

УДК 615.47

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ РИТМОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТОГО ЭПИЛЕПТИФОРМНОГО ПРОЦЕССА

А.П. КЛЮЕВ, И.С. АЗАРОВ, Н.Н. МИСЮК

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 9 ноября 2018

Аннотация. В работе установлена связь между наличием скрытого эпилептиформного процесса и изменением мгновенных параметров сигналов электроэнцефалограммы. Проведен анализ статистических оценок мгновенных параметров сигналов многоканальных электроэнцефалограмм здоровых испытуемых и пациентов с эпилепсией. Определен наиболее информативный частотный диапазон ритмов энцефалограммы, предложены информационно значимые статистические оценки мгновенных параметров. Полученные практические результаты могут быть использованы для создания нового метода обнаружения скрытого эпилептиформного процесса.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, мгновенная частота.

Abstract. The relation between the presence of latent epileptiform process and the change of the instantaneous parameters of the signals of the electroencephalogram is established in the work. The analysis of statistical estimations of instantaneous parameters of signals of multichannel electroencephalogram of healthy subjects and patients with epilepsy is carried out. The most informative frequency range of electroencephalogram rhythms is defined. Information and meaningful statistical evaluation of the instantaneous parameters are proposed. The obtained practical results can be used to create a new method for detecting a hidden epileptiform process.

Keywords: electroencephalogram, instantaneous frequency.

Doklady BGUIR. 2018, Vol. 117, No. 7, pp.155-158

**The use of the instantaneous frequency of electroencephalogram rhythms
for the detection of latent epileptiform process**

A.P. Kluev, I.S. Azarov, N.N. Misuk

Введение

Эпилепсия является одним из распространенных и трудноизлечимых неврологических заболеваний, представляющим собой хроническое неинфекционное расстройство деятельности головного мозга. В информационном бюллетене Всемирной организации здравоохранения за 2017 год содержатся данные о том, что около 70 млн человек в мире (без учета Китая и Индии) страдает эпилепсией. Клиническая картина изменчивости электрической активности мозга, характерной как для нормы, так и для патологии, в значительной степени осложняет диагностику эпилепсии. Более того, при регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в спокойном бодрствовании эпилептиформная активность не всегда выявляется у пациентов с эпилепсией [1–5]. По данным С.А. Громова [1], изменения ЭЭГ, характерные для эпилепсии, регистрируются у 60–70 % пациентов. В результате применения провоцирующих проб: фоно- и фотостимуляции, гипервентиляции, а также депривации ночного сна процент выявления увеличивается до 80–90 %. Однако, например, депривация ночного сна сложна для надлежащего исполнения самим пациентом и требует контроля за выполнением со стороны медперсонала.

В связи с этим разработана автоматизированная система выявления скрытого эпилептиформного процесса в состоянии спокойного бодрствования испытуемого является актуальной задачей. Проведенные ранее исследования выявили локальное повышение коэффициента средней когерентности в височных отделах у 70 % пациентов с эпилепсией при отсутствии пароксизмальной активности и независимо от каких-либо визуальных особенностей ЭЭГ [6]. Связи височных отделов с теменными и особенно с затылочными отделами у пациентов существенно ослаблены. В работе [7] выдвинуто и обосновано предположение о взаимосвязи функционального состояния головного мозга и мгновенной частоты ритмов ЭЭГ, зарегистрированной в состоянии спокойного бодрствования испытуемого. Эти изменения обнаруживаются статистическими методами при анализе ЭЭГ.

Материалы и методы

В эксперименте использовались записи многоканальных ЭЭГ, выполненные на электроэнцефалографе «Мицар». Регистрировались сигналы 16 отведений (не использовались отведения Fz, Cz, Pz) от электродов, расположенных по международной схеме «10–20». Монтаж отведений – «монополярный с отдельными ушными электродами». Возрастной диапазон всех испытуемых – 18–55 лет. Количество записей в группах: здоровых – 82, пациентов с эпилепсией – 87. Запись выполнялась в нормальном состоянии испытуемых. Функциональные пробы (гипервентиляция, фотостимуляция), способные спровоцировать появление эпилептиформной активности на ЭЭГ, исключались из анализа.

В данной работе предлагается рассматривать сигнал ЭЭГ как синусоидальный с изменяющимися параметрами:

$$s(n) = A(n)\cos\varphi(n), \quad (1)$$

где $s(n)$ – цифровой сигнал ЭЭГ, $A(n)$ – мгновенная амплитуда, $\varphi(n)$ – мгновенная фаза.

Использованный в работе алгоритм исследования ЭЭГ представлен на рис. 1. Здесь и далее используется общепринятое обозначение ЭЭГ отведений.

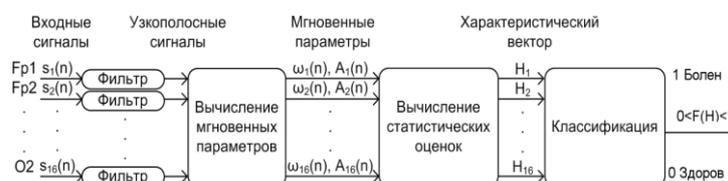


Рис. 1. Алгоритм получения мгновенных параметров, вычисление статистических оценок и классификация характеристических векторов \vec{H}

Из набора значений мгновенной амплитуды и частоты для каждого канала записи ЭЭГ вычислялись различные статистические оценки H^{1-4} , по которым формировали четыре отдельные группы характеристических векторов: $\vec{H}^{1-4} = \{H_1^{1-4}, H_2^{1-4}, \dots, H_{16}^{1-4}\}$. Полученные группы оценок использовались для разделения пространства характеристических векторов на области, соответствующие здоровым и пациентам с эпилепсией. В качестве решающей функции предложено использовать сигмоидальную функцию $F(H)$. Разделение происходило по уровню $F(H) = 0,5$. Параметры функции подбирались таким образом, чтобы минимизировать квадрат ошибки $\delta^2(H)$ классификации на обучающем множестве характеристических векторов. Поиск решения выполнялся при помощи градиентного спуска [8–10]. Оптимальные параметры решающей функции определялись на множестве из 400 характеристических векторов (200 принадлежат здоровым и 200 – наблюдаемым пациентам).

Результаты и обсуждение

В результате экспериментов лучшей решающей функцией оказалась функция, использующая оценку, учитывающую вклад мгновенное значение амплитуды огибающей ЭЭГ. Экспериментальные результаты классификации приведены в таблице.

Квадрат ошибки классификации $\delta^2(\bar{H})$ и процент верно классифицированных характеристических векторов

Статистические оценки	H^1		H^2		H^3		H^4	
	$\delta^2(H)$	%	$\delta^2(H)$	%	$\delta^2(H)$	%	$\delta^2(H)$	%
Обучающая	0,21	66	0,22	66	0,21	64	0,19	70
Тестовая	0,19	74	0,23	59	0,19	70	0,14	81

На рис. 2 показаны распределения значений решающей функции для здоровых наблюдаемых и пациентов с эпилепсией. Значение функции $F(H) < 0,1$ говорит об отсутствии скрытой эпилептиформной активности с вероятностью более 90 %, значение функции $F(H) > 0,85$ говорит о наличии скрытой эпилептиформной активности с вероятностью более 90 %.

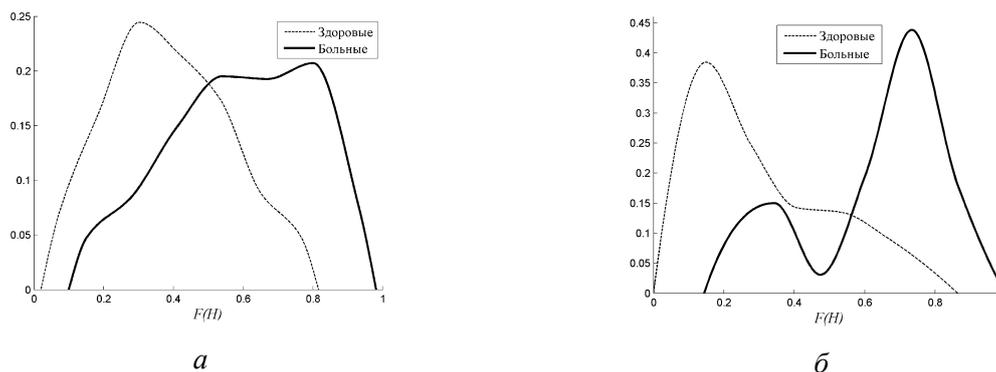


Рис. 2. Распределения значений решающей функции для здоровых и пациентов с эпилепсией: *а* – обучающая выборка; *б* – тестовая выборка

Заключение

Выявлена связь скрытого эпилептиформного процесса с мгновенными параметрами сигналов ЭЭГ. Определенный в данном исследовании частотный диапазон 6–16 Гц согласуется с данными клинической практики [3], согласно которым эпилептиформная активность визуально наблюдается в широком частотном диапазоне от 6 Гц и выше и влияет на ритмы тета, альфа, бета 1 и бета 2. Однако эпилептиформная активность не связана явно с ритмами ЭЭГ, но является нестационарным процессом, отличающимся быстрым изменением параметров и, как следствие, расширенным частотным диапазоном. Повышение точности классификации при использовании оценки H^4 на уровне 70 % может свидетельствовать о том, что смещение средней мгновенной частоты характерно для колебаний, по амплитуде выделяющихся из фоновой активности. Учитывая, что повышение амплитуды ЭЭГ возникает при синхронной работе структурных единиц, можно предположить, что скрытый эпилептиформный процесс характеризуется синхронной активностью, в которую вовлечены значительные (не единичные) участки головного мозга. Это согласуется с результатами, полученными в работе [6], где показано, что для эпилепсии характерно повышение коэффициента когерентности, который является мерой синхронности гармонических составляющих сигналов. Результаты данного исследования могут быть использованы не только для поиска источника скрытой эпилептиформной активности, понимания физиологических механизмов его функционирования, повышения качества диагностики заболевания эпилепсией, но и для разработки терапевтических методик.

Список литературы

1. Громов С.А. Контролируемая эпилепсия. Санкт-Петербург, 2004. 302 с.
2. Pillai J., Sperling M.R. Interictal EEG and the diagnosis of epilepsy // *Epilepsia*. 2006. Vol. 47. P. 12–14.
3. Зенков Л.Р., Клиническая эпилептология. М.: Медицинское информационное агенство, 2010. 408 с.
4. Особенности биоэлектрической активности головного мозга больных эпилепсией пожилого

- и старческого возраста / О.Н. Кирилловских [и др.] // Функциональная диагностика. 2011. № 2. С. 46–54.
5. Докукина Т.В., Мисюк Н.Н. Визуальная и компьютерная ЭЭГ в клинической практике. Минск: Книгизбор, 2011. 188 с.
 6. Докукина Т.В., Мисюк Н.Н., Ключев А.П. Картирование показателей Когерентности ЭЭГ при эпилепсии // Вестник клинической нейрофизиологии. 2015. № 3. С. 6–14
 7. Информационная значимость регистрации мгновенных частот альфа диапазона для оценки эмоционального состояния человека / Т.В. Докукина [и др.] // Сб. научн. статей «Проблемы регуляции висцеральных функций». Кн. 2.
 8. Petrovsky A., Azarov E. Instantaneous harmonic analysis: techniques and applications to speech signal processing // Speech and computer, Lecture notes in computer science. Springer. 2014. Vol. 8773. P. 24–33.
 9. Shalev-Shwartz S., Ben-David S. Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms. – Cambridge university press, 2014. 400 p.
 10. Tom M. Mitchell. Machine learning. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1997. 432 p.

References

1. Gromov S.A. Kontroliruemaja jepilepsija. Sankt-Peterburg, 2004. 302 s. (in Russ.)
2. Pillai J., Sperling M.R. Interictal EEG and the diagnosis of epilepsy // Epilepsia. 2006. Vol. 47. P. 12–14.
3. Zenkov L.R., Klinicheskaja jepileptologija. M.: Medicinskoe informacionnoe agenstvo, 2010. 408 s. (in Russ.)
4. Osobnosti bioelektricheskoy aktivnosti golovnogo mozga bol'nyh jepilepsiej pozhilogo i starcheskogo vozrasta / O.N. Kirillovskih [i dr.] // Funkcional'naja diagnostika. 2011. № 2. S. 46–54. (in Russ.)
5. Dokukina T.V., Misjuk N.N. Vizual'naja i komp'yuternaja JeJeG v klinicheskoy praktike. Minsk: Knigazbor, 2011. 188 s. (in Russ.)
6. Dokukina T.V., Misjuk N.N., Kljuev A.P. Kartirovanie pokazatelej Kogerentnosti JeJeG pri jepilepsii // Vestnik klinicheskoy nejrofiziologii. 2015. № 3. S. 6–14 (in Russ.)
7. Informacionnaja znachimost' registracii mgnovennyh chastot al'fa diapazona dlja ocenki jemocional'nogo sostojanija cheloveka / T.V. Dokukina [i dr.] // Sb. nauchn. statej «Problemy reguljarii visceral'nyh funkcij». Кн. 2. (in Russ.)
8. Petrovsky A., Azarov E. Instantaneous harmonic analysis: techniques and applications to speech signal processing // Speech and computer, Lecture notes in computer science. Springer. 2014. Vol. 8773. P. 24–33.
9. Shalev-Shwartz S., Ben-David S. Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms. – Cambridge university press, 2014. 400 p.
10. Tom M. Mitchell. Machine learning. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1997. 432 p.

Сведения об авторах

Ключев А.П., ассистент кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Азаров И.С., д.т.н., зав. кафедры электронных вычислительных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Мисюк Н.Н., к.м.н., врач функциональной диагностики РНПЦ психического здоровья..

Осипов А.Н., к.т.н., доцент, проректор по научной работе Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Cluev A.P, assistant of department of engineering psychology and ergonomics Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Azarov I.S., D.Sci, associate professor, head of department of electronic computing of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Misuk N.N., PhD, doctor of functional diagnostics of RSPC of mental health.

Osipov A.N., vice-rector for research work of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-17-293-23-87;
e-mail: kluev@bsuir.by
Ключев Андрей Петрович

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka st., 6,
Belarusian state university
of informatics and radioelectronics
tel. +375-17-293-23-87;
e-mail: kluev@bsuir.by
Cluev Andrey Petrovich