

фМРТ-ИССЛЕДОВАНИЕ ЧТЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЙ: ЭФФЕКТ КОНТРОЛЬНОГО УСЛОВИЯ¹⁹

Игнатъев Г.А. *, Власова Р.М., Акинина Ю.С., Завьялова В.В.,
Ушаков В.Л., Иванова М.В., Драгой О.В.

gaignatev@edu.hse.ru

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

Аннотация. В настоящем исследовании было проведено сравнение контрольных условий в активирующей задаче для фМРТ — чтение предложений русского языка. Три различных контрольных условия было использовано: псевдослова, псевдослова с упрощенной структурой, слоги. Результаты исследования свидетельствуют о том, что активация в нижней лобной извилине при использовании трех имеющихся контрольных условий не является хорошо воспроизводимой. С другой стороны, контрольное условие со слогами является адекватным для идентификации речевых зон в височной доле, поскольку контраст с этим контрольным условием дает значимую и воспроизводимую активацию в этой области.

Ключевые слова: функциональная МРТ, чтение предложений, контрольное условие

Введение

Одна из задач, которая может стоять перед исследователями речи методом функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), — это локализация функциональных зон мозга, связанных с языком, а также оценка на основе этих зон латерализации речевой функции. При этом в подобных исследованиях используются очень разнообразные контрольные условия (или условия сравнения) — как по модальности, так и по содержанию (Fedorenko et al., 2010). В настоящем исследовании, с целью разработки оптимальной фМРТ-парадигмы для локализации функциональных речевых зон, выполнено сравнение трех различных контрольных условий для задания «чтение предложений русского языка». Подбор такого контрольного условия обеспечил бы оптимальный контраст для экспериментального задания (чтение предложений) и значимую активацию в основных речевых зонах: в нижней лобной и верхней/средней височной областях левого полушария.

Метод

¹⁹ Исследование поддержано грантом РФФИ 15-06-08516 а.

В исследовании приняло участие 14 здоровых носителей русского языка (средний возраст — 22 года, $SD = 6.2$; из них 12 женщин). Все испытуемые — правши, индекс руконости по Эдинбургскому опроснику от +68 до +100 (Oldfield, 1971). Исследование проводилось на томографе SIEMENS Verio 3T. 176 структурных T1-изображений мозга были получены с помощью последовательности MPRAGE (TR/TE/FA — 1900 мс / 2.21 мс / 9°), функциональные T2*-изображений были получены с помощью последовательности EP (TR/TE/FA — 2000 мс / 30 мс / 90°, размер матрицы 64*64, воксел 3x3x3 мм, 30 аксиальных срезов). Полученные данные обрабатывались с помощью SPM12 в среде Matlab R2012b.

Стимульный материал

В качестве экспериментального условия было использовано 120 предложений на русском языке. Все предложения имели следующую структуру: наречие времени + подлежащее, выраженное одушевленным существительным + сказуемое, выраженное переходным глаголом + прямое дополнение. Кроме того, треть предложений была распространена прилагательным при объекте («Недавно сосед чинил ветхие ставни»), треть — предложной именной группой («Сейчас модница шьет корсет в ателье») и треть — наречием при глаголе («Вчера электрик туго сматал кабель»). Частотность лексики (не считая наречий времени) от 0 до 138 вхождений на миллион (по данным словаря Ляшевской и Шарова (2009), частотность, равная 0, говорит об отсутствии слова в частотном словаре; объем выборки словаря — 92 млн словоупотреблений), средняя частотность лексики — 16; $SD = 19.1$. В качестве контрольного условия было составлено три варианта стимулов, с убывающей степенью сложности: списки псевдослов, списки упрощенных псевдослов, списки слогов.

Списки псевдослов были составлены по методу, аналогичному использованному в работе Федоренко и коллег (Fedorenko et al., 2010): за основу взяты предложения экспериментального условия, служебные части речи (предлоги) удалены; знаменательные слова приведены в начальную форму (именительный падеж или инфинитив). У оставшихся слов закреплены в неизменном виде флексии, а основы разбиты по слогам, слоги одинаковой структуры перемешаны между всеми предложениями. Пример: «Ганта вчетельно неровь слочасдип прогошить». Поскольку получившиеся в результате такой процедуры слова оказались сложными для прочтения и восприятия (из-за сочетаний звуков, не характерных для русского языка), для второго контрольного условия (упрощенные псевдослова) был использован другой принцип составления псевдослов: удалены служебные части речи, знаменательные слова приведены в начальную форму, у оставшихся слов закреплены флексии, а в основах

слов гласные закреплены на своих местах, что позволило сохранить количество слогов и фонотактическую структуру слов. Согласные в основах были заменены с учетом характерных для русской фонологии сочетаний согласный + гласный. Пример: «Крам левас алинерка чивить вабик». Наконец, третьим вариантом контрольного условия были списки из слогов. Для их составления из предложений экспериментального условия были выделены все сочетания согласный + гласный, из числа которых были удалены все слоги, совпадающие с существующими словами («да», «щи»). Оставшиеся слоги были наложены на структуру предложений языкового условия, так что в каждом предложении присутствовал один слог, и его длина соответствовала длинам слов (в символах) в данном предложении. Пример: «Рооо рооооо рооооооо рооо роооооо».

