

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК РАН
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИМ. А. А. ДОРОДНИЦЫНА РАН

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
КРЫМСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР НАНУ
КРЫМСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ТАВРИЧЕСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В. И. ВЕРНАДСКОГО

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

при поддержке
РОССИЙСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
КОМПАНИЙ ФОРЕКСИС и ЦСПиР

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

ИОИ-2012

Республика Черногория, г. Будва

Доклады 9-й Международной конференции

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК РАН
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИМ. А. А. ДОРОДНИЦЫНА РАН

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
КРЫМСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР НАНУ
КРЫМСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ТАВРИЧЕСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В. И. ВЕРНАДСКОГО
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

РОССИЙСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
КОМПАНИЙ ФОРЕКСИС И ЦСПиР

Интеллектуализация обработки информации ИОИ-9

Черногория, г. Будва, 2012

Доклады 9-й международной конференции

ТОРУС
ПРЕСС  МОСКВА
2012

О частотно-временных признаках многоканальных электроэнцефалограмм мозга при заболевании Паркинсона на ранней стадии*

Королев М. С., Обухов Ю. В., Обухов К. Ю., Сушкова О. С.

korolevclub@mail.ru, obukhov@cplire.ru, ko.arsenalfc@gmail.com, olgasushka@gmail.com

Москва, Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН

Поиск признаков нейродегенеративных заболеваний в ранней стадии, в частности, заболевания Паркинсона является фундаментальной задачей. Одним из подходов к решению этой проблемы является анализ сигналов электроэнцефалографии (ЭЭГ). В настоящей работе описан новый способ частотно-временного анализа сигналов ЭЭГ. Выявлены признаки заболевания, которые могут быть экстраполированы на доклиническую стадию болезни Паркинсона.

About time-frequency features of multichannel EEG in Parkinson's disease at early stage*

Korolev M.S., Obukhov Yu. V., Obukhov K. Yu., Sushkova O. S.

Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Moscow, Russia

Searching for features of neurodegenerative disease at the early stage, in particular Parkinson's disease is a fundamental task. One of the approaches to solve this problem is to analyze the signals of electroencephalography (EEG). In this paper we describe a new method of time-frequency analysis of EEG signals. The features of the disease, which can be extrapolated to the preclinical stage of Parkinson's disease were obtained.

Важной проблемой является диагностика болезни Паркинсона (БП) на ранней стадии. Одним из методов диагностики является электроэнцефалография (ЭЭГ). Спектры сигналов ЭЭГ и магнитной энцефалографии пациентов с диагнозом БП было принято анализировать с помощью Фурье преобразования [1, 2]. Но Фурье анализ ЭЭГ не позволяет исследовать динамику электрической активности мозга. Следует отметить, что характерной чертой паркинсонизма обычно признается синдром дезинтеграции, проявляющийся на разных системных уровнях (двигательные нарушения, вегетативная, нейрогуморальная дезинтеграция, эмоциональные и психические нарушения) [3, 4]. Полагают, что при ранних формах БП эти нарушения носят преимущественно функциональный нейродинамический характер. Предполагается, что такая дезинтеграция может отражаться в динамике электрической активности мозга. В данной работе описан метод анализа вейвлет спектрограмм ЭЭГ, направленный на поиск частотно-временных признаков раннего паркинсонизма. Суть метода заключается в том, что исследуется распределение локальных максимумов всплеск вейвлет преобразования по частоте и времени.

Методика

В работе исследовалась фоновая электрическая активность мозга, т.е. испытуемый сидел в кресле с закрытыми глазами в расслабленном состоянии.

Проект поддержан программой Президиума РАН «Фундаментальные науки — медицине» и РФФИ, проект № 12-02-00611-а.

Было обследовано шестнадцать людей с БП 1 стадии по шкале Хен-Яра (ХЯ) [5], четырнадцать человек со 2 стадией, восемь человек с 2.5-3 стадией, и одиннадцать здоровых испытуемых. ЭЭГ записывалась с электродов со стандартным расположением 10×20 с референтными электродами на ушах. Оцифрованные записи ЭЭГ были обработаны фильтром Баттерворта 4-ого порядка для удаления частот 50, 75 и 100 Гц, а также частот ниже 1 Гц.

