



РОССИЙСКИЙ
ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ISSN 1605-8070
eISSN 2410-4639

ВЕСТНИК

РФФИ

№3 (91) июль–сентябрь 2016 г.

**ТЕМАТИЧЕСКИЙ БЛОК:
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЕ
И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ГУМАНИТАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**стр.
22**

Парадигма для определения латерализации языка в мозге: естественнонаучный метод на службе лингвистики *

Т.А. Больгина, С.А. Малютина, В.В. Завьялова, Г.А. Игнатъев, В.Л. Ушаков, Ю.С. Акинина, М.В. Иванова, О.В. Драгой

Целью работы было создание речевого локалайзера, позволяющего надежно определять области мозга, связанные с пониманием и порождением речи. Во время функциональной магнитно-резонансной томографии испытуемые читали вслух специальным образом составленные предложения на русском языке и завершали их подходящим по смыслу словом. В результате апробации парадигмы у всех (15) испытуемых была выявлена активация в релевантных для языка областях мозга (нижнелобная и средневисочная извилины). Более того, локалайзер позволил наблюдать индивидуальную вариативность латерализации языка. Таким образом, разработанная парадигма может претендовать на роль универсального задания для определения латерализации языка в мозге – для дальнейших фундаментальных и клинических исследований.

Ключевые слова: речевой локалайзер, латерализация языка, ведущая рука.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-06-08516).

Введение

Владение языком – способность порождать и понимать языковые выражения – это одна из важнейших и отличительных способностей человека. Как высшая психическая функция, реализуемая на биологическом субстрате – мозге, язык изучается в рамках нейролингвистики, центральной задачей которой является поиск, выявление и уточнение его нейрональных основ. Один из давних, но до сих пор не решенных вопросов нейролингвистики – вопрос о латерализации языка, то есть особенности распределения языковых функций между двумя полушариями головного мозга.

Известно, что мозговая латерализация языка не универсальна. Так, например, есть предположение, что индикатором локализации языка в мозге может служить ведущая (доминантная) рука. Со времен Поля Брока (XIX в.) распространена гипотеза о том, что у правшей речевая функция локализована в левом полушарии, в то время как у левшей – в правом. Долгое время эта гипотеза была известна как «правило Брока», несмотря на то, что сам ученый не говорил о подобной зависимости ведущей руки и латерализации речи. Отечественный нейропсихолог А.Р. Лурия [1] был одним из первых, кто на примере левшей с афазией, возникшей после повреждения



БОЛЬГИНА
Татьяна
Александровна
НИУ «Высшая школа
экономики»



МАЛЮТИНА
Светлана
Александровна
НИУ «Высшая школа
экономики»



ЗАВЬЯЛОВА
Виктория Валерьевна
НИЦ «Курчатовский институт»,
НИУ «Высшая школа
экономики»



ИГНАТЬЕВ
Григорий Александрович
НИУ «Высшая школа
экономики»



УШАКОВ
Вадим Леонидович
НИЦ «Курчатовский институт»,
НИЯУ МИФИ



АКИНИНА
Юлия Сергеевна
НИУ «Высшая школа
экономики»



ИВАНОВА
Мария Васильевна
НИУ «Высшая школа
экономики»



ДРАГОЙ
Ольга Викторовна
НИУ «Высшая школа
экономики»

левого полушария, опровергнул эту гипотезу – то есть показал, что у левшей речевая функция может быть латерализована в левом полушарии, так же как и у правшей. Аналогичные результаты были получены за рубежом: у одних пациентов-левшей и амбидекстров после инсульта в правом полушарии возникали речевые нарушения [2, 3]; однако у других – не возникали [4]. Таким образом, поражение правого полушария мозга у людей с ведущей левой рукой далеко не всегда приводит к речевым нарушениям, что указывает на доминантность у них по речи левого полушария, как и в данных А.Р. Лурии. Современные исследования мозговой организации языка в популяции здоровых людей с помощью методов нейровизуализации [5–7] также показали, что у многих правшей наблюдается левополушарная латерализация речевой функции, однако у левшей локализация речевых зон может варьировать – языковые зоны могут быть локализованы в правом полушарии, в левом полушарии или билатерально (в обоих полушариях головного мозга).