Процедура

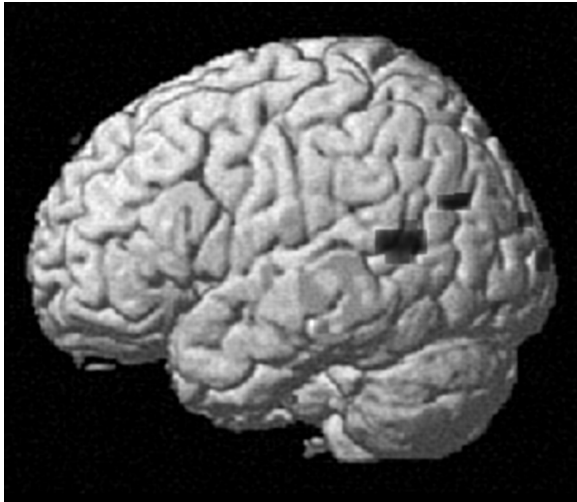
Эксперимент состоял из трех сессий блочного дизайна (по одной для каждого из контрольных условий). В каждой сессии было по 10 блоков экспериментального и контрольного условий и 10 блоков отдыха, во время которых предъявлялась последовательность небуквенных символов «++++ ++++++ +++ +++++». Блоки предъявлялись в псевдослучайном порядке. Каждый блок содержал 4 стимула и имел длительность в 12 ТР. Всего за каждую сессию было получено по 367 измерений, первые три измерения в анализ не включались. Стимулы предъявлялись целиком, в две строки. Длительность одного этапа непрерывного сканирования (одной сессии) составила 12 минут 14 секунд. Задачей испытуемого было прочитывать про себя предъявляемые на экране стимулы.

Результаты

Статистические карты активации для контраста чтения предложений с каждым из трех контрольных условий представлены на рис. 1.

Обсуждение результатов

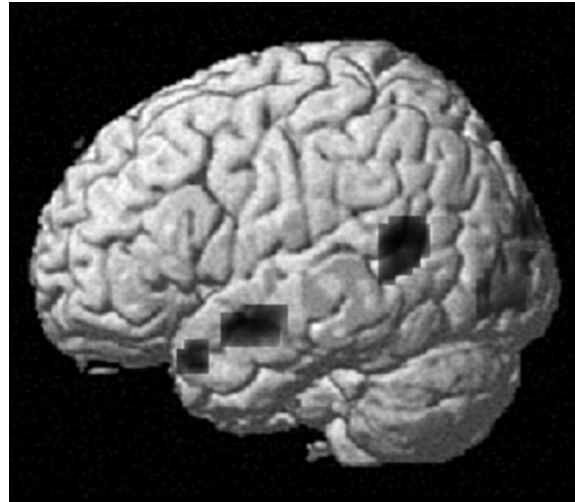
В групповом анализе активацию, значимую с поправкой на множественные сравнения на уровне кластера, удалось получить только на контрасте «чтение предложений vs. чтение слогов» ($FDR_{corr.}, q = .05$) в верхней и средней височной извилинах, и ни один из трех контрастов не дал значимой активации в нижней лобной извилине. Такой результат мог быть получен по нескольким причинам: 1) незначимая активация вследствие недостаточного количества человек для группового анализа; 2) отсутствие различий в активации вокселей этой области во время экспериментального и контрольного заданий; 3) сильная вариативность функциональных речевых зон среди испытуемых. Для ответа на вопрос,



**Чтение предложений vs.
чтение псевдослов**

В левом полушарии:

средняя височная извилина {-60; -52; 14}
 верхняя височная извилина {-51; -58; 17}
 средняя затылочная извилина {-12; -103; 5}
 угловая извилина {-48; -76; 26}
 верхняя затылочная извилина {-15; -97; 20}



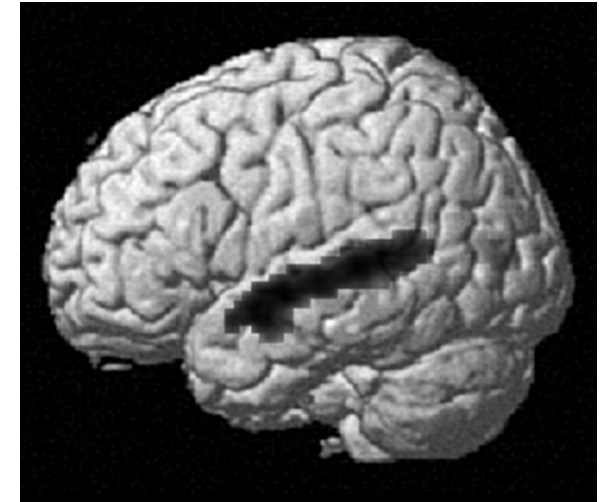
**Чтение предложений vs.
чтение упрощенных псевдослов**

