



От приглашенного редактора | From section editor

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1094>

## Прехирургическое картирование речевых зон коры головного мозга с помощью фМРТ: актуальное состояние и тенденции

© Печенкова Е.В.<sup>1</sup>, Паникратова Я.Р.<sup>2</sup>, Мершина Е.А.<sup>3</sup>, Власова Р.М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Научно-учебная лаборатория когнитивных исследований НИУ “Высшая школа экономики”; 101000 Москва, Армянский пер., д. 4, стр. 2, Российская Федерация

<sup>2</sup> Лаборатория нейровизуализации и мультимодального анализа ФГБНУ “Научный центр психического здоровья”; 115522 Москва, Каширское шоссе, 34, Российская Федерация

<sup>3</sup> Медицинский научно-образовательный центр ФГБОУ ВО “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”; 119192 Москва, Ломоносовский проспект, 27, к. 10, Российская Федерация

<sup>4</sup> Департамент психиатрии, Университет Северной Каролины; Чапел-Хилл, США

Прехирургическое картирование областей мозга, критически важных для осуществления речевых функций, направлено на минимизацию повреждения этих областей во время нейрохирургического вмешательства у пациентов с опухолями головного мозга и фармакорезистентной эпилепсией и тем самым на сохранение качества их жизни. Две основных задачи картирования речи – это определение локализации и латерализации речевых зон, “золотыми стандартами” для решения которых являются интраоперационное картирование (ИОК) и проба Вада соответственно. Однако ряд ограничений этих методов обуславливает целесообразность неинвазивного предварительного картирования речи, для которого в последние годы наиболее широко используется функциональная МРТ (фМРТ). Проведенный обзор литературы сосредоточен на нововведениях и актуальных тенденциях, которые получили распространение в области фМРТ-картирования речи за последнее десятилетие. В статье кратко изложено текущее состояние представлений о мозговой организации речевых функций, лежащих в основе картирования речи с применением фМРТ. Рассматриваются современные исследования валидности результатов фМРТ, касающихся локализации и латерализации речевых областей. Отдельно обсуждаются такие тактики прехирургического картирования речи, как дополнение фМРТ-данных результатами трактографии, комбинированный анализ фМРТ-проб и использование фМРТ покоя. Перечисляются и описываются устоявшиеся фМРТ-пробы для картирования зон, связанных с порождением и восприятием речи, и новые экспериментальные разработки в этой области.

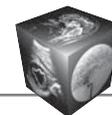
**Ключевые слова:** функционально значимые зоны, нейрохирургия, функциональное картирование мозга, речь, фМРТ

**Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.**

**Работа выполнена в рамках государственного задания МГУ (номер ЦИТИС 121061800148-2).**

**Для цитирования:** Печенкова Е.В., Паникратова Я.Р., Мершина Е.А., Власова Р.М. Прехирургическое картирование речевых зон коры головного мозга с помощью фМРТ: актуальное состояние и тенденции. *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (1): 48–69. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1094>

**Поступила в редакцию:** 21.10.2021. **Принята к печати:** 20.01.2022. **Опубликована online:** 01.02.2022.



# Presurgical brain mapping of language processing with fMRI: state of the art and tendencies

© Ekaterina V. Pechenkova<sup>1</sup>, Yana R. Panikratova<sup>2</sup>, Elena A. Mershina<sup>3</sup>, Roza M. Vlasova<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Laboratory for Cognitive Research, Higher School of Economics; 4-2, Armyansky per., 101000 Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Laboratory of Neuroimaging and Multimodal Analysis, Mental Health Research Center; 34, Kashirskoe shosse, 115522 Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Medical Research and Education Center of Lomonosov Moscow State University; 27-10, Lomonosovsky prospekt, 119192 Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup>Department of Psychiatry, University of North Carolina; Chapel Hill, the USA

Presurgical brain mapping of language-eloquent cortex aims to minimize its injury during neurosurgery in patients with brain tumors and drug-resistant epilepsy, and thereby, to preserve their quality of life. Two main goals of language mapping are to identify the localization and lateralization of brain regions involved in language. Gold standards for them are the intraoperative mapping and Wada test, respectively; however, due to some limitations of these techniques, non-invasive preliminary language mapping becomes reasonable. During the last years, fMRI has been widely applied for such purposes. Our literature review focuses on innovations and actual tendencies which spread in the field of language mapping via fMRI in the last decade. State-of-the-art knowledge on brain organization of language, which underpins brain mapping of language processing via fMRI, is briefly described in the article. Contemporary studies of fMRI validity in localization and lateralization of language brain regions are considered. Strategies of presurgical language mapping, such as application of tractography in addition to fMRI, combined analysis of fMRI tasks as well as resting-state fMRI are also discussed. Well-established fMRI tasks for brain mapping of language production and comprehension, as well as new experimental developments in this field, are listed and described.

**Keywords:** eloquent cortex, neurosurgery, functional brain mapping, language, fMRI

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

**For citation:** Pechenkova E.V., Panikratova Ya.R., Mershina E.A., Vlasova R.M. Presurgical brain mapping of language processing with fMRI: state of the art and tendencies. *Medical Visualization*. 2022; 26 (1): 48–69. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1094>

**Received:** 21.10.2021.

**Accepted for publication:** 20.01.2022.

**Published online:** 01.02.2022.

## Введение

Головному мозгу человека свойственна значительная нейропластичность, то есть способность к прижизненному изменению структурно-функциональной организации в результате приобретения нового опыта и адаптации к новым условиям среды, в том числе условиям болезни, а также в процессе восстановительно-реабилитационных мероприятий. В то же время существует ряд областей головного мозга, восстановление функций которых после поражения крайне затруднено. Такие области, при повреждении которых возникает стойкое, плохо поддающееся коррекции нарушение моторных или когнитивных функций, приводящее к существенному снижению качества жизни пациента, называются функционально значимыми зонами (ФЗЗ; англ. eloquent cortex). Хотя поражение ФЗЗ в процессе естественного развития заболеваний мозга контролировать невозможно, их ятрогенное повреждение вследствие

хирургического вмешательства стараются минимизировать.

Для поддержания баланса между максимальной резекцией патологических тканей и минимальным повреждением ФЗЗ при проведении нейрохирургического вмешательства у пациентов с опухолями головного мозга, а также с фармако-резистентной эпилепсией служит индивидуальное функциональное картирование мозга – очерчивание мозгового субстрата моторных и когнитивных функций (например, движения кисти руки или восприятия речи) у конкретного пациента. Общее знание функциональной анатомии головного мозга является недостаточным для предотвращения послеоперационных нарушений, поскольку даже в норме локализация ФЗЗ характеризуется высокой вариативностью [1], которая в случае поражения мозга увеличивается за счет функциональной реорганизации в связи с адаптацией к развивающейся патологии [2, 3].



Картирование может выполняться различными методами. “Золотым стандартом” выявления ФЗЗ считается интраоперационное картирование (ИОК) с прямой электрической стимуляцией мозга (англ. direct electrical stimulation, DES) [4–6]. При прямой стимуляции первичной моторной коры генерируется моторный вызванный потенциал, регистрируемый с мышцы; при картировании речи осуществляется поиск тех областей коры, стимуляция которых вызывает кратковременные речевые нарушения, такие как остановка или искажение речи пациента. Таким образом, для картирования моторных функций эта процедура относительно проста, поскольку может проводиться без пробуждения пациента и с использованием монополярной стимуляции, при которой риск возникновения эпилептического приступа ниже, чем при биполярной [7, 8]. Однако при картировании речевых зон возникают дополнительные трудности. Во-первых, оно возможно только во время операции с пробуждением, при которой для выполнения речевых заданий пациент должен пребывать в оптимальном состоянии сознания, что является довольно непростой задачей для анестезиологической команды. Во-вторых, пациент может оказаться не готов следовать инструкциям во время операции в силу развившихся нарушений, индивидуальных особенностей или возрастной несформированности познавательной и волевой сфер. В-третьих, при картировании речи чаще всего используется биполярная стимуляция, обладающая более высоким риском индуцирования эпилептического приступа [9, 10].

Следовательно, даже в тех случаях, когда планируется операция с пробуждением и ИОК, целесообразно иметь предварительные результаты картирования речевых ФЗЗ, выполненного иными методами. Это позволяет сократить время проведения ИОК [11] и получить данные, на которые нейрохирург сможет ориентироваться в случае неудачной попытки ИОК [12].