Результаты перечисленных работ демонстрируют, что ведущая рука является неидеальным предиктором латерализации языка в мозге. Недавно была предложена идея, что не ведущая рука как таковая, а генетическая предрасположенность к левшеству в гораздо большей степени объясняет распределение нейронального субстрата различных языковых процессов между полушариями [8]. В нашей продолжающейся работе, поддержанной Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 15-06-08516), эта гипотеза проверяется экспериментально. Для этого мы собираем информацию о ведущей руке родственников каждого из 50 здоровых русскоязычных испытуемых до третьего колена, вычисляем индекс его генетической предрасположенности к левшеству и используем этот индекс, наряду с индексом личного (фенотипического) левшества, как предиктор распределения речевых зон по полушариям мозга. Критичным этапом проекта стала разработка метода определения латерализации языка на индивидуальном уровне.

Ранее для определения доминантного по речи полушария мозга использовали латерализующий интракаротидный амобарбитальный тест Вада (англ. – WADA Test; [9]), который считался «золотым стандартом». Однако эта процедура имела ряд методологических и технических ограничений, таких как инвазивность, плохое пространственное разрешение, невозможность многократного воспроизведения теста и др. [5]. На смену тесту Вада пришли методы нейровизуализации: позитронно-эмиссионная, а затем и функциональная магнитно-

резонансная томография (фМРТ). На текущий момент фМРТ наиболее широко применяется в исследованиях, направленных на изучение латерализации речевой функции. Метод заключается в измерении локальных изменений уровня насыщенности кислородом мозгового кровотока, связанных с выполнением активной речевой задачи – по сравнению с неким контрольным условием. При этом, во-первых, очень важно наполнение такой речевой задачи, поскольку полученный результат будет свидетельствовать о латерализации именно того речевого процесса, который был задействован в ней. А во-вторых, критичен выбор контрольного условия, поскольку в фМРТ-анализе обычно используется логика вычитания: из активации, связанной с экспериментальным условием, вычитается активация, связанная с контрольным условием. В идеальном случае это должно результировать в активации, характерной именно для исследуемой экспериментальной задачи.

В предыдущих нейровизуализационных работах использовали целый ряд вариантов речевого и контрольного условий для определения латерализации областей, вовлеченных в речевую функцию (а также для локализации конкретных областей внутри каждого полушария). Например, в работе [5], в которой изучали латерализацию языка у здоровых левшей и правшей, использовали задание на классификацию слов – семантическую и грамматическую. В задании на семантическую классификацию требовалось классифицировать предъявляемые глаголы и существительные на группы «абстрактное»/«конкретное», а в качестве контрольного условия – распознать, написаны ли два слова через один пробел или через два. В задании на грамматическую классификацию требовалось классифицировать слова на группы «глагол»/«существительное», а в

качестве контрольного условия – распознать, написаны ли слова заглавными или строчными буквами. Таким образом, авторы настоящей работы рассчитывали вычлесть из активации, полученной в экспериментальном задании, компонент зрительного и орфографического восприятия и получить активацию, связанную с решением собственно лингвистической задачи. Из двух экспериментальных заданий лучшим оказалось задание на семантическую классификацию слов: именно при его выполнении была получена наиболее четкая латерализация участков активации мозга. Однако это задание было направлено на пассивную лексико-семантическую речевую обработку и не задействовало процессы порождения речи.

В исследовании [6] изучали латерализацию речевой функции в группе левшей и амбидекстров в зависимости от семейного левшества. В экспериментальном задании испытуемые прослушивали названия животных и нажатием кнопки выбирали тех, которые соответствовали определенным семантическим критериям (например «животное используется людьми»). В контрольном задании предъявлялись последовательности от трех до семи тонов, синтезируемых компьютером, и испытуемым необходимо было нажать на кнопку, если они слышали два звучащих подряд высоких тона. Так, при анализе данных из активации экспериментального условия вычитался компонент слухового восприятия (декодирование звукового сигнала), и в результате получалась активация, связанная с лексико-семантическим анализом стимулов. В другом релевантном исследовании [7] в качестве стимульного материала использовали 30-секундные записи рассказа на родном для испытуемых языке – французском (экспериментальное условие), чередующиеся с такими же по длине записями речи на незнакомом для испытуемых язы-

ке – тамильском (контрольное условие). Перед испытуемыми стояла задача внимательно прослушать рассказы и ответить на вопросы по их содержанию сразу же по окончании фМРТ-сканирования. Следовательно, после вычитания активации в контрольном условии из активации в экспериментальном условии была получена активация, связанная с широким спектром процессов семантической, грамматической и лексической обработки прослушанного текста на родном языке. Итак, в вышеописанных исследованиях применяли задания на восприятие и понимание речи, но не исследовали порождение.

