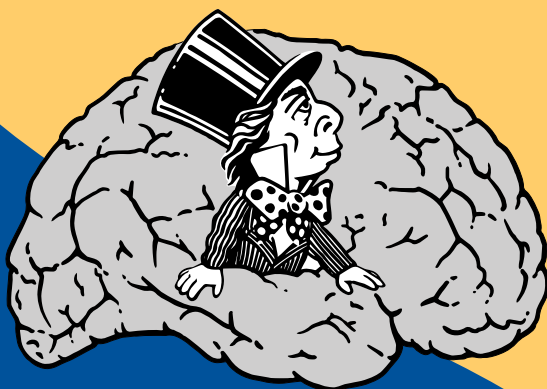


# КОГНИТИВНАЯ НАУКА

В МОСКВЕ



НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

МАТЕРИАЛЫ  
КОНФЕРЕНЦИИ  
2019

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман

УДК 159.9  
ББК 88.25  
К57

Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 19 июня 2019 г. Под ред. Е. В. Печенковой, М. В. Фаликман. – М.: ООО «Буки Веди», ИППИП. 2019 г. – 656 стр.

ISBN 978-5-4465-2346-7

УДК 159.9  
ББК 88.25

ISBN 978-5-4465-2346-7

©Авторы статей, 2019

## **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИФИЧНОСТЬ ЛЕВОГО ЛОБНОГО КОСОГО ПУЧКА**

О. В. Драгой\* (1, 2), А. С. Зырянов (1), О. Ю. Бронов (3), Е. А. Гордеева (1), Н. Э. Гронская (1), О. В. Крючкова (4), Е. А. Ключев (5), Д. Н. Копачёв (6), И. А. Медяник (5), Л. П. Мишнякова (7), Н. В. Педяш (3), И. Н. Пронин (6), А. А. Реутов (4), А. Р. Ситников (7), Е. А. Ступина (1), К. С. Яшин (5), В. А. Жирнова (1), А. А. Зуев (3)

[odragoy@hse.ru](mailto:odragoy@hse.ru)

1 – НИУ «Высшая школа экономики», Москва; 2 – Федеральный центр цереброваскулярной патологии и инсульта, Москва; 3 – НМХЦ им. Н. И. Пирогова, Москва; 4 – ЦКБ Управления делами Президента РФ, Москва; 5 – Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород; 6 – НМИЦ нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко, Москва; 7 – Лечебно-реабилитационный центр, Москва

**Аннотация.** Ранее уже предполагалось, что левый лобный косой пучок (ЛКП), тракт белого вещества головного мозга, соединяющий задние отделы верхней и нижней лобных извилин, имеет отношение к речи; в частности, к ее инициации и беглости. Однако до сих пор свидетельств тому, что прямая электрическая стимуляция левого ЛКП специфично влияет на инициацию спонтанной речи, а не на порождение речи вообще, не было. Данная работа посвящена проверке функциональной специфичности левого ЛКП с использованием данных речевого картирования во время краниотомий в сознании. Совместив данные интраоперационного картирования речи и трактографических реконструкций у 10 пациентов, мы обнаружили, что прямая электрическая стимуляция левого ЛКП вызывает особенные речевые нарушения – невозможность завершить предложение; при этом способность называть рисунки остается сохранной. Эти данные подтверждают функциональную специфичность левого ЛКП как тракта, вовлеченного в инициацию спонтанной речи, а также обосновывают использование задания на завершение предложений как адекватного инструмента интраоперационного функционального картирования левого ЛКП.

**Ключевые слова:** левый лобный косой пучок, трактография, краниотомия в сознании, картирование речи, завершение предложений

Сбор и анализ трактографических данных выполнен при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-012-00829); интраоперационное картирование – в рамках мегагранта Правительства РФ (договор 14.641.31.0004).

### **Введение**

Лобный косой пучок (ЛКП) – тракт белого вещества головного мозга, соединяющий задние отделы верхней лобной (дополнительную и преддополнительную моторные области) и нижней лобной (треугольную и оперкулярную области) извилин (Catani, Thiebaut de Schotten, 2012). ЛКП обнаруживается на материале

посмертных диссекций белого вещества головного мозга (Lawes et al., 2008) и в мозге живых людей — с помощью диффузионно-взвешенной нейровизуализации (Ford et al., 2010). Учитывая в большей степени левостороннюю латерализацию ЛКП у праворуких людей и его анатомическую связь с зоной Брока, было высказано предположение, что левый ЛКП важен для речи (Catani et al., 2012).

