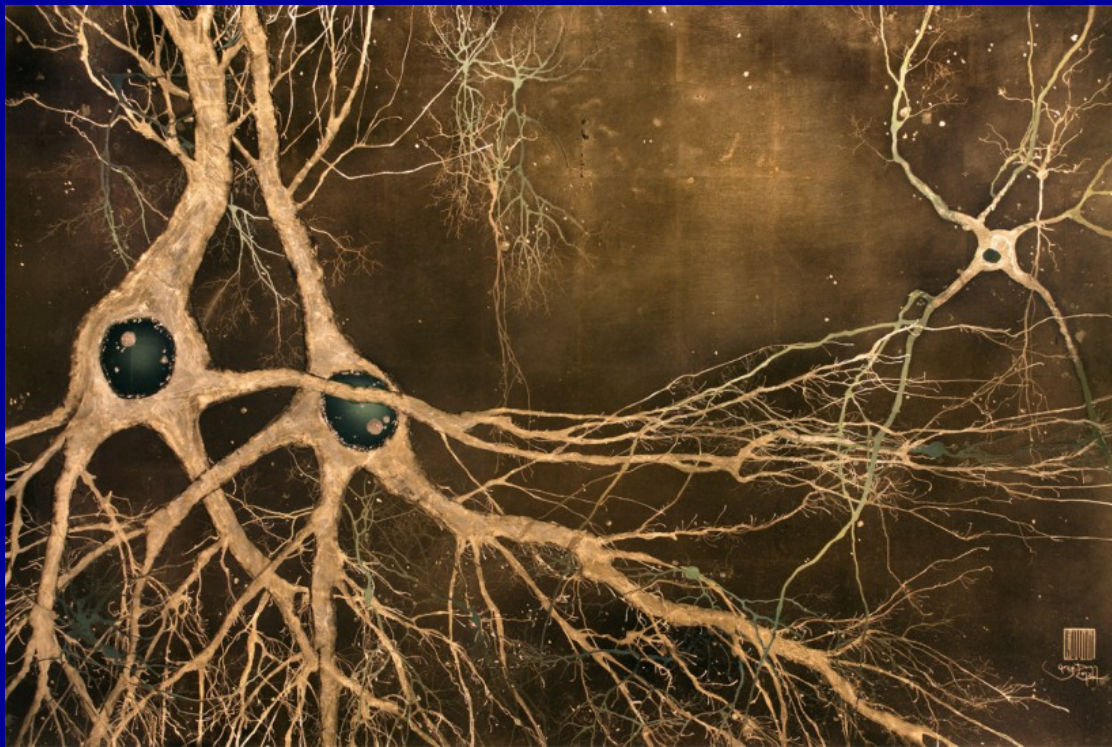


МАТЕМАТИКА И НЕЙРОНАУКИ: математические модели мозга



61-я неделя матмеха 25.04.2022

- ГРАНТ СПбГУ (2021-2023 гг)

- ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОННОЙ АКТИВНОСТИ И БИОМАРКЕРОВ СОСТОЯНИЙ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

- С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ

- ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

- - СПбГУ, матмех, каф.теор.кибернетики
 - - СПбГУ, биофак, каф. высшей нервной деят-ти
 - - Институт мозга человека РАН
 - - Институт проблем машиноведения РАН
 - - Университет Иннополис, лаб. нейронаук

