

УДК 519.24:612.822.3

**И.О. Ермолаева, В.П. Омельченко**

**НЕЛИНЕЙНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ  
В НОРМЕ И ПРИ НЕКОТОРЫХ НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ ПАТОЛОГИЯХ**

*Исследованы нелинейные свойства электроэнцефалограмм (ЭЭГ) здоровых пациентов и больных рассеянным склерозом и невралгией тройничного нерва до и после лечения. Построены аттракторы, вычислены корреляционные размерности и значения первой экспоненты Ляпунова для всех отведений электроэнцефалограмм здоровых испытуемых и больных. Выяснено, что нелинейные показатели ЭЭГ существенно различаются в норме и при рассмотренных неврологических патологиях, показано, что после лечения нелинейные характеристики ЭЭГ приближаются к норме, что может служить показателем эффективности проведенной терапии.*

*Электроэнцефалография; нелинейный анализ; невралгия тройничного нерва; рассеянный склероз.*

**I.O. Ermolaeva, V.P. Omelchenko**

**NONLINEAR CHARACTERISTICS ELECTROENCEPHALOGRAMS  
IN NORM AND AT SOME NEUROLOGIC PATHOLOGIES**

*In this article nonlinear properties electroencephalograms (EEG) of healthy patients and patients with multiple sclerosis and neuralgia of a trigeminal nerve before treatment are investigated. Attractor are constructed, correlation dimensions and values of the first Lyapunov exponent for all assignments electroencephalograms healthy examinees and patients are calculated. It is found out that nonlinear indicators of EEG essentially differ in norm and at the considered neurologic pathologies, is shown that after treatment nonlinear characteristics of EEG come nearer to norm that can serve as an indicator of efficiency of the carried-out therapy.*

*Electroencephalography; nonlinear analysis; trigeminal neuralgia; multiple sclerosis.*

В последнее время, в связи с ускоряющимся ритмом жизни и увеличением количества стрессовых ситуаций, неуклонно растет число людей, страдающих различными неврологическими заболеваниями. Поэтому представляется необходимым поиск и разработка новых методов оценки состояния таких больных, в том числе и в процессе лечения.

Одним из самых действенных и надежных способов оценки функционального состояния головного мозга человека является электроэнцефалография. Электроэнцефалография (ЭЭГ) – метод исследования головного мозга, основанный на регистрации его электрических потенциалов. ЭЭГ представляет собой сложный колебательный электрический процесс и является отражением суммарной биоэлектрической активности всех нейронов головного мозга [1, 2]. Функционирующий головной мозг представляет собой по сути чрезвычайно сложную нелинейную систему, т.е. любое малейшее изменение внешних условий и любое минимальное воздействие может привести к значительному изменению в деятельности системы. Поэтому ЭЭГ как представление нелинейного процесса целесообразно исследовать с позиций теории динамического хаоса.

Для исследования выбраны отрезки фоновых электроэнцефалограмм (ЭЭГ) длительностью 4 с трёх групп испытуемых: 10 пациентов с диагнозом невралгия тройничного нерва (НТН) до и после операции микроваскулярной декомпрессии (МВД), 10 больных с диагнозом рассеянный склероз (РС) до и после медикаментозного лечения и 10 здоровых испытуемых. Запись ЭЭГ проводилась по 16 отведениям в соответствии с международной системой отведений 10–20 при помощи электроэнцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» фирмы «Медиком МТД» г. Таганрог, Россия.

В исследовании для качественного анализа нелинейных свойств электроэнцефалограмм использовались аттракторы (фазовые портреты) ЭЭГ-сигнала.

Аттракторы ЭЭГ строились следующим образом. По одной оси откладывалась амплитуда исходного ЭЭГ-сигнала, а по другой – амплитуда того же сигнала с задержкой  $\tau$ . Время задержки  $\tau$  было выбрано как время до первого нуля автокорреляционной функции (АКФ) исходного ЭЭГ-сигнала [3].

Выяснилось, что аттракторы ЭЭГ для группы условно здоровых испытуемых и при рассмотренных заболеваниях существенно различаются.

ЭЭГ здорового человека имеет аттрактор сложного строения, по виду напоминающий клубок запутанных нитей (рис. 1).