В частности, показано, что поражение кортикальных терминалей или самого левого ЛКП влечет нарушение инициации и беглости речи в различных клинических популяциях. Так, пациенты с инсультом (Basilakos et al., 2014), опухолями головного мозга (Chernoff et al., 2018) и нейродегенеративными расстройствами (Mandelli et al., 2014) демонстрируют снижение спонтанной речевой продукции в случае, когда у них поврежден левый ЛКП. В нейрохирургической популяции аналогичное снижение беглости речи (в тяжелых случаях — мутизм) является хорошо известным симптомом поражения дополнительной моторной коры (верхней терминали ЛКП; Krainik et al., 2003). Кроме того, послеоперационные показатели беглости речи положительно коррелируют с расстоянием между левым ЛКП и границей резекции у пациентов с опухолями мозга (Kinoshita et al., 2015). Эти данные свидетельствуют о важности всей леволатерализованной анатомической сети, включающей и терминали, и сам левый ЛКП, для инициации и беглости речи.

В недавних работах, использующих прямую электрическую стимуляцию мозга во время краниотомий в сознании в сочетании с реконструкцией трактов белого вещества, также были предприняты попытки подтвердить важность левого ЛКП для речи. Vassal et al. (2014), Kinoshita et al. (2015) и Fujii et al. (2015) показали, что его стимуляция (а она оказывает ингибирующее воздействие) вызывает речевые нарушения при назывании рисунков. Наиболее частыми ошибками при этом были полная остановка речи либо задержка вербального ответа, которые могут быть классифицированы как нарушения инициации речи. Однако с лингвистической точки зрения называние рисунков не является оптимальным заданием, если речь идет об инициации и беглости речи. Как известно, пациенты с постинсультной динамической афазией, центральным дефицитом которых является снижение речевой инициативы, могут называть рисунки, но при этом испытывают специфические трудности именно при порождении предложений и текстов (Luria, Tsvetkova, 1968), где требуется развернутая спонтанная речь.

Движимое гипотезой, что левый ЛКП играет существенную роль именно в обеспечении инициации и беглости спонтанной речи, а не речепродукции вообще (как можно было бы заключить из упомянутых исследований, использующих стимуляцию мозга), настоящее исследование было направлено на проверку такой его функциональной специфичности.

## Метод

В исследовании приняли участие десять пациентов (три женщины; средний возраст 41 год, от 25 до 64 лет; 9 — с первичными опухолями головного мозга, 1 — с эпилептогенной фокальной кортикальной дисплазией). Критерии включения были следующими: наличие дооперационных данных диффузионно-взвешенной томографии, позволяющей реконструировать левый ЛКП; наличие реконструи-

рованного ЛКП в операционном доступе; носитель русского языка как родного; без дооперационных речевых нарушений; показания к интраоперационному картированию речи. Один пациент был оперирован в ЦКБ Управления делами Президента РФ (Москва), два – в Лечебно-реабилитационном центре Минздрава России (Москва), два – в НМИЦ нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко (Москва), два – в НМХЦ им. Н. И. Пирогова (Москва), три – в Приволжском исследовательском медицинском университете (Нижний Новгород).

Для речевого картирования использовались два задания: называние действий по рисунку и завершение предложений. Называние рисунков служило основой для сравнения результатов с данными предыдущих исследований. При предъявлении рисунка пациенту нужно было произнести преамбулу «здесь» (для различения обстановки речи и аномии) и ответить на вопрос «Что делает герой на рисунке» одним словом – глаголом в третьем лице настоящего времени (например, *здесь бежит*); подробнее – см. Драгой и др. (2016). Завершение предложений было направлено на инициацию спонтанной позициональной речи и требовало от пациента прочтения вслух контекста, состоящего из двух коротких слов, и завершения одним подходящим по смыслу словом (например, *Свинка жует ... траву*). Стимулы предъявлялись на экране планшета с диагональю экрана 10.1 дюймов; переход от одной пробы к другой происходил в автоматическом режиме. Во время операции использовались только те пробы из исходного набора 50 проб (в каждом из тестов), которые пациент безошибочно выполнял до операции в двух тестированиях.

В обоих тестах на выполнение одной пробы отводилось ровно 4 секунды (в соответствии с требованиями безопасности о длительности стимуляции отдельно взятой зоны). Каждая проба предварялась звуком высоты 400 Гц и длительностью 0.5 сек, который сигнализировал нейрохирургу о необходимости переноса стимуляции на другую зону. Использовалась биполярная стимуляция коры головного мозга по одному из двух наиболее распространенных протоколов (последовательности 4–5 импульсов частоты 333–500 Гц и интенсивности 12–25 мА или бифазные квадратные импульсы длительностью 1 мсек, частоты 50–60 Гц и интенсивности 3–12 мА). Если примененная стимуляция вызывала ошибку в речевом задании не менее двух из трех раз, точка считалась положительной, и хирург далее старался избежать ее резекции.