В левом полушарии:

средняя височная извилина {-42; -55; 14}
 средняя и верхняя височная извилины
 {-60; -52; 14}, {-54; -7; 13}
 височный полюс {-45; 17; -28}
 шпорная борозда {-9; -91; -4}
 верхняя затылочная извилина {-18; -97; 23}

В правом полушарии:

верхняя затылочная извилина {15; -91; 8}
 средняя височная извилина {63; -55; 8}



**Чтение предложений vs.
чтение слогов**

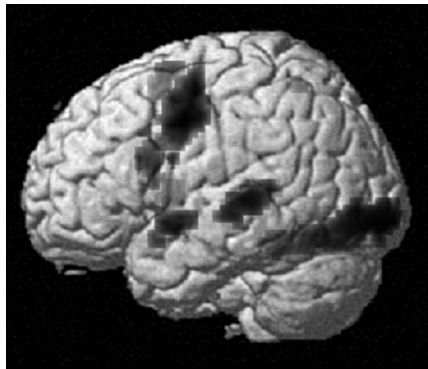
В левом полушарии:

средняя височная извилина {-60; -19; -1}
 верхняя височная извилина {-54; -34; 2}
 верхний височный полюс {-60; -49; 8}
 шпорная борозда {0; -76; 11}

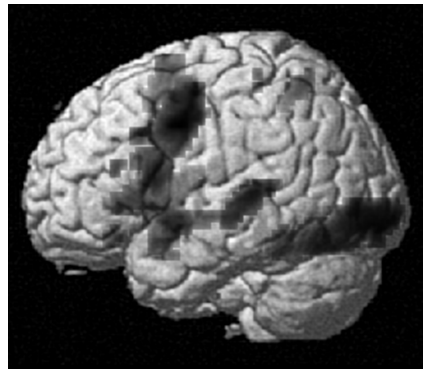
В правом полушарии:

верхняя височная извилина {12; -73; 14}
 шпорная борозда {0; -76; 11}

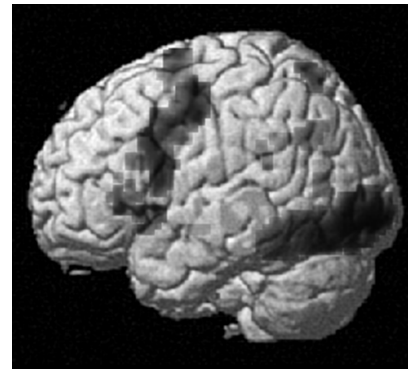
Рисунок 1. Групповые данные, левое полушарие, $n = 14$, $t = 3.11$, $p_{uncorr} < .001$



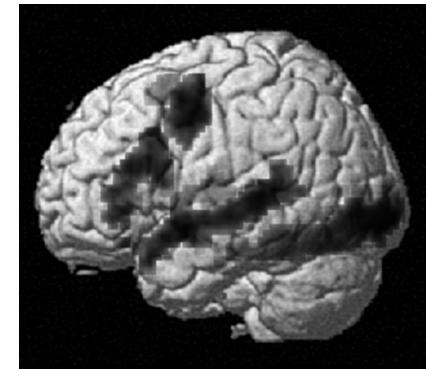
Чтение псевдослов vs.
период отдыха (+ + +)



Чтение упрощенных псевдослов vs.
период отдыха (+ + +)



Чтение слогов vs.
период отдыха (+ + +)



Чтение предложений vs.
период отдыха (+ + +)