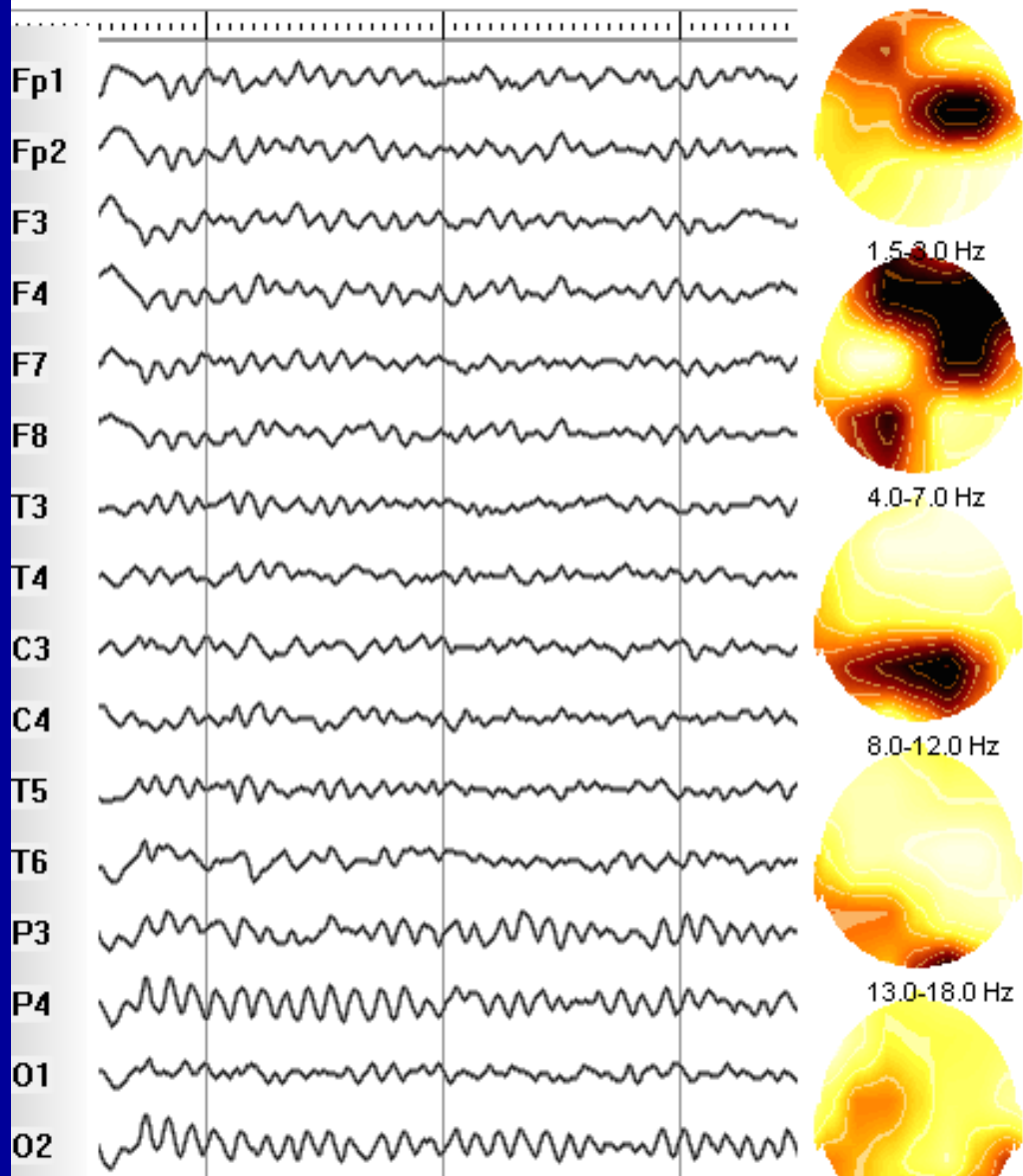
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЯ



ЭЭГ – массовый, неинвазивный способ
сбора данных о нейрональной активности
ГОЛОВНОГО МОЗГА



ЭЭГ-покоя, 16-канальная регистрация



Анализ ЭЭГ
затруднен из-за
зашумленности
данных и
сложности
математических
моделей
активности
головного мозга

Работы по нейроуправлению в ИПМаш РАН и СПбГУ



Рис. 1: Внешний вид нейросетевого стенда «НС-1»

Схема нейросетевого стенда «НС-1»

