

Локальные особенности коллективной динамики нейромагнитных сигналов коры головного мозга человека

О.Ю. Панищев¹, С.А. Дёмин¹, С.Н. Панищева¹, Р.Р. Латыпов¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Кремлевская, 18, Казань, Россия, 420008

Аннотация

В работе рассматривается взаимодействие областей коры головного мозга человека на различных временных масштабах. На основе нескольких параметров, описывающих различные типы синхронизации, проводится количественный анализ нейромагнитных сигналов здоровых людей, индуцированных зрительными мерцающими стимулами. Выявлены области, взаимодействие которых демонстрирует разную степень синхронизации при различных стимулах. Найдены временные масштабы, для которых наблюдается спад и усиление эффектов синхронизации. Полученные результаты позволяют глубже понять эффекты согласования в коре головного мозга человека.

Ключевые слова

Синхронизация, временные масштабы, коллективные явления

1. Введение

Эффекты согласования и синхронизации играют ключевую роль в функционировании распределенных сложных систем различной природы. Каждая подсистема внутри составного объекта, с одной стороны продуцирует собственную динамику и может рассматриваться обособленно. С другой стороны, – она находится в тесном взаимодействии с другими частями, что позволяет составному объекту функционировать как единое целое. Одним из примеров такой системы является головной мозг человека.

Одной из интересных задач современной физики сложных систем является не только исследование коллективных эффектов внутри распределенных объектов, но и их анализ на различных временных масштабах. В данной работе мы исследуем нейромагнитные сигналы коры головного мозга группы здоровых людей [1] индуцированные двумя зрительными мерцающими стимулами. Используя параметры *коэффициент фазовой синхронизации* (mean phase coherence) [2], *параметр немарковости* [3] и *коэффициент корреляции*, проводится описание различных типов синхронизации указанных сигналов. Оригинальная процедура локализации [4] позволяет исследовать коллективные явления на различных временных масштабах.

2. Методы и данные

Коэффициент фазовой синхронизации [2] вводится на основе аналитического представления сигнала и условия наличия синхронизации по постоянству разности фаз:

$$R^{XY} = \left| \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N e^{i[\phi_X(t_j) - \phi_Y(t_j)]} \right|. \quad (1)$$

Параметр имеет интервал значений: [0, 1]. Указанный подход позволяет вычислять фазы не только для периодических и квази-периодических сигналов, но и для хаотических.

Параметр немарковости [3], а точнее, – его частотно-зависимый вариант определяется отношением спектров мощности двух смежных функций памяти:

$$\varepsilon_1^{XY}(\nu) = \left\{ \frac{\mu_0^{XY}(\nu)}{\mu_1^{XY}(\nu)} \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

При этом в данной работе используется значение параметра немарковости на нулевой частоте, поскольку позволяет количественно оценивать проявление эффектов статистической памяти в исследуемой коллективной динамике.

Коэффициент корреляции показывает насколько значения одной случайной величины зависят от значений другой:

$$k^{XY} = \frac{\langle XY \rangle}{\sigma_X \sigma_Y}. \quad (3)$$

Параметр имеет интервал значений: [-1, 1]. При этом отрицательные значения соответствуют случаю анти-корреляций: увеличение значений одного сигнала ведет к снижению значений другого.

Используемая в работе процедура локализации [4] заключается в том, что параметры рассчитываются для локальных выборок («окна») из рассматриваемых сигналов, после чего «окно» сдвигается на один шаг. Повторяя данную процедуру до конца сигнала, мы получаем информацию о локальных изменениях вычисленного параметра (или параметров). Наиболее важное значение в данном случае имеет правильный выбор локального «окна», поэтому мы используем метод оптимизации по статистическим параметрам.

Экспериментальные данные [1] представляют собой магнито-электрические отклики коры головного мозга здоровых людей (группа из 9 человек), индуцированные зрительными стимулами с частотой 30 Гц (красно-голубой и красно-зеленый стимулы). Регистрация исходного сигнала, который представляет собой изменение во времени тангенциальной составляющей переменного магнитного поля, генерируемого различными участками коры головного мозга, производилась при помощи нейромагнитометра Neugomag-122, оснащенного 61 СКВИД-датчиком (SQUID, Superconducting Quantum Interference Device - сверхпроводящий квантовый интерферометр). Во время эксперимента перед испытуемыми находился экран, на который подавался мерцающий стимул. Эксперимент включал несколько опытов, по итогам которых данные подвергались процедуре удаления артефактов.

3. Результаты

В результате применения указанных локализованных параметров, мы выявили временные масштабы, на которых происходит усиление или ослабление различных типов синхронизации, области, взаимодействие которых изменяется при различных зрительных стимулах, а также провели количественное сопоставление разных типов синхронизации и их временных характеристик по областям коры головного мозга. Полученные результаты позволяют более детально исследовать процессы в коре головного мозга человека и значительно продвинуться в понимании его функционирования.

4. Литература

- [1] Bhattacharya, J. Nonlinear dynamics of evoked neuromagnetic responses signifies potential defensive mechanisms against photosensitivity / J. Bhattacharya, K. Watanabe, S. Shimojo // Int. J. of Bifurc. and Chaos. – 2004. – Vol. 14(8). – P. 2701-2720.
- [2] Mormann, F. Mean phase coherence as a measure for phase synchronization and its application to the EEG of epilepsy patients / F. Mormann, K. Lehnertz, P. David, C.E. Elger // Phys. D. – 2000. – Vol. 144(3). – P. 358-369.
- [3] Demin, S.A. Statistical quantifiers of memory for an analysis of human brain and neuro-system diseases / S.A. Demin, R.M. Yulmetyev, O.Yu. Panishev, P. Hänggi // Phys. A. – 2008. – Vol. 387. – P. 2100-2110.
- [4] Yulmetyev, R.M. Age-related alterations of relaxation processes and non-Markov effects in stochastic dynamics of R-R intervals variability from human ECGs / R.M. Yulmetyev, S.A. Demin, O.Yu. Panishev, P. Hänggi // Phys. A. – 2005. – Vol. 353. – P. 336-352.