Каждому пациенту до операции была проведена диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография с использованием томографов напряженностью поля 3Т или 1.5Т (64 направления диффузии, изотропный воксель 2.5 или 3 мм,  $b = 1500$  или  $1000$  сек/мм<sup>2</sup>, два повторения с противоположными направлениями фазового кодирования). После предобработки данных в FSL (Jenkinson et al., 2012) и ExploreDTI (<http://www.exploredti.com>), на основе детерминистической диффузионно-взвешенной модели, в программе TrackVis (<http://www.trackvis.org>) для каждого пациента был реконструирован левый ЛКП (и дугообразный пучок – для контроля). Обнаруженные в ходе интраоперационного речевого картирования положительные точки, отмеченные на T1-взвешенных МРТ-изображениях, были наложены на эти индивидуальные реконструкции трактов путем их корегистрации через T1-изображения к карте средней диффузивности в программе SPM12 (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>).

## Результаты

У всех десяти пациентов в ходе интраоперационного картирования речи были обнаружены положительные точки. Большинство найденных точек оказались специфичны для завершения предложений: при их стимуляции пациенты безошибочно называли рисунки, но не могли правильно подобрать окончание предложения (при этом правильно читая вслух его начало). Совмещение таких точек с реконструкциями левого ЛКП продемонстрировало, что все они находятся на кортикальных терминалях индивидуальных ЛКП в верхней и/или нижней лобной извилине.

Некоторые положительные точки, однако, были выявлены при использовании обоих речевых заданий: при их стимуляции пациенты и не называли рисунки, и не завершали предложения. Мы реконструировали все проводящие пути белого вещества, проходящие через такие точки, и оказалось, что они находятся на стыке левого ЛКП и других трактов (дугообразного пучка и U-образного тракта, соединяющего верхнюю и среднюю лобной извилины), чем и объясняется иной профиль поведенческих эффектов при их стимуляции.

## Заключение

Прямая электрическая стимуляция левого ЛКП вызывает особенное нарушение речи — невозможность завершать предложения при сохранном назывании рисунков. Это свидетельствует в пользу функциональной специфичности левого ЛКП как тракта, вовлеченного в инициацию спонтанной речи. Кроме того, это обосновывает использование задания на завершение предложений как адекватного инструмента интраоперационного функционального картирования левого ЛКП.

## Литература

*Basilakos A., Fillmore P. T., Rorden C., Guo D., Bonilha L., Fridriksson J.* Regional white matter damage predicts speech fluency in chronic post-stroke aphasia // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. Vol. 8. P. 845. doi:10.3389/fnhum.2014.00845

*Catani M., Dell'Acqua F., Vergani F., Malik F., Hodge H., Roy P., Valabregue R., Thiebaut de Schotten M.* Short frontal lobe connections of the human brain // *Cortex*. 2012. Vol. 48. No. 2. P. 273–291. doi:10.1016/j.cortex.2011.12.001

*Catani M., Thiebaut de Schotten M.* Atlas of human brain connections. Oxford: Oxford University Press, 2012.

*Chernoff B. L., Teghipco A., Garcea F. E., Sims M. H., Paul D. A., Tivarus M. E., Smith S. O., Pilcher W. H., Mahon B. Z.* A role for the frontal aslant tract in speech planning: A neurosurgical case study // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2018. Vol. 30. No. 5. P. 752–769. doi:10.1162/jocn\_a\_01244

*Dragoy O., Chrabaszcz A., Tolkacheva V., Buklina S.* Russian intraoperative naming test: A standardized tool to map noun and verb production during awake neurosurgeries // *The Russian Journal of Cognitive Science*. 2016. Vol. 3. No. 4. P. 4–25. <http://cogjournal.org/3/4/pdf/DragoyetalRJCS2016.pdf>

*Ford A., McGregor K. M., Case K., Crosson B., White K. D.* Structural connectivity of Broca's area and medial frontal cortex // *NeuroImage*. 2010. Vol. 52. No. 4. P. 1230–1237. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.05.018