Речепорождение изучено в фМРТ-исследовании [10], которое фокусировалось на латерализации речевой функции в коре головного мозга и в мозжечке. Здоровые испытуемые и пациенты с опухолью головного мозга выполняли задание на порождение глаголов, семантически связанных с предъявляемыми им на слух существительными. В контрольном условии испытуемым проигрывали высокочастотные и низкочастотные тоны. Таким образом, это задание уже задействовало и речепонимание (понимание смысла существительного), и речепорождение (подбор подходящего глагола), однако эти процессы были задействованы на уровне слова и фразы, а не коммуникативной единицы – предложения.

Таким образом, на сегодняшний день остается актуальной задача разработки оптимальных фМРТ-парадигм, позволяющих надежно локализовать речевую функцию (в том числе определять ее латерализацию), учитывая и понимание, и порождение речи. Только при наличии такого инструмента оказывается возможным изучение мозговой латерализации языка в зависимости от лингвистических и нелингвистических факторов (например доминантности руки и генетической предрасположенности к левшеству, как в текущем исследовании). В предыдущих работах в качестве речевого локализера использовали различные задания, каждое из которых имело свои ограничения: они затрагивали только один уровень языковой обработки [5, 6] или, наоборот, были очень общими и могли обладать недостаточной специфичностью [7]. Целью одного из этапов настоящего исследования являлось создание такой русскоязычной фМРТ-парадигмы, которая позволила бы максимально надежно определять латерализацию речи в каждом индивидуальном случае. Ранее нами были предприняты попытки решения этой методологической задачи. Так, в качестве экспериментального условия было использовано задание на чтение русских предложений, а в качестве контрольных условий предлагали три вида заданий – чтение псевдослов, упрощенных псевдослов

и списков слогов. Однако все апробированные парадигмы не выявляли надежную активацию областей мозга, вовлеченных в речевую функцию: прежде всего нижнелобных и средневисочных отделов мозга [11]. В настоящей работе представлен речевой локалайзер, преодолевающий недостатки более ранних парадигм.

Экспериментальная часть

Участники. В апробации речевого локалайзера приняли участие 15 неврологически здоровых носителей русского языка (средний возраст 26 лет, SD = 5.76; 10 женщин, 5 мужчин). Участие в исследовании было добровольным, и от всех испытуемых было получено письменное информированное согласие. Также испытуемые заполняли опросный лист для исключения противопоказаний к фМРТ-исследованию, анкету-опросник на определение ведущей руки (русскоязычную версию Эдинбургского опросника; [12]) и опросник на семейное левшество, характеризующий родственников испытуемого до третьего колена с точки зрения их доминантной руки [13].

Материалы. В ходе эксперимента испытуемые лежали в МРТ-томографе и выполняли два вида заданий. В экспериментальном условии они читали вслух предложения русского языка, предъявленные на экране, и завершали их подходящим по смыслу словом. По структуре предложения состояли из наречия времени, подлежащего (одушевленное существительное), сказуемого (переходный глагол) и заканчивались многоточием, на место которого нужно было подобрать подходящее по смыслу прямое дополнение в правильной грамматической форме и произнести его вслух. Кроме того, в половине стимулов имелось прилагательное при объекте (например «Недавно сосед чинил ветхие...»), а в другой половине – наречие при предикате («Вчера электрик туго смотал...»). В контрольном условии (англ. – baseline) задачей испытуемых было прочитать вслух последовательности из четырех одинаковых слогов и повторить тот же слог в пятый раз, например: «Рооо рооооо рооооооо рооо...». Последовательности слогов были уравнены по длине (в слогах и буквах) со стимулами экспериментального условия (предложениями). Оба условия вовлекали процессы чтения, выбора ответа и его артикуляции, однако контрольное условие (чтение слогов) не требовало лексико-грамматического анализа (как при понимании предложений) и поиска (как при подборе недостающего слова). Следовательно, при анализе фМРТ-данных после вычитания активации мозга в контрольном условии из активации в экс-

периментальном условии получалась активация областей мозга, связанных именно с языковой обработкой, – пониманием смысла предложений и подбором необходимого слова. Эксперимент длился около 30 мин и был разделен на две сессии с небольшим перерывом между ними. Каждая экспериментальная сессия состояла из 120 стимулов (60 экспериментальных предложений, 60 контрольных последовательностей слогов), которые были распределены по чередующимся блокам, по три пробы в каждом. Так, сначала предъявлялись три предложения, затем три последовательности слогов и так далее. В промежутках между стимулами предъявлялся восклицательный знак «!», сигнализирующий о том, что необходимо закончить выполнение задания на предыдущий стимул и приготовиться к следующему. Выполнению задания предшествовало анатомическое сканирование (T1), занимающее 9 мин.

