

Различные подходы к статистическому анализу эволюции связанности в ансамблях осцилляторов — моделей эпилептиформной активности*

А. А. Грищенко^{1,2}✉, М. В. Сысоева^{1,3}, И. В. Сысоев^{1,2}

¹Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН

²Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского

³Саратовский государственный технический университет им. Ю.А Гагарина

✉ vili_von@mail.ru

Целью данной работы является моделирование и анализ осцилляторов, построенных на основе реальных данных, полученных от крыс линии WAG/Rij – генетических моделей абсансной эпилепсии. Главной задачей в исследовании эпилепсии является установление связи в различных отведениях головного мозга до, во время и после разряда, для этого используются различные математические методы. К сожалению, правильность методов не всегда можно установить по реальным временным рядам, поэтому для данной работы были построены осцилляторы, которые полностью повторяют поведение реальных временных рядов и их связанность, предложенную в работе [1].

В данной работе был использован осциллятор Ван дер Поля. Строилось 28 рядов, т.к. именно столько разрядов бралось для реальных данных животных, по 4 отведения, подобных реальным отведениям головного мозга крыс. Каждый ряд разбивался на 6 интервалов: 1) фоновая активность; 2) преиктальная активность, во время которой, как правило, уже обнаруживаются изменения в связанности [2]; 3) начало разряда; 4) поддержание разряда; 5) стадия завершения разряда; 6) постиктальная стадия. Для анализа осцилляторов использовалась энтропия переноса. Этот метод используется для определения направленной связанности. Метод расчёта энтропии переноса, использованный в данной работе, был описан в статье [3] и основан на методе ближайших соседей [4]. Такой подход был выбран, так как не требует большого объема экспериментальной выборки. Для тестирования результатов на значимость строились суррогатные временные ряды путём перестановки реализа-

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-72-10030.

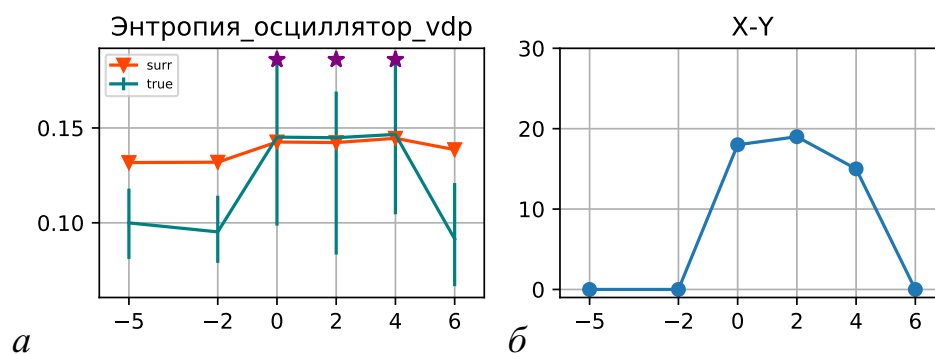


Рис. 1. Результаты энтропии переноса и статистического анализа для осциллятора Ван дер Поля. На оси ОХ отложены интервалы, на которых производился расчет мер. На рисунке 1(а) синим цветом – средние значения для дальности прогноза соединенные отрезками, красным цветом – уровень значимости, посчитанный с помощью суррогатов, вертикальными линиями показано расстояние от минимальных значений до максимальных. Звездочками на графике показаны результаты t-теста Стьюдента на уровне значимости $p < 0.001$. На рисунке 1(б) – количество значимых выводов из 28 разрядов

ций [5] – $27 \cdot 28 = 756$ пар – это комбинации всех возможных эпизодов для пары отведений, кроме случая, когда они из одного эпизода. Такое количество суррогатов позволяет получить большую доверительную вероятность 99.87% , что важно, поскольку имеет место множественное тестирование. Так же, для тестирования результатов на значимость был проведен t-test Стьюдента. Полученные результаты энтропии переноса для осциллятора изображены на рис. 1. Для примера приведена одна пара отведений.

Список литературы

1. Грищенко А. А., Сысоева М. В., Сысоев И. В. Определение основного временного масштаба эволюции информационных свойств сигнала локальных потенциалов мозга при абсансной эпилепсии // Известия вузов. ПНД. 2020. Т. 28, вып. 1. С. 98–110.
DOI: <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2020-28-1-98-110>
2. Sysoeva M. V., Lüttjohann A., van Luijtelaar G., Sysoev I. V. Dynamics of directional coupling underlying spike-wave discharges // Neuroscience. 2016. Vol. 314. P. 75–89.
3. Sysoeva M. V., Vinogradova L. V., Kuznetsova G. D., Sysoev I. V., van Rijn C. M. Changes in corticocortical and corticohippocampal network during absence seizures in WAG/Rij rats revealed with time varying Granger causality // Epilepsy & Behavior. 2016. V. 64. P. 44–50.
4. Kraskov, R. Philipp, S. Waldert, G. Vigneswaran, M. M. Quallo, and R. N. Lemon Corticospinal mirror neurons. // <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0174>
5. Theiler J., Eubank S., Longtin A., Galdrikian B. & Farmer J. Testing for nonlinearity in time series: the method of surrogate data // Physica D. 1992. Vol. 58. P. 77–94.