

УДК: 57.087.1

## ФМРТ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕМОДИНАМИЧЕСКОГО ОТВЕТА МОЗГА ЧЕЛОВЕКА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

**Калошин Иван Борисович**<sup>1</sup>, студ., E-mail: vano3000@gmail.com

**Деветьяров Дмитрий Александрович**<sup>2</sup>, м.н.с., E-mail: oberon-89@mail.ru

**Седов Алексей Сергеевич**<sup>1,2</sup>, к.б.н., доцент<sup>1</sup>, зав.лаб.<sup>2</sup>, E-mail: sedovas@pochta.ru

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики (МГТУ МИРЭА), Москва, Россия

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (ИХФ РАН), Москва, Россия

**Аннотация.** Для анализа и интерпретации электрофизиологических данных, полученных в ходе микроэлектродных исследований у больных паркинсонизмом и другими двигательными расстройствами, необходимо получение дополнительной информации о функционировании мозга здорового человека. Авторы предлагают использование неинвазивного фМРТ метода для изучения структур мозга, участвующих в организации и выполнении произвольных движений, а также для исследования динамики их активации во времени. Используемая методика позволила определить структуры коры головного мозга и мозжечка, участвующие в реализации словесно-опосредованных движений.

**Ключевые слова:** фМРТ, произвольные движения, головной мозг

## FMRI RESEARCH OF HEMODYNAMIC RESPONSE OF HUMAN BRAIN DURING VOLUNTARY MOVEMENT REALIZATION

**Kaloshin I. B.**<sup>1</sup>, stud., E-mail: vano3000@gmail.com

**Devetiarov D. A.**<sup>2</sup>, junior research scientist, E-mail: oberon-89@mail.ru

**Sedov A. S.**<sup>1,2</sup>, Ph.D., associate professor<sup>1</sup>, head of laboratory.<sup>2</sup>, E-mail: sedovas@pochta.ru

<sup>1</sup> Moscow State Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Semenov Institute of Chemical Physics Russian Academy of Sciences (RAS), Moscow, Russia

**Abstract.** Additional information about function of healthy human brain is needed for analysis and interpretation of electrophysiological data. Authors used non-invasive fMRI method for research of brain structures which participate in voluntary movements and their dynamics. In result brain cortex and cerebellum structures which are concerned with verbally-ordered movement was recognized.

**Key words:** fMRI, voluntary movement, human brain

### Введение

В настоящее время существует ограниченное число методов анализа функционирования мозга человека – электроэнцефалография (ЭЭГ), магнитоэнцефалография (МЭГ), позитронно-эмиссионная томографии (ПЭТ), функциональная магниторезонансная томография (фМРТ), микроэлектродный и полумикроэлектродный методы. Применение микроэлектродного метода позволяет изучать нейронные механизмы, лежащие в основе когнитивной и двигательной деятельности человека на уровне отдельных клеток [7,8]. Этот метод применяется в

ходе стереотаксических нейрохирургических операций у больных с двигательными нарушениями. В ходе многолетней работы коллективом лаборатории клеточной нейрофизиологии человека ИХФ РАН накоплен большой объем данных о механизмах передачи функционально-значимой информации в подкорковых структурах мозга человека при реализации произвольных словесно управляемых движений. Интерпретация полученных данных остается дискуссионной, поскольку этот метод не позволяет исследовать нейронную активность мозга здорового человека.

В настоящем исследовании предлагается поиск ключевых звеньев системы моторного контроля и изучение динамики активности мозга человека на разных этапах реализации движения – от произнесения побудительного словесного стимула до реализации произвольного движения с использованием функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ). Этот метод позволяет неинвазивно исследовать изменения отделов мозга здорового человека, в том числе протекающие в подкорковых структурах, при реализации целенаправленного поведения [1-3,6-9]. Этот метод нашел широкое применение при исследовании таких важных функций мозга как сознание, внимание, память, движение и др. [1,5,6,9]. Применение фМРТ в сопоставлении с данными, полученными ранее с помощью микроэлектродной техники, позволят приблизиться к пониманию механизмов деятельности мозга человека при реализации произвольных движений.