Параметры сканирования. Исследование проводили на томографе Siemens Magnetom Verio 3T. С использованием последовательности 3D MP-RAGE (TR/TE/FA – 1900 мс / 2.2 мс / 9°) было получено 176 анатомических T1-изображений мозга. Функциональные T2*-изображения получены с помощью последовательности EPI: время повторения (TR) 7000 мс, эхо-время (TE) 30 мс, угол наклона вектора (FA) 90°. При сканировании томограф производит громкий шум, поэтому, чтобы во время эксперимента можно было записывать речь испытуемых, был использован метод сканирования с промежутками (англ. – sparse sampling), то есть сканирование каждого функционального объема мозга производилось спустя отведенное для ответа испытуемого время. Для обработки данных была использована программа SPM 8 в среде Matlab R2012b. Для каждого испытуемого проводили предварительную обработку фМРТ-данных с последующим статистическим анализом, в котором применяли парный

критерий Стьюдента для повоксельного сравнения активации в экспериментальном и контрольном условиях ($p < 0.01$, кластерная коррекция множественных сравнений с минимальным размером кластера 200 вокселей). Также для каждого испытуемого был подсчитан индекс латерализации полученной активации с использованием утилиты Lateralization index для SPM. Для подсчета индекса латерализации были использованы маски лобной и височной областей. Индекс латерализации отражает распределение активации между левым и правым полушариями головного мозга; учитывается количество вокселей в маске, значимо активированных в экспериментальном условии по сравнению с контрольным, а также значение статистики Стьюдента в этих вокселях.

Результаты

Согласно анкете-опроснику на определение ведущей руки [12] всех испытуемых можно распределить на три группы: 5 абсолютных правшей (индекс руки от +82 до +100), 7 испытуемых с признаками амбидекстрии (индекс руки от +68 до -64) и 3 абсолютных левши (индекс руки от -91 до -100). В каждой группе прослеживалась характерная латерализация активации, связанной с выполнением речевого задания. В *таблице 1* представлены индексы латерализации активации в лобной и височной долях головного мозга каждого испытуемого.

Так, у большинства абсолютных правшей (испытуемые R1, R4, R5, индекс руки +100, +91, +86 соответственно) наблюдалась активация только в левом полушарии головного мозга (в височной и лобной долях, включая нижнелобную и средневисочную извилины, области которых вовлечены в процессы порождения и понимания речи). Однако у правши R2 (индекс руки +82) помимо обозначенных областей левого полу-

шария были дополнительно активированы небольшие области гомолога зоны Брока в правом полушарии. Кроме того, удалось выявить исключительный случай – у испытуемого R3 (индекс руки +100) наблюдалась билатеральная активация при выполнении речевого задания (помимо сильной активации в левом полушарии были активны области височной и лобной доли правого полушария).

В группе испытуемых с признаками амбидекстрии (испытуемые A1–A7) прослеживалась вариативность активации, но можно выделить общую тенденцию. Как и в группе абсолютных правшей, у испытуемых с признаками амбидекстрии более обширная активация обнаружена в левом полушарии, причем у трех испытуемых (индексы руки +23, -45, -64) были активированы исключительно области левого полушария. Однако у четырех испытуемых с признаками амбидекстрии активация обнаружена и в правом полушарии. Так, в дополнение к левополушарной активации у двух испытуемых (индексы руки +68 и +59) наблюдалась активация в лобной и височной долях правого полушария, у одного испытуемого (индекс руки -59) – только в лобной доле правого полушария, а у одного испытуемого (индекс руки -5) – только в височной доле правого полушария.

У двух из трех абсолютных левшей (индекс руки -91 и -100 – испытуемые L1 и L2 соответственно) была выявлена активация релевантных для речи отделов мозга только в правом полушарии. При этом у абсолютного левши L3 (индекс руки -100) наблюдалась активация областей, ответственных за речевую обработку, только в левом полушарии.