Экспериментальная установка

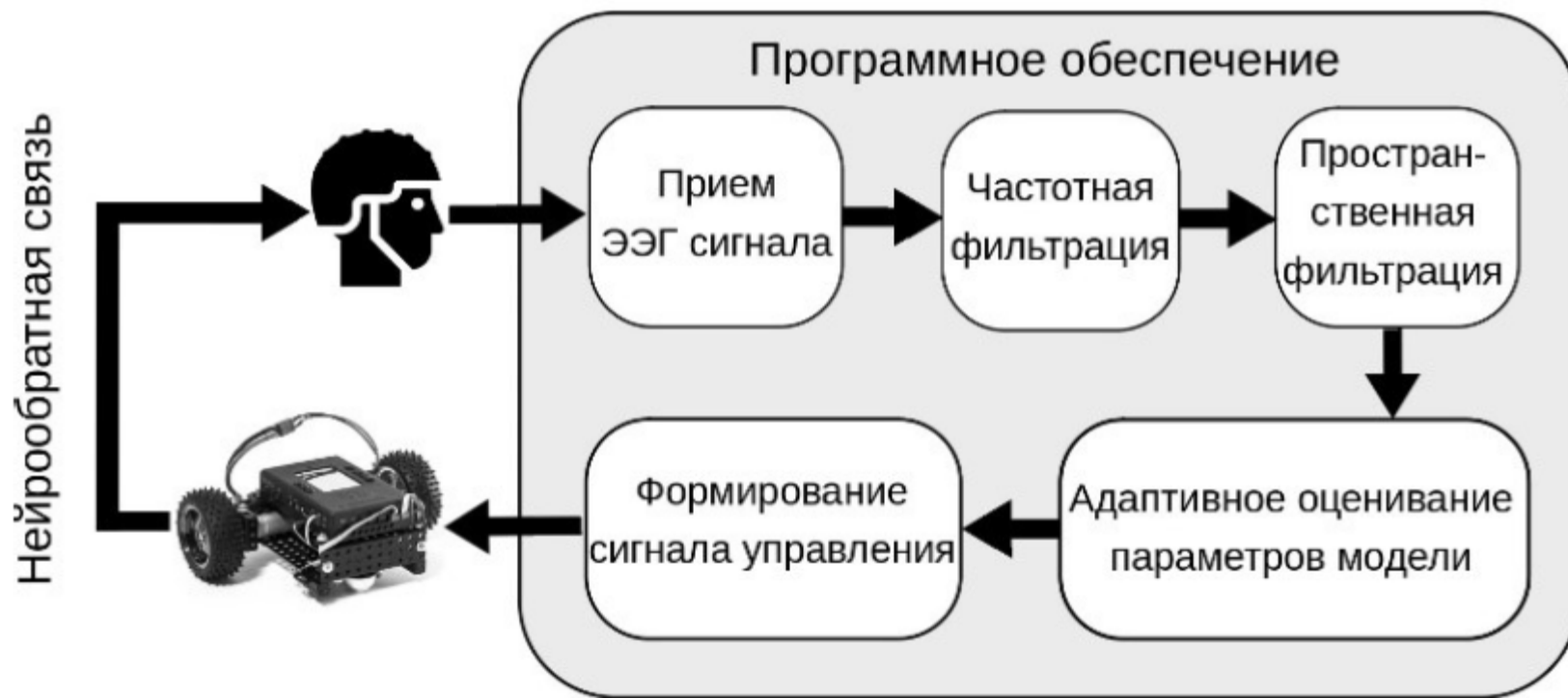
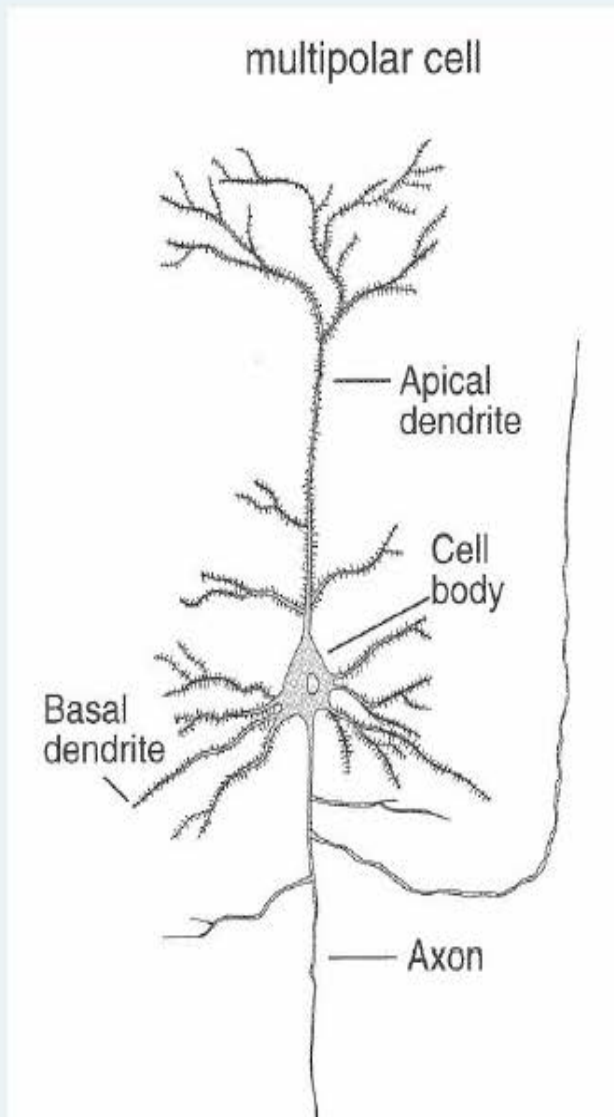


