

Применение хребтов вейвлет-спектрограмм для обнаружения диагностических показателей отложенной ишемии головного мозга после субарахноидального кровоизлияния в данных длительного мониторинга электроэнцефалограмм

Ю.В. Обухов
Институт радиотехники и
электроники им. В.А. Котельникова
РАН
Москва, Россия
yuvobukhov@mail.ru

И.А. Кершнер
Институт радиотехники и
электроники им. В.А. Котельникова
РАН
Москва, Россия
ivan_kershner@mail.ru

М.В. Синкин
НИИ скорой помощи им. Н.В.
Склифосовского
Москва, Россия
mvsinkin@gmail.com

И.В. Окунева
НИИ скорой помощи им. Н.В.
Склифосовского
Москва, Россия
okunevaiv@mail.ru

Аннотация—Предложен и описан новый подход к автоматическому детектированию показателей отсроченной ишемии головного мозга после субарахноидального кровоизлияния в данных длительного электроэнцефалографического мониторинга пациентов. Он основан на анализе хребтов вейвлет-спектрограмм, в которых квадрат амплитуды, частота и фаза сигнала равны спектральной плотности мощности, частоте и фазе хребта соответственно. Одним из показателей отсроченной ишемии, имеющий прогностическое значение ее развития, является количество событий эпилептиформной активности за единицу времени (как правило, за час). Предложен и описан новый способ обнаружения эпилептиформной активности, основанный на детектировании межканальной синхронизации хребтов вейвлет-спектрограмм.

Ключевые слова—вейвлет анализ, отсроченная ишемия, хребет вейвлет-спектрограммы, межканальная синхронизация

1. ВВЕДЕНИЕ

Отсроченная ишемия головного мозга обычно возникает через 4–14 дней после начала нетравматического или травматического кровоизлияния в субарахноидальное (САК) пространство головного мозга. Задачами консервативного лечения больных с САК являются стабилизация состояния больного, профилактика рецидива САК, профилактика и лечение сосудистого спазма и отсроченной ишемии мозга. Интенсивное лечение проводят в условиях мониторинга основных показателей, характеризующих состояние цереброваскулярной системы и жизненно важных функций. После поступления больного с подозрением на нетравматическое или травматическое САК в отделение реанимации нейрохирургического стационара, проводят детальный неврологический осмотр, оценку тяжести

состояния, компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансные (МРТ) исследования, транскраниальную и экстракраниальную доплерографию (ТДК) для оценки выраженности ангиоспазма, электроэнцефалографию для оценки выраженности изменений биоэлектрической активности головного мозга.

Электроэнцефалография (ЭЭГ) регистрирует биоэлектрическую активность головного мозга, поэтому любое изменение его функционального состояния немедленно отражается на показателях кривых. Изменения на ЭЭГ прямо связаны с показателями объемного кровотока [1]. Признаки (показатели) ишемии головного мозга проявляются на ЭЭГ в реальном времени, что делает этот метод незаменимым для интраоперационного мониторинга во время операций на брахиоцефальных артериях, и в отделении реанимации и интенсивной терапии для ранней диагностики отсроченной ишемии мозга после САК. В случае, если повреждение головного мозга вследствие кровоизлияния привело к угнетению бодрствования до комы и клинический неврологический осмотр затруднен, а КТ требуют транспортировки пациента к аппарату, непрерывный ЭЭГ мониторинг становится основным способом диагностики и прогнозирования развития отсроченной ишемии мозга. Альтернативным подходом является мониторинг ТДК. Этот метод позволяет точно диагностировать вазоспазм, однако сам факт сужения сосуда не всегда приводит к ишемии мозга, а техническая особенность ультразвукового измерения скорости кровотока позволяет определять его лишь в одной небольшой не превышающей несколько миллиметров точке, в то время как спазм может быть локализован в другом месте.

В данной работе описан новый подход к разработке алгоритмов автоматического обнаружения отсроченной

ишемии головного мозга в результате нетравматического или травматического кровоизлияния в субарахноидальное пространство головного мозга. Он основан на анализе хребтов вейвлет-спектров, в которых при некоторых ограничениях спектральная плотность мощности, частота и фаза равны с некоторой точностью квадрату амплитуды, частоте и фазе сигнала ЭЭГ соответственно [2-4]. Таким образом хребты вейвлет спектрограмм позволяют проводить одновременно анализ динамики как амплитуды, так и частоты сигнала.

2. АНАЛИЗ ЭЭГ

ЭЭГ рассматривается как аналитический сигнал с изменяющейся во времени амплитудой и фазой [2]:

$$S(t) = AS(t) \exp(i\Phi S(t)) \quad (1)$$

Непрерывное вейвлет-преобразование сигнала $S(t)$ представлено в виде:

$$W(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \psi_{a,b}^*(t) dt \quad (2)$$

$$\psi(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (3)$$

где $a \neq 0$ и b вещественные числа, определяющее масштаб и сдвиг. Мы используем материнский вейвлет Морле:

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{|\pi f_b|}} \exp\left(\frac{-t^2}{f_b}\right) \exp(2\pi i f_c t) \quad (4)$$

Точки хребта $f_r(t)$ определяются следующим образом:

$$W_r(t) = \max_j(|W(f, t)|) \quad (5)$$

$$f_r(t) = \operatorname{argmax}_f(|W(f, t)|) \quad (6)$$

Анализ хребтов спектрограмм вейвлет-преобразований позволяет анализировать динамику ЭЭГ – ее амплитуды, спектра и межканальной синхронизации [4]. Условие для определения последней задаётся следующим образом:

$$|f_{r1}(t) - f_{r2}(t)| < \varepsilon, \quad (7)$$

где $f_{r1}(t)$, $f_{r2}(t)$ – частоты в точках хребтов в двух каналах, ε - параметр малости.

Сравнение хребтов вейвлет спектрограмм показало, что в первые дни активность в дельта (1-4 Гц) диапазоне возникает лишь эпизодически. С развитием отсроченной ишемии активность в дельта диапазоне становится регулярной и выделяются как отдельные пики, так и группы пиков длительностью до 30 секунд (см. рис.1).

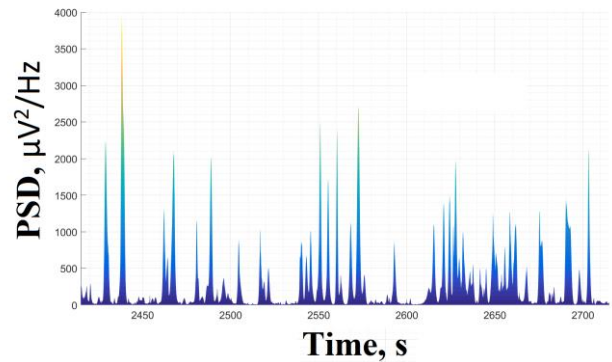


Рис. 1. Вейвлет спектрограмма фрагмента ЭЭГ на седьмой день после операции в отведении Fp2

При помощи вычислений межканальной синхронизации выявлены характерные для гиперритмической активности паттерны. Наблюдается фокальное нарушение функционального состояния головного мозга, отражающее возникновение отсроченной ишемии головного мозга. Оно существенно выше в правом полушарии по сравнению с активностью в левом.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ хребтов вейвлет-спектрограмм сочетает в себе амплитудный и спектральный анализ ЭЭГ. Предложенный алгоритм детектирования межканальной синхронизации позволяет детектировать epileptiformные графические паттерны, включая спорадические epileptiformные разряды, латерализованную ритмичную дельта активность, латерализованные периодические разряды и генерализованные периодические разряды. Эти показатели важны как для диагностики, так и прогнозирования развития отсроченной ишемии головного мозга после травматического или нетравматического субарахноидального кровоизлияния.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-69-00102, <https://rscf.ru/project/22-69-00102/>

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Foreman, B. Intracortical electrophysiological correlates of blood flow after severe SAH: A multimodality monitoring study / B. Foreman, D. Albers, J.M. Schmidt, C.M. Falo, A. Velasquez, E.S. Connolly, J. Claassen // *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*. – 2018. – Vol. 38, №3. – P. 506–517. DOI: <https://doi.org/10.1177/0271678X1770043>
- [2] Delprat, N. Asymptotic wavelet and Gabor analysis: Extraction of instantaneous frequencies / N. Delprat, B. Escudié, P. Guillemain, R. Kronland-Martinet, P. Tchamitchian, B. Torresani // *IEEE transactions on Information Theory*. – 1992. – Vol.38(2). – P. 644–664. DOI: <https://doi.org/10.1109/18.119728>
- [3] Guillemain, P. Characterization of acoustic signals through continuous linear time–frequency representations / P. Guillemain, R. Kronland-Martinet // *Proceedings of the IEEE*. – 1996. – Vol.84(4). – P. 561–585. DOI: <https://doi.org/10.1109/5.488700>
- [4] Obukhov, Yu.V. Wavelet ridges in eeg diagnostic features extraction: Epilepsy long–time monitoring and rehabilitation after traumatic brain injury. / Y. V. Obukhov, I.A. Kershner, R.A. Tolmacheva, M.V. Sinkin, L.A. Zhavoronkova // *Sensors*. – 2021. – Vol.21(18). – P.5989. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21185989>