Таким образом, у большинства испытуемых была обнаружена латерализация активации, ожидаемая на основании данных литературы о роли ведущей руки в латерализации речевой функции. *Рисунок 1* иллюстрирует статистические карты активации для контраста экспериментального и контрольного условий на примере трех показательных испытуемых – представителей каждой группы: правши R1 (индекс руки +100), испытуемого с признаками амбидекстрии A2 (индекс руки +59) и левши L1 (индекс руки -91). Однако удалось обнаружить и исключительные случаи, о которых упоминалось выше в описании результатов каждой группы испытуемых. Так, у испытуемых с признаками амбидекстрии A5 (индекс руки -45), A7 (индекс руки -64) и абсолютного левши L3 (индекс руки -100) при выполнении речевого задания было активно только левое полушарие головного мозга, что обычно характерно для правшей. У правши R3 (индекс руки +100), напротив, наблюдалась билатеральная активация.

Таблица 1. Индексы латерализации речевой активации каждого испытуемого на шкале от -1 (только в левом полушарии) до +1 (только в правом полушарии)

| Испытуемые | Номер испытуемого | Индекс рукости | Лобная доля | Височная доля |
|---------------------------|-------------------|----------------|-------------|---------------|
| Правши | R1 | 100 | 0.6 | 0.94 |
| | R2 | 82 | 0.7 | 0.84 |
| | R3 | 100 | 0.5 | 0.4 |
| | R4 | 91 | 0.8 | 0.68 |
| | R5 | 86 | 0.6 | 0.73 |
| С признаками амбидекстрии | A1 | 68 | 0.5 | 0.58 |
| | A2 | 59 | 0.5 | 0.35 |
| | A3 | -59 | 0.3 | 0.4 |
| | A4 | 23 | 0.6 | 0.3 |
| | A5 | -5 | 0.9 | 0.7 |
| | A6 | -100 | 0.9 | 0.76 |
| | A7 | -64 | 0.6 | 0.42 |
| Левши | L1 | -91 | -0.6 | -0.2 |
| | L2 | -100 | 0 | -0.2 |
| | L3 | -45 | 0.8 | 0.85 |

Обсуждение результатов

В предыдущих исследованиях применяли разнообразные методы и ставили различные задачи для определения латерализации речевой функции в мозге, но современный «золотой стандарт», который в каждом индивидуальном случае надежно определял бы локализацию речевых зон, связанных с речепорождением и речепониманием, так и не был определен. Целью настоящего исследования являлась разработка такой новой фМРТ-парадигмы на русском языке. Адекватность созданного речевого локалайзера подтверждается тем, что результаты соответствуют общепризнанному представлению о латерализации речевой функции в зависимости от ведущей руки [14]. Действительно, у большинства правшей активация была латерализована в левом полушарии головного мозга, у большинства левшей – в правом полушарии, в то время как у большинства амбидекстров – в обоих полушариях.

Обнаруживаемая активация была статистически значима на индивидуальном уровне, что делает разработанный метод особенно ценным для изучения такой нестрого латерализованной функции, как речь. Благодаря новой фМРТ-парадигме удалось выявить активацию обеих основных областей мозга, ответственных за языковую обработку: как нижнелобной, так и средневисоч-

ной области. Предыдущие версии фМРТ-локалайзеров были несовершенны, поскольку и в экспериментальном, и в контрольном условиях испытуемые выполняли задание на чтение предложений, списков псевдослов, последовательностей из слогов, что не давало четкой и хорошо воспроизводимой активации в нижней лобной извилине [11]. В текущей версии речевого локалайзера задание, направленное на чтение вслух и завершение предложений, активно вовлекает зону Брока, ответственную за порождение речи. То есть новый речевой локалайзер выявляет активацию обоих наиболее релевантных для речи отделов мозга – и лобной, и височной долей.

Другим не менее важным показателем успешности речевого локалайзера можно считать то, что он позволил обнаружить исключительные случаи латерализации речевой функции, такие как активация только левого полушария у левшей и билатеральное вовлечение упомянутых выше зон мозга у правшей. Следовательно, для определения латерализации речевой функции недостаточно информации о ведущей руке испытуемого. Как показали наши результаты, среди испытуемых с одинаковой ведущей рукой может наблюдаться вариативность по латерализации языка в мозге. Поэтому чтобы охарактеризовать латерализацию речевой функции в каком-либо индивидуальном случае, абсолютно необходимо использование фМРТ-локалайзера.

