

ОСОБЕННОСТИ РЕОРГАНИЗАЦИИ РЕЧЕВЫХ ЗОН МОЗГА У БОЛЬНЫХ С РАЗНЫМИ ФОРМАМИ АФАЗИИ

С. В. Купцова¹, Р. М. Власова², О. В. Драгой², М. В. Иванова², С. А. Малютина³,
А. Г. Петрушевский¹, О. Н. Федина¹, Е. Ф. Гутырчик⁴

¹Центр патологии речи и нейрореабилитации (г. Москва)

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

³Университет Южной Каролины

⁴Университет Людвиг-Максимилиана (г. Мюнхен, Германия)

Поступила в редакцию 3 июня 2015 г.

Аннотация: статья посвящена исследованию паттернов мозговой активации, связанной с речевой обработкой, у пациентов с разными формами афазий при различных очагах повреждения головного мозга. В исследовании приняли участие 16 здоровых человек и 18 пациентов с различными формами афазий. Исследование проведено с использованием метода функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ). Полученные данные продемонстрировали нормативные паттерны активации при речевой обработке и особенности мозговой реорганизации речевой функции после локальных повреждений мозга у больных с разными формами афазий.

Ключевые слова: речь, фМРТ, афазия, нейрореабилитация.

Abstract: the present study is aimed at investigating brain activation patterns associated with language processing in patients with fluent and non-fluent aphasia with different localizations of cerebral lesions. Sixteen healthy subjects and eighteen patients with different forms of aphasia participated in this study. The study was conducted using functional MR imaging method. The data obtained in the study revealed normative patterns of neural activation during language processing and specifics of brain reorganization of language function after focal brain damage in patients with fluent and non-fluent aphasia.

Key words: language, fMRI, aphasia, neurorehabilitation.

Вследствие очаговых поражений доминантного по речи полушария головного мозга возникают специфические языковые расстройства – афазии, которые характеризуются системными нарушениями уже сформировавшихся форм речевой деятельности (продуктивное и понимание устной и письменной речи) и проявляются в виде разноплановых нарушений фонематических, морфологических, лексико-семантических и синтаксических языковых уровней при сохранности движений речевого аппарата, элементарных форм слуха и зрения [1; 2]. По данным клиники локальных поражений головного мозга классически выделяют следующие зоны, участвующие в обработке речи: средняя и верхняя височные извилины, нижние теменные отделы и задняя часть нижней лобной извилины левого полушария (далее – ЛП) головного мозга [1; 2]. Каждая из этих зон связывается с определенной формой афазии (в отечественной нейропсихологии традиционно выделяют семь) [2]. Эти формы можно условно разделить на два класса: задние (связанные с поражением височных и темен-

ных отделов – выпадение афферентных звеньев [2]) и передние (связанные с поражением задних лобных отделов головного мозга – выпадение эфферентных звеньев [2]). В процессе нейрореабилитации больных с афазиями часто возникает ряд вопросов: как именно поврежденный мозг осуществляет обработку речевого материала, как реорганизуются мозговые зоны, отвечающие за речь при локальных повреждениях головного мозга, и в чем отличие в функционировании здорового мозга от поврежденного. Одним из методов, позволяющих решать подобные задачи, является метод функциональной магнитно-резонансной томографии (далее – фМРТ). Используя в своих исследованиях данный метод, Heiss с соавт. [3] выдвинули гипотезу о том, что изначально, в подостром периоде, спонтанное восстановление речи во многом протекает за счет активации зон правого полушария (далее – ПП), гомологичных очагу поражения; в хронической же стадии при направленных тренировках восстановление происходит за счет вовлечения зон вокруг очага поражения в ЛП. В другом исследовании Crosson с соавт. [4] предположили, что при небольших очагах наиболее благоприятный исход сопровождается активацией ЛП, в то время как восстановление речи при более обширных очагах требует подключе-

© Купцова С. В., Власова Р. М., Драгой О. В., Иванова М. В., Малютина С. А., Петрушевский А. Г., Федина О. Н., Гутырчик Е. Ф., 2015

ния ПП. В то же время Price с соавт. [5] считают, что увеличение областей активации ПП сопровождается менее эффективной реализацией речевых процессов и худшим восстановлением речи, чем при активации зон ЛП. Таким образом, в основном авторы отмечают более благоприятный исход восстановления речи при активации зон ЛП. Однако остается непонятным, есть ли различия в активации зон мозга у пациентов с разными формами афазии и насколько в реорганизации речевой функции участвуют зоны мозга, исходно не связанные с речью. Поэтому было проведено исследование, направленное на уточнение особенностей паттернов мозговой активации, связанной с речевой обработкой, у пациентов с разными формами афазии при разных очагах повреждения по сравнению с группой здоровых испытуемых.

