

Оптимизация параметров метода причинности по Грейнджеру для исследования лимбической эпилепсии

М. В. Сысоева¹, Т. М. Медведева²

¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Россия, 410054 Саратов, Политехническая, 77

²Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН Россия, 117485 Москва, Бутлерова, 5А

E-mail: bobrichek@mail.ru, Golova93tanya@gmail.com

Автор для переписки Сысоева Марина Вячеславовна, bobrichek@mail.ru

Поступила в редакцию 29.03.2018; после доработки 27.05.2018

Цель. Выявить зависимость результатов анализа связанности между отделами лимбической системы мозга, полученных с применением причинности по Грейнджеру, от выбранных временных масштабов эмпирических математических моделей, построенных по временным рядам внутричерепных электроэнцефалограмм, записанных во время лимбических эпилептических разрядов.

Методы. Используется сочетание методов анализа связанности по экспериментальным рядам и подходов моделирования из первых принципов, основанных на воспроизведении основных временных и частотных свойств экспериментальных сигналов. Такая комбинация для исследования связанности между отделами мозга по внутричерепным электроэнцефалограммам применяется впервые, а именно, в данной работе – для анализа связанности при лимбической эпилепсии, вызванной у крыс линии WAG/Rij введением агониста эндоканнабиноидных рецепторов.

Результаты. В ансамблях из четырёх связанных осцилляторов ван дер Поля с потенциалом Тоды и жёстким возбуждением, Хиндмарш–Розе и ФитцХью–Нагумо получены режимы, воспроизводящие ряд спектральных и амплитудных характеристик сигналов локальных потенциалов при лимбических разрядах. Выбраны оптимальные с точки зрения сочетания чувствительности и специфичности параметры метода причинности по Грейнджеру. Используя эти параметры, по экспериментальным данным крыс линии WAG/Rij выявлено значимое усиление воздействия со стороны затылочной коры на гиппокамп во время лимбических разрядов примерно за 2 с до начала приступа, ослабевающее до фонового уровня ровно в момент конца разряда.

Обсуждение. Надёжность выводов о связанности является ключевой проблемой применения метода причинности по Грейнджеру к анализу экспериментальных данных. Повышение чувствительности и специфичности метода возможно различными способами, включая увеличение объёма экспериментальных данных и адаптацию параметров метода к спектральным свойствам сигнала, но ни один из них не решает проблему окончательно. Существенно продвинуться в этом направлении, на наш взгляд, позволяет предлагаемый подход, основанный на построении ансамблей осцилляторов, генерирующих сигналы, качественно схожие с экспериментальными.

Ключевые слова: временные ряды, реконструкция прогностических моделей, нестационарные сигналы, анализ связанности, причинность по Грейнджеру, электроэнцефалограмма, лимбическая эпилепсия.

[https://doi.org/ 10.18500/0869-6632-2018-26-5-39-62](https://doi.org/10.18500/0869-6632-2018-26-5-39-62)

Образец цитирования: Сысоева М.В., Медведева Т.М. Оптимизация параметров метода причинности по Грейнджеру для исследования лимбической эпилепсии // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2018. Т. 26, № 5. С. 39–62. [https://doi.org/ 10.18500/0869-6632-2018-26-5-39-62](https://doi.org/10.18500/0869-6632-2018-26-5-39-62)

Optimization of Granger causation method parameters for the study of limbic epilepsy

M. V. Sysoeva¹, T. M. Medvedeva²

¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov 77, Politechnicheskaya str., 410054
Saratov, Russia

² Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS 5A, Butlerova str., 117485
Moscow, Russia

E-mail: bobrichek@mail.ru, Golova93tanya@gmail.com

Correspondence should be addressed to Sysoeva Marina V., bobrichek@mail.ru

Received 29.03.2018; revised 27.05.2018

Purpose. The aim is to reveal the dependence of Granger causality results on chosen time scales of constructed empirical models in application to the task of investigation of evolution of coupling between brain areas during limbic seizures.

Methods. We use combination of methods for coupling analysis of the experimental time series and approaches to modeling from the first principles, which reproduce the main time and frequency properties of the experimental signals. Such a combination use is novel for investigation of the connectivity between the brain areas from intracranial electroencephalogram. In this paper, it is used for connectivity analysis in limbic epilepsy provoked in WAG/Rij rats by the introduction of endocannabinoid receptor agonist.

Results. In ensembles of four coupled van der Pol oscillators with the Toda potential and hard excitation, Hindmarsh–Rose systems and FitzHugh–Nagumo systems we found regimes reproducing spectral and amplitude characteristics of the series of local potentials at the limbic seizures. Optimal method parameters were selected to target both sensitivity and specificity of Granger causality. Using these parameters, a significant increase in coupling was detected in the experimental data of WAG/Rij rats from the occipital cortex to the hippocampus during limbic seizures approximately 2 s before the seizure onset. The coupling return to background level immediately after the seizure termination.

Discussion. Reliability of coupling detection procedure outcomes is a key problem in applying the Granger causality method to experimental data. Increasing the method sensitivity and method specificity is possible in various ways, including increasing experimental data amount and adapting method parameters to the signal spectral properties, but none of these approaches solves the problem completely. In our opinion, the proposed

approach, based on the construction of oscillator ensembles generating signals qualitatively similar to experimental ones, allows us to make significant progress in this direction.

Key words: time series, predictive models reconstruction, nonstationary signals, connectivity analysis, Granger causality, electroencephalogram, limbic epilepsy.

[https://doi.org/ 10.18500/0869-6632-2018-26-5-39-62](https://doi.org/10.18500/0869-6632-2018-26-5-39-62)

References: Sysoeva M.V., Medvedeva T.M. Optimization of Granger causation method parameters for the study of limbic epilepsy. *Izvestiya VUZ, Applied Nonlinear Dynamics*, 2018, vol. 26, no. 5, pp. 39–62. [https://doi.org/ 10.18500/0869-6632-2018-26-5-39-62](https://doi.org/10.18500/0869-6632-2018-26-5-39-62)