Ряду пациентов с эпилепсией за некоторое время перед операцией для мониторинга эпилептической активности устанавливаются субдуральные электроды. Эти электроды могут использоваться для экстраоперационной прямой электрической стимуляции и электрокортикографии, а функциональное картирование может проводиться несколько раз с использованием различных речевых заданий. Однако чаще всего на этапе прехирургической подготовки применяются неинвазивные нейрофизиологические методы, такие как функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ), транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) [13] и магнитоэнцефалография

(МЭГ) [14]. Данные этих методов могут дополнять друг друга и использоваться для кросс-валидации [15, 16]. Более того, учитывая все недостатки и риски инвазивных методов картирования мозга, А.С. Papanicolaou и соавт. [17] предлагают всегда начинать с доступных неинвазивных методов, а к инвазивным прибегать только в том случае, если все предыдущие попытки ответить на вопрос о локализации и латерализации речевых зон дали неоднозначные результаты.

Наиболее распространено картирование с помощью фМРТ, о чем свидетельствует и распределение научных статей в базе PubMed. Так, за период с 2010 по 2021 г. было опубликовано 42, 212 и 1793 работы по ТМС, МЭГ и фМРТ соответственно (запросы “TMS presurgical”, “MEG presurgical” и “fMRI presurgical”). Опрос среди ведущих зарубежных центров, занимающихся нейрохирургическим лечением эпилепсии, также показал, что практически все из них (96%) используют картирование речевых зон с помощью фМРТ [18].

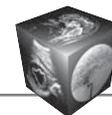
Функциональная МРТ используется в нейронауках и медицине уже три десятилетия. Она основана на явлении нейрососудистой связи, благодаря которой усиление метаболизма нейронов при их активации отображается в изменении локального мозгового кровотока и соотношения оксигемоглобина и дезоксигемоглобина в венозной крови, что, в свою очередь, может быть зафиксировано высокопольным магнитно-резонансным томографом в виде BOLD-сигнала (англ. Blood oxygenation level dependent) [19].

Основы использования фМРТ для прехирургического картирования моторных и речевых функций достаточно подробно рассмотрены в более ранних публикациях на русском языке [20–23]. В данном обзоре мы сосредоточимся на картировании речевых функций и тех нововведениях и актуальных тенденциях, которые получили распространение в этой области за последнее десятилетие.

### **Смена представлений о мозговой организации речевых функций**

Вначале кратко обозначим, как изменение научных представлений о функциональной анатомии речи влияет на мишени и методики фМРТ-картирования речевых ФЗЗ. Для подробного знакомства с современными моделями мозговой организации речи читатель сможет обратиться к указанным источникам.

В течение долгого времени картирование речевых ФЗЗ опиралось на классическую модель Вернике–Гешвинда [24, 25], берущую начало в нейропсихологических работах XIX века. Ключевыми



компонентами этой модели являются зоны Вернике и Брока и соединяющий их дугообразный пучок. Зона Вернике, расположенная в задней части верхней височной извилины, хранит акустические образы слов. Благодаря связям с диффузным представительство семантических репрезентаций в коре головного мозга зона Вернике обеспечивает понимание речи. Кроме того, акустические образы слов передаются через дугообразный пучок в нижнюю лобную область (зона Брока), где они перекодируются в артикуляторные образы слов и могут быть переданы далее в моторную кору для реализации речи посредством движений артикуляторного аппарата [24]. К настоящему моменту не только сама модель, но и употребление таких терминов, как “речевые центры”, “зона Брока” и “зона Вернике”, представляется многим исследователям некорректным, поскольку последние данные демонстрируют отсутствие как четкой анатомической отнесенности этих зон, так и однозначного понимания их функциональной роли [26, 27].

Классическая модель исходила из представления о том, что левое полушарие головного мозга у большинства людей является ведущим по речи, следовательно, к критическим нарушениям речи приводит поражение перисильвиевых зон левого полушария, но не гомологичных зон правого. Исключения, как правило, чаще встречаются у леворуких людей и амбидекстров [28, 29], а также могут быть связаны с прижизненным изменением латерализации речи в ходе развития патологии или восстановления нарушенных функций [30, 31], в особенности у пациентов с фармакорезистентной эпилепсией, у которых развитие речи сопровождается течением болезни и адаптируется к ней [32]. Согласно новым моделям мозговой организации речи, латерализация отдельных компонентов речевой системы может различаться [33, 34]; эмпирические исследования подтверждают, что латерализация лобных и височных компонентов речевой системы у одного и того же человека может не совпадать [35–37].

Развитие представлений о мозговой организации речи стимулировалось большим объемом новых данных нейровизуализации, которые появились на рубеже тысячелетий. Согласно результатам недавнего метаанализа 45 фМРТ-исследований понимания и порождения предложений [38], нейроанатомическим субстратом этих процессов являются существенным образом пересекающиеся распределенные сети, включающие как минимум 11 зон в левом полушарии и 6 их гомологов в правом. Обзор, перечисляющий структуры, которые, согласно данным фМРТ и ИОК, представляют потенциальный интерес для целей

пред- и внутриоперационного картирования [39], выделяет 14 зон коры, охватывающих почти все левое полушарие, и 9 трактов белого вещества. По-видимому, далеко не все из перечисленных корковых зон нужно рассматривать как ФЗЗ: для этого необходим дальнейший анализ их возможной нейропластичности. В список речевых ФЗЗ, которые должны выступать мишенями для картирования, помимо зон Брока и Вернике, ряд исследователей включают зону Экснера в задней части средней лобной извилины, критически важную для обеспечения письма, области в веретеновидной извилине – базальную височную речевую зону (basal temporal language area) и зону зрительной формы слов (visual word form area), – поражение которых может вызвать аномию и алексию, а также область в дополнительной моторной коре (supplementary motor area), связанную с инициацией речевого высказывания [40].

Многообразие мозговых структур, вовлеченных в порождение и понимание речи, очевидным образом не укладывалось в классическую модель. Одним из первых ее расширений стало добавление территории Гешвинда – компонента, расположенного в нижней теменной доле кзади от зоны Вернике (преимущественно в области угловой извилины) и связанного с ней задним сегментом дугообразного пучка. Эта область реализует перекодирование между зрительными и акустическими образами, что делает возможным чтение [24, 26, 41] и письмо, и вовлечена в обработку семантической информации [40].

Более радикальную альтернативу классической модели предложили G. Hickok и D. Poeppel [33, 42]. По аналогии со зрительной системой, они разработали модель “двух путей” восприятия речи (dual stream model), согласно которой можно выделить вентральный путь обработки речевой информации, основной для понимания речи, и дорсальный, связанный с перекодированием слуховых образов слов в моторные, который участвует в порождении речи. Согласно этой модели, сначала в первичной слуховой коре обоих полушарий происходит частотно-временной анализ устной речи. Далее в задней части верхней височной борозды, возможно, с небольшой латерализацией в левом полушарии, происходит анализ звуков речи в контексте конкретного языка (фонетический/фонологический). Затем поток слуховой информации разделяется на два пути – вентральный и дорсальный. Вентральный путь представлен билатерально и обеспечивает понимание речи, связывая фонетические/фонологические репрезентации (верхняя височная борозда) с лексико-семантическими (средняя и нижняя части височной доли).



Дорсальный путь, полностью латерализованный в левом полушарии, связан с перекодированием фонологических репрезентаций (верхняя височная борозда) в артикуляторные (дорсальная часть премоторной коры, задняя часть нижней лобной извилины, передняя часть островка). Такое перекодирование осуществляется в задней части сильвиевой борозды в области височно-теменного стыка, которая интегрирует сенсорную и моторную информацию. Авторы предполагают, что посредством дорсального пути обеспечивается обратная связь, необходимая для успешного порождения устной речи. При этом область височно-теменного стыка выступает в качестве компаратора, позволяющего сравнить информацию о моторной программе высказывания, поступающую из лобных долей, и ее реализацию, а в случае обнаружения ошибки исправить ее [43].