Таким образом, описанный речевой локалайзер может претендовать на роль универсального задания для определения латерализации речевой функции, так как разработанное задание успешно активировало связанные с речью зоны на высоком уровне статистической значимости, позволяющем анализировать индивидуальные случаи. Данная диагностическая процедура может быть рекомендована как для клинического

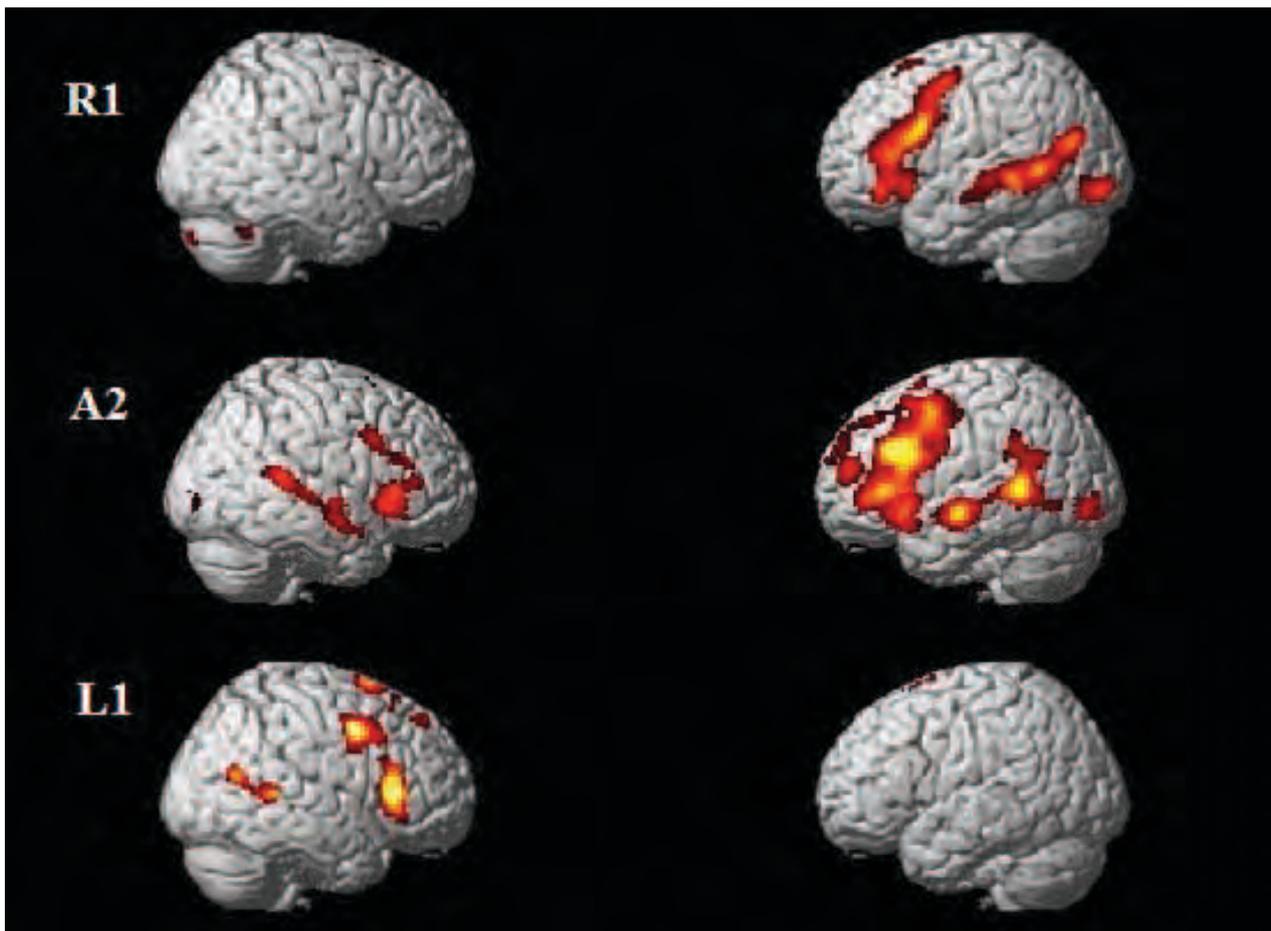


Рис. 1. Пример типичной языковой активации у испытуемых из каждой группы: правши R1, испытуемого с признаками амбидекстрии A2, левши L1 (размер кластера > 200 вокселей, статистический порог $p < 0.01$).