Материалы и методы исследования

Испытуемые

В эксперименте приняли участие 16 носителей русского языка (из них 8 мужчин) без неврологических и психиатрических заболеваний в анамнезе. Средний возраст испытуемых составил 35,7 лет ($SD = 8,04$, диапазон от 25 до 59 лет), все испытуемые были праворукими.

Группу пациентов составили 30 человек с различными формами афазии. Из них 2 человека почувствовали себя некомфортно и отказались от дальнейшего обследования, 5 человек исключены из-за некорректируемых артефактов движения головы, у 1 человека был слишком малый срок давности от начала заболевания, меньше 3 месяцев (для большей однородности выборки в исследование включались больные со второй стадии раннего восстановительного периода (с 3 месяцев от начала заболевания)), 4 человека в анамнезе имели трепанацию черепа (при анализе данных выяснилось, что подобные операции значительно снижают качество получаемого сигнала во время фМРТ-исследования). Также из-за нестабильной работы системы предъявления стимулов в среде E-Prime не были зафиксированы поведенческие ответы при выполнении задания от 7 пациентов, их нейровизуализационные данные были обработаны, но не использовались в той части анализа, где требовалось сопоставление поведенческих данных и паттернов активации. В итоге в конечную выборку были включены 18 пациентов (средний возраст – 53,6 лет, от 25 до 74 лет, 11 мужчин и 7 женщин, 9 с передними формами афазий (ПА) и 9 с задними (ЗА)), полностью анализировались поведенческие и нейровизуализационные данные 11 пациентов (средний возраст – 55 лет, от 25 до 74 лет, 7 мужчин и 4 женщины, 5 с ПА и 6 с ЗА). В группу больных с ПА входили больные с динамической и/или эфферентной моторной афазией, в редких случаях отмечалась и афферентная моторная афазия,

в группу больных с ЗА – больные с сенсорной и/или акустико-мнестической афазией [1].

Экспериментальная процедура

1. фМРТ-методика.

фМРТ-методика представляла собой задачу на синтагматический выбор – подбор подходящего существительного к глаголу. Методика состояла из двух типов блоков: экспериментального задания на синтагматический выбор с использованием вербального материала и контрольного задания на визуальный выбор с использованием графических символов. Смену заданий предвояла инструкция «слова» или «знаки», которая предъявлялась испытуемому на 2 секунды. В экспериментальном задании на экране перед испытуемым на 5,5 секунд появлялся глагол, а под ним два существительных, справа и слева, одно из которых подходило по смыслу к глаголу, второе – нет (например: варить: руль / суп). Испытуемому необходимо было указать, какое существительное подходит к глаголу, нажав на соответствующую кнопку (левую или правую). В контрольном задании в центре экрана на 5,5 секунд предъявлялась строка символов и две отдельных строки под ней, одна из которых была идентичной, а другая отличалась от целевой. Испытуемому нужно было выбрать строку символов, полностью совпадающую с целевой строкой. В каждом блоке, как экспериментальном, так и контрольном, было по три пробы. Всего испытуемым предъявлялось 18 блоков экспериментального и 6 блоков контрольного задания. Пример стимульного материала для каждого задания представлен на рис. 1.

2. Поведенческие методы исследования.

Все пациенты проходили стандартное комплексное нейропсихологическое обследование, по которо-



Рис. 1. Пример проб для экспериментального (слева) и контрольного (справа) заданий

му определялись когнитивные нарушения [1]. Также они выполняли тест на определение выраженности речевого дефицита – Методика «Оценки речи при афазии» [6].

Параметры сканирования

Исследование проводилось на томографе Magnetom AVANTO 1,5 T (Siemens, Германия). T1-взвешенные анатомические изображения были получены с помощью последовательности MPRAGE (параметры сканирования: TR = 1900 мс, TE = 3 мс, FA

= 15°, 176 сагиттальных срезов, FOV 250 мм, матрица реконструкции 256×256, размер воксела 1×1×1 мм). Функциональные T2*-взвешенные изображения получали с помощью ЭП-последовательности (параметры сканирования: TR = 3000 мсек, TE = 50 мсек, FA = 90°, 35 аксиальных срезов, толщина среза = 3 мм, зазор между срезами = 0,75 мм, FOV = 250 × 250 мм, матрица = 64 × 64). В каждой сессии и для каждого испытуемого было получено 263 измерения. Полное время сканирования составляло 26 минут.