Еще более развернутую модель предложили Н. Duffau и соавт. [44], которые проанализировали процесс порождения речи на основе выполнения пациентами задачи называния изображений во время прямой электрической стимуляции мозга. Согласно этой модели, называние опирается на совокупность параллельно функционирующих широкомасштабных корково-подкорковых нейронных сетей, обеспечивающих семантическую, фонологическую и синтаксическую обработку. Вентральный «семантический» путь соединяет базальный поверхность затылочно-височной коры, где происходит распознавание зрительного образа, с орбитальной частью нижней лобной извилины (посредством нижнего лобно-затылочного тракта) и полюсом височной доли (посредством нижнего продольного пучка). Дорсальный «фонологический» путь обеспечивается дугообразным пучком, который соединяет ту же базальную поверхность затылочно-височной коры с оперкулярной частью нижней лобной извилины, которая, в свою очередь, тесно связана с вентральной премоторной корой и передней частью островка. Артикуляция при порождении речи обеспечивается нижней частью роландовой борозды и вентральной премоторной корой, которые соединяются передним сегментом верхнего продольного пучка с вентральной частью надкраевой извилины и задней частью верхней височной извилины. Предполагается, что теменные и височные области в этой системе предоставляют обратную связь сенсомоторного и слухового анализаторов для коррекции речи. По данным авторов, артикуляторная подсистема представлена билатерально. Процессы синтаксического оформления в рамках этой модели обеспечиваются нижней лобной и средней височной извилинами, соединенными

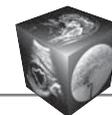
передней и задней частями верхнего продольного пучка. Синтаксические ошибки также могут наблюдаться при стимуляции лобного косого пучка, соединяющего дополнительную моторную кору с хвостатым ядром и оперкулярной частью нижней лобной извилины.

Таким образом, согласно современным представлениям о структурно-функциональной организации речи, мозговой основой речевых функций является многоуровневая иерархически организованная распределенная нейронная сеть, включающая петли обратной связи, отдельные компоненты которой могут быть латерализованы различным образом. Примечательно, что с такими представлениями хорошо согласуется разработанная в отечественной нейропсихологии на материале афатических нарушений модель Леонтьева–Ахутиной, первые варианты которой были представлены еще в конце 1960-х годов [45]; однако в этой модели не хватает детального описания лежащей за ней функциональной анатомии, и как следствие, она практически не проверялась и не использовалась в области нейровизуализации и ИОК.

В соответствии с текущими представлениями о мозговых механизмах речи предоперационное фМРТ-картирование в будущем должно представлять собой не выявление отдельных ФЗЗ, а описание всей речевой сети и ее характеристик [46, 47], а также дополняться данными других нейровизуализационных модальностей, в первую очередь, МР-трактографии. Однако на практике переход к такой стратегии осуществляется довольно медленно: данные опроса ведущих зарубежных центров, осуществляющих нейрохирургическое лечение эпилепсии, показывают, что в 2015 г. большинство клиницистов все еще производило картирование только зон Брока и Вернике [18].

### **Картирование речевых функций методом фМРТ: локализация и латерализация**

Функциональная МРТ в прехирургическом картировании речевых зон, как правило, решает две задачи: 1) определение *латерализации* лобных и височных компонентов речи, поскольку в случае четкой односторонней латерализации операция на субдоминантном по речи полушарии может считаться относительно безопасной для сохранности речи; 2) в случае же операции вблизи речевых ФЗЗ необходимо максимально точно *локализовать их расположение*, чтобы учитывать его при планировании доступа и объема резекции. Предполагается, что в будущем с помощью показателей фМРТ будет решаться еще одна задача – предсказание успешности восстановления рече-



вых функций после операции и оценка существующих рисков [48].

Примечательными являются различные взгляды на возможности фМРТ в локализации и латерализации речевых областей среди исследователей и клиницистов: первые считают фМРТ методом с хорошими возможностями локализации активации (в силу высокого пространственного разрешения), но с менее надежными показателями латерализации (из-за высокой зависимости от метода обработки данных, см. ниже), в то время как клиницисты придерживаются прямо противоположного мнения [18], во многом основанного на результатах валидации результатов фМРТ данными пробы Вада (“золотого стандарта” для выявления латерализации речи) и ИОК с прямой электрической стимуляцией (“золотого стандарта” для определения локализации), которые продолжали активно собираться и обновляться в последнее десятилетие.

#### **Валидизация фМРТ результатами ИОК**

В данных ИОК все точки коры головного мозга, в которых производилась внутриоперационная прямая стимуляция электрическим током, помечаются как или давшие временное нарушение выполнения речевой задачи у пациента, или не нарушившие речь, то есть, скорее всего, нейтральные для речевой функции. На основании фМРТ-карт активации области также могут быть разделены на относящиеся или не относящиеся к речевой системе. Далее точки могут быть классифицированы как истинноположительные, истинноотрицательные, ложноположительные и ложноотрицательные обнаружения с помощью фМРТ в зависимости от совпадения или несовпадения с результатами прямой электрической стимуляции. Доля истинноположительных обнаружений методом фМРТ среди всех положительных результатов, полученных при прямой электрической стимуляции, дает оценку полноты (чувствительности метода), а доля всех истинноотрицательных результатов среди отрицательных результатов стимуляции – оценку точности (специфичности).

Существующие исследования полноты и точности результатов фМРТ по сравнению с ИОК с прямой электрической стимуляцией характеризуются малыми выборками и существенным разбросом данных. Так, в исследовании M. Genetti и соавт. [49] на усредненных данных по 5 пациентам с фармакорезистентной эпилепсией полнота составила 64%, а точность – 77%, но на индивидуальных данных полнота варьировала от 0 до 100%, а точность – от 33 до 96%. Аналогичные показатели на выборке из 11 пациентов, представленные

A. Babajani-Feremi и соавт. [50], составили 50 и 80% на групповом уровне, а на индивидуальном – от 0 до 100% (полнота) и от 23 до 100% (точность). Согласно метаанализу Н.Н. Weng и соавт. [51], в который вошли только исследования с выборками больше 10 человек (всего 10 статей), полнота фМРТ в среднем составила 44% (с 95% доверительным интервалом [14%, 78%]), а точность 80% [54%, 93%].

Низкая точность результатов фМРТ не является удивительной, поскольку визуализируемые этим методом области активации включают все области серого вещества, которые участвовали в выполнении задания, а не только критически необходимые для функционирования речи. Задачу выделения собственно ФЗЗ можно решить во время прямой электрической стимуляции или косвенными методами, например, с помощью комбинированного анализа результатов фМРТ-проб (см. ниже). Гораздо большей проблемой является недостаточная полнота результатов для отдельных пациентов, поскольку ложноотрицательный результат не дает ни дополнительной информации для планирования операции, ни ориентировочной основы для проведения инвазивного картирования. На данный момент совершенно очевидна недостаточная изученность факторов, благодаря которым для одних пациентов фМРТ-результаты являются и достаточно полными, и достаточно точными, а для других – в лучшем случае неинформативными для последующей прямой электрической стимуляции. Примером такого рода факторов является потеря BOLD-сигнала в тканях, прилежащих к объемным образованиям, вследствие отека, сдавливания и нарушения метаболизма [52–54], но предсказать конкретные нарушения нейрососудистой связи у того или иного пациента обычно не представляется возможным.

Отдельной проблемой, также влияющей на имидж фМРТ как ненадежного метода, является пространственная ошибка карт активации. Считается, что, по сравнению с результатами ИОК, фМРТ-карты характеризуются пространственной ошибкой, которая составляет от 5 до 20 мм [55, 56]. Чаще всего как на практике [18], так и в исследованиях для оценки полноты и точности картирования [57] используется поправка в 10 мм [50, 55, 58]. Одна из причин пространственной ошибки является неустранимой – это деформация мозга после краниотомии вследствие изменения давления, которая приводит к расхождению реального пространственного расположения участков коры во время операции с предварительно полученными МР-изображениями; такое расхождение может составлять до 20 мм и может быть четко задано



кументировано только с помощью внутриоперационной МРТ [59]. Другая причина связана с техническими особенностями фМРТ, такими как возможность появления на изображениях сосудистых артефактов – прироста BOLD-сигнала не в капиллярах в непосредственно активированном участке нервной ткани, а в расположенных ниже по сосудистому руслу более крупных венулах и венах, или зависимость объема компонентов активации от статистического порога при обработке данных [50]. Локализация компонентов активации также зависит от используемых для фМРТ речевых задач [57]. На показатели точности и полноты картирования в конкретных исследованиях могут дополнительно влиять методы, используемые при корегистрации данных фМРТ с данными ИОК, которые за последние годы претерпели существенное изменение – от ручного переноса точек по сосудистой сетке и рисунку извилин [55] до современных автоматизированных методов совмещения изображений на навигационной станции или в постобработке, в частности с использованием данных компьютерной томографии, которая позволяет визуализировать живленную субдуральную электродную сетку [49, 50, 57].