### **Методика**

Эксперименты проводились на базе НИИ Неотложной детской хирургии и травматологии с использованием магнитно-резонансного томографа Achieva Philips Голландия 3.0 Тесла, оснащённого градиентной системой Dual Quasar с использованием 8-канальной приёмной радиочастотной катушки для головы.

Экспериментальная парадигма представляет собой последовательность повторяющихся блоков команд, предъявляющихся в процессе фМРТ сканирования. Каждый блок включает в себя следующие команды:

- 1) «Приготовились!». Данная команда концентрирует внимание испытуемых на предстоящих двигательных тестах. Длительность – 6 секунд.
- 2) «Левую/правую руку в кулак» - произносится 4 секунды с указанием руки, которую предстоит сжать. На данном этапе предполагается восприятие стимула и подготовка к движению.
- 3) «Сожмите!» – команда, инициирующая сжатие и удержание правой или левой руки в кулак. Длительность - 6 секунд.

4) «Разожмите» – команда, разрешающая разжимание кулака. Далее следует четырёхсекундное молчание и конец блока.

Общая длительность каждого блока парадигмы – 20 секунд. Общее количество блоков – 18. Для каждой руки испытания проводились 9 раз, причём порядок сжатия рук был случайным. Также в начале и в конце парадигмы присутствует два временных интервала по 30 секунд, когда испытуемым не предъявлялось каких-либо команд (период покоя). Общая длительность одного эксперимента 420 секунд.

В качестве испытуемых были приглашены пять здоровых человек – 3 мужчины и 2 женщины в возрасте от 22 до 34 лет. Перед экспериментом для всех испытуемых было проведено МРТ сканирование для получения точных анатомических данных. Выходные данные экспериментов записываются в международном унифицированном формате DICOM.

Обработка полученных данных проводилась в среде MatLab с помощью программы SPM8. Анализ происходит в два основных этапа: подготовка исходных данных и составление дизайн-матрицы.

Подготовка данных включала в себя: импорт DICOM файлов; внесение поправок, связанных со случайными движениями головы; сопоставление фМРТ данных с анатомическими данными; разделение серого и белого вещества по анатомическим данным; приведение фМРТ и анатомических снимков к системе координат томографа (MNI); сглаживание сигналов.

При составлении дизайн-матрицы происходит разбиение данных по времени на группы согласно экспериментальной парадигме и учет внесенных ранее поправок к исходным данным. Готовая дизайн-матрица позволяет анализировать уровень активности мозговых структур на различных этапах эксперимента с помощью задания контрастов (рис.1).

### **Результаты**

В результате исследования активности мозга 5 испытуемых была получена динамика вовлечения различных структур мозга человека в разные функциональные этапы реализации произвольного словесно опосредованного движения.

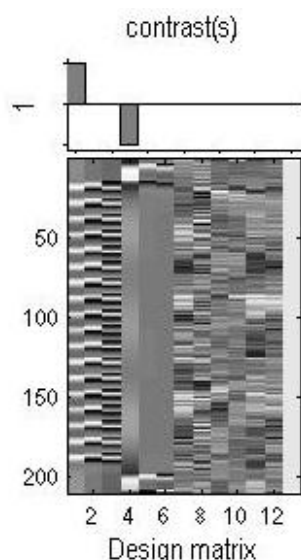


Рис. 1 Пример дизайн-матрицы для сравнения активности структур мозга во время команды «Приготовились!» с периодом покоя. По оси абсцисс колонки 1-3 отражают выделение границ временного интервала, соответствующего команде «Приготовились!»; колонки 4-6 отражают выделение границ временного интервала, соответствующие периоду покоя; колонки 7-12 соответствуют поправкам на смещение и повороты головы в трёх плоскостях. По оси ординат – номер соответствующего скана (длительность каждого скана - 2 секунды). Сверху над дизайн-матрицей расположен текущий вектор контрастов, согласно которому будут показаны области, активирующиеся во время команды «Приготовились!» относительно периода покоя.