Предъявление стимулов и регистрация ответов производились с помощью программного обеспечения E-Prime 1.0.

Обработка данных

Полученные данные обрабатывались с помощью специализированного программного обеспечения SPM8 (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>) и ряда программ, написанных на базе SPM8. Первые 23 измерения каждого испытуемого удалялись из анализа, так как относились к тренировочным пробам. На этапе предобработки изображений проводилась процедура выравнивания срезов каждого объема головного мозга в каждом измерении к среднему срезу, корегистрация анатомических и функциональных изображений, сегментация и нормализация изображений с приведением их к шаблону MNI (атлас Монреальского неврологического института) и пространственное сглаживание (8 мм) с помощью фильтра Гаусса.

Статистический анализ был проведен с помощью общей линейной модели. Индивидуальные карты активации, характерные для обработки глаголов в сравнении с обработкой символов, были получены с применением t-критерия, со статистическим воксельным порогом $p(\text{unc}) \leq 0,001$ и кластерной поправкой $q(\text{FDR}) \leq 0,05$. Групповые карты активации были построены с помощью модели случайных эффектов

на основе индивидуальных карт испытуемых, с использованием одностороннего одновыборочного t-критерия, статистические пороги на уровне вокселей $p(\text{unc}) \leq 0,01$ и кластерной поправкой $q(\text{FDR}) \leq 0,001$.

Для того чтобы принять во внимание весь спектр возможных вариантов активации как в норме, так и при патологии, из индивидуальных карт активации группы нормы и пациентов с помощью функции SPM8 ImCalc были построены вероятностные карты активации, показывающие, в скольких процентах случаев в данных группах встречались активации в каждом объеме измерения [7].

Результаты

У группы нормы при сравнении экспериментального и контрольного задания отмечается значимая активация в задней части нижней лобной, средней и верхней височной извилинах ЛПП, а также в ПП мозжечка головного мозга. Данные представлены на рис. 2 Н.

При групповом анализе данных для всех пациентов с ЗА отмечается один значимый компонент активации в задней части нижней лобной извилины ЛПП (рис. 2 А), такой же компонент встречается в группе нормы. В группе пациентов с ПА не было получено значимых активаций (рис. 2 Б).

При составлении вероятностной карты группы нормы (рис. 3) у большей части испытуемых наблюдается активация в ЛПП в нижней лобной, верхней и средней височной извилинах. Довольно редко (в 20–35 % случаев) встречается активация в предцентральной извилине билатерально, нижней теменной дольке ЛПП, верхней лобной извилине ЛПП и в ПП мозжечка.

При сравнении вероятностных карт активации пациентов с ЗА и ПА (рис. 4) видно, что у пациентов обеих групп наблюдается большая вариативность зон

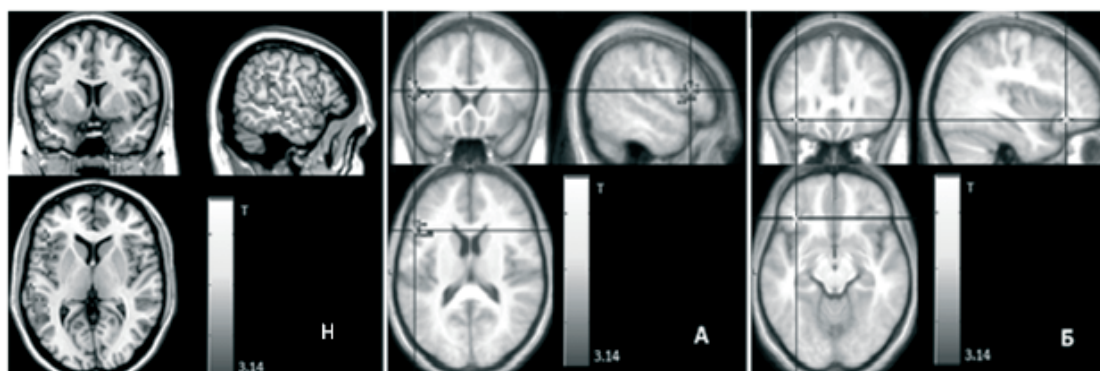


Рис. 2. Результаты фМРТ-исследования при выполнении задания на подбор подходящего существительного к глаголу по сравнению с контрольным заданием: Н – группа нормы; А – пациенты с задними формами афазий; Б – пациенты с передними формами афазий

активации по сравнению с группой нормы. При этом наиболее часто активация встречается в области классических речевых зон: в нижней лобной, верхней и средней височной извилинах, но для пациентов с ЗА характерны большие по размеру кластеры активации в этих областях, чем для пациентов с ПА.