#### **Латерализация речевых зон по данным фМРТ и ее валидизация результатами пробы Вада**

Латерализация речевых зон по фМРТ определяется следующим образом. Объем активации в каждом полушарии в основном условии речевой задачи по сравнению с контрольным может оцениваться визуально, но, как правило, подсчитывается индекс латерализации (LI) по формуле:

$$LI = (L - R) / (L + R),$$

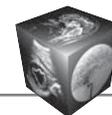
где L и R – это количество активированных вокселей в левом и правом полушарии соответственно. Эта формула дает стандартизированные значения от –1 (строго правополушарное представительство) до 1 (строго левополушарное) независимо от абсолютного количества активированных вокселей в каждом полушарии. Как правило, индексы, не превышающие по модулю 0,2, рассматриваются как свидетельство билатерального представительства речи. Индекс можно подсчитывать, используя все воксели в каждом полушарии или только в определенных областях интереса, например, только в лобной и височной долях [35].

Стоит отметить, что достоверность получаемого индекса зависит от целого ряда факторов [54]. Это, в первую очередь, методические решения, от которых зависит величина коэффициента латерализации: выбор задачи для картирования, зоны

интереса, по которой рассчитывается индекс, а также статистических порогов, на основании которых воксели включаются в карты активации [35, 60]. Латерализация, как правило, оказывается выше при использовании более строгих статистических порогов, что существенным образом затрудняет сопоставление данных, полученных в разных исследованиях и на разных пациентах. Чтобы избежать этого, были разработаны методы подсчета индекса латерализации с объединением данных по картам, полученным при двух статистических порогах – строгом и либеральном [61], или с автоматическим учетом целого спектра порогов, например, с помощью статистической процедуры бутстрепа [35].

При оценке латерализации у пациентов с объемными образованиями возникают дополнительные проблемы. Так, S. Partovi и соавт. [30] выявили значимое влияние наличия опухоли на показатели латерализации речи, со сдвигом латерализации в контралатеральное по отношению к пораженному полушарию, что может быть связано со структурно-функциональной реорганизацией речи вследствие патологии. Однако это также может быть связано с влиянием объемных образований на метаболизм и кровообращение в близлежащих тканях, что приводит к изменению гемодинамического ответа и искажает результаты фМРТ [52, 54]. В таких случаях было предложено использовать дополнительный признак – активацию, вызванную речевым заданием в мозжечке. На выборах пациентов с опухолями мозга и здоровых добровольцах показано, что если активация при назывании про себя глагола, связанного с предъявленным на слух существительным, латерализована в одном из полушарий мозжечка, то с большой долей вероятности ведущим по речи окажется контралатеральное полушарие конечного мозга. Такой паттерн перекрестной латерализации устойчиво наблюдается даже в группах левшей и амбидекстров [62].

“Золотым стандартом” определения ведущего по речи полушария считается проба Вада – кратковременная химическая инактивация одного из полушарий за счет анестезии (амобарбитала или этomidата), вводимой в правую или левую сонную артерию. Во время действия препарата пациента просят выполнить короткие речевые задания, тем самым тестируя функции контралатерального инъекции неанестезированного полушария [29]. При использовании ряда заданий или количественной оценки их выполнения рассчитывается индекс латерализации. Данный метод



инвазивен и не вполне безопасен [63], однако применяется достаточно широко [18].

Индексы латерализации речевых функций на основе фМРТ показывают высокую согласованность с результатами пробы Вада, часто достигающую 100% на малых выборках [64, 65]. По данным метаанализа ранних исследований, полнота латерализации речи по фМРТ составила 84%, а точность – 88% [64]. В то же время согласованность данных фМРТ и пробы Вада зависит от ряда факторов: оказывается меньше для восприятия речи, чем для порождения; меньше при оценке индекса латерализации по зонам интереса в височных долях по сравнению с лобными, а также может зависеть от речевой задачи, использованной для фМРТ, и от стороны поражения [65]. Важнейшим фактором также оказалась сама искомая асимметрия. Метаанализ 22 исследований, охвативших данные более 500 пациентов, показал, что индекс латерализации на основе фМРТ и проба Вада согласуются на 94% в случае типичной латерализации речи (в левом полушарии); в случае же атипичной латерализации согласованность падает до 51% [66]; сходные данные были получены также на единой выборке, включавшей 229 пациентов [67]. Согласно результатам этих исследований, можно ограничиться только данными фМРТ, если они однозначно свидетельствуют о левосторонней латерализации речи; во всех остальных случаях необходимо применять пробу Вада для дополнительной проверки [66]. По итогам обзора наиболее надежных исследований, включавших пациентов с эпилепсией, Американская ассоциация неврологов рекомендовала фМРТ как возможную замену для пробы Вада при большинстве вариантов височной эпилепсии, но не для случаев с опухолями височной доли [68].

#### **Методики картирования речи: фМРТ, связанная с задачей**

Важнейшая составляющая картирования речи с помощью фМРТ – задачи, которые используются для активации речевой системы. Гемодинамический ответ (BOLD-сигнал), вызванный выполнением задачи, сопоставляется с фоновой активностью в покое или с активацией при выполнении специально подобранного контрольного неречевого задания. Поскольку речь является сложной многокомпонентной функцией, ее структурно-функциональная организация динамически адаптируется под каждую конкретную задачу, и возникает проблема различения критически важных (инвариантных, предположительно, соответствующих ФЗЗ) и зависящих от конкретной задачи

(вариативных) звеньев речи среди компонентов активации. Так как именно задача определяет, какие компоненты речевой системы и в каком объеме будут активированы, от выбора проб для фМРТ существенным образом зависит успешность выявления как локализации, так и латерализации ФЗЗ. Например, задачи на порождение по сравнению с восприятием речи обычно дают более высокие значения индекса латерализации [69], при этом называние глагола в ответ на существительное по сравнению с называнием слов, начинающихся на заданную букву, позволяет лучше оценить латерализацию, но активирует меньшую часть нижней лобной извилины [70].

Многие работы последнего десятилетия посвящены изучению сравнительной эффективности различных задач [47, 48, 70–75]. В отличие от ранних подходов, направленных на поиски одного оптимального задания, современные методические рекомендации отдают предпочтение комплексным батареям, включающим несколько дополняющих друг друга задач, желательно не менее трех [47, 53, 75, 76].

Данные, полученные на основе различных задач, могут объединяться разными способами. Простейший способ предполагает, что каждая проба, включаемая в батарею, направлена преимущественно на получение одного вида информации (например, картирование зоны Брока, зоны Вернике или определение латерализации) [37, 76]. Другой недавно предложенный способ заключается в том, чтобы объединить несколько задач в “супер-пробу”. Для этого используется блочный план фМРТ-эксперимента, когда на протяжении блока, включающего регистрацию нескольких функциональных объемов, испытуемый выполняет однотипные задачи. Однако в различных блоках задачи меняются, например, используются по три 24-секундных блока называния слов на заданную букву, дополнения предложений и называния понятия по определению, которые чередуются с контрольными заданиями на движения пальцев (тэппинг) или просмотр узоров [77]. По результатам статистической обработки такой пробы можно получить единую карту активации, характеризующую выполнение всех речевых задач по сравнению с неречевыми без выделения вклада каждой из них.

Еще одним подходом является так называемый комбинированный анализ задач (англ. combined task analysis). Если пациенту дается несколько проб, оценивающих понимание и порождение речи, в которых материал предьявляется в зрительной и слуховой модальностях, предположительно, инвариантные компоненты системы будут присутствовать на всех картах активации, а вариативные



могут в значительной степени различаться. Таким образом, области пересечения карт должны отражать инвариантные речевые звенья [78–80]. Комбинированный анализ позволяет повысить надежность выявления латерализации и расположения речевых зон внутри полушария индивидуально для каждого пациента [66, 81], однако его оптимальное применение, по-видимому, предполагает раздельную оценку для лобных и височных компонентов речевой системы. Анализ может выполняться как визуально на основе пересечений карт, так и количественно с использованием статистического метода анализа объединений (conjunction analysis).