использования (для предоперационного картирования речи у пациентов с опухолью мозга и фармакорезистентной эпилепсией, для отслеживания реорганизации нейрофизиологических основ речевой функции после инсульта и т.п.), так и для фундаментальных нейронаучных исследований языка, где необходима оценка мозговой латерализации языка. В частности, разработанная методология будет далее использована в текущем проекте Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-06-08516). Пред-

варительные результаты, полученные в ходе апробации локалайзера, подтверждают, что латерализация языка у конкретного человека не может быть однозначно предсказана на основании его ведущей руки, поэтому мы планируем исследование дополнительного вклада семейного левшества в латерализацию речевой функции. Кроме того, разработанный речевой локалайзер может быть использован и в исследованиях, где латерализация как таковая не является объектом исследования, а, наоборот, используется в качестве независимой переменной: например в исследованиях индивидуальных различий в языковой обработке, возрастных изменений или речевого исхода поражений мозга в зависимости от латерализации речевой функции.

Литература

1. **A.P. Лурия**
Основные проблемы нейролингвистики, Сер.: Из наследия мировой психологии, Москва, Изд. МГУ, 1975, 256 с.
2. **K. Gloning**
Neuropsych., 1977, 15(2), 355.
3. **A. Basso, M. Farabola, M.P. Grassi, M. Laiacona, M.E. Zanobio**
Brain and Language, 1990, 38(2), 233.
DOI: 10.1016/0093-934X(90)90113-U.
4. **D. Kimura**
Hum. Neurobiol., 1983, 2(3), 147.
5. **M. Hund-Georgiadis, U. Lex, A.D. Friederici, D.Y. von Cramon**
Exp. Brain Res., 2002, 145(2), 166. DOI: 10.1007/s00221-002-1090-0.
6. **J.P. Szaflarski, J.R. Binder, E.T. Possing, K.A. McKiernan, B.D. Ward, T.A. Hammeke**
Neurology, 2002, 59(2), 238. DOI: 10.1212/WNL.59.2.238.
7. **N. Tzourio-Mazoyer, L. Petit, A. Razafimandimby, F. Crivello, L. Zago, G. Jobard, M. Joliot, E. Mellet, B. Mazoyer**
J. Neurosci., 2010, 30(40), 13314.
DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2593-10.2010.
8. **R. Hancock, T.G. Bever**
Biolinguistics, 2013, 7, 75.
9. **J. Wada, T. Rasmussen**
J. Neurosurg., 1960, 17(2), 266.
10. **C. Mendez Orellana, E. Visch-Brink, M. Vernooij, S. Kalloe, D. Satoer, A. Vincent, A. van der Lugt, M. Smits**
AJNR: Am. J. Neuroradiol., 2015, 36(3), 518. DOI: 10.3174/ajnr.A4147.
11. **Г.А. Игнатъев, Р.М. Власова, Ю.С. Акинина, В.В. Завьялова, В.Л. Ушаков, М.В. Иванова, О.В. Драгой**
В Сб. трудов 3-й Постерн. конференции «Когнитивная наука в Москве: новые исследования», (Москва, 16 июня, 2015), под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман, Москва, БукиВеди, 2015, с. 158-164.
12. **R.C. Oldfield**
Neuropsychologia, 1971, 9(1), 97. DOI: 10.1016/0028-3932(71)90067-4.
13. **D.J. Townsend, C. Carrithers, T.G. Bever**
Brain and Language, 2001, 78(3), 308. DOI: 10.1006/brln.2001.2469.
14. **S. Knecht, B. Dräger, M. Deppe, L. Bobe, H. Lohmann, A. Flöel, E.-B. Ringelstein, H. Henningsen**
Brain: J. Neur., 2000, 123(12), 2512. DOI: 10.1093/brain/123.12.2512.

