

скорее количественных характер. В целом, как и в оригинальном эксперименте [1], восприятие стимулов экспериментальных условий вызвало у испытуемых реакцию приблизительно одних и тех же зон мозга. В настоящее время в рамках продолжающегося исследования проводится проверка и уточнение полученных результатов.

Литература

1. Fedorenko E., Hsieh P.-J., Nieto-Castañón A., Whitfield-Gabrieli S., Kanwisher N. 2010. A new method for fMRI investigations of language: Defining ROIs functionally in individual subjects. *Journal of Neurophysiology*. № 104. P. 1177-1194.
2. Fiez J.A. 1997. Phonology, semantics, and the role of the inferior prefrontal cortex. *Human Brain Mapping*. № 5. P. 79–83.
3. Kaan E., Swaab T. 2002. The brain circuitry of syntactic comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*. V. 6. № 8. P. 350-356.
4. Mazoyer B.M., Tzourio N., Frak V., Syrota A., Murayama N., Levrier O., et al. 1993. The cortical representation of speech. *Journal of Cognitive Neuroscience*. № 5. P. 467–479.

Полушарные особенности ЭЭГ и фМРТ реакций мозга при реальных и воображаемых движениях*

*Болдырева Г. /gboldyreva@nsi.ru/, Жаворонкова Л., Шарова Е.,
Пяшина Д., Симонова О., Титова Л.*

*Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,
Москва, Россия*

*НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН, Москва, Россия
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия*

Одним из аспектов изучения функциональной специализации мозга человека является анализ полушарной специфичности реактивных церебральных перестроек при функциональных нагрузках. В качестве модели для решения этой проблемы может быть исследование реакций мозга при выполнении двигательных заданий раздельно правой или левой рукой. Сочетанное использование в этих исследованиях ЭЭГ и фМРТ методов позволяет наиболее полно охарактеризовать структурно-функциональную организацию мозга и сопоставить нейрофизиологические и гемодинамические маркеры включения в реактивный процесс определенных церебральных структур. Особую значимость в плане разработки активно развивающегося в последнее время направления интерфейс мозг-компьютер приобретает изучение реактивных перестроек при мысленном представлении выполнения двигательных проб, что помимо теоретического интереса важно также в разработке методов реабилитации больных с двигательными нарушениями.

* Работа поддержана грантами РФФИ (проект №10-04-00485а, проект №11-04-12166-офи-М-2011) и РГНФ (проект №11-06-01-060).

В настоящей работе проанализированы ЭЭГ и фМРТ реакции при двигательных нагрузках (сжатие-разжатие пальцев в кулак, отдельно правой и левой рукой) и мысленном представлении выполнения этих заданий. В исследовании приняло участие 15 здоровых праворуких людей (6 мужчин и 9 женщин) в возрасте от 21 до 39 лет. Анализу подвергались 45-60 секундные отрезки ЭЭГ с вычислением среднего уровня когерентности, средней мощности, средней частоты и эффективной частотной полосы. Эти параметры вычислялись для всей частотной полосы (0.4 -30Гц) и отдельных ее составляющих в пределах основных физиологических диапазонов ритмов: дельта (0.4-3.9Гц), тета1(4.3-5.5Гц), тета2(5.9-7.4Гц), альфа1(7.8-9.0Гц), альфа2(9.4-10.2Гц), альфа3(10.5-12.5Гц), бета1(12.9-20.7Гц) и бета2(21.1-30.1Гц). Достоверность реактивных изменений ЭЭГ оценивалась на основе непараметрического критерия Манна-Уитни с помощью статистического пакета программ, разработанного в Институте нейрохирургии им.акад.Н.Н.Бурденко РАМН. фМРТ исследования выполнялись на МР-томографе (GE Healthcare) с напряженностью магнитного поля 3Т. Запись осуществлялась по так называемой блоковой парадигме, состоящей из чередования периодов покоя и выполнения функциональных нагрузок длительностью по 30 с. Данные (+ BOLD эффект фМРТ) обрабатывали с помощью программы BrainWave.