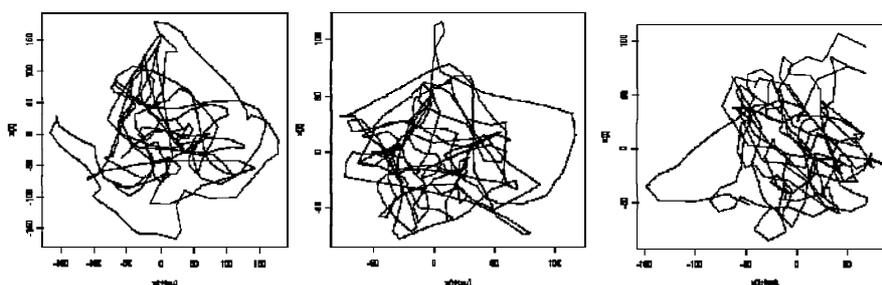


Рис. 1. Типичные аттракторы ЭЭГ здорового испытуемого

Фазовые портреты ЭЭГ при НТН отличаются наличием повторяющихся по форме структур разного масштаба, с преобладанием диагональных линий, сложность картины снижена (рис. 2).

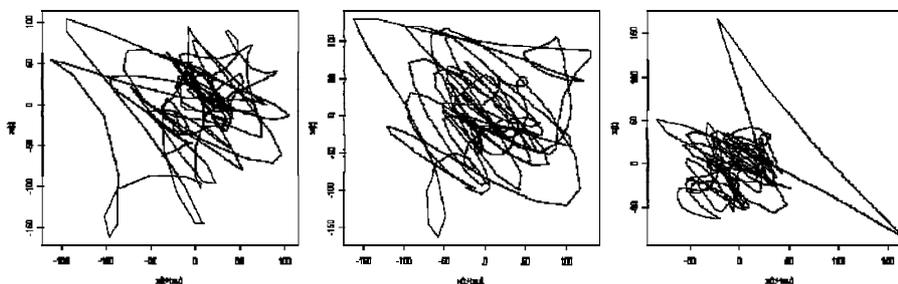


Рис. 2. Характерные аттракторы ЭЭГ пациента, страдающего невралгией тройничного нерва

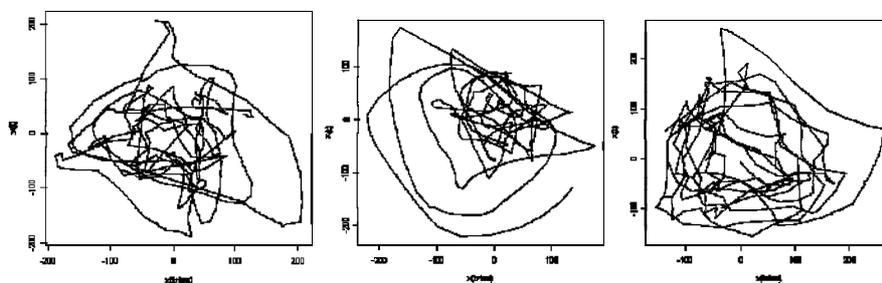


Рис. 3. Характерные аттракторы ЭЭГ пациента, страдающего невралгией тройничного нерва после операции МВД

После проведения хирургического вмешательства аттрактор ЭЭГ имеет более сложный вид. Усложнение картины поведения системы может свидетельствовать о положительной динамике лечения (рис. 3).

При РС сложность аттракторов также очевидно снижена по сравнению с фазовыми портретами ЭЭГ здоровых испытуемых, однако повторяющиеся контуры плавные, отсутствуют резкие изломы (рис. 4) в отличие от аттракторов ЭЭГ, характерных для НТН. После лечения также заметно некоторое усложнение картины фазовых портретов (рис. 5), по которому можно предположить улучшение состояния пациента в процессе лечения.