English

The Paradigm of Language Lateralization in the Brain: Natural Sciences Method for Linguistics *

Tatyana A. Bolgina –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
e-mail: tatyana.bolgina@mail.ru

Svetlana A. Malyutina –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
e-mail: s.malyutina@gmail.com

Victoria V. Zavyalova –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
National Research Centre “Kurchatov Institute”
1, Acad. Kurchatov Sqr.,
Moscow, 123182, Russia,
e-mail: z1315@mail.ru

Grigoriy A. Ignatev –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
e-mail: ignatyeff.g@yandex.ru

Vadim L. Ushakov –
National Research Centre
“Kurchatov Institute”,
1, Acad. Kurchatov Sqr.,
Moscow, 123182, Russia,
National Research Nuclear University
MEPhI, 31, Kashirskoe Highway,
Moscow, 115409, Russia
e-mail: tiuq@yandex.ru

Yulia S. Akinina –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
e-mail: jakinina@hse.ru

Mariya V. Ivanova –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
e-mail: mkolman@yandex.ru

Olga V. Dragoy –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
e-mail: odragoy@hse.ru

*

The work was financially supported by RFBR (project 15-06-08516).

Abstract

The goal of the study was to design a speech localizer, which can reliably identify brain areas associated with speech comprehension and production. While functional magnetic resonance imaging experiments, the testees were reading aloud specially structured sentences (in Russian), completing them with suitable words. According to the result of the paradigm test, all subjects (15 persons) have shown activation in the brain areas relevant to the language processing (inferior frontal and middle temporal gyri). Moreover, the localizer allowed to observe the individual variability of language lateralization. Thus, the developed paradigm can serve as an universal tool for the determination of language lateralization in the brain and can be used in further fundamental and clinical research.

Keywords: speech localizer, lateralization of language, handedness.

References

1. **A.R. Luria**
Basic problems of neurolinguistics, Ser. Janua Linguarum, Ser. Maior, 73, Transl. B. Haigh, De Gruyter Mouton, 1976, 398 pp.
DOI: 10.1515/9783110800159.
2. **K. Gloning**
Neuropsych., 1977, 15(2), 355.
3. **A. Basso, M. Farabola, M.P. Grassi, M. Laiacona, M.E. Zanobio**
Brain and Language, 1990, 38(2), 233.
DOI: 10.1016/0093-934X(90)90113-U.
4. **D. Kimura**
Hum. Neurobiol., 1983, 2(3), 147.
5. **M. Hund-Georgiadis, U. Lex, A.D. Friederici, D.Y. von Cramon**
Exp. Brain Res., 2002, 145(2), 166. DOI: 10.1007/s00221-002-1090-0.
6. **J.P. Szaflarski, J.R. Binder, E.T. Possing, K.A. McKiernan, B.D. Ward, T.A. Hammeke**
Neurology, 2002, 59(2), 238. DOI: 10.1212/WNL.59.2.238.
7. **N. Tzourio-Mazoyer, L. Petit, A. Razafimandimby, F. Crivello, L. Zago, G. Jobard, M. Joliot, E. Mellet, B. Mazoyer**
J. Neurosci., 2010, 30(40), 13314.
DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2593-10.2010.
8. **R. Hancock, T.G. Bever**
Biolinguistics, 2013, 7, 75.
9. **J. Wada, T. Rasmussen**
J. Neurosurg., 1960, 17(2), 266.
10. **C. Mendez Orellana, E. Visch-Brink, M. Vernooij, S. Kallou, D. Satoer, A. Vincent, A. van der Lugt, M. Smits**
AJNR: Am. J. Neuroradiol., 2015, 36(3), 518. DOI: 10.3174/ajnr.A4147.
11. **G.A. Ignatev, R.M. Vlasova, Yu.S. Akinina, V.V. Zavyalova, V.L. Ushakov, M.V. Ivanova, O.V. Dragoy**
In *Proc. 3rd Poster Conference "Cognitive science in Moscow: new research" ["Kognitivnaya nauka v Moskve: novye issledovaniya"]*, (Moscow, 16 June, 2015), Eds E.V. Pechenkova, M.V. Falikman, Moscow, BukiVedi Publ., 2015, pp. 158–164 (in Russian).
12. **R.C. Oldfield**
Neuropsychologia, 1971, 9(1), 97. DOI: 10.1016/0028-3932(71)90067-4.
13. **D.J. Townsend, C. Carrithers, T.G. Bever**
Brain and Language, 2001, 78(3), 308. DOI: 10.1006/brln.2001.2469.
14. **S. Knecht, B. Dräger, M. Deppe, L. Bobe, H. Lohmann, A. Flöel, E.-B. Ringelstein, H. Henningsen**
Brain: J. Neur., 2000, 123(12), 2512. DOI: 10.1093/brain/123.12.2512.