При выполнении двигательной пробы во всех случаях фМРТ ответ выявлялся в области центральных извилин контралатерального (по отношению к работающей руке) полушария. Наряду с этим выявлялись зоны активации в медиальных отделах верхних лобных извилин (дополнительная моторная зона) и в ипсилатеральном полушарии мозжечка. Включение других отделов мозга, в том числе подкорковых структур, резко варьировало.

ЭЭГ перестройки при двигательной нагрузке характеризовались большей, чем фМРТ ответы, вариативностью. Согласно полученным нами ранее и статистически подтвержденным данным (Болдырева с соавт., 2009,2010; Шарова с соавт. 2012), основному фМРТ ответу топографически в наибольшей степени соответствовали изменения когерентности ЭЭГ. При работе правой рукой наиболее выраженный латерализованный ответ (в виде нарастания когерентности в активируемом, левом полушарии) отмечался в альфа3 и бета1 диапазонах, а при левосторонней нагрузке – в альфа3 и бета2 диапазонах. Нарастание когерентности альфа1 и альфа2 диапазонов при двигательных пробах проявлялись без признаков межполушарной асимметрии. Нарастание когерентности альфа и бета частотных полос в активируемом полушарии сопровождалось ее снижением в дельта и тета диапазонах. Наиболее четкие реципрокные отношения в активируемом полушарии отмечались в поведении альфа3 и тета2 ритмов при левосторонней нагрузке. Реактивные изменения спектров мощности ЭЭГ проявлялись преимущественно в нарастание мощности и средней частоты бета диапазонов ритмов; их топография не была приурочена к активированному полушарию, они отчетливо преобладали сле-

ва. Изменения эффективной частотной полосы, отражающие нарастание степени десинхронизации ЭЭГ, имели билатеральный характер.

При мысленном представлении выполнения движения фМРТ реакции были крайне вариабельны, что в значительной степени могла быть обусловлено разной (неконтролируемой) интенсивностью и стратегией выполнения задания. Основной ответ в контралатеральном полушарии мог смещаться в сторону сенсорной зоны. Характерным было ослабление ответа в мозжечке. При правостороннем представлении нарастала активация подкорковых структур и ипсилатерального полушария. Наблюдались случаи, когда при представлении работы как правой, так и левой рукой ответ выявлялся в нижней теменной извилине правого полушария, ответственной за пространственное представление. В случаях, когда испытуемый (согласно опросу) визуально представлял движение рукой, отмечалась активация зрительных зон коры.

ЭЭГ перестройки при представлении движения также резко варьировали. В этой экспериментальной ситуации нарастание когерентности альфа ритма отмечалось преимущественно в правом полушарии. Изменения параметров спектров мощности имели сходный характер с их динамикой при выполнении движения, обнаруживая еще большее преобладание слева.

Сопоставление реактивных ЭЭГ перестроек, наблюдаемых в двух экспериментальных ситуациях, показало, что представление движения сопровождалось нарастанием, по сравнению с реальным движением, когерентности медленных составляющих ЭЭГ (дельта и тета диапазонов) в центральных отделах коры. Согласно литературным данным это может быть отражением усиления когнитивного компонента или трудности выполнения задачи мысленного представления по сравнению с двигательной реакцией.

Таким образом, анализ ЭЭГ и фМРТ ответов при двигательных нагрузках выявил системный характер работы мозга со специфическими особенностями включения правого и левого полушарий в формирование двигательных реакций; наиболее четко эти особенности выражены в гемодинамических церебральных перестройках. Среди ЭЭГ показателей при выполнении движения наиболее реактивными в активированном полушарии, на стороне основного фМРТ ответа, были показатели когерентности, проявляющиеся в ее нарастании в высокочастотном альфа-ритме и бета-диапазонах. При мысленном представлении выполнения двигательной нагрузки топография фМРТ реакций более вариабельна, чем при движении; ответ в активированном полушарии смещается в сторону сенсорной зоны, активация мозжечка ослабевает. При правостороннем представлении нарастает степень включения в реактивный процесс интактного полушария и подкорковых структур. Это сопровождается увеличением когерентности высокочастотного альфа и бета диапазонов в правом полушарии. Воображаемое движение, по сравнению с реальным, характеризуется нарастанием когерентности медленных ритмов в центральных отделах с акцентом слева.