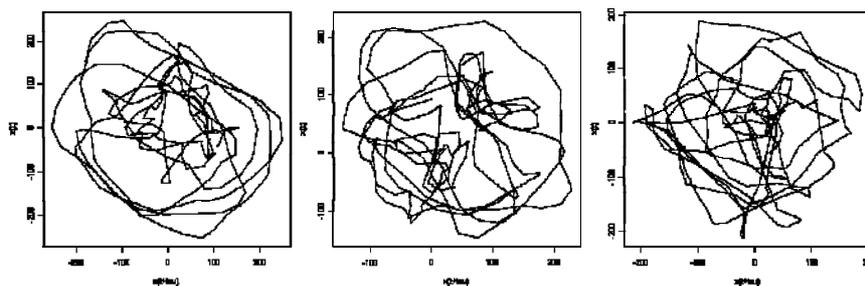


Рис. 4. Аттракторы ЭЭГ пациента, страдающего рассеянным склерозом до лечения

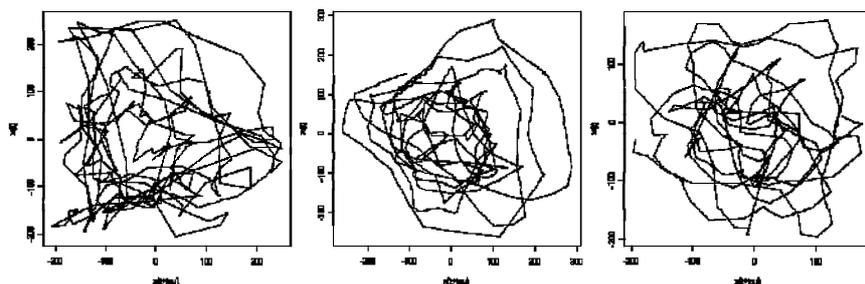


Рис. 5. Аттракторы ЭЭГ пациента, страдающего рассеянным склерозом после лечения

Для количественной оценки меры хаоса в ЭЭГ-сигнале в дальнейшем были рассчитаны значения корреляционных размерностей ЭЭГ-сигнала. Расчет производился при помощи программного обеспечения TISEAN (авторы – R. Hegger, H. Kantz, T. Schreiber) [4].

Значения корреляционной размерности ЭЭГ в исследуемых группах составили: от  $3,24 \pm 0,37$  до  $3,89 \pm 0,81$  (рис. 6,а) для группы больных НТН до операции, от  $3,53 \pm 0,35$  до  $4,88 \pm 0,46$  (рис. 6,б) для группы больных НТН после операции микрососудистой декомпрессии; от  $3,87 \pm 0,53$  до  $4,36 \pm 0,49$  (рис. 6,в) для группы больных РС до медикаментозного лечения, от  $3,90 \pm 0,36$  до  $4,48 \pm 0,49$  (рис. 6,г) для группы больных РС после медикаментозного лечения и от  $4,26 \pm 0,60$  до  $5,48 \pm 0,74$  (рис. 6,д) – для группы здоровых испытуемых. Средние значения корреляционной размерности в группе здоровых обследуемых во всех отделениях оказались выше, чем у больных. Это говорит о более высокой хаотичности ЭЭГ-сигнала у здоровых по сравнению с пациентами, имеющими нарушения функций головного мозга.

Дальнейшая обработка полученных результатов проводилась средствами пакета статистического анализа данных Statistica 6.0.

Было выявлено нормальное распределение значений корреляционной размерности во всех отведениях для всех исследуемых групп.

Значимость различий между исследуемыми группами оценивалась при помощи t-критерия Стьюдента, попарно сравнивались группы больных НТН до лечения и после со здоровыми и группы больных РС до лечения и после со здоровыми. Значимые различия корреляционных размерностей ( $p < 0,05$ ) между группами здоровых и больных до лечения наблюдаются во всех отведениях. При сравнении групп здоровых и больных после лечения значимых различий в шести отведениях (P4, C4, Fp2, T4, F8, F3) нет. Это свидетельствует о некотором приближении нелинейных показателей ЭЭГ больных после лечения к норме.