Далее, чтобы оценить успешность нейрональной реорганизации мозга, индивидуальные карты активации каждого пациента, для которых были зафиксированы поведенческие данные о качестве выполнения задачи, были сопоставлены со всеми вариантами активации группы нормы.

Для пациентов, общим для которых является поражение предцентральной извилины ЛП при со-

хранности классических речевых зон (группа № 1, 3 человека), отмечается активация, характерная для большинства здоровых добровольцев (рис. 5). Стоит отметить, что наряду с поражением предцентральной извилины, также у одного пациента наблюдалось поражение в теменной доле ПП, у второго – в средней лобной извилине, и у третьего – в белом веществе лобной доли ЛП. Тяжесть речевого дефекта в данной группе больных варьирует от средне-грубой до легкой. Продуктивность выполнения задачи и время ответа представлены в таблице.

Для пациентов, общим для которых являлось поражение нижней лобной извилины ЛП (группа № 2, 2 человека), одной из классических речевых зон,

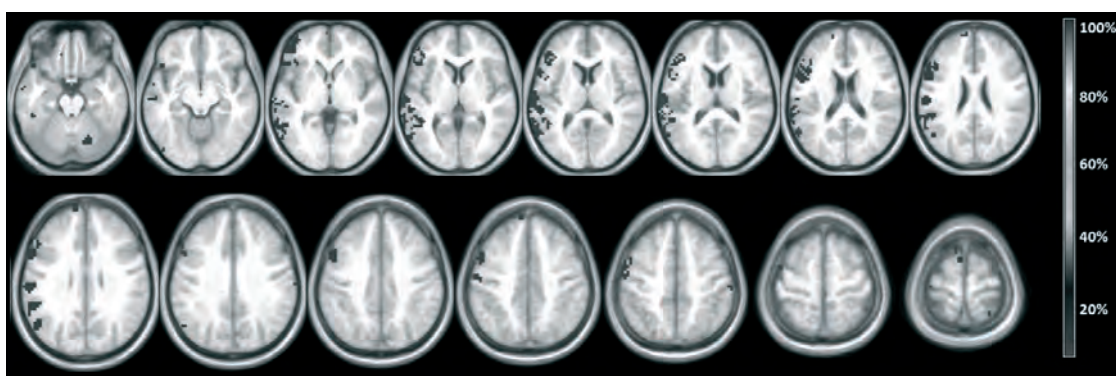


Рис. 3. Вероятностная карта активации в группе здоровых испытуемых

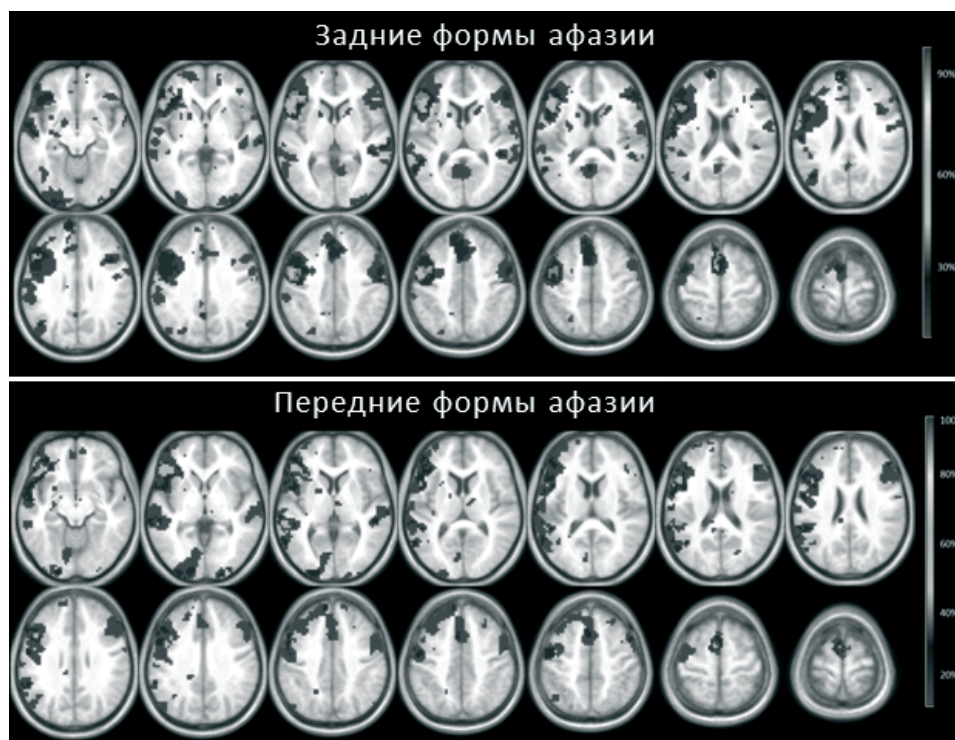


Рис. 4. Вероятностная карта активации в группе пациентов с задними формами афазии (N = 9) и передними формами афазии (N = 9)