Исследование частотно-временной динамики электрической активности проводилось с помощью вейвлет преобразования ЭЭГ:

$$W(\tau, T) = \frac{1}{\sqrt{T}} \int x(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{T}\right) dt.$$

В качестве материнской функции используется комплексный вейвлет Морле:

$$\psi(\eta) = \frac{1}{\sqrt{\pi F_b}} e^{2i\pi F_c \eta} e^{-\eta^2/F_b}, \quad F_b = F_c = 1.$$

Вейвлет спектрограмма (рис. 1) состоит из временных серий всплеск, расположенных в различных частотных диапазонах — тета, альфа, бета и др. Суть метода заключается в том, что исследуется распределение локальных максимумов всплеск вейвлет преобразования по частоте и времени. В качестве примера на рис. 1 представлено вейвлет преобразование сигнала в центральном отведении СЗ здорового испытуемого 27 лет. Для нахождения местоположения всплеск на плоскости частота-время делается две проекции вейвлет преобразо-

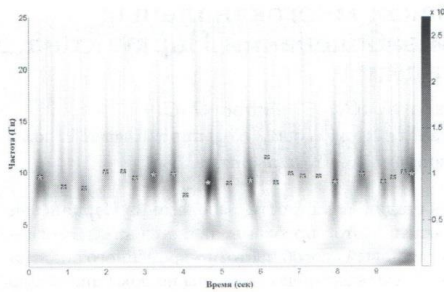


Рис. 1. Вейвлет спектрограмма ЭЭГ здорового испытуемого с отведения С3 в полосе частот 1–25 Гц.

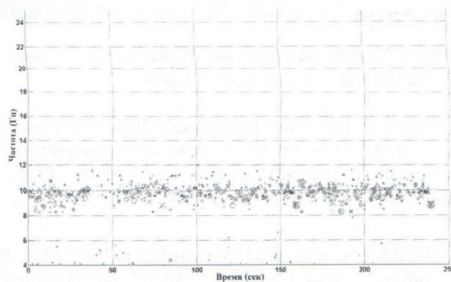


Рис. 2. Положение локальных максимумов. Испытуемый К. (здоровый человек, 27 лет) X — отведение С3; O — отведение С4.

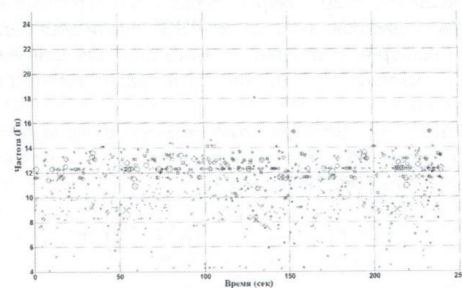


Рис. 3. Положение локальных максимумов. Испытуемый Е. (пациент на 1-ой стадии БП, 29 лет) X — отведение С3; O — отведение С4.

вания — одна на плоскость частота-амплитуда, другая — на плоскость время-амплитуда. С помощью первой проекции выделяются частотные диапазоны хребтов вейвлет спектрограмм. Далее, в каждом из диапазонов частот вейвлет спектрограмма проецируется на плоскость время-амплитуда. Это необходимо для того, чтобы вспышки высоких амплитуд одного хребта не перекрывали вспышки других диапазонов. Далее вычисляются координаты положения всех вспышек. Таким образом, задача поиска локальных максимумов вейвлет-преобразования на плоскости частота-время сводится к по-

иску локальных максимумов в двух плоскостях — время-амплитуда и частота-амплитуда.

В результате, получены 2 координаты локальных максимумов и значения их амплитуд. На рис. 2 и рис. 3 представлены положения локальных максимумов на плоскости время-частота с симметричных пар отведений С3 (в виде крестиков) и С4 (в виде ноликов), отвечающих за моторику, здорового испытуемого и пациента с заболеванием Паркинсона на 1-ой стадии.

Для анализа динамики изменения частоты доминирующего ритма во времени в каждой полосе частот 0,5 Гц суммируются амплитуды локальных максимумов вспышек в окне 16 с и сдвигом окна на 16 с на всем временном интервале продолжительностью 240 с. Соответствующие гистограммы распределений частот локальных максимумов с симметричных пар отведений ЭЭГ отображаются на рис. 4 и рис.5.

Из рис. 4 и рис. 5 видно, что у здорового человека вспышки распределены в узком диапазоне

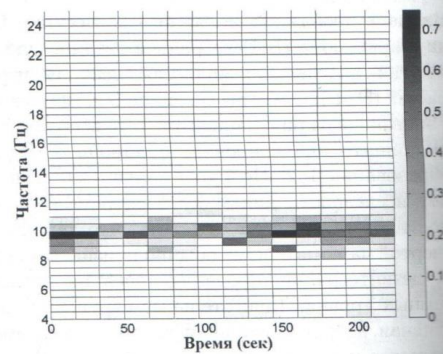


Рис. 4. Испытуемый К. (здоровый человек, 27 лет).