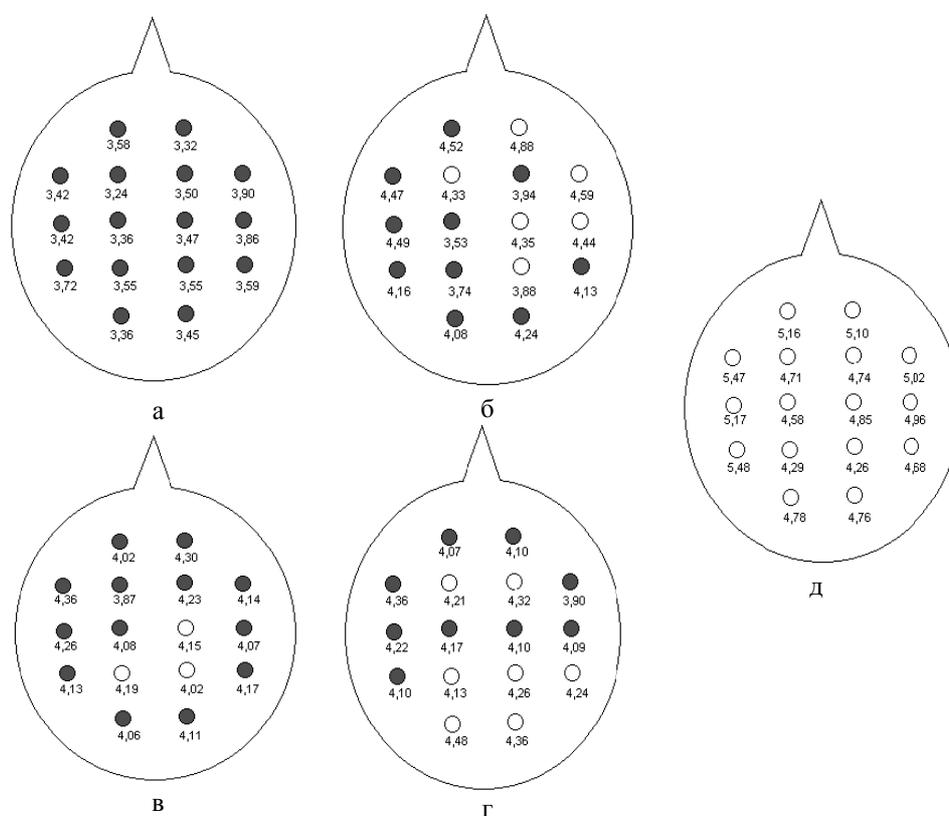


Рис. 6. Карты корреляционных размерностей исследуемых групп пациентов и значимые различия со здоровыми по t-критерию Стьюдента (закрашенные): а – больных НТН до операции; б – больных НТН после операции; в – больных РС до лечения; г – больных РС после лечения; д – здоровых обследуемых

Значимые различия групп здоровых и больных РС по показателю корреляционной размерности ЭЭГ были получены в большинстве отведений. При сравнении группы больных после лечения с группой здоровых испытуемых значимые различия наблюдались для меньшего количества отведений (9 из 16, в лобных и височных областях обоих полушарий). Это свидетельствует о приближении нелинейных показателей ЭЭГ больных после лечения к норме.

Также вычислен другой нелинейный показатель ЭЭГ – первая экспонента Ляпунова. Средние значения ее составили:

- ◆ для группы здоровых от  $0,32 \pm 0,02$  до  $0,42 \pm 0,03$  с<sup>-1</sup>;
- ◆ для группы больных НТН до лечения от  $0,1 \pm 0,02$  до  $0,2 \pm 0,01$  с<sup>-1</sup>;
- ◆ для группы больных НТН после лечения от  $0,18 \pm 0,03$  до  $0,3 \pm 0,04$  с<sup>-1</sup>;
- ◆ для группы больных РС до операции от  $0,1 \pm 0,01$  до  $0,29 \pm 0,03$  с<sup>-1</sup>;
- ◆ для группы больных РС после операции от  $0,17 \pm 0,04$  до  $0,32 \pm 0,02$  с<sup>-1</sup>.

Средние значения первой экспоненты Ляпунова для исследуемых групп представлены ниже (рис. 7).