Рис. 2: Схема экспериментальной установки и программного обеспечения.

В головном мозге человека
>80 млрд. нейронов

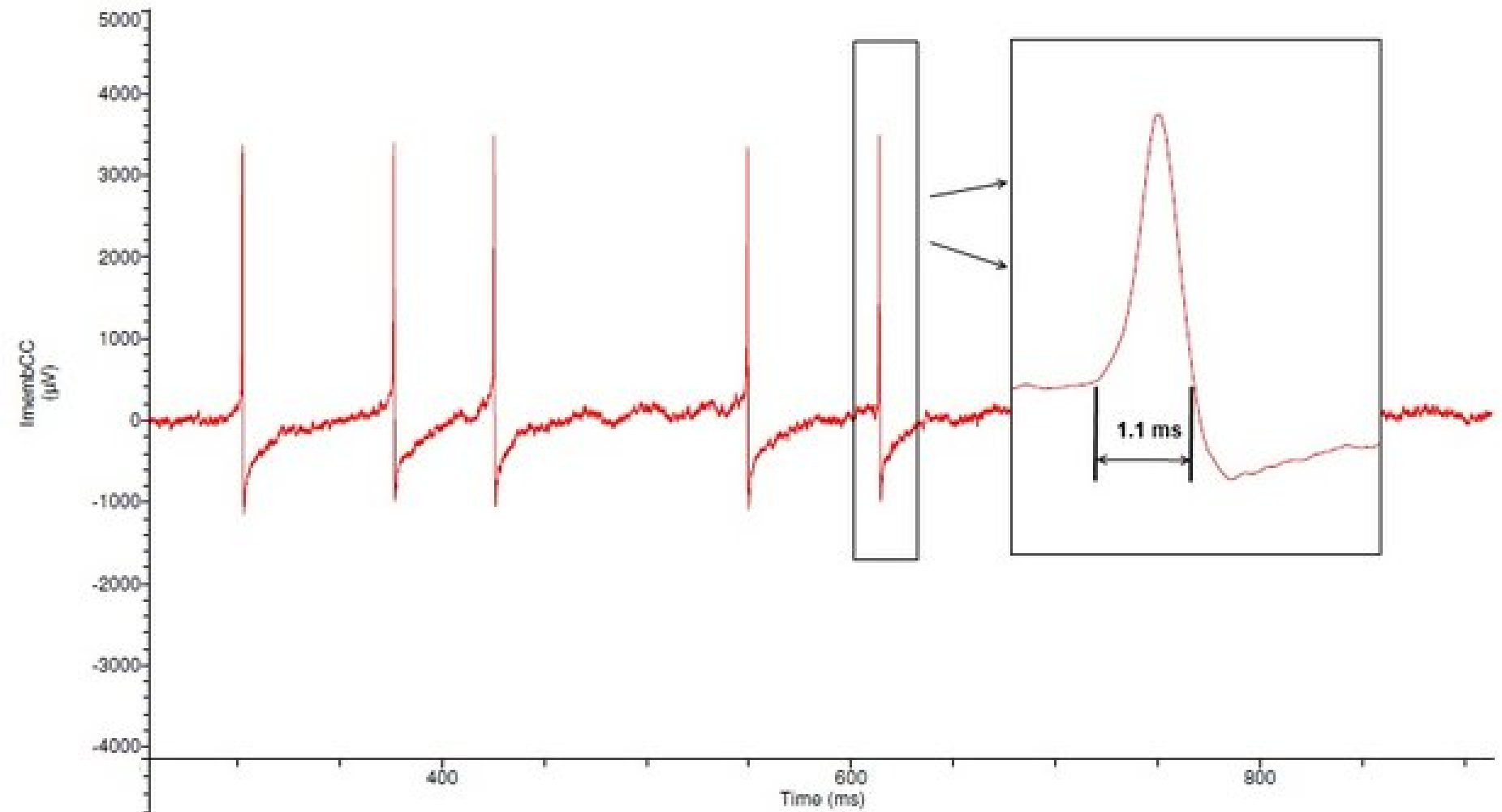


Нейрон

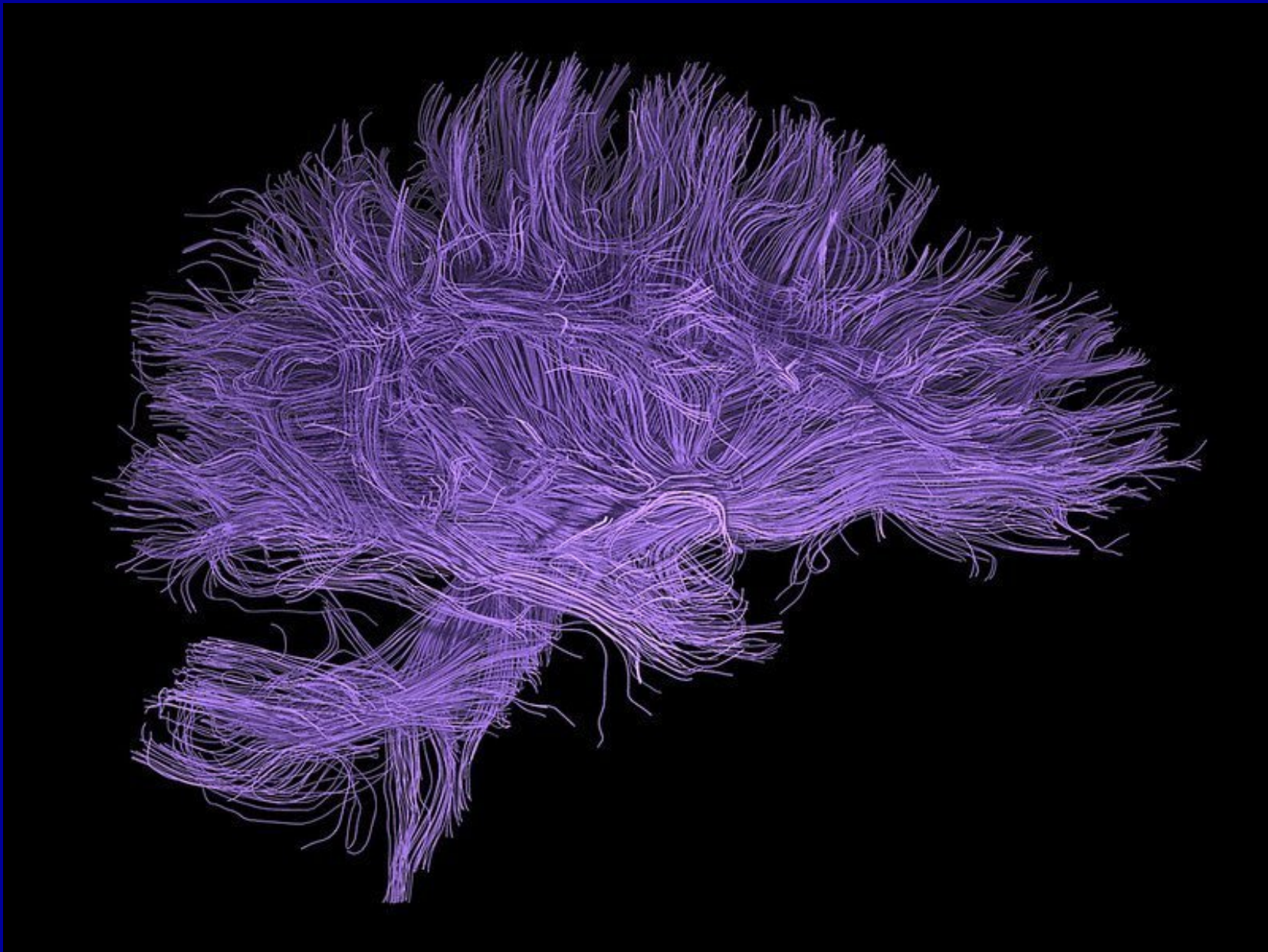


- **Сома, или тело**, диаметр сомы достигает 100 мкм и более, у самых мелких - около 5 мкм.
- **Дендриты** - цитоплазматические выросты увеличивающие пространственную локализацию нейрона. На них расположены синапсы с другими нейронами. Некоторые нейроны имеют на дендритах специализированные выросты – **шипик**, являющиеся специализированной постсинаптической частью глутаматных синапсов.
- **Аксон** - удлинённый вырост цитоплазмы, структурно и функционально приспособленный для проведения потенциалов действия. У позвоночных животных он может иметь миелиновую оболочку.
- **Аксональный холмик** – начальный участок аксона, имеющий высокую вероятность генерация потенциала действия
- **Аксональные расширения** – пресинаптические терминали

■ Нейроны «общаются» импульсами –
потенциалами действия (80-100 мВ)



Волокна мозга (коннектом)