Рисунок 2. Групповые данные, $n = 14$, $t = 3.11$, $p_{uncorr} < .001$

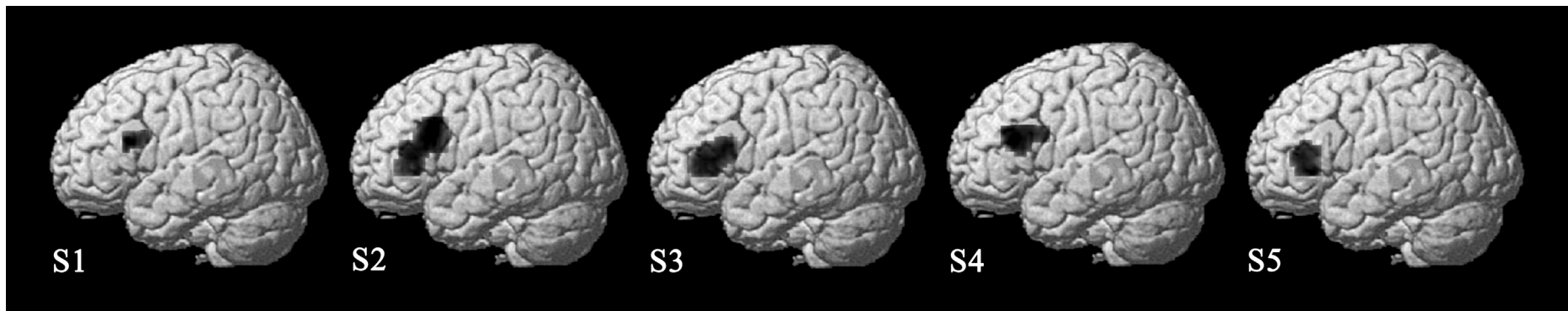


Рисунок 3. Индивидуальные данные активации в нижней лобной извилине для контраста чтение предложений vs. чтение слогов, $t = 3.11$, $p_{uncorr} < .001$

что стало причиной такого результата, были сделаны контрасты контрольного условия и периодов отдыха, а также экспериментального условия и периодов отдыха (рис. 2). Эти контрасты показали, что активация в верхней и средней височных извилинах характерна для чтения набора как псевдослов, так и слов предложений, но не возникает при чтении слогов. Данная область в левой височной доле, по данным литературы, связана с лексико-семантической обработкой (Price, 2012) и не должна активироваться при чтении псевдослов, не имеющих своего значения (Fedorenko et al., 2010). Тем не менее полученные данные указывают на наличие семантической обработки при чтении списка псевдослов. В то же время активация в нижней лобной извилине присутствует и в экспериментальном, и во всех трех контрольных условиях, что препятствует выделению активации в данной области в контрасте чтения предложений и контрольного условия.

С другой стороны, индивидуальные контрасты по каждому из испытуемых также не дали четкой и воспроизводимой от испытуемого к испытуемому активации в нижней лобной извилине: так, из 14 испытуемых только у пяти была получена активация в этой области (с чтением слогов в качестве контрольного условия). Вариативность ее репрезентации показана на рис. 3. Схожие данные о вариативности активации в нижней лобной извилине были получены в работе Федоренко и коллег (2010).

Для оценки необходимого количества испытуемых в выборке для дальнейших исследований был использован метод, реализованный в пакете fMRIPower (Mumford, Nicols, 2008). Этот метод на основе пилотажных данных оценивает необходимое количество испытуемых для достижения 80 % мощности статистического критерия в областях интереса. Подсчеты, сделанные на имеющихся данных с порогом $p < .001$, показали, что увеличение количества испытуемых в выборке не приводит к увеличению статистической мощности, что говорит о незначительности эффекта в лобной извилине.

Выводы

Поскольку активация в нижней лобной извилине при использовании трех имеющихся контрольных условий не является хорошо воспроизводимой (имелась лишь у четырех из 14 испытуемых с контрольным условием псевдослов; у шести из 14 — с упрощенными псевдословами; у пяти из 14 — со слогами), ни одно из этих условий не является идеальным для локализации языковых зон в лобной доле. С другой стороны, контрольное условие со слогами является адекватным для идентификации речевых зон в височной доле.

Литература

- Ляшевская О.Н., Шаров С.А. Частотный словарь современного русского языка (на материале Национального корпуса русского языка). М.: Азбуковник, 2009.
- Fedorenko E., Hsieh P.-J., 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. Vol. 104. No. 2. P. 1177–1194.
- Mumford J.A., Nichols T.E. Power calculation for group fMRI studies accounting for arbitrary design and temporal autocorrelation // *Neuroimage*. 2008. Vol. 39. No. 1. P. 261–268.
- Oldfield R.C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory // *Neuropsychologia*. 1971. Vol. 9. No. 1. P. 97–113.
- Price C.J. A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading // *Neuroimage*. 2012. Vol. 62. No. 2. P. 816–847.

An fMRI Study of Sentence Reading: The Effect of Control Condition

**Ignatyev G.A. *, Vlasova R.M., Akinina Y.S., Zavyalova V.V.,
Ushakov V.L., Ivanova M.V., Dragoy O.V.**

gaignatev@edu.hse.ru

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Abstract. The present study aimed to compare different control conditions for the sentence-reading fMRI paradigm. Three types of control conditions were used: pseudowords, simplified pseudowords, and syllables. The results show that the use of every control condition failed to reveal reliably reproducible activation within the inferior frontal gyrus. On the other hand, the use of syllables as a control condition allowed the identification of posterior language regions within the temporal lobe, activation within this region being significant and reproducible.

Keywords: functional MRI, sentence reading, control condition