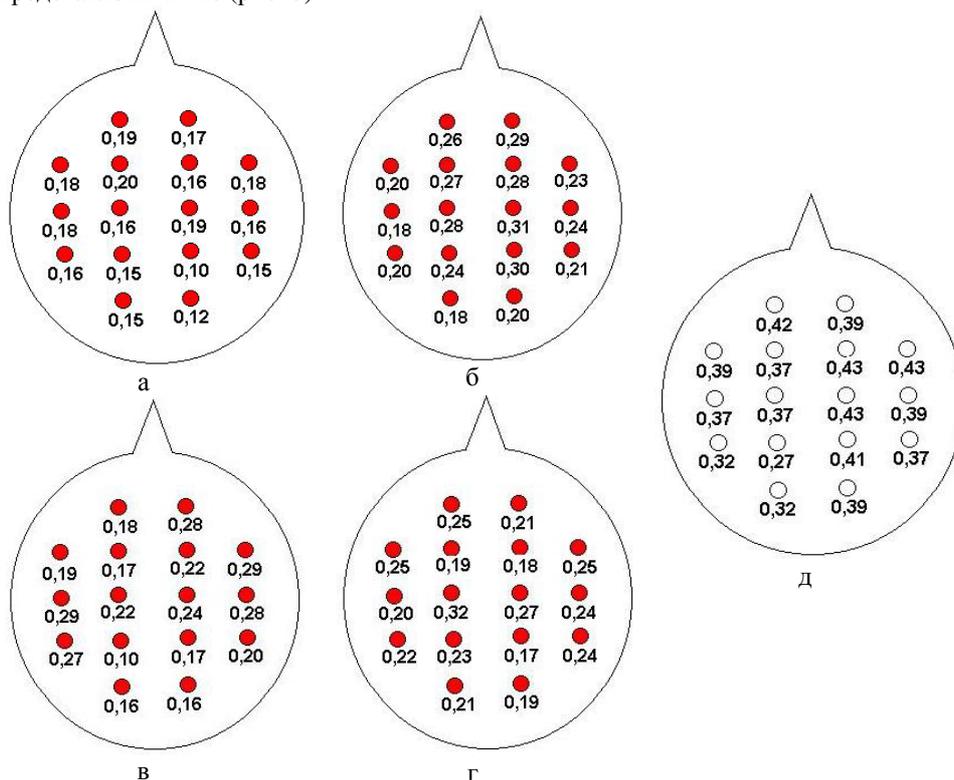


Рис. 7. Картирование значений старшего показателя Ляпунова исследуемых групп больных и значимые различия со здоровыми по t-критерию Стьюдента (закрашены): а – больных НТН до лечения; б – больных НТН после лечения; в – больных РС до лечения; г – больных РС после лечения; д – здоровых обследуемых

Проведена проверка на нормальность и определение значимых различий ЭЭГ исследуемых групп по t-критерию Стьюдента. Выяснилось, что во всех отведениях ЭЭГ группа здоровых имеет значимые различия ( $p < 0,05$ ) с группами больных как до, так и после проведения терапии. Также выяснилось, что исследуемые группы больных практически не отличаются друг от друга по значениям исследуемого показателя.

В ходе исследования удалось показать, что нелинейные параметры открывают существенные различия функционирования головного мозга в норме и при рассмотренных патологиях. Показатель корреляционной размерности может быть успешно использован в комплексной оценке состояния головного мозга человека

при исследовании неврологических заболеваний и в оценке эффективности их лечения. Старший показатель Ляпунова хорошо подходит для разделения нормы и патологии как таковой. Можно заключить, что нелинейные характеристики ЭЭГ имеют высокую диагностическую ценность при исследовании данных неврологических патологий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зенков Л.Р.* Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1996. – 358 с.
2. *Жадин М.Н.* Биофизические механизмы формирования электроэнцефалограммы. – М.: Наука, 1984. – 197 с.
3. *Меклер А.А.* Применение аппарата нелинейного анализа динамических систем для обработки сигналов ЭЭГ // Вестник новых медицинских технологий – 2007. – Т. XIV, № 1. – С. 73.
4. *Hegger R., Kantz H. and T. Schreiber,* Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISEAN package, CHAOS 9, 413 (1999).
5. *Шустер Г.* Детерминированный хаос. – М.: Мир, 1988. – 240 с.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. доцент Н.В. Авилова.

**Ермолаева Ирина Олеговна** – Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации»; e-mail: irisa-irisa@bk.ru; 346779, Ростовская область, Азовский район, село Кулешовка, ул. Пролетарская, 29, кв. 17; тел.: 89614016622; кафедра медицинской и биологической физики; аспирант.

**Омельченко Виталий Петрович** – e-mail: vityaly.omelchenko@mail.ru; 344010 г Ростов-на-Дону, пр-кт Ворошиловский, 40/12 кв. 55, тел.: 88632504184; кафедра медицинской и биологической физики; зав. кафедрой; д.б.н.; профессор.

**Ermolaeva Irina Olegovna** – Rostov State Medical University of Ministry of Health and Social Development of the Russian Federation; e-mail: irisa-irisa@bk.ru; 29, Proletarskaya street, Kuleshovka village, Azov area, Rostov region, 346779, Russia; phone: +79614016622; the department of medical and biological physics; postgraduate student.

**Omelchenko Vitaly Petrovich** – e-mail: vityaly.omelchenko@mail.ru; 40/12, Voroshilovsky av., ap. 55, Rostov-on-Don, 344010, Russia; phone: +78632504184; the department of medical and biological physics; head the department; dr. of biolog. sc.; professor.

УДК 004.8

**В.В. Истомир, М.Ю. Михеев**

#### **ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ ГРУПП АВТОНОМНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ**

*Работа связана с решением задачи синтеза информационных моделей поведения групп биомедицинских автономных интеллектуальных агентов и исследования методов машинного обучения, обеспечивающих повышение достоверности прогноза их поведения с помощью многоагентных систем на основе применения бионических принципов, методов и моделей роевого интеллекта. Разработанная многоагентная система моделирует поведение групп автономных интеллектуальных агентов по разработанной методике, удовлетворяя предложенным критериям достоверности, отличаясь сформированной структурой системы и набором разработанных специализированных агентов, что обеспечивает возможности для моделирования системы биомедицинской групповой робототехники с помощью автономных интеллектуальных агентов.*

*Многоагентные системы; интеллектуальные агенты; моделирование поведения; роевой интеллект; групповая робототехника.*