- Fujii M., Maesawa S., Motomura K., Futamura M., Hayashi Y., Koba I., Wakabayashi T. Intraoperative subcortical mapping of a language-associated deep frontal tract connecting the superior frontal gyrus to Broca's area in the dominant hemisphere of patients with glioma // *Journal of Neurosurgery*. 2015. Vol. 122. No. 6. P. 1390 – 1396. doi:10.3171/2014.10.jns.14945
- Jenkinson M., Beckmann C. F., Behrens T. E., Woolrich M. W., Smith S. M. FSL // *NeuroImage*. 2012. Vol. 62. No. 2. P. 782 – 790. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.09.015
- Kinoshita M., de Champfleury N. M., Deverduin J., Moritz-Gasser S., Herbet G., Duffau H. Role of fronto-striatal tract and frontal aslant tract in movement and speech: An axonal mapping study // *Brain Structure and Function*. 2015. Vol. 220. No. 6. P. 3399 – 3412. doi:10.1007/s00429-014-0863-0
- Krainik A., Lehericy S., Duffau H., Capelle L., Chainay H., Cornu P., Cohen L., Boch A. L., Mangin J. F., Le Bihan D., Marsault C. Postoperative speech disorder after medial frontal surgery: Role of the supplementary motor area // *Neurology*. 2003. Vol. 60. No. 4. P. 587 – 594. doi:10.1212/01.wnl.0000048206.07837.59
- Lawes I.N.C., Barrick T.R., Murugam V., Spierings N., Evans D.R., Song M., Clark C.A. Atlas-based segmentation of white matter tracts of the human brain using diffusion tensor tractography and comparison with classical dissection // *NeuroImage*. 2008. Vol. 39. No. 1. P. 62 – 79. doi:10.1016/j.neuroimage.2007.06.041
- Luria A.R., Tsvetkova L. S. The mechanisms of dynamic aphasia // *Foundations of Language*. 1968. Vol. 4. P. 296 – 307.
- Mandelli M. L., Caverzasi E., Binney R. J., Henry M. L., Lobach I., Block N., Amirbekian B., Dronkers N., Miller M. L., Henry R. G., Gorno-Tempini M. L. Frontal white matter tracts sustaining speech production in primary progressive aphasia // *Journal of Neuroscience*. 2014. Vol. 34. No. 29. P. 9754 – 9767. doi:10.1523/jneurosci.3464-13.2014
- Vassal F., Boutet C., Lemaire J.-J., Nuti C. New insights into the functional significance of the frontal aslant tract: An anatomo-study using intraoperative electrical stimulations combined with diffusion tensor imaging-based fiber tracking // *British Journal of Neurosurgery*. 2014. Vol. 28. No. 5. P. 685 – 687. doi:10.3109/02688697.2014.889810

## FUNCTIONAL SPECIFICITY OF THE LEFT FRONTAL ASLANT TRACT

O. Dragoy\* (1, 2), A. Zyryanov (1), O. Bronov (3), E. Gordeeva (1), N. Gronskaya (1), O. Kryuchkova (4), E. Klyuev (5), D. Kopachev (6), I. Medyanik (5), L. Mishnyakova (7), N. Pedyash (3), I. Pronin (6), A. Reutov (4), A. Sitnikov (7), E. Stupina (1), K. Yashin (5), V. Zhirnova (1), A. Zuev (3)

[odragoy@hse.ru](mailto:odragoy@hse.ru)

1 – National Research University Higher School of Economics, Moscow; 2 – Center for Cerebrovascular Pathology and Stroke, Moscow; 3 – National Medical and Surgical Center named after N. I. Pirogov, Moscow; 4 – Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow; 5 – Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod; 6 – N. N. Burdenko National Scientific and Practical Center for Neurosurgery, Moscow; 7 – Federal Center of Treatment and Rehabilitation of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow

**Abstract.** The left frontal aslant tract (FAT), a white-matter pathway connecting the posterior regions of the superior and inferior frontal gyri, has been proposed to be relevant for language and specifically for speech initiation and fluency. However, there has been

no evidence that direct electrical stimulation of the FAT specifically affects spontaneous speech initiation, and not one's general language production ability. In this study, we tested the language functional specificity of the left FAT in awake surgery settings. Combining intraoperative language mapping with tractography reconstructions in 10 patients, we found that direct electrical stimulation of the left FAT was associated with a specific language impairment: an inability to complete sentences, in contrast to a spare ability to name a picture. This demonstrates the language functional specificity of the left FAT as a tract underlying spontaneous speech initiation, and recommends the sentence completion task as an adequate tool for intraoperative functional mapping of the FAT.

**Keywords:** left frontal aslant tract, tractography, awake craniotomy, language mapping, sentence completion