Предъявление словесной команды «Приготовились!» вызывало значимые ( $p < 0.05$ ) изменения активности мозга человека в шестой зоне Бродмана, которая располагается в лобной доле в передних отделах прецентральной и задних отделах верхней и средней лобных извилин (рис 2). Согласно литературным данным, эта зона представляет собой премоторную область, в которой формируется план и последовательность движений [6]. Также показано участие этой области мозга в механизмах активации селективного внимания человека [1].

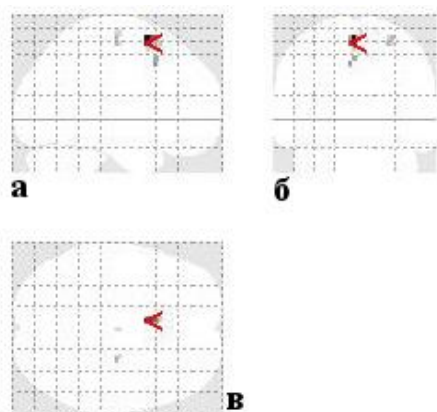


Рис. 2. Гемодинамический ответ мозга человека на предъявление команды «Приготовились!». а,б,в – сагиттальный фронтальный и горизонтальный срезы мозга соответственно. Стрелкой указана точка максимума активности.

Анализ изменения активности мозга человека при реализации произвольного движения с помощью фМРТ позволил выделить несколько ключевых звеньев системы моторного контроля. На этапе предъявления императивной команды «Сожмите левую руку в кулак» активируется премоторная кора правого полушария, участвующая в подготовке к движению (рис. 3А). На этапе инициации и реализации движения идет мощная активация моторной коры правого полушария, которая посылает эфферентные сигналы к мышцам посредством подкорковых структур (рис. 3Б). На высоте реализации движения к активности моторной коры добавляется активация мозжечка (левое полушарие), обеспечивая координацию движения и обратную афферентацию (рис. 3В). В последствии от произвольного движения наблюдалась небольшая активация в моторной коре и выраженная активность в области мозжечка (рис. 3Г).

Анализ изменения активности мозга человека при сжимании правой руки в кулак показал такую же динамику. При этом изменения происходили в противоположных полушариях мозга.