Human Connectome Project - Mapping human brain

<http://www.humanconnectomeproject.org>

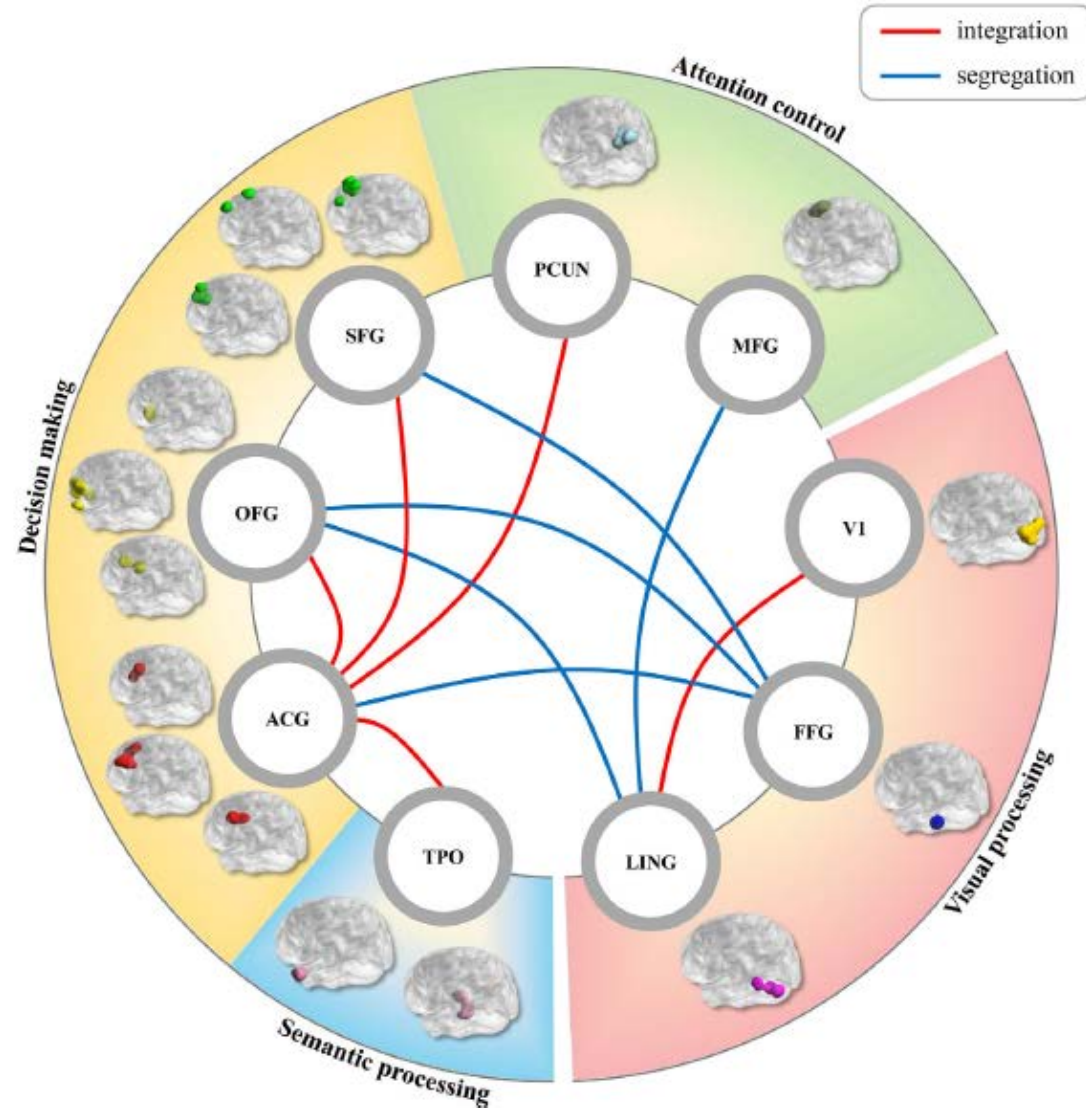


FIGURE 4 Altered functional connectivity with their possible corresponding functional integration (red lines) or segregation (blue lines) in the IR group. The locations of ACG, SFG, OFG, and TPO are represented by multiple images for two reasons: (1) the sub-regions of TPO are disconnected and located in different hemispheres; and (2) changed functional connections in the ACG, SFG, or OFG were observed in different sub-regions. Detailed brain region connections are shown in Figures S1-S3

СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ МОЗГА