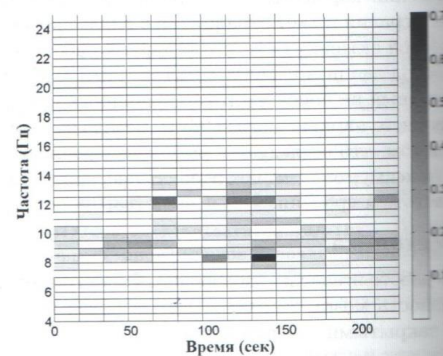


Рис. 5. Испытуемый Е. (пациент на 1-ой стадии БП, 29 лет).

IX
аль-
ис. 2
так-
ич-
С4
ро-
гар-

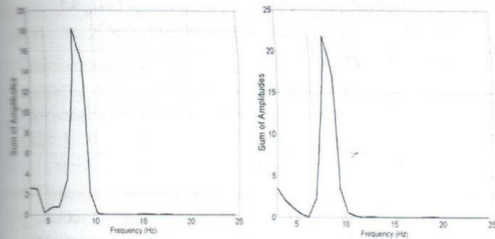


Рис. 6. Испытуемый В. (здоровый человек, 64 года). Гистограммы локальных максимумов. Отведения С3 (слева) и С4 (справа).

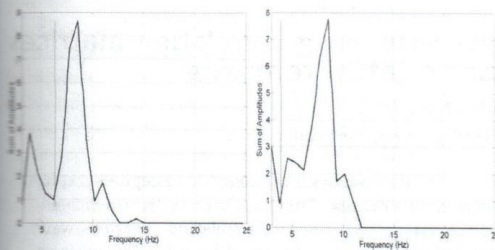


Рис. 7. Пациент Е. (1.5 стадия БП, смешанная правосторонняя форма, 53 года). Гистограммы локальных максимумов. Отведения С3 (слева) и С4 (справа).

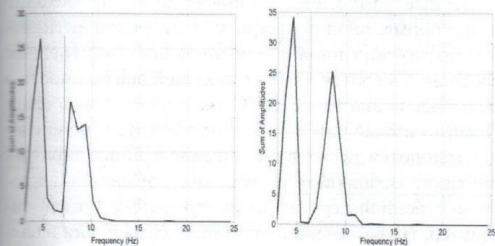


Рис. 8. Пациент Н. (3 стадия БП в смешанной форме, 70 лет). Гистограммы локальных максимумов. Отведения С3 (слева) и С4 (справа).

частот от 9 до 11 Гц. На ранней стадии паркинсонизма происходит увеличение частоты основного ритма в левом полушарии (X), уширение диапазона частот и проявляется межполушарная асимметрия электрической активности.

На рис. 6–8 представлены интегральные гистограммы, где суммирование амплитуд локальных максимумов проводится на всем временном интервале. Из рисунков видно возрастание амплитуды низкочастотного пика (3–5 Гц) с увеличением стадии заболевания. У здорового испытуемого практически отсутствует низкочастотная составляющая. У пациента на 1.5 стадии видно возрастание пика. Также наблюдается асимметрия. На третьей стадии низкочастотный пик существенно больше.

Выводы

Разработан новый метод частотно-временного анализа электрической активности мозга, ориентированный на поиск признаков заболевания Паркинсона на ранней стадии. Впервые обнаружено повышение частоты и доминирующего ритма альфа диапазона на ранней стадии паркинсонизма. Метод позволяет обнаружить межполушарную асимметрию и разброс по частоте доминирующего ритма, что соответствует односторонней форме на ранней стадии заболевания и представлениям о дезорганизации электрической активности мозга при паркинсонизме.

Литература

- [1] *Stoffers D., Bosboom J. L. W., Dejen J. B., Wolters E. C., Berendse H. W., Stam C. J.* Slowing of oscillatory brain activity is a stable characteristic of Parkinson's disease without dementia // *Brain*. — 2007. — Vol. 130. — Pp. 1847–1860.
- [2] *Soikkeli R., Partinen J., Soininen H., Paakkonen A., Riekkonen P. Sr.* Slowing of EEG in Parkinson's disease // *EEG Clin. Neurophysiol.* — 1991. — Vol. 79. — Pp. 159–165.
- [3] *Вейн А. М., Голубев В. Л., Яхно Н. Н.* Паркинсонизм с позиций функционально-неврологического анализа // *Паркинсонизм: Вопросы клиники, патогенеза и лечения*. — 1974. — С. 57–65.
- [4] *Голубев В. Л., Левин Я. И., Вейн А. М.* Болезнь Паркинсона и синдром паркинсонизма. — М.: МЕДпресс, 1999. — 415 с.
- [5] *Movement disorder society task force on rating scales for PD. Unified Parkinson's disease rating scale: status and recommendations* // *Mov. Disord.* — 2003. — Vol. 18, No. 7. — Pp. 738–750.

II