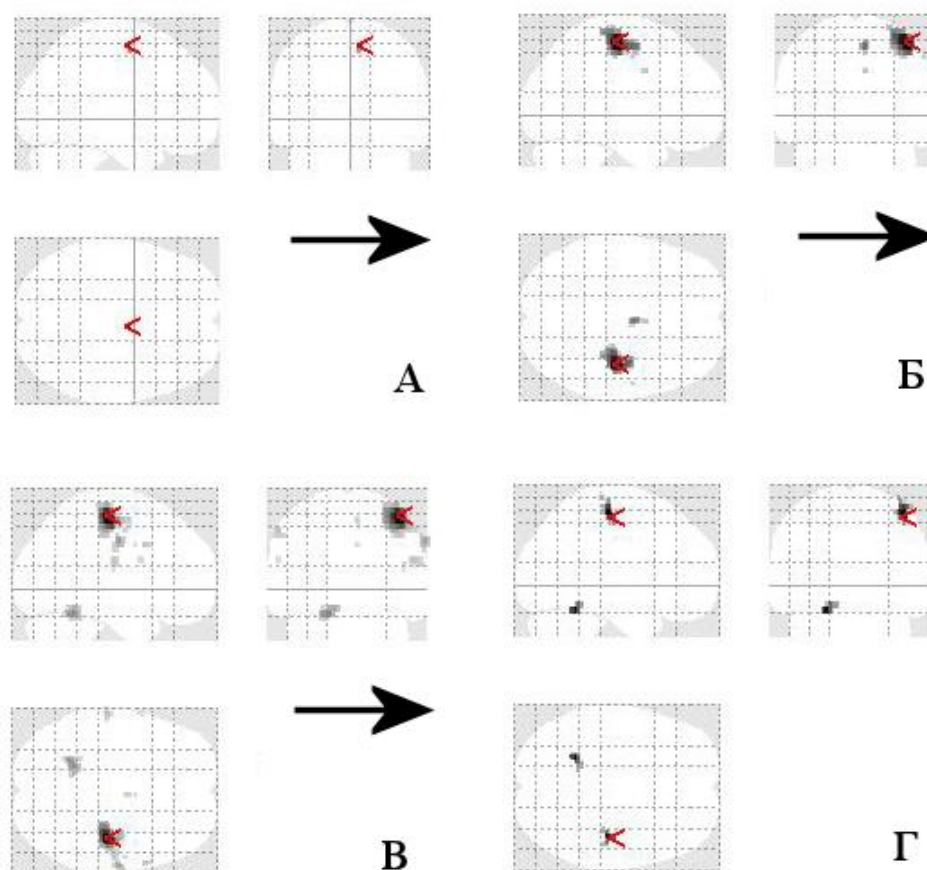


Рис 3. Динамика активации мозга человека на разных функциональных этапах реализации произвольного движения. А- этап восприятия команды, Б – инициация движения, В – реализация движения, Г – последствие.

В целом, использование функциональной МРТ показало высокую эффективность изучения двигательных систем мозга человека. Было показано последовательное включение различных отделов коры головного мозга на этапе восприятия словесных стимулов, активации селективного внимания и реализации произвольного движения. Стоит отметить, что наряду с корой больших полушарий наблюдалась активация области мозжечка на высоте реализации движения и в последствии от него. При этом активности других подкорковых структур (таламуса, базальных ганглиев), участвующих в организации произвольного движения, не наблюдалось. Это обусловлено, по-видимому, недостаточно выраженным сигналом от этих областей мозга по сравнению с сигналами, поступающими от коры больших полушарий и мозжечка. Согласно литературным данным, визуализация подкорковых структур человека возможна при использовании наряду с данными фМРТ методов наложения атласов (масок) на зону анализа (region of interest). Этот подход будет использоваться в дальнейшем для визуализации интересующих структур мозга человека.

### Список литературы

1. Adler C.M. et al. Changes in neuronal activation with increasing attention demand in healthyvolunteers: an fMRI study. *Synapse*, Dec 2001; 42(4): 266-72.
2. Ashburner J. et al. SPM8 Manual. The FIL Methods Group, Institute of Neurology, London – 2010
3. Bardinet E. et al. Motor control in basal ganglia circuits using fMRI and brain atlas approaches, *Cerebral Cortex*, Oxford University – 2006;
4. Di Martino A. et al. Functional connectivity of human striatum: a resting state fMRI study. *Cerebral Cortex* December 2008;18:2735--2747
5. Floyer-Lea A. and Matthews P. M. Distinguishable brain activation networks for short- and long-term motor skill learning. *J Neurophysiol* 94: 512–518, 2005.
6. Oreja-Guevara C et al. The role of V5 (hMT+) in visually guided hand movements: an fMRI study. *Eur J Neurosci*. 2004 Jun;19(11):3113-20
7. Раева С.Н.: Микроэлектродное исследование активности нейронов головного мозга человека. - М., Наука. 1977
8. Седов А.С., Медведник Р.С., Раева С.Н. Нейронные механизмы произвольного и непроизвольного движения в парафасцикулярном (СМ-Pf) комплексе таламуса у больных спастической кривошеей. *Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова*. 2010. Т.95 №5. С.498
9. Petit L. and Beauchamp M.S. Neural basis of visually guided head movements studied with fMRI. *J Neurophysiol* 89: 2516–2527, 2003