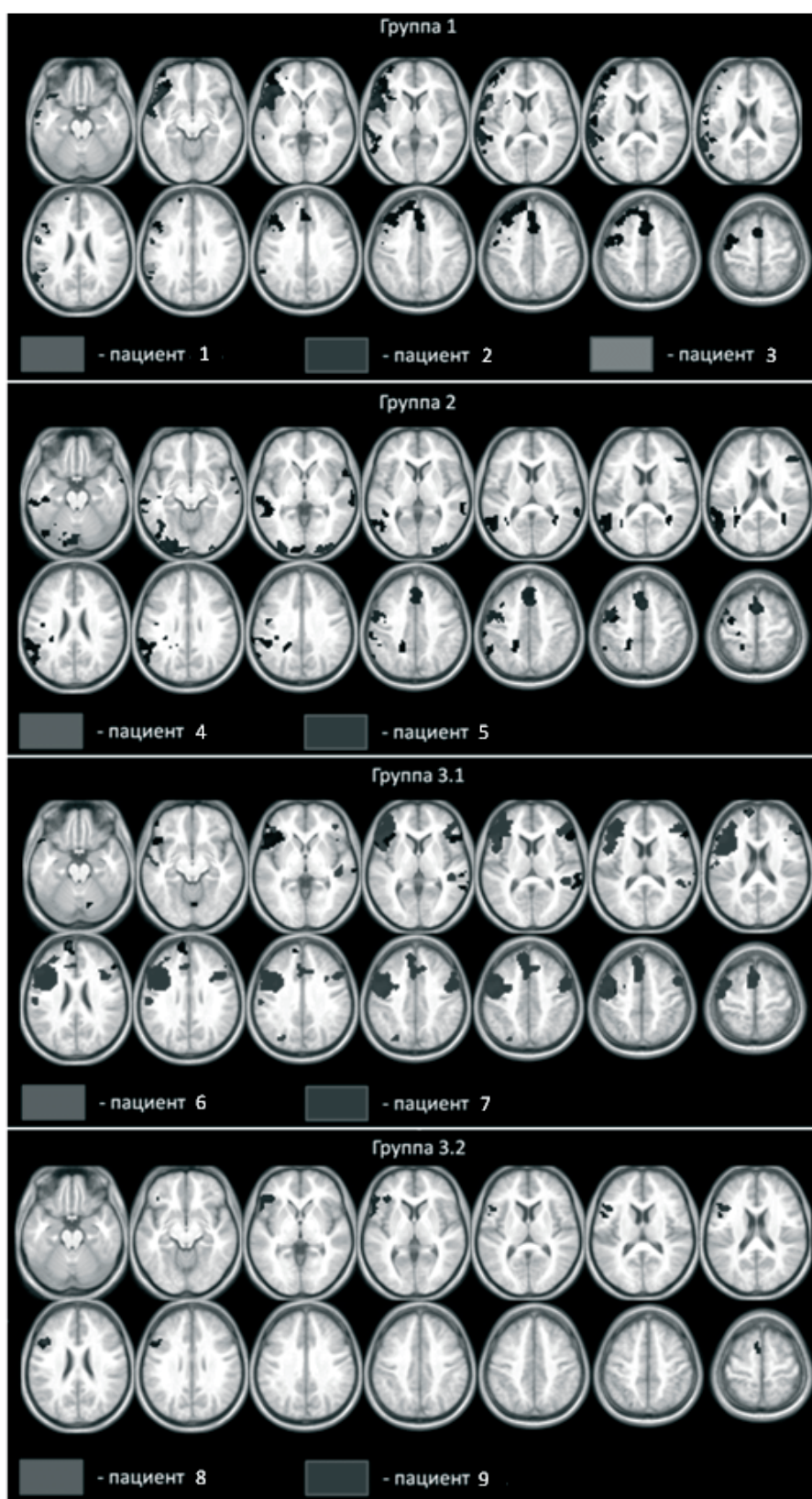


Рис. 5. Паттерны активации пациентов

Поведенческие данные пациентов

Группа	№ пациента	Баллы по методике «Оценки речи при афазии»	Скорость правильных ответов (мс)	Правильность выполнения экспериментальной задачи (%)
1	1	177	3151	70
	2	244,5	3251	66
	3	274,5	2395	74
2	4	209	2709	71
	5	141,5	2370	70
3.1	6	221	2544	78
	7	198	3411	60
3.2	8	239	2387	73
	9	256	3209	62

характерно отсутствие активации в этой области, при этом визуализируется активация в гомологичной области ПП (см. рис. 5). Также в данной группе представлена обширная активация в области дополнительной моторной коры (далее – ДМК) и активация мозжечка в ЛП. В эту группу вошли пациенты с более тяжелым по сравнению с первой группой речевым дефицитом (средне-грубой и средней степени тяжести). Продуктивность и скорость выполнения задачи не отличается значительно от группы № 1 (см. таблицу). Также у одного пациента наблюдалось повреждение в постцентральной извилине, островке и базальных ганглиях, у другого – в надкраевой и угловой извилинах, а также задних отделах височных извилин ЛП.

Третью группу составили пациенты, общим для которых было поражение височно-теменной области ЛП (4 пациента). Данная группа была поделена на две подгруппы по наблюдаемой функциональной активации.

В группе 3.1, также как и в норме, отмечается активация в нижней лобной области ЛП, но при этом отсутствует активация в левой височной области, в которой наблюдается повреждение у данных пациентов (см. рис. 5). Также наблюдаются выраженные кластеры активации в ПП: нижней лобной, верхней и средней височных извилинах (области, гомологичные речевым зонам). Кроме того, в данной подгруппе визуализируется активация в ДМК билатерально и в верхней лобной извилине ЛП. Речевой дефицит в данной группе испытуемых варьирует от среднего до средне-легкого, продуктивность и скорость выполнения задания соответствует тяжести речевого дефицита (см. таблицу).