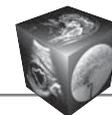
Арсенал проб для картирования речи с помощью фМРТ начал складываться еще в 1990-е годы, при этом постоянно появляются и апробируются новые разработки. На основе опроса практикующих специалистов Американское общество функциональной нейрорадиологии (American Society of Functional Neuroradiology) выделило 10 наиболее часто используемых задач и включило 6 из них в свои рекомендации. Для взрослых предлагается использовать завершение предложений, называние слов на заданную букву и задание с рифмами (указать с помощью нажатия на кнопку, рифмуются ли два представленных на экране слова). В случае возникновения трудностей в выполнении двух первых проб вместо задания с рифмами может быть использовано название предметов по картинке; также вместо третьего задания возможен повтор одной из первых двух проб. Детский протокол также начинается с завершения предложений, затем предлагается использовать задание с рифмами либо более легкую задачу прослушивания фрагмента книги, а в качестве третьей задачи предлагается вспомнить антонимы к появляющимся на экране словам. Все задачи на порождение речи, как в детском, так и во взрослом варианте пациентам предлагается выполнять про себя, ничего не произнося вслух [76].

Сложившаяся практика использования проб на основе субвокализации (речи про себя, а не вслух) вызвана стремлением минимизировать артефакты движения головы. Использование речи про себя оправдано в силу высокого сходства паттернов активации, получаемых на одних и тех же испытуемых и одних и тех же заданиях, выполненных вслух и про себя. Кроме того, выполнение заданий вслух вызывает выраженную билатеральную активацию моторных представительств артикуляторного аппарата, которая снижает коэффициенты латерализации [82]. В то же время использование речи про себя при работе с детьми и пациентами с выраженным речевым и когнитивным дефицитом

вызывает сомнение у многих исследователей, поскольку ход выполнения задачи во внутреннем плане невозможно проконтролировать. Так, например, L.J. Croft и соавт. показали, что примерно половина детей с эпилепсией, проходивших речевые пробы на фМРТ, выполняла задание неправильно [83]. В связи с этим регулярно предпринимаются попытки разработать протоколы, использующие речь вслух и в то же время устойчивые к артефактам движения. Одна из техник, позволяющих этого достичь, заключается в применении так называемого разреженного протокола сканирования (sparse sampling), когда между сканированиями последовательных функциональных объемов вводятся паузы, в течение которых пациент говорит, например, называет картинку вслух, а во время сканирования голова остается неподвижной [84]. Имеются также успешные разработки с обычными протоколами непрерывного сканирования (continuous acquisition), которые предполагают предварительное обучение испытуемого говорить с минимальными движениями головы и челюсти. При таком подходе карты активации при выполнении задачи составления предложений с заданным словом вслух и про себя могут различаться только компонентами, связанными с моторным представительством и слуховой обратной связью [85].

Отдельную проблему при разработке речевых проб представляет подбор оптимального контрольного условия, поскольку использование различных контрольных условий для одной и той же задачи приводит к формированию различных карт активации и даже к изменениям индекса латерализации; в частности, периоды покоя, которые часто используются в качестве контроля, провоцируют размышления с использованием внутренней речи, что делает контрольное условие сходным с основным (речевым) и может снизить результативность пробы [86, 87].

Помимо задач, вошедших в рекомендации Американского общества функциональной нейрорадиологии, в литературе по прехирургическому фМРТ-картированию за последние 10 лет упоминается еще около полутора десятков успешно зарекомендовавших себя задач и их различные версии, варьирующие по сложности и модальности предъявления (зрительной или слуховой). Среди проб на порождение речи можно выделить задачи, в которых ключом для лексического доступа выступает единичное слово или целое предложение [48]. К первой группе относится задача называния действий (verb generation task), которые можно выполнить с предметом, изображенным на картинке или обозначенным существительным [48, 70, 75, 88–91], и задача на называние существи-



тельных, относящихся к заданной категории, например “растения” [48, 71, 75], а также уже упомянутая задача называния слов на заданную букву. Ко второй группе относятся ответы на прямые вопросы, например “Какого цвета небо?” [47] и отгадывание понятия по определению наподобие кроссворда или загадки, например “большое животное с хоботом” [46, 48, 71], а также завершение предложений.

Для тестирования восприятия речи и картирования височных речевых зон используется чтение отдельных слов [72, 91, 92], чтение слов, написанных задом наперед [72, 91], составление слов из показанных на экране букв [46, 72, 91], прослушивание предложений [73], а также задачи семантического решения (semantic decision task; решить, связаны ли предъявленные слова по значению или относятся ли они к одной и той же категории) [46, 65, 90] и задачи проверки утверждений (например, “клубника красная” или “кошки лают”) [69].

Примечательно, что практически все перечисленные пробы на порождение и восприятие речи, даже те, в которых используются предложения или их фрагменты, фактически направлены на тестирование возможностей лексического доступа, но не синтаксического уровня обработки речи, в то время как аспекты, связанные с грамматикой, могут оказаться даже более информативными. Для восполнения этого пробела М. Polczynska и соавт. [37] апробировали для фМРТ-картирования элементы клинического лингвистического теста CYCLE-N, в ходе которого пациенты должны выбирать картинку, соответствующую предложению, или завершать предложение в соответствии с картинкой. Правильное выполнение заданий требует успешного оперирования активным и пассивным залогом, временами глаголов и придаточными предложениями.

Совершенно новым направлением в разработке речевых проб является использование естественных задач, которые требуют минимальных усилий со стороны пациента, как, например, просмотр фильма, содержащего диалоги (прослушивание речи) и сцены без звукового сопровождения (контрольное условие) [93].

На начальном этапе разработка задач для фМРТ-картирования производилась преимущественно на материале английского языка. В последние годы значительное внимание уделяется адаптации и разработке речевых задач на материале множества языков земного шара, которая не может быть сведена к простому переводу стимулов и задач [75]. Для разработки полноценной версии каждой задачи на том или ином языке не-

обходимо подобрать материалы с учетом культурной специфики и лингвистических параметров (частотность, конкретность, синтаксические конструкции и т.п.), а также учесть особенности морфологии и письменности (например, задача составления слова из букв применима только для фонетических видов письменности и будет по-разному выполняться для языков, где на письме обозначаются и согласные, и гласные, как в английском, или же только согласные, как на фарси; в последнем случае может также наблюдаться более выраженная активация в нижней лобной извилине [72]). Результаты этой работы появляются в том числе и в англоязычной научной литературе (речевые задачи на французском [71, 85]; испанском [70]; турецком [89]; арабском [75]; фарси [46, 91]).

На русском языке на данный момент предложен целый ряд речевых проб в различном состоянии проработки: перечисление месяцев года в обратном порядке [94], называние предметов по картинкам [95–97], называние действий по картинкам [98], подбор глагола-ассоциации к существительному [96], называние действия, которое можно совершить с предметом на картинке [99], чтение предложений [86, 100], комбинированное чтение и завершение предложений [101–103], задача на семантическое решение с двигательным ответом путем нажатия на кнопку [104], прослушивание аудиокнижки с различными контрольными условиями [21, 79], вербальные ассоциации на заданную букву [21].

### **Использование фМРТ покоя в картировании речи**

Главное ограничение фМРТ, связанной с задачей, заключается в том, что результаты сильно зависят от корректного выполнения задачи пациентом [105], что далеко не всегда возможно при выраженном когнитивном (и особенно речевом) дефиците. Возможным решением этой проблемы является применение фМРТ покоя (resting-state fMRI), инструкцию для которой пациентам выполнить значительно легче: во время сканирования смотреть на фиксационный крест или же лежать с закрытыми глазами, не заниматься умственной работой, не сосредотачиваться на какой-то одной конкретной мысли (“думать о разном”, “позволить мыслям течь свободно”), не двигаться и не засыпать [106]. Функциональная МРТ покоя является значительно менее трудоемкой для специалистов, не требуя специальной разработки и сложной процедуры проведения речевых проб, и занимает меньше времени (типичная длительность 6–10 мин [107]).



Метод фМРТ покоя основан на оценке корреляций низкочастотных колебаний ( $<0,1$  Гц) гемодинамического сигнала в различных областях головного мозга и глубинных структурах, что позволяет выявить различные функциональные сети, включая речевую [108]. Существует два основных подхода к анализу данных фМРТ покоя: анализ независимых компонент (independent component analysis, ICA) и анализ функциональных связей заранее предопределенной зоны интереса (seed-based analysis, SBA [106]). Оба этих метода не являются полностью автоматическими. Анализ независимых компонент требует наличия адекватного шаблона или экспертной оценки для выбора речевой сети из целого ряда полученных компонент [109]. Анализ функциональных связей зоны интереса оценивает корреляции сигнала в выбранной зоне интереса и остальных вокселях во всем объеме головного мозга, при этом выбор зоны интереса полностью зависит от решения специалиста и основан на априорных знаниях.

