

Секция «Психофизиология, когнитивные нейронауки и искусственный интеллект»

Оценка химерности и метастабильности ЭЭГ покоя

Научный руководитель – Малых Сергей Борисович

Адамович Тимофей Валерьевич

Аспирант

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет психологии, Кафедра психофизиологии, Москва, Россия
E-mail: tadamovich11@gmail.com

В последнее время расширяется сфера исследований, посвященных функциональной связанности - тому, как различные зоны мозга координируют свою активность в ходе выполнения некоторой функциональной задачи. Подобные исследования построены на тезисе о том, что поведение сложной системы наилучшим образом описывается через синхронизацию разных элементов системы между собой [4], однако в последнее время появляется все больше свидетельств тому, что общее поведение системы лучше описывается через явление частичной синхронизации (partial synchrony) - ситуации, когда элементы системы объединены в несколько синхронизованных кластеров. Подобное описание лучше подходит для функциональных сетей головного мозга, которые изменяются очень быстро, а явление полной синхронизации труднодостижимо [1]. В одном из исследований [6] было показано, что частичная синхронизация в разных когнитивных системах позволяет мозгу интегрировать релевантную для выполнения задачи сенсорную информацию, отсекая иррелевантную.

Частичная синхронизация может описываться через химерные состояния - определенный паттерн взаимодействий между осцилляторами, в котором сочетается как синхронная, так и асинхронная активность. Согласно имеющимся предположениям, химерные состояния являются основой для протекающих в мозге процессов сегрегации и интеграции, таким образом составляя фундамент сложных когнитивных функций [2]

Задачей нашего исследования является создание пайплайна, позволяющего оценивать химерные состояния в функциональных сетях головного мозга на основании данных электрофизиологии, а так же демонстрация этого пайплайна на примере данных ЭЭГ покоя

Методика. В исследовании приняли участие 164 человека (возраст 17-34 года, $M=21.7$, $SD = 3.36$, 30% женщин) без неврологических и психических заболеваний и травм головы. Записывалась ЭЭГ в состоянии покоя. Респонденту давалась инструкция сидеть спокойно и ни о чем не думать. Запись начиналась в состоянии закрытых глаз, затем состояние закрытых и открытых глаз чередовалось. Длительность каждого этапа - 2 минуты. Всего было 3 этапа с закрытыми глазами и 2 этапа с открытыми, итоговое время записи - 10 минут. Запись проводилась на 64х канальном энцефалографе BrainProducts ActiChamp с частотой дискретизации 500Гц и электродом Cz в качестве референта. В ходе предобработки частота дискретизации снижалась до 250Гц, производилась фильтрация в диапазоне 0.1 - 30Гц и производился пересчет референта на усредненный по всем электродам. Удаление артефактов производилось вручную, глазодвигательные артефакты удалялись автоматически с помощью ICA. Анализ проводился в пространстве сенсоров. Из сырых данных с помощью трансформации Гильберта извлекалась информация о мгновенной фазе сигнала. Далее проводилось разбиение электродов на синхронизированные кластеры. Кластеризация проводилась следующим образом: для каждой пары электродов в каждый момент времени оценивалась фазовая синхронизация. Значение фазовой синхронизации выше 0.7 трактовалось, как наличие синхронизации между двумя электродами в момент времени. На основе общего времени синхронизации, конструировалась

матрица дистанций, которая затем кластеризовывалась с помощью алгоритма k-means, в котором количество кластеров k оптимально подбиралось с помощью гар-статистики. Вся 10-ти минутная запись была разделена на эпохи длиной в 2 секунды, для каждой эпохи в каждом из кластеров оценивался параметр общей синхронизации элементов между собой - Kuramoto order parameter [3]. Подсчитывались две метрики - химерный индекс, средняя дисперсия параметра Курамото в разных кластерах, и индекс метастабильности, дисперсия параметра Курамото в времени в каждом кластере. Данные индексы позволяют оценить степень согласованности осцилляций в системе и ее изменения во времени.

Данные значения затем нормировались [5]

Различия в индексах в отрезках с открытыми и закрытыми глазами оценивались с помощью пермутационного t-теста.

Результаты. Значимые различия в условиях ЭЭГ покоя с открытыми и закрытыми глазами найдены как для химерного индекса, так и для индекса метастабильности ($Z=24.753$, $p<0.01$ и $Z=21.843$, $p<0.01$), со значениями обоих индексов меньше в состоянии закрытых глаз. Химерный индекс $M=0.36$, $SD=0.08$ в состоянии открытых глаз и $M=0.34$, $SD=0.09$ в состоянии закрытых, индекс метастабильности: $M=0.41$, $SD=0.08$ и $M=0.39$, $SD=0.09$ в состоянии закрытых глаз.

Заключение. В ходе данного исследования были найдены значимые различия между двумя состояниями, а так же представлен пайплайн для оценки химерных состояний в функциональных сетях головного мозга.

Источники и литература

- 1) M. A. Bertolero, B. T. T. Yeo, M. D'Esposito, The modular and integrative functional architecture of the human brain. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 112, E6798–E6807 (2015)
- 2) G. Deco, G. Tononi, M. Boly, M. L. Kringelbach, Rethinking segregation and integration: Contributions of whole-brain modelling. Nat. Rev. Neurosci. 16, 430–439 (2015)
- 3) Y Kuramoto (1984). Chemical Oscillations, Waves, and Turbulence. New York, NY: Springer-Verlag.
- 4) A. Pikovsky, M. Rosenblum, J. Kurths, Synchronization: A Universal Concept in Nonlinear Sciences (Cambridge Univ. Press, 2001)
- 5) M. Shanahan, Metastable chimera states in community-structured oscillator networks. Chaos 20, 013108 (2010).
- 6) J. M. Shine, P. G. Bissett, P. T. Bell, O. Koyejo, J. H. Balsters, K. J. Gorgolewski, C. A. Moodie, R. A. Poldrack, The dynamics of functional brain networks: Integrated network states during cognitive task performance. Neuron 92, 544–554 (2016)