Группа 3.2 характеризуется сравнительно маленькими кластерами активации, представленными в области нижней лобной извилины ЛП, прецентральной извилине и ДМК (см. рис. 5). При этом, в отличие от предыдущей группы, не наблюдается активации в ПП,

а в отличие от группы нормы, нет активации в левой височной области и отсутствует активация в ПП мозжечка. В данной группе у одного пациента также наблюдалось повреждение в средней лобной извилине. Степень речевого дефицита в данной группе средне-легкая, скорость и продуктивность выполнения не отличается от остальных групп (см. таблицу).

Обсуждение

В группе нормы при выполнении задачи на синтагматический выбор (подбор подходящего существительного к глаголу) относительно контрольного условия активируются классические речевые зоны в левой нижней лобной, верхней и средней височной извилинах, а также в ПП мозжечка. Поскольку задача на синтагматический выбор показала себя в группе нормы как надежное задание для фМРТ-картирования речевых зон, было принято решение использовать его для исследования реорганизации мозгового субстрата языка при афазиях.

Групповые карты активации позволили выявить некоторые общие закономерности мозговой реорганизации речевой деятельности, характерные для разных типов афазий. В групповом анализе пациентов с ЗА был получен значимый компонент активации только в области нижней лобной извилины ЛП, что указывает на то, что эти пациенты обрабатывают подобные задачи с использованием тех же префронтальных зон мозга, что и здоровые испытуемые. Значимых кластеров активации в группе с ПА получить не удалось, что, видимо, происходит из-за меньших по объему кластеров и большей их вариативности в этой группе из-за очага повреждения в зоне, критичной для выполнения данного речевого задания.

Анализ индивидуальных карт активации позволил выявить несколько закономерностей реорганизации речевой системы при разной локализации очага поражения. В случае, когда не поражены классические речевые зоны (нижняя лобная и височные извилины ЛП), на картах активации испытуемых представлены

компоненты активации, характерные для группы нормы. Тем не менее это не способствует большей продуктивности и скорости выполнения задачи по сравнению с пациентами с повреждениями в этих областях. Это может быть связано с тем, что наряду с относительной функциональной сохранностью речевых зон, у данных испытуемых может наблюдаться неречевая симптоматика, препятствующая успешной речевой обработке: например, моторные трудности или же нарушение управляющих функций, а также повреждение проводящих путей, связывающих речевые зоны мозга. Тем не менее на данный момент подтвердить эти предположения не представляется возможным из-за отсутствия необходимых поведенческих и нейровизуализационных данных.

Группа пациентов с поражением нижней лобной извилины, классической речевой области, демонстрирует паттерны активации, значительно отличающиеся от тех, что встречаются у нормы: отсутствует активация в области нижней лобной извилины ЛПП, которая четко визуализируется в гомологичной области ППП. Видимо, при повреждении речевой зоны ЛПП компенсаторно подключается гомологичная ей область в ППП. Однако она не может полностью взять на себя функции поврежденной области, и речевой дефицит у пациентов сохраняется. Также в данной группе представлена обширная активация в области ДМК. ДМК, как было показано в предыдущих исследованиях, активируется при выполнении сложных задач и на ранних этапах обучения [8]. Видимо, в группе пациентов эта зона активируется компенсаторно, так как выполнение речевой задачи является для них более трудным, чем для нормы. Активация мозжечка у этой группы представлена не в ППП, как в группе нормы, а в ЛПП. Участие ППП мозжечка в обработке задач на синтагматический выбор в группе нормы можно объяснить его связью с левой нижней лобной извилиной [9]. Вероятнее всего, совместно с левой нижней лобной извилиной ППП мозжечка помогает обеспечивать процесс выбора из имеющихся альтернатив [10]. Возможно, переход активации из левой нижней лобной извилины после ее повреждения в правую нижнюю лобную извилину сопровождается и переходом активации из ППП мозжечка в ЛПП, что может быть связано с функциональными и анатомическими связями между нижними лобными извилинами и контралатеральными им полушариями мозжечка [9], а также может свидетельствовать о функциональном значении мозжечка в реализации речевых процессов.

После анализа паттернов активации пациентов с поражением височно-теменной области данная группа четко поделилась на две подгруппы. Для одной

характерны крупные билатерально представленные компоненты активации в лобных долях мозга и латерализованный в ППП височный компонент, а для второй – маленькие, латерализованные в левой лобной доле компоненты активации. Можно предположить, что это связано с разными вариантами компенсации или поражением различных компонентов проводящих путей. При этом две данные группы испытуемых не различаются по эффективности выполнения задания в томографе, но балл в Методике «Оценки речи» выше во второй подгруппе с латерализованными лобными компонентами активации. Эти данные согласуются с гипотезой о более эффективной компенсации речевых нарушений при подключении доминантного по речи полушария [9].

При сопоставлении нейровизуализационных и поведенческих данных в группах испытуемых с различными зонами поражения головного мозга отсутствует четкая закономерность между паттернами активации, успешностью и скоростью выполнения речевой задачи во время сканирования. Это может означать, что среди наблюдаемых паттернов активации нет однозначного варианта, который бы соответствовал более успешной обработке глаголов при подборе к ним существительного.

Полученные данные показывают, что реорганизация речевой деятельности в результате поражений головного мозга может происходить по-разному: как с опорой на классические речевые зоны, так и при подключении дополнительных зон ЛПП и гомологичных речевым зонам ППП.

Текущие результаты во многом совпадают с данными множества других нейровизуализационных исследований при афазии, которые указывают на значительную вариативность паттернов мозговой активации при восстановлении речи [11].

В результате проведенного исследования, во-первых, были получены групповые карты активации, характерные для обработки задач на синтагматический выбор у пациентов с различными формами афазий; во-вторых, индивидуальные карты активации каждого пациента были сопоставлены со всеми вариантами активации, встречавшейся в группе здоровых испытуемых. Результаты исследования продемонстрировали индивидуальную вариативность паттернов мозговой реорганизации речевой функции у больных после локальных повреждений мозга и показали значимый вклад в этот процесс классических речевых зон, а также подключение гомологичных поражению зон ППП. Также созданная речевая методика хорошо показала себя как надежное задание для выявления мозговой реорганизации речевой функции у больных с разными формами афазии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лурия А. Р. Высшие корковые функции человека и их нарушения при локальных поражениях мозга / А. Р. Лурия. – 3-е изд. – М. : Академический проект, 2000. – 512 с.
 2. Хомская Е. Д. Нейропсихология : учебник для вузов / Е. Д. Хомская. – 3-е изд. – СПб. : Питер, 2003. – 496 с.
 3. Heiss W. D., Kessler J., Thiel A., Ghaemi M., Karbe H. Differential capacity of left and right hemispheric areas for compensation of poststroke aphasia. *Annals of neurology*, 1999, 45 (4), 430–438.
 4. Crosson B., McGregor K., Gopinath K., Conway T. W., Benjamin M., Chang Y. L., Bacon Moore A., Raymer A., Briggs R. W., Sherod M., Wierenga C. E., Keith D. Functional MRI of language in aphasia: a review of the literature and the methodological challenges. *Neuropsychology review*, 2007, 17 (2), 157–177.
 5. Price C. J., Crinion J. The latest on functional imaging studies of aphasic stroke. *Current opinion in neurology*, 2005, 18 (4), 429–434.
 6. Цветкова Л. С. Методика оценки речи при афазии / Л. С. Цветкова, Т. В. Ахутина, Н. М. Пылаева. – М. : Изд-во МГУ, 1981. – 67 с.
 7. Fedorenko E., Hsieh P., Nieto-Castañón A., Whitfield-Gabrieli S., Kanwisher N. New method for fMRI investigations of language: defining ROIs functionally in individual subjects. *Journal of Neurophysiology*, 2010, 104 (2), 1177–1194.
 8. Tregellas J. R., Davalos D. B., Rojas D. C. Effect of task difficulty on the functional anatomy of temporal processing. *NeuroImage*, 2006, 32, 307–315.
 9. Budisavljevic S., Ramnani N. Cognitive deficits from a cerebellar tumour : A historical case report from Luria's laboratory. *Cortex*, 2012, 48 (1), 26–35.
 10. Price C. J., Devlin J. T., Moore C. J., Morton C., Laird A. R. Meta-analyses of object naming : Effect of baseline. *Human brain mapping*, 2005, 25 (1), 70–82.
 11. Turkeltaub P. E., Messing S., Norise C., Hamilton R. H. Are networks for residual language function and recovery consistent across aphasic patients? *Neurology*, 2011, 76(20), 1726–1734.
- Центр патологии речи и нейрореабилитации (г. Москва)*
Купцова С. В., нейропсихолог, сотрудник научно-учебной лаборатории нейролингвистики
E-mail: svoky@rambler.ru
Петрушевский А. Г., врач-рентгенолог
E-mail: shevsky@mail.ru
Федина О. Н., врач-рентгенолог
E-mail: oksanafedina79@mail.ru
- Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»*
Власова Р. М., научный сотрудник научно-учебной лаборатории нейролингвистики
E-mail: rvlasova@hse.ru
Драгой О. В., заведующая научно-учебной лабораторией нейролингвистики
E-mail: odragoy@hse.ru
Иванова М. В., старший научный сотрудник научно-учебной лаборатории нейролингвистики
E-mail: mivanova@hse.ru
- Университет Южной Каролины*
Малютина С. А., аспирант отделения коммуникативных расстройств
E-mail: s.malyutina@gmail.com
- Университет Людвиг Максимилиана (г. Мюнхен, Германия)*
Гутырчик Е. Ф., научный сотрудник института медицинской психологии
E-mail: evgeny.gutyrychik@med.uni-muenchen.de
- Center of Speech Disorders and Neurorehabilitation (Moscow)*
Kuptsova S. V., Neuropsychologist, Researcher of the Neurolinguistic Research Laboratory
E-mail: svoky@rambler.ru
Petrushevsky A. G., Radiologist
E-mail: shevsky@mail.ru
Fedina O. N., Radiologist
E-mail: oksanafedina79@mail.ru
- National Research University «Higher School of Economics»*
Vlasova R. M., Research Assistant of the Neurolinguistic Research Laboratory
E-mail: rvlasova@hse.ru
Dragoy O. V., Head of the Neurolinguistic Research Laboratory
E-mail: odragoy@hse.ru
Ivanova M. V., Senior Research Assistant of the Neurolinguistic Research Laboratory
E-mail: mivanova@hse.ru
- South Carolina University*
Malyutina S. A., Post-graduate Student of the Communication Sciences and Disorders Department
E-mail: s.malyutina@gmail.com
- University of Ludwig Maximilian (Munich, Germany)*
Gutyrychik E. F., Research Assistant of the Institute of Medical Psychology
E-mail: evgeny.gutyrychik@med.uni-muenchen.de