Индивидуальная локализация речевых зон по данным фМРТ покоя пересекается с результатами фМРТ, связанной с задачей, однако процент пересечения составляет всего лишь 20–30% при анализе всего объема головного мозга и 30–40% при ограничении областей интереса речевыми зонами [105, 110, 111], в других работах получены аналогично низкие корреляции [112]. В нашей работе на материале русского языка [113] пересечение в среднем составляет 20% при выявлении речевых зон левого полушария методом независимых компонент; обработка данных фМРТ покоя методом анализа функциональных связей зон интереса дает еще более низкие показатели пересечения – 6,6%. Однако методы обработки данных фМРТ покоя развиваются, что приводит к повышению согласованности результатов с данными фМРТ, связанной с задачей [114]. Парадоксальным образом работы по валидации результатов фМРТ через сопоставление с ИОК показывают, что данные фМРТ покоя обладают большей полнотой [115] и точностью [116] при выявлении речевых зон по сравнению с данными фМРТ, связанной с задачей.

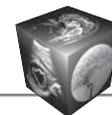
Индекс латерализации речевой сети по данным фМРТ покоя коррелирует с результатами фМРТ, связанной с задачей [117–119], но сила связи средняя (около 0,5). В нашей работе на материале задач чтения предложений (для локализации височных речевых областей) и названия действий по картинке (для локализации лобных речевых областей) на русском языке были получены более высокие коэффициенты корреляции – от 0,5 до 0,8 в зависимости от речевой зоны и ведущей руки испытуемых [113]. Латерализация меньше выра-

жена на данных фМРТ покоя, по сравнению с данными фМРТ, связанной с задачей [119, 120]. Конкордантность определения латерализации речевых функций по результатам этих методов зависит от способа подсчета индекса латерализации и выбора зоны интереса для анализа функциональных связей, варьируя от 20 до 75% [119, 121]. Работа N.L. Phillips и соавт. [122] показала, что данные фМРТ покоя позволяют в большинстве случаев (78–83%) корректно идентифицировать пациентов с типичной латерализацией речи, но не атипичной. В исследовании J.S. Mwana и соавт. [120] была обнаружена высокая конкордантность (74–92%) результатов двух методов у здоровых взрослых людей с типичной латерализацией, в то время как в когорте детей с эпилепсией результаты двух методов не совпадали. В то же время результаты фМРТ покоя хорошо согласуются (96%) с результатами пробы Вада как при типичной, так и при нетипичной латерализации речи [123].

Учитывая неоднозначность рассмотренных данных и отсутствие единого стандарта обработки данных фМРТ покоя, этот метод для выявления локализации и латерализации речевых зон в предоперационном картировании пока стоит использовать с осторожностью, хотя он хорошо дополняет результаты фМРТ, связанной с задачей [106, 107].

#### **Дополнение результатов фМРТ-картирования речи данными трактографии**

Как было показано выше, в соответствии с современными данными функциональная анатомия речи включает в себя не только области коры головного мозга, но и тракты белого вещества, основными среди которых являются дугообразный пучок, лобный кривой пучок, нижний лобно-затылочный пучок, нижний продольный пучок и крючковидный пучок [124]. Знания о функциях трактов основаны на моделях поражения – специфических нарушениях речи при стимуляции определенных участков белого вещества во время ИОК [44] или на основе соотношения повреждения определенных трактов с симптомами у пациентов с афазиями [125, 126]. Белое вещество обладает меньшей пластичностью по сравнению с серым, в связи с чем его поражения могут привести к более выраженным и стойким клиническим симптомам; в то же время сохранность ассоциативных и проекционных трактов играет критически важную роль в обеспечении компенсаторных процессов, являясь “инфраструктурой”, на основе которой происходит реорганизация мозга [127], в том числе после повреждений речевых зон [128]. Таким образом, в прехирургическом планирова-



нии важно выявить локализацию не только корковых ФЗЗ, но и трактов белого вещества, ключевых для осуществления речевых функций, для чего применяется трактография на основе диффузионно-взвешенных изображений МРТ\*. Диффузионно-взвешенная МРТ (diffusion-weighted imaging, DWI) – неинвазивный метод, основанный на измерении направления диффузии молекул воды в волокнах; трактография представляет собой различные методы 3D-реконструкции трактов на основе полученных данных. Результаты диффузионно-взвешенной МРТ согласуются с данными ИОК (полнота 81% [129]) и позволяют оценить риск послеоперационных нарушений речи [124, 130]. Выявление индивидуальной локализации трактов (в том числе их смещения патологическими тканями) и их возможного поражения (например, в случае распространения по тракту глиомы) позволяет нейрохирургу определить степень радикальности резекции патологических тканей [131]. Наличие неизменных трактов повышает, а смещение или вовлеченность трактов в патологический процесс снижает вероятность тотальной резекции [131]. Показано, что учет данных трактографии позволяет снизить выраженность послеоперационных нарушений речи [132, 133].

### Заключение

Неинвазивное функциональное картирование речи методом функциональной МРТ играет все большую роль в подготовке пациентов перед нейрохирургическими операциями, поскольку демонстрирует значительную точность и полноту данных при определении латерализации речевых зон и эффективно сокращает внутриоперационное картирование за счет предварительного описания их локализации. Проведенный обзор литературы показывает, что развитие этой области определяется несколькими факторами. Во-первых, за последнее десятилетие существенным образом изменились и уточнились научные представления

о мозговой организации речи, и в области фМРТ-картирования речи начался соответствующий переход от локализации отдельных функционально значимых зон к описанию всей речевой сети и ее характеристик. Такому продвижению способствует дополнение методик фМРТ, связанной с задачей, данными фМРТ покоя, а также других нейровизуализационных модальностей, прежде всего трактографии. Во-вторых, расширяется и оттачивается арсенал используемых речевых задач, причем особое внимание уделяется разработке методик, доступных пациентам с выраженным речевым и когнитивным дефицитом, а также адаптивному индивидуальному подбору проб. Наконец, совершенствуются технические и статистические методы, призванные уменьшить субъективность специалистов при обработке данных и интерпретации результатов фМРТ. Все это позволяет надеяться на существенный прогресс и рост достоверности данных фМРТ-картирования речевых функций в ближайшие годы.

### Участие авторов

Печенкова Е.В. – концепция исследования, поиск и анализ литературных источников, написание, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Паникратова Я.Р. – поиск и анализ литературных источников, написание, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Мершина Е.А. – редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Власова Р.М. – концепция исследования, поиск и анализ литературных источников, написание, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

### Authors' participation

Pechenkova E.V. – concept of the study, collection and analysis of the literature, text writing, preparation and editing, approval of the final version of the article.

Panikratova Ya.R. – collection and analysis of the literature, text writing, preparation and editing, approval of the final version of the article.

Mershina E.A. – text editing, approval of the final version of the article.

Vlasova R.M. – concept of the study, collection and analysis of the literature, text writing, preparation and editing, approval of the final version of the article.

\* Используется термин “диффузионно-взвешенные изображения”, а не более привычный “диффузионно-тензорные”, поскольку на данный момент для реконструкции трактов, кроме тензорной, применяются и более сложные модели диффузии, например, метод ограниченной сферической деконволюции (constrained spherical deconvolution) и функция распределения ориентации диффузии (diffusion orientation distribution function).



