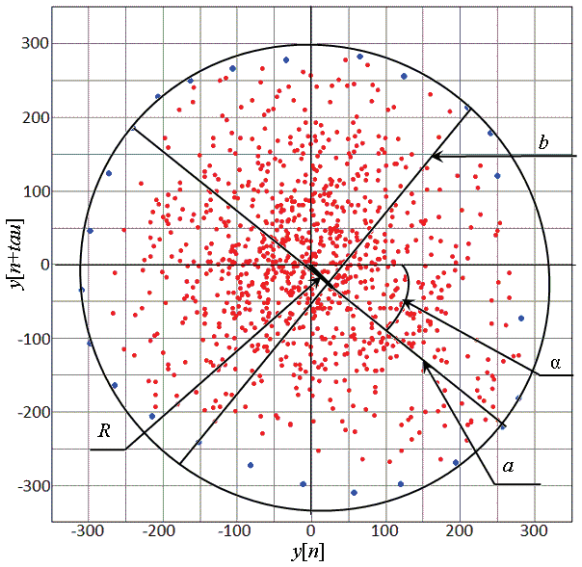

Рис. 3. *Пример аппроксимации фазового портрета эллипсом*

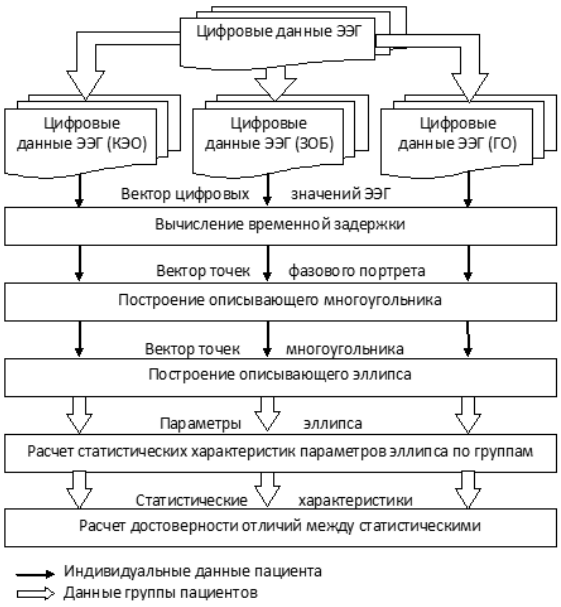

Рис. 4. *Алгоритм проведения исследования*

Анализ полученных результатов

Время спада автокорреляционной функции до нуля говорит о том, насколько выражена «память» наблюдаемого процесса, т. е. от скольких предыдущих значений зависит наблюдаемое, а, следовательно, показывает, дифференциальным уравнением какого порядка может быть описан процесс. Медианы и интерквартильный размах *tau* до лечения практически одинаковы для всех групп (рис. 5).

Больше всего размер большой полуоси (рис. 5) изменился в ходе лечения в группе ГО, в то время как группах ЗОБ и КЭО её изменения практически не было. Интерквартильный размах в группах ГО и ЗОБ сузился, оставшись без изменений в группе КЭО. В группах ГО и КЭО наблюдалась тенденция к снижению медианы и сужению интерквартильного размаха размера малой полуоси (рис. 5), в то время как в группе ЗОБ, наоборот, – отмечались незначительное снижение медианы и рост интерквартильного размаха после лечения. Поскольку было установлено, что малая полуось b прямо пропорционально зависит от частоты, а большая a – обратно пропорционально, то выявленные особенности свидетельствуют о преобладании более высокой частоты колебаний в биоэлектрической активности мозга у подростков с дисфункцией щитовидной железы.

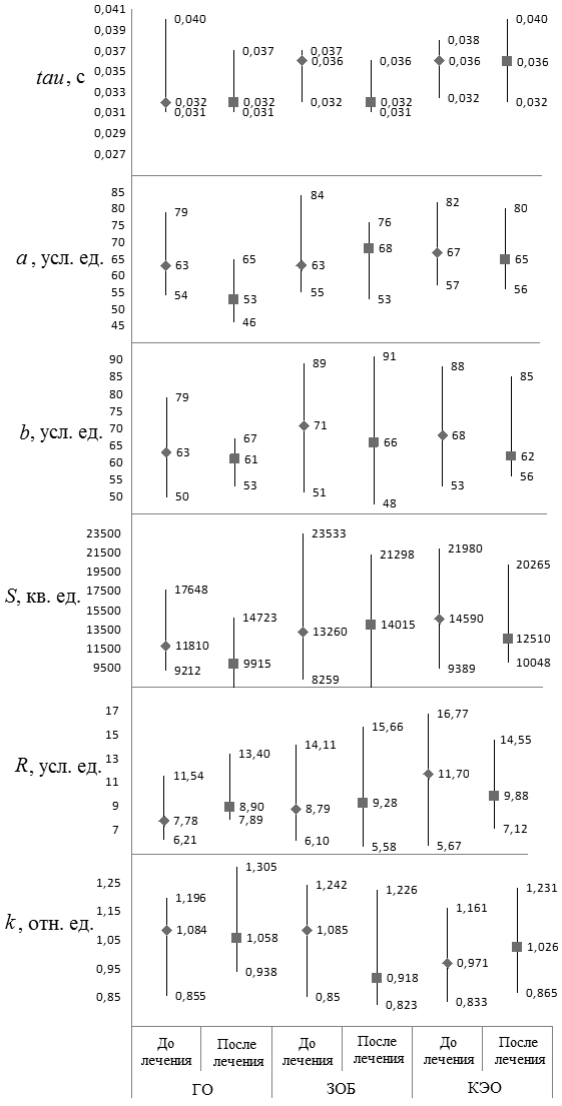

Рис. 5. *Медианы и интерквартильный размах параметров аппроксимирующего эллипса по группам до и после лечения*

Изменения в группе ГО по площади эллипса (рис. 5) совершенно предсказуемы и ожидаемы: уменьшение размеров площади при неизменности интерквартильного размаха, что является прямым следствием изменения размеров полуосей, описан-

ного выше. В группе КЭО происходят незначительные изменения медианы, однако, более значимые изменения одноименной направленности отмечаются в группе ГО (рис. 5). Как медиана, так и интерквартильный размах для группы ЗОБ остаются неизменными в ходе лечения. Видимо, это объясняется взаимно-компенсирующими изменениями в размерах полуосей.

После лечения (рис. 5) наблюдаются увеличение параметра сдвиг центра эллипса *R* в группе ЗОБ, причем направленность динамики параметра совпадает с таковой в группе ГО и обратно группе КЭО, где происходит снижение параметра *R*. К сожалению, интерпретировать этот параметр с физической точки зрения, т. е. установить какие параметры исходного сигнала и каким образом влияют на сдвиг центра описывающего эллипса относительно начала координат, нам пока не удалось.

И, наконец, последний показатель – коэффициент эксцентриситета (рис. 5). В группах ГО и ЗОБ отмечается его снижение, в группе КЭО – незначительное увеличение. Вытягивание эллипса означает преобладание в сложном сигнале низкочастотных компонент, и, наоборот, увеличение амплитуды высокочастотной составляющей приводит увеличению размера малой полуоси и приближению коэффициента эксцентриситета к единице. Учитывая динамику размера полуосей, можно предположить, что в результате лечения у пациентов с гипоталамическим ожирением и зобом произошло параллельное снижение амплитуды низкочастотных колебаний (тета- и дельта-ритмов) и увеличение высокочастотных.

Таблица. *Значимость различий между параметрами геометрического метода*

Параметр	ГО	ЗОБ	КЭО	ГО – ЗОБ	ГО – КЭО	ЗОБ – КЭО
tau		●	●	■		♦
a	●	●		■		
b				♦■		♦■
S	●	●		♦■		♦■
R				♦	♦■	
k	●	●				♦■

С помощью критерия Вилкоксона доказана значимость (p=0,05) различий между группами пациентов, которые наблюдаются при анализе параметров геометрического метода (см. таблицу). В таблице символ «●» показывает значимые различия параметра внутри группы до и после лечения; «♦» – значимые различия параметра между группами до лечения; «■» – значимые различия параметра между группами после лечения; пустая ячейка – отсутствие значимых различий.

Из таблицы видно, что наибольший эффект курс реабилитационной терапии оказывает на группу с гипоталамическим ожирением и зобом и в существенно меньшей степени на группу с конституционально-экзогенным ожирением. Также необходимо отметить, что наиболее информативными параметрами являются (в порядке убывания): размер большой полуоси, и, как следствие, коэффициент эксцентриситета, размер малой полуоси, время спада автокорреляционной функции, площадь эллипса, сдвиг центра эллипса относительно начала координат.

Описание фазового портрета с помощью аппроксимирующего эллипса может быть рекомендовано не только для анализа электроэнцефалограмм, но во многих случаях обработки скалярных сигналов в доказательной медицине.

В дальнейшем возможно повышение точности результатов за счет доработки алгоритма построения аппроксимирующего эллипса таким образом, чтобы уменьшить площадь охвата пустых областей фазовой плоскости.

Выводы

Предложен метод анализа фазового портрета с помощью охватывающего эллипса, который позволяет перейти от качественного описания фазового портрета к количественным параметрам эллипса, характеризующим не только размер, но и форму портрета, а также его положение на фазовой плоскости. Показана возможность применения данного подхода к анализу электроэнцефалограмм пациентов с заболеваниями щитовидной железы, что позволяет врачу контролировать состояние здоровья пациентов в процессе курса реабилитации без применения традиционных длительных и дорогостоящих инвазивных методов.

Авторы статьи выражают благодарность сотрудникам Томского НИИ курортологии и физиотерапии: зам. директора по науке, д-ру мед. наук Н.Г. Абдулкиной, научному руководителю детского отделения, канд. мед. наук Н.П. Степаненко, врачу отделения функциональной диагностики, канд. мед. наук С.В. Алайцевой за предоставленный материал для исследований и помощь при анализе результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровский В.М. и др. Физиология человека. Т. 1 / В.М. Покровский, Г.Ф. Коротько, В.И. Кобрин и др. / под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. – М.: Медицина, 1997. – 448 с.
2. Сидоренко А.В., Солонович Н.А., Селицкий А.П. Информационно-измерительная система для оценки динамики функционального состояния мозга и сердца // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2007. – № 6. – С. 18–21.
3. Щукин С.И., Майстров А.И. Исследование информативности методов геометрического анализа фазовых портретов ритмокардиограмм // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2007. – № 6. – С. 3–11.
4. Сидоренко А.В., Ходулев В.И., Селицкий А.П. Нелинейный анализ электромиограмм // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2006. – № 11. – С. 53–59.
5. Лужнов П.В., Шамкина Л.А., Парашин В.Б. Разработка метода анализа вариабельности сердечного ритма при психофизиологических пробах для детекции эмоционально значимых стимулов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2005. – № 10. – С. 49–56.
6. Лужнов П.В., Парашин В.Б., Шамкина Л.А. Разработка графического анализа вариабельности сердечного ритма // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2004. – № 10. – С. 44–49.
7. Меклер А.А. К вопросу о выборе лаговых параметров при вычислении корреляционной размерности восстановленного аттрактора ЭЭГ // Теоретические и практические проблемы обучения в школе и вузе: Межвуз. сб. науч. трудов под ред. проф. Г.Г. Хамова. – СПб.-Мурманск, 2005. – С. 99–103.
8. Кохановская Ю.Г., Марченко В.В., Константинова Л.И. К вопросу о применении фазовых портретов для обработки электроэнцефалограмм // Научная сессия ТУСУР-2007: Матер. докл. Всеросс. научно-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – г. Томск, 3–7 мая 2007. – Томск: В-Спектр, 2007. – С. 137–139.
9. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – 9-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.: ил.
10. Большев Л.И., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1965. – 464 с.

Поступила 14.04.2011 г.

УДК 519.688

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ ТРАВМЫ НЕРВОВ КОНЕЧНОСТИ ПО СИГНАЛУ ВЫЗВАННОГО МАГНИТНОГО ОТВЕТА

М.А. Макаров, Л.И. Константинова

Томский политехнический университет
E-mail: makarovf@sibmail.com

С использованием вейвлет-преобразования получено описание разности сигналов вызванных магнитных ответов. Выявлены информативные значения коэффициентов вейвлет-преобразования, помогающие определить степень тяжести травмы нервов конечности. Построены доверительные интервалы, показывающие соответствие определенному коэффициенту своей степени тяжести травмы. На основе границ доверительных интервалов создан алгоритм оценки степени тяжести травмы нервов конечности по сигналу вызванного магнитного ответа.

Ключевые слова:
Сигнал, дискретное вейвлет-преобразование, вейвлет-коэффициенты, степень тяжести травмы, непараметрическая оценка, доверительный интервал.

Key words:
Signal, discrete wavelet-transform, wavelet-coefficients, severity of injury, nonparametric estimation, confidence interval.

Для обработки нестационарных сигналов существует множество методов, самым эффективным из которых является метод нахождения матрицы вейвлет-коэффициентов из заданного сигнала.

В данной работе оценивался сигнал, получаемый в ходе транскраниальной магнитной стимуляции при раздражении нервов конечности и называемый вызванным магнитным ответом [1]. Ранее для оценки данного сигнала использовалось два показателя: латентный период и размах амплитуды. С внедрением в математический аппарат вейвлет-преобразования стало необходимым применить его к данному типу нестационарных сигналов.

Вейвлеты – это обобщенное название особых функций, имеющих вид коротких волновых пакетов с нулевым интегральным значением и с той или иной, подчас очень сложной, формой, локализованных по оси независимой переменной (t или x) и способных к сдвигу по ней и масштабированию (сжатию или растяжению).

Вейвлеты стали нужным математическим инструментом во многих исследованиях. Их используют в тех случаях, когда результат анализа сигнала должен содержать не только простое перечисление его характерных частот (масштабов), но и сведения об определенных локальных координатах, при которых эти частоты проявляют себя. Таким образом, анализ и обработка нестационарных (во времени) или неоднородных (в пространстве) сигналов разных типов представляют собой основное поле применений вейвлет-анализа [2].