

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СЕТЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

Бобылева А. В., Поспелов Н. А.¹, Нечаев С. К.², Горский А. С.³, Вальба О. В.⁴

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Биологический ф-т, каф. биофизики, Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1 стр 12, Тел. 8(977)131-98-05, E-mail: AnnaBobileva1999@yandex.ru

¹Институт перспективных исследований мозга МГУ, Россия, 119192, г. Москва, Ломоносовский пр., 27, корпус 1, Тел. 8(495)938-25-48, E-mail: nik-pos@yandex.ru

²Universite Paris-Saclay, France, 91190, Orsay, Bâtiment Bréguet, 3 Rue Joliot Curie 2e ét, E-mail: sergei.nechaev@gmail.com

³Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича РАН, Россия, 127051, г. Москва, Большой Каретный пер., д.19 стр. 1, Тел. 8(495)650-42-25, E-mail: shuragor@mail.ru

⁴Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Россия, 123592, г. Москва, ул. Таллинская, 34, E-mail: valbaolga@gmail.com

Мозг представляет собой сложную сеть структурно и функционально взаимосвязанных элементов — коннектом. Изучение структуры этой сети как целого важно для понимания принципов обработки информации в мозге, связи между его структурной и функциональной архитектурой.

Сети мозга можно математически представить в виде графа $G = (V, E)$, где V — набор узлов, представляющих группы нейронов или области мозга, E — ребра, соединяющие их посредством нервных волокон. В данной работе анализировались экспериментально полученные с помощью диффузионной МРТ коннектомы, представленные в виде графов, взятые из базы данных проекта Human Connectome Project. Анализ коннектомов производился на языке программирования Python.

Результаты анализа показывают, что сети мозга обладают рядом уникальных спектральных свойств: 1) выраженной динамикой λ_3 и λ_4 — собственных значений лапласиана графа (характеризующих степень связности внутри полушарий) при удалении межполушарных связей; 2) несвойственной случайным сетям формой спектров матриц смежности; 3) аномально высоким перекрытием множеств соседей узлов; 4) распределением степеней узлов с тяжелым хвостом, свидетельствующим о наличии в сети хабов — узлов с аномально большим количеством связей.

На основе результатов анализа спектральных свойств сетей мозга была построена модель, опирающаяся на два структурных принципа (принцип предпочтительного присоединения и метаболические ограничения на длину связей), воспроизводящая основные свойства реальных коннектомов. Полученные результаты хорошо согласуются с теорией влияния геометрических ограничений на работу мозга [1] и принципом иерархической организации коннектома.

[1] Pang, J.C., Aquino, K.M., Oldehinkel, M. et al. Geometric constraints on human brain function // *Nature* V. 618, 2023. P. 566–574. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06098-1>