## Список литературы

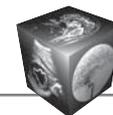
1. Fedorenko E., Kanwisher N. Neuroimaging of Language: Why Hasn't a Clearer Picture Emerged? *Language and Linguistics Compass*. 2009; 3 (4): 839–865. <https://doi.org/10.1111/j.1749-818X.2009.00143.x>
2. Ojemann G. A. Individual variability in cortical localization of language. *J. Neurosurg.* 1979; 50 (2): 164–169. <https://doi.org/10.3171/jns.1979.50.2.0164>
3. Ding J. R., Zhu F., Hua B. et al. Presurgical localization and spatial shift of resting state networks in patients with brain metastases. *Brain Imaging Behav.* 2019; 13 (2): 408–420. <https://doi.org/10.1007/s11682-018-9864-6>
4. Szelenyi A., Bello L., Duffau H. et al. Intraoperative electrical stimulation in awake craniotomy: methodological aspects of current practice. *Neurosurg. Focus.* 2010; 28 (2): E7. <https://doi.org/10.3171/2009.12.FOCUS09237>
5. 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; 3 (4): 4–25
6. Ritaccio A. L., Brunner P., Schalk G. Electrical Stimulation Mapping of the Brain: Basic Principles and Emerging Alternatives. *J. Clin. Neurophysiol.* 2018; 35 (2): 86–97. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000440>
7. Szelenyi A., Senft C., Jordan M. et al. Intra-operative subcortical electrical stimulation: a comparison of two methods. *Clin. Neurophysiol.* 2011; 122 (7): 1470–1475. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.12.055>
8. Tate M.C., Guo L., McEvoy J., Chang E.F. Safety and efficacy of motor mapping utilizing short pulse train direct cortical stimulation. *Stereotact Funct. Neurosurg.* 2013; 91 (6): 379–385. <https://doi.org/10.1159/000350020>
9. Riva M., Fava E., Gallucci M. et al. Monopolar high-frequency language mapping: can it help in the surgical management of gliomas? A comparative clinical study. *J. Neurosurg.* 2016; 124 (5): 1479–1489. <https://doi.org/10.3171/2015.4.JNS14333>
10. Verst S.M., de Aguiar P.H.P., Joaquim M.A.S. et al. Monopolar 250-500Hz language mapping: Results of 41 patients. *Clin. Neurophysiol. Pract.* 2019; 4: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2018.11.002>
11. Kim P.E., Singh M. Functional magnetic resonance imaging for brain mapping in neurosurgery. *Neurosurg. Focus.* 2003; 15 (1): E1. <https://doi.org/10.3171/foc.2003.15.1.1>
12. Papanicolaou A.C., Wheless J.W., Babajani-Feremi A. et al. Letter re: Practice guideline summary: Use of fMRI in the presurgical evaluation of patients with epilepsy: Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology.* 2017; 89 (6): 640. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000004204>
13. Бакулин И.С., Пойдашева А.Г., Медынцева А.А., Супонева Н.А., Пирадов М.А. Транскраниальная магнитная стимуляция в когнитивной нейронауке: методологические основы и безопасность. *Российский журнал когнитивной науки.* 2020; 7 (3): 25–44. <https://doi.org/10.47010/20.3.2>
14. Bowyer S.M., Zillgitt A., Greenwald M., Lajiness-O'Neill R. Language Mapping With Magnetoencephalography: An Update on the Current State of Clinical Research and Practice With Considerations for Clinical Practice Guidelines. *J. Clin. Neurophysiol.* 2020; 37 (6): 554–563. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000489>
15. Grummich P., Nimsky C., Pauli E. et al. Combining fMRI and MEG increases the reliability of presurgical language localization: a clinical study on the difference between and congruence of both modalities. *Neuroimage.* 2006; 32 (4): 1793–803. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.05.034>
16. Najib U., Bashir S., Edwards D., Rotenberg A., Pascual-Leone A. Transcranial brain stimulation: clinical applications and future directions. *Neurosurg. Clin. N. Am.* 2011; 22 (2): 233–251, ix. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2011.01.002>
17. Papanicolaou A.C., Rezaie R., Narayana S. et al. Is it time to replace the Wada test and put awake craniotomy to sleep? *Epilepsia.* 2014; 55 (5): 629–632. <https://doi.org/10.1111/epi.12569>
18. Benjamin C.F.A., Li A.X., Blumenfeld H. et al. Presurgical language fMRI: Clinical practices and patient outcomes in epilepsy surgical planning. *Hum. Brain Mapp.* 2018; 39 (7): 2777–2785. <https://doi.org/10.1002/hbm.24039>
19. Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н., Кротенкова М.В. Функциональная магнитно-резонансная томография. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2011; 5 (1): 30–34
20. Терновой С.К., Сеницын В.Е., Морозов С.П. Применение функциональной магнитно-резонансной томографии в нейрохирургии опухолей головного мозга. *Медицинская визуализация.* 2002; (2): 5–10
21. Власова Р.М., Печенкова Е.В., Сеницын В.Е., Степанян М.А. Сочетание функциональной магнитно-резонансной томографии и нейропсихологического обследования при предоперационной диагностике в нейрохирургии опухолей головного мозга. *Кубанский научный медицинский вестник.* 2010; (6): 38–43
22. Токарев А.С., Степанов В.Н., Шатохина Ю.И., Чувилин С.А., Шалумов А.З. Применение функциональной магнитно-резонансной томографии головного мозга в нейрохирургии. *Нейрохирургия.* 2017; 2: 3–10.
23. Дмитриев А. Ю., Дашьян В. Г. Флуоресцеин натрия и индоцианин зеленый в нейроонкологии и хирургии артериовенозных мальформаций головного мозга. Обзор литературы. *Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии.* 2021; (8): 614–627. <https://doi.org/10.33920/med-01-2108-04>
24. Geschwind N. Language and the brain. *Sci. Am.* 1972; 226 (4): 76–83. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican.0472-76>
25. Anderson J.M., Gilmore R., Roper S. et al. Conduction aphasia and the arcuate fasciculus: A reexamination of the Wernicke-Geschwind model. *Brain Lang.* 1999; 70 (1): 1–12. <https://doi.org/10.1006/brln.1999.2135>
26. Catani M., Jones D.K., Ffytche D.H. Perisylvian language networks of the human brain. *Ann Neurol.* 2005; 57 (1): 8–16. <https://doi.org/10.1002/ana.20319>
27. Tremblay P., Dick A.S. Broca and Wernicke are dead, or moving past the classic model of language neurobiology. *Brain Lang.* 2016; 162: 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2016.08.004>
28. Mazoyer B., Zago L., Jobard G. et al. Gaussian mixture modeling of hemispheric lateralization for language in a large sample of healthy individuals balanced for handedness. *PLoS One.* 2014; 9 (6): e101165. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101165>
29. Kundu B., Rolston J.D., Grandhi R. Mapping language dominance through the lens of the Wada test. *Neurosurg. Focus.* 2019; 47 (3): E5. <https://doi.org/10.3171/2019.6.FOCUS19346>
30. Partovi S., Jacobi B., Rapps N. et al. Clinical standardized fMRI reveals altered language lateralization in patients



- with brain tumor. *Am. J. Neuroradiol.* 2012; 33 (11): 2151–2157. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A3137>
31. Li Q., Dong J.W., Del Ferraro G. et al. Functional Translocation of Broca's Area in a Low-Grade Left Frontal Glioma: Graph Theory Reveals the Novel, Adaptive Network Connectivity. *Front Neurol.* 2019; 10: 702. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00702>
  32. Kuchukhidze G., Siedentopf C., Unterberger I. et al. Language Dominance in Patients With Malformations of Cortical Development and Epilepsy. *Front Neurol.* 2019; 10: 1209. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.01209>
  33. Hickok G., Poeppel D. The cortical organization of speech processing. *Nat. Rev. Neurosci.* 2007; 8 (5): 393–402. <https://doi.org/10.1038/nrn2113>
  34. Yuan D., Luo D., Kwok V.P.Y. et al. Myeloarchitectonic Asymmetries of Language Regions in the Human Brain. *Cereb. Cortex.* 2021; 31 (9): 4169–4179. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhab076>
  35. Bradshaw A.R., Bishop D.V.M., Woodhead Z.V.J. Methodological considerations in assessment of language lateralisation with fMRI: a systematic review. *Peer J.* 2017; 5: e3557. <https://doi.org/10.7717/peerj.3557>
  36. Tailby C., Abbott D.F., Jackson G.D. The diminishing dominance of the dominant hemisphere: Language fMRI in focal epilepsy. *Neuroimage Clin.* 2017; 14: 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2017.01.011>
  37. Polczynska M., Japardi K., Curtiss S. et al. Improving language mapping in clinical fMRI through assessment of grammar. *Neuroimage Clin.* 2017; 15: 415–427. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2017.05.021>
  38. Walenski M., Europa E., Caplan D., Thompson C.K. Neural networks for sentence comprehension and production: An ALE-based meta-analysis of neuroimaging studies. *Hum. Brain Mapp.* 2019; 40 (8): 2275–2304. <https://doi.org/10.1002/hbm.24523>
  39. Middlebrooks E.H., Yagmurlu K., Szaflarski J.P. et al. A contemporary framework of language processing in the human brain in the context of preoperative and intraoperative language mapping. *Neuroradiology.* 2017; 59 (1): 69–87. <https://doi.org/10.1007/s00234-016-1772-0>
  40. Benjamin C.F., Walshaw P.D., Hale K. et al. Presurgical language fMRI: Mapping of six critical regions. *Hum. Brain Mapp.* 2017; 38 (8): 4239–4255. <https://doi.org/10.1002/hbm.23661>
  41. Lopez-Barroso D., Catani M., Ripolles P. et al. Word learning is mediated by the left arcuate fasciculus. *Proc. Natl. Acad. Sci U S A.* 2013; 110 (32): 13168–13173. <https://doi.org/10.1073/pnas.1301696110>
  42. Hickok G., Poeppel D. Neural Basis of Speech Perception. In: *Neurobiology of Language* / G. Hickok, S.L. Small (eds). Elsevier, 2016: 299–310.
  43. Hickok G. The cortical organization of speech processing: feedback control and predictive coding the context of a dual-stream model. *J. Commun. Disord.* 2012; 45 (6): 393–402. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2012.06.004>
  44. Duffau H., Moritz-Gasser S., Mandonnet E. A re-examination of neural basis of language processing: proposal of a dynamic hodotopical model from data provided by brain stimulation mapping during picture naming. *Brain Lang.* 2014; 131: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2013.05.011>
  45. Ахутина Т.В. Модель порождения речи Леонтьева–Рябовой: 1967–2005. В кн.: Психология, лингвистика и междисциплинарные связи / Под ред. Т.В. Ахутиной, Д.А. Леонтьева. М.: Смысл, 2008: 79–104.
  46. Alemi R., Batouli S.A.H., Behzad E. et al. Not single brain areas but a network is involved in language: Applications in presurgical planning. *Clin. Neurol. Neurosurg.* 2018; 165: 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2018.01.009>
  47. Unadkat P., Fumagalli L., Rigolo L. et al. Functional MRI Task Comparison for Language Mapping in Neurosurgical Patients. *J. Neuroimaging.* 2019; 29 (3): 348–356. <https://doi.org/10.1111/jon.12597>
  48. Barnett A., Marty-Dugas J., McAndrews M.P. Advantages of sentence-level fMRI language tasks in presurgical language mapping for temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Behav.* 2014; 32: 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2014.01.010>
  49. Genetti M., Tyrand R., Grouiller F. et al. Comparison of high gamma electrocorticography and fMRI with electrocortical stimulation for localization of somatosensory and language cortex. *Clin. Neurophysiol.* 2015; 126 (1): 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.04.007>
  50. Babajani-Feremi A., Narayana S., Rezaie R. et al. Language mapping using high gamma electrocorticography, fMRI, and TMS versus electrocortical stimulation. *Clin. Neurophysiol.* 2016; 127 (3): 1822–1836. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.11.017>
  51. Weng H.H., Noll K.R., Johnson J.M. et al. Accuracy of Presurgical Functional MR Imaging for Language Mapping of Brain Tumors: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Radiology.* 2018; 286 (2): 512–523. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017162971>
  52. Kundu B., Penwarden A., Wood J.M. et al. Association of functional magnetic resonance imaging indices with postoperative language outcomes in patients with primary brain tumors. *Neurosurg. Focus.* 2013; 34 (4): E6. <https://doi.org/10.3171/2013.2.FOCUS12413>
  53. Mellerio C., Charron S., Lion S. et al. Perioperative functional neuroimaging of gliomas in eloquent brain areas. *Neurochirurgie.* 2017; 63 (3): 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2016.10.012>
  54. Polczynska M.M. Organizing Variables Affecting fMRI Estimates of Language Dominance in Patients with Brain Tumors. *Brain Sci.* 2021; 11 (6). <https://doi.org/10.3390/brainsci11060694>
  55. FitzGerald D.B., Cosgrove G.R., Ronner S. et al. Location of Language in the Cortex: A Comparison between Functional MR Imaging and Electrocortical Stimulation. *Am. J. Neuroradiol.* 1997; 18 (8): 1529–1539.
  56. Roux F.E., Boulanouar K., Lotterie J.A. et al. Language functional magnetic resonance imaging in preoperative assessment of language areas: correlation with direct cortical stimulation. *Neurosurgery.* 2003; 52 (6): 1335–1345; discussion 1345–1347. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000064803.05077.40>
  57. Austermuehle A., Cocjin J., Reynolds R. et al. Language functional MRI and direct cortical stimulation in epilepsy preoperative planning. *Ann. Neurol.* 2017; 81 (4): 526–537. <https://doi.org/10.1002/ana.24899>
  58. Bizzi A., Blasi V., Falini A. et al. Presurgical functional MR imaging of language and motor functions: validation with intraoperative electrocortical mapping. *Radiology.* 2008; 248 (2): 579–589. <https://doi.org/10.1148/radiol.2482071214>
  59. Lu J.F., Zhang H., Wu J.S. et al. “Awake” intraoperative functional MRI (ai-fMRI) for mapping the eloquent cortex: Is it possible in awake craniotomy? *Neuroimage Clin.* 2012; 2: 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2012.12.002>
  60. Nadkarni T.N., Andreoli M.J., Nair V.A. et al. Usage of fMRI for pre-surgical planning in brain tumor and vascular lesion patients: task and statistical threshold effects



- on language lateralization. *Neuroimage Clin.* 2015; 7: 415–423. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2014.12.014>
61. Auer T., Schweizer R., Frahm J. An iterative two-threshold analysis for single-subject functional MRI of the human brain. *Eur. Radiol.* 2011; 21 (11): 2369–2387. <https://doi.org/10.1007/s00330-011-2184-5>
62. Mendez Orellana C., Visch-Brink E., Vernooij M. et al. Crossed cerebrotocerebellar language lateralization: an additional diagnostic feature for assessing atypical language representation in presurgical functional MR imaging. *Am. J. Neuroradiol.* 2015; 36 (3): 518–524. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A4147>
63. Loddenkemper T., Morris H.H., Moddel G. Complications during the Wada test. *Epilepsy Behav.* 2008; 13 (3): 551–553. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2008.05.014>
64. Dym R.J., Burns J., Freeman K., Lipton M.L. Is functional MR imaging assessment of hemispheric language dominance as good as the Wada test?: a meta-analysis. *Radiology.* 2011; 261 (2): 446–455. <https://doi.org/10.1148/radiol.11101344>
65. Wang A., Peters T.M., de Ribaupierre S., Mirsattari S.M. Functional magnetic resonance imaging for language mapping in temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Res. Treat.* 2012; 2012: 198183. <https://doi.org/10.1155/2012/198183>
66. Bauer P.R., Reitsma J.B., Houweling B.M. et al. Can fMRI safely replace the Wada test for preoperative assessment of language lateralisation? A meta-analysis and systematic review. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 2014; 85 (5): 581–588. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2013-305659>
67. Janecek J.K., Swanson S.J., Sabsevitz D.S. et al. Language lateralization by fMRI and Wada testing in 229 patients with epilepsy: rates and predictors of discordance. *Epilepsia.* 2013; 54 (2): 314–322. <https://doi.org/10.1111/epi.12068>
68. Szafarski J.P., Gloss D., Binder J.R. et al. Practice guideline summary: Use of fMRI in the presurgical evaluation of patients with epilepsy: Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology.* 2017; 88 (4): 395–402. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000003532>
69. Sanjuan A., Forn C., Ventura-Campos N. et al. The sentence verification task: a reliable fMRI protocol for mapping receptive language in individual subjects. *Eur. Radiol.* 2010; 20 (10): 2432–2438. <https://doi.org/10.1007/s00330-010-1814-7>
70. Sanjuan A., Bustamante J.C., Forn C. et al. Comparison of two fMRI tasks for the evaluation of the expressive language function. *Neuroradiology.* 2010; 52 (5): 407–415. <https://doi.org/10.1007/s00234-010-0667-8>
71. de Guibert C., Maumet C., Ferre J.C. et al. fMRI language mapping in children: a panel of language tasks using visual and auditory stimulation without reading or metalinguistic requirements. *Neuroimage.* 2010; 51 (2): 897–909. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.02.054>
72. Mahdavi A., Houshmand S., Oghabian M.A. et al. Developing optimized fMRI protocol for clinical use: comparison of different language paradigms. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2011; 34 (2): 413–419. <https://doi.org/10.1002/jmri.22604>
73. Zaca D., Nickerson J.P., Deib G., Pillai J.J. Effectