

# Устранение артефактов жевания при детектировании эпилептических приступов в сигналах ЭЭГ

И.А. Кершнер<sup>1</sup>, М.В. Синкин<sup>2</sup>, Ю.В. Обухов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Моховая 11-7, Москва, Россия, 125009

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, Большая Сухаревская площадь 3, Москва, Россия, 129090

**Аннотация.** Длительный (несколько суток) мониторинг эпилептиформной активности в скальповой ЭЭГ послеоперационных пациентов после черепно-мозговой травмы является важной задачей. Наряду с эпилептиформными разрядами в ЭЭГ присутствуют схожие с ними сигналы миографической активности, связанные с жеванием. И эпилептиформная активность и артефакты жевания проявляются в одном частотном диапазоне, что затрудняет их дифференциацию. Для различия эпилептиформной активности от артефактов жевания предложен метод, основанный на анализе вейвлет-спектрограмм ЭЭГ. Вейвлет-спектрограммы ЭЭГ содержат широкополосные пики в моменты времени, соответствующие пик-волновой эпилептиформной активности, с одной стороны, и пикам миографической активности при жевании. Исследуется периодичность этих пиков. Обнаружено отличие в разбросе периодов этих пиков, что является дифференцирующим признаком этих двух видов сигналов.

## 1. Введение

Одним из наиболее частых последствий черепно-мозговой травмы является развитие посттравматической эпилепсии. Шанс развития посттравматической эпилепсии составляет до 25% от всех больных травматическим поражением головного мозга [1]. Возникновение посттравматической эпилепсии резко ограничивает трудоспособность больных, снижает качество жизни, нередко приводит к повторной травме головного мозга, нередко из-за эпилептических приступов [2,3]. Быстрое реагирование врачебного персонала на появление эпилептических приступов позволяет избежать негативных последствий.

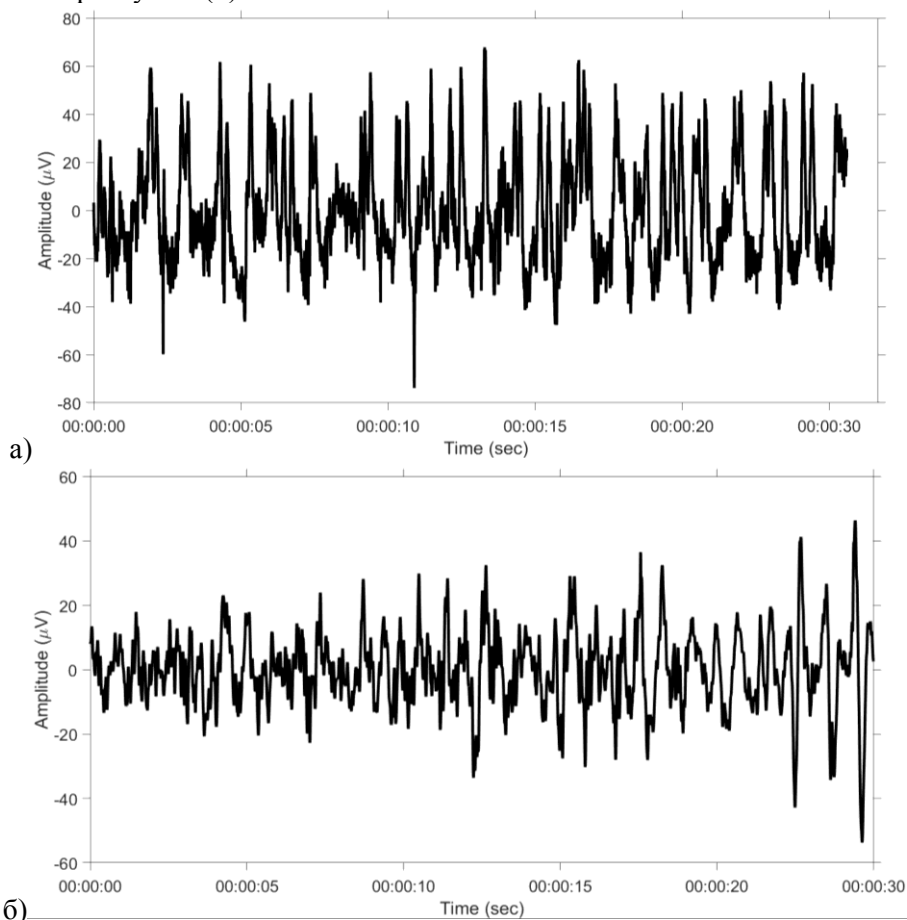
Одним из распространённых способов наблюдения за пациентами является ЭЭГ-мониторинг. Пациенты находятся в клинике в палатах интенсивной терапии или обычных палатах. На электроэнцефалограмме наблюдается ряд артефактов, связанных с движением. Проблема обнаружения артефактов существует уже долгое время. Было предложено множество методов по детектированию артефактов движения [4-9]. Несмотря на обилие существующих методов, наиболее сложной и нерешенной остаётся проблема обнаружения артефактов жевания.

В данной статье описывается метод дифференциации эпилептиформной активности от артефактов жевания, основанный на анализе вейвлет-спектрограмм ЭЭГ. Вейвлет-спектрограммы ЭЭГ содержат широкополосные пики в моменты времени, соответствующие пик-волновой эпилептиформной активности, с одной стороны, и пикам миографической активности при жевании. Исследуется периодичность этих пиков. Обнаружено отличие в

разбросе периодов этих пиков, что является дифференцирующим признаком этих двух видов сигналов.

**2. Экспериментальные данные**

Рассматривались записи ЭЭГ с эпилептическим припадком и с артефактом жевания, записанные с частотой дискретизации 500 Гц, полученные в отделении нейрохирургии НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского. Перед проведением вычислений все записи юбли отфильтрованы. Использовались режекторные фильтры на частотах, кратных 50 Гц для подавления сетевых шумов, а также полосовой фильтр Баттерворта 16-го порядка с полосой пропускания 0,5 - 22 Гц. На рисунке 1 представлены фрагменты сигналов ЭЭГ с жеванием (а) и эпилептическим приступом (б).



**Рисунок 1.** (а) Фрагмент ЭЭГ с жеванием. (б) Фрагмент ЭЭГ с эпилептическим разрядом.

**3. Метод дифференциации эпилептических разрядов от артефактов движения**

Разработанный нами подход базируется на анализе вейвлет-спектрограмм [10]. Для построения вейвлет-спектрограмм применялось комплексное вейвлет-преобразование Морле:

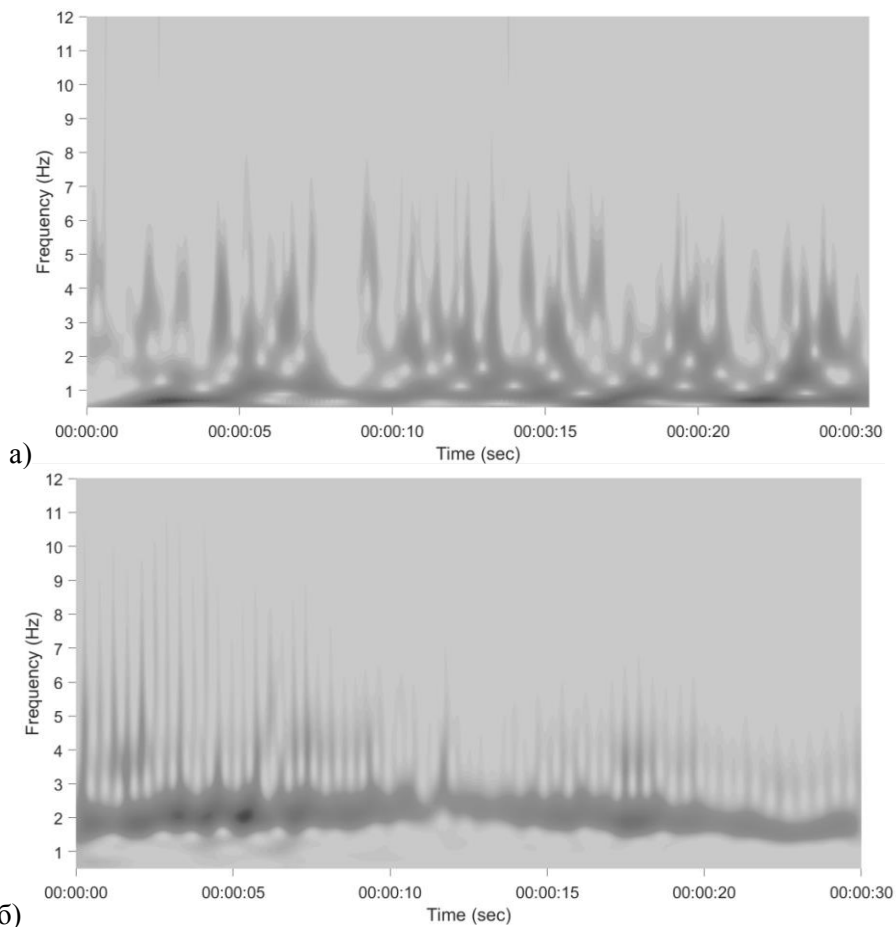
$$W(\tau, f) = \sqrt{f} \int x(t) * \psi((t - \tau) f) dt \tag{1}$$

Материнская функция Морле задаётся следующей формулой (2):

$$\psi(\eta) = \frac{1}{\sqrt{\pi * F_b}} * \exp(2\pi i F_c \eta) * \exp(-\frac{\eta^2}{F_b}) \tag{2}$$

Коэффициенты  $F_b = F_c = 1$ . Для построения спектрограмм рассчитывается спектральная плотность мощности:

$$S(\tau, f) = |W(\tau, f)|^2 \tag{3}$$



**Рисунок 2.** Фрагмент вейвлет-спектрограммы ЭЭГ: (а) с жеванием; (б) с эпилептическим припадком.

На рисунке 2 (а, б) приведены 30-секундные фрагменты вейвлет-спектрограмм ЭЭГ с артефактами жевания и с эпилептическим приступом, соответственно.

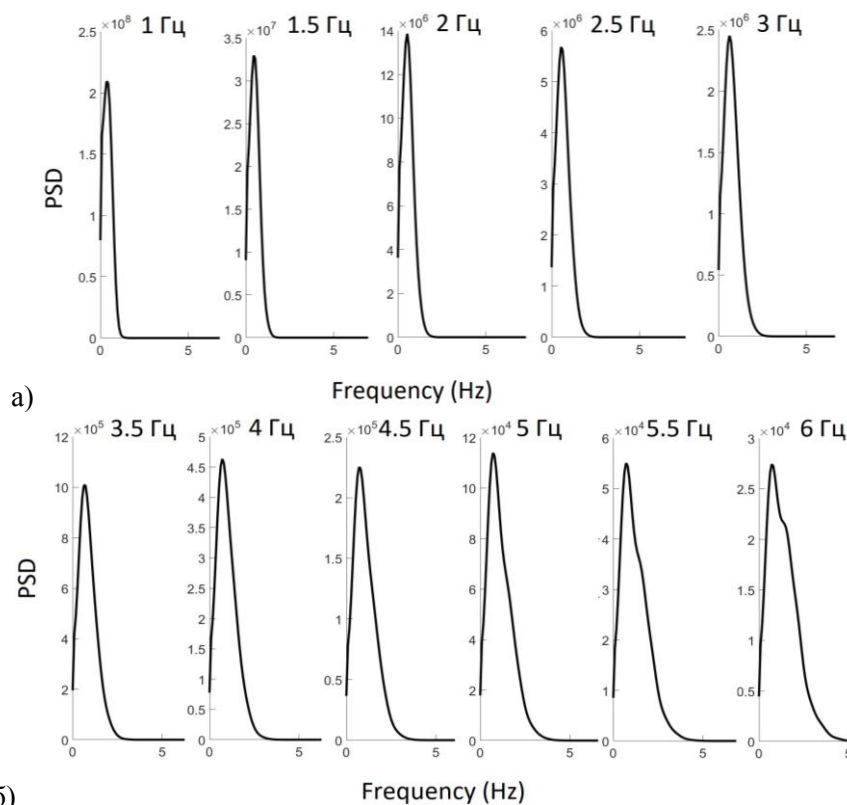
Идея анализа вейвлет спектрограмм заключается в следующем. Вейвлет спектрограмма представляет собой матрицу  $S(\tau, f)$  (3). Из матрицы  $S$  выбираются значения, находящиеся в строках, отвечающих значениям частот  $F_{cur}$  от 1 Гц до 6 Гц с шагом 0.5 Гц на всём временном промежутке:

$$V_{cur}(\tau_k) = S(\tau_k, F_{cur}), \tau_k = 0 : T \tag{4}$$

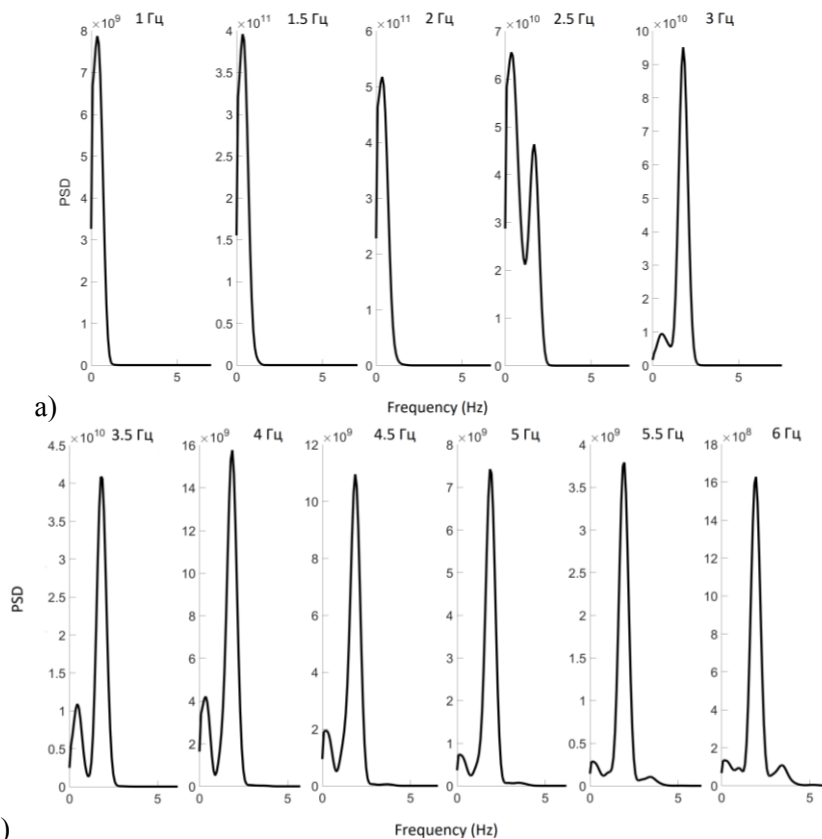
Для полученных векторов  $V_{cur}$  рассчитываются спектры Фурье. На рисунках 3(а, б) и 4(а, б) приведены примеры Фурье спектров  $V_{cur}$  при  $F_{cur} = 1; 0,5; 6$  Гц на вейвлет спектрограмме.

В таблице 1 представлены значения частоты, на которой находится главный пик и полуширина главного пика на полувысоте, в зависимости от выбранного среза вейвлет-спектрограммы по частоте.

Из таблицы 1 видно, что при частоте среза вейвлет-спектрограммы ЭЭГ большей 2,5 Гц, частота пика Фурье спектра при эпилептическом приступе увеличивается более чем в 5 раз, а у жевания увеличивается незначительно. И наоборот, на больших частотах среза вейвлет-спектрограммы полуширина при эпилептическом приступе меньше, чем полуширина пика при жевании. В совокупности эти параметры можно использовать в качестве дифференциальных признаков жевания и эпилептического приступа.



**Рисунок 3.** Спектры Фурье срезов вейвлет-спектрограммы ЭЭГ во время жевания на (а) - частотах от 1 Гц до 3 Гц; (б) - частотах от 3,5 Гц до 6 Гц.



**Рисунок 4.** Спектр Фурье срезов вейвлет-спектрограммы ЭЭГ с эпилептическим приступом (а) - частотах от 1 Гц до 3 Гц; (б) - частотах от 3,5 Гц до 6 Гц.

**Таблица 1.** Параметры Фурье-спектров срезов вейвлет-спектрограмм ЭЭГ с жеванием и эпилептическим приступом.

<u>Частота среза вейвлет-спектрограммы (Гц)</u>	Частота пика (жевание)	Частота пика (эпилептический приступ)	Полуширина пика (жевание)	Полуширина пика (эпилептический приступ)
1	0,35	0,35	0,67	0,7
1,5	0,44	0,35	0,78	0,7
2	0,53	0,35	0,79	0,71
2,5	0,62	0,35	0,97	0,87
3	0,62	1,78	1,12	1,05
3,5	0,71	1,86	1,06	0,62
4	0,71	1,86	1,2	0,64
4,5	0,71	1,86	1,25	0,69
5	0,71	1,86	1,33	0,65
5,5	0,71	1,95	1,51	0,67
6	0,71	1,96	1,91	0,63

#### 4. Заключение

В статье представлен метод дифференциации эпилептиформной активности от артефактов жевания, основанный на анализе вейвлет-спектрограмм ЭЭГ. Вейвлет-спектрограммы ЭЭГ содержат широкополосные (по частоте) пики в моменты времени, соответствующие острым пикам в исходном сигнале, как при пик-волновой эпилептиформной активности, с одной стороны, так и пикам миографической активности при жевании. Исследуется периодичность широкополосных пиков в вейвлет-спектрограммах ЭЭГ. Спектры Фурье срезов вейвлет-спектрограмм на частотах от 1 до 6 Гц показывают, что при эпилептическом разряде частота пика спектра срезов вейвлет-спектрограмм более чем в 5 раз возрастает при частоте среза более 2,5 Гц, а при жевании практически не изменяется. Полуширина спектров срезов вейвлет-спектрограмм ЭЭГ при эпилептиформном приступе остаётся примерно одинаковой при разных частотах среза. Эти величины являются признаками, по которым можно дифференцировать эпилептический приступ от артефакта жевания.

#### 5. Литература

- [1] Salazar, A.M. Posttraumatic epilepsy: pathogenesis / A.M. Salazar // *Epilepsia*. – 1998. – Vol. 39(2). – P. 29.
- [2] Коновалов, А.Н. Патогенез, диагностика и лечение черепно-мозговой травмы и ее последствий / А.Н. Коновалов, А.А. Потапов, Л.Б. Лихтерман // *Журнал вопросы нейрохирургии*. – 1994. – Вып. 4. – С. 18-25.
- [3] Kuhl, P.K. Towards a new theory of the development of speech perception / P.K. Kuhl // *Proceedings of the International Conference on Spoken Language Processing*. – 1990. – Vol. 2. – P. 745-748.
- [4] van de Velde M. Detection of muscle artefact in the normal human awake EEG / M. van de Velde, G. van Erp, P.J. MCluitmans // *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. – 1998. – Vol. 107(2). – P. 149-158.
- [5] Saab, M.E. A system to detect the onset of epileptic seizures in scalp EEG / M.E. Saab, J. Gotman // *Clinical Neurophysiology*. – 2005 – Vol. 116. – P. 427-442.
- [6] O'Regan, S. Automatic detection of EEG artefacts arising from head movements / S. O'Regan, S. Faul, W. Marnane // *Annual International Conference of the IEEE. Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. – 2010. – P. 6353-6356.
- [7] Hopfengärtner, R. Automatic seizure detection in long-term scalp EEG using an adaptive thresholding technique: a validation study for clinical routine / R. Hopfengärtner, B.S. Kasper,

- W. Graf, S. Gollwitzer, G. Kreiselmeyer, H. Stefan, H. Hamer // *Clinical Neurophysiology*. – 2014. – Vol. 125(7). – P. 1346-1352.
- [8] Islam, M.K. A wavelet-based artifact reduction from scalp eeg for epileptic seizure detection / M.K. Islam, A. Rastegarnia, Z. Yang // *IEEE journal of biomedical and health informatics*. – 2016. – Vol. 20(5). – P. 1321-1332.
- [9] Islam, M.K. Methods for artifact detection and removal from scalp EEG: a review / M.K. Islam, A. Rastegarnia, Z. Yang // *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*. – 2016. – Vol. 46(4-5). – P. 287-305.
- [10] Малла, С. Вэйвлеты в обработке сигналов. – Москва: Издательство МИР, 2005. – 671 с.

### Благодарности

Исследование выполнено за счёт гранта РФФИ, проект № 18-29-02035 мк. с привлечением средств государственного задания по теме "Фундаментальные основы радиоэлектронных методов для проблем биомедицины".

## Detection of epileptic seizures in EEG signals during long-term monitoring of patients after traumatic brain injury

I.A. Kershner<sup>1</sup>, M.V. Sinkin<sup>2</sup>, Yu.V. Obukhov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS, Mokhovaya 11-7, Moscow, Russia, 125009

<sup>2</sup>Scientific Research Institute for Emergency Medicine named N.V. Sklifosovsky, Sukharevskaya street 3, Moscow, Russia, 129090

**Abstract.** Long-term (several days) monitoring of epileptiform activity in scalp EEG of posttraumatic brain injury patients is an important task. EEG signals contain epileptiform seizures and similar signals of myographic activity associated with chewing. Both epileptiform activity and chewing artifacts appear in the same frequency range, which complicates their differentiation. To distinguish epileptiform activity from chewing artifacts, a method based on the wavelet spectrogram analysis of EEG is proposed. EEG wavelet spectrogram contains broadband peaks at times corresponding to peak-wave epileptiform activity on the one hand, and peaks of myographic activity at chewing on the other hand. The periodicity of these peaks is investigated. The difference in the period dispersion of epileptiform peaks and chewing peaks is found.