Модель нейрона ФитцХью-Нагумо (ФХН):

$$\begin{cases} \dot{u} = u - u^3/3 - v + I_{ext}, \\ \dot{v} = \varepsilon(u - a - bv). \end{cases} \quad (10)$$

Здесь u описывает динамику мембранного потенциала нейрона; v – совокупное действие всех медленных ионных токов, отвечающих за восстановление потенциала покоя мембраны. Параметры a и b определяют проводимостные характеристики ионных каналов, а ε ($\varepsilon > 0$) – относительную скорость изменения медленных ионных токов.

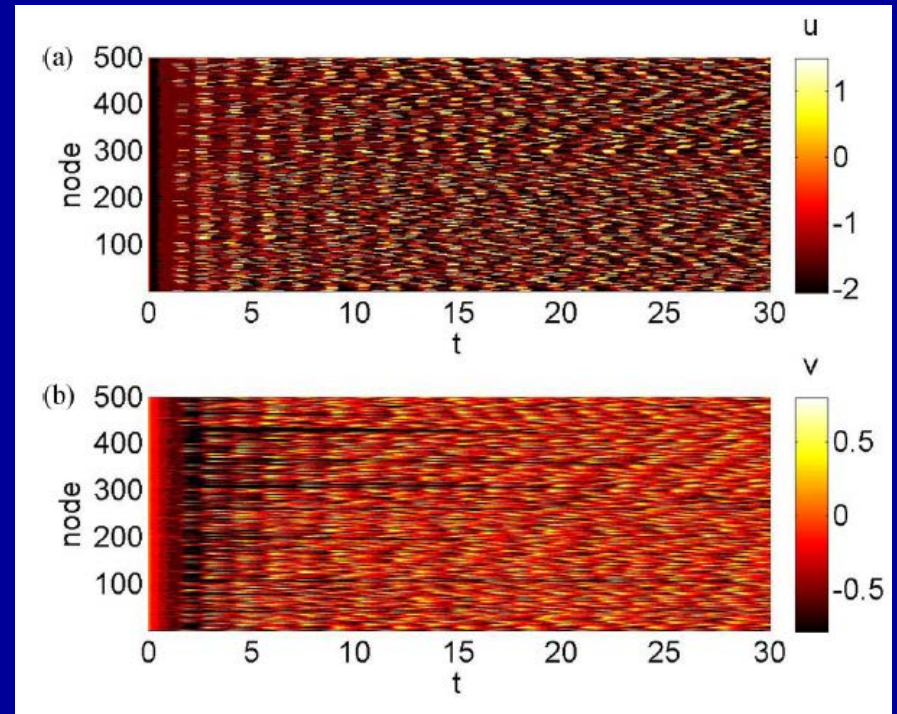
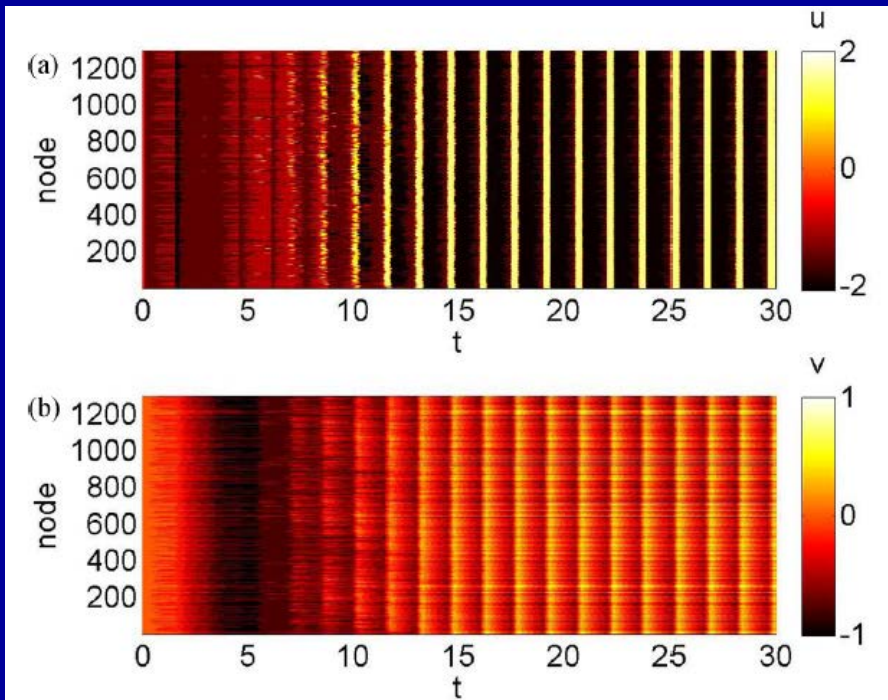
Модель сети ФХН-нейронов (C , G_{ij} - к-нты связи. τ - задержка:

$$\varepsilon \dot{u}_i = u_i - \frac{u_i^3}{3} - v_i + C \sum_{j=1}^N G_{ij} [u_j(t - \tau) - u_i(t)],$$

$$\dot{v}_i = u_i + a_i, \quad i = 1, \dots, N,$$

СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ МОЗГА

Синхронизация моделей ФитцХью-Нагумо:



S. A. Plotnikov, J. Lehnert, A. L. Fradkov, E. Schöll.

Synchronization in heterogeneous FitzHugh-Nagumo networks with hierarchical architecture. Phys. Rev. E 94, 012203 (2016),

Plotnikov S.A., Fradkov A.L.

Synchronization of nonlinearly coupled networks based on circle criterion. Chaos 31, 103110 (2021)

ИСТОЧНИКИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Нелинейные динамические модели нейронов: Обзор.**

А. С. Дмитричев и др. ИПФ РАН, 2018

<https://andjournal.sgu.ru/ru/articles/nelineynye-dinamicheskie-modeli-neuronov-obzor>

2. Математическое моделирование нейродинамических систем. Прокин И.С., Симонов А.Ю., Казанцев В.Б

Учебное пособие. ННГУ, 2012,

<http://window.edu.ru/resource/465/79465>

3. Моделируем электрическую активность нейронов

<https://habr.com/ru/post/201220/>

4. Human Brain Project <https://www.humanbrainproject.eu/en/>

ИСТОЧНИКИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

5. Коннектом — полное описание структуры связей в нервной системе организма. <https://intellect.icu/konnektom-polnoe-opisanie-struktury-svyazej-8034>
6. Cofré, R., Herzog, R., Mediano, P.A.M., (...), Perl, Y.S., Tagliazucchi, E. Whole-brain models to explore altered states of consciousness from the bottom up (Открытый доступ) 2020 Brain Sciences, 10(9),626, с. 1-29.
7. Rabinovich M. I. Varona P. Selverston A. I. Abarbanel. Dynamical principles in neuroscience (биб-ка СПбГУ).
Reviews of Modern Physics. 2006, V. 78, 1213-1265.
8. D.Nikitin, I. Omelchenko, A.Zakharova, M.Avetyan, A.L. Fradkov, E. Scholl. Complex partial synchronization patterns in networks of delay-coupled neurons. Philosophic Trans. Royal Society A, 2019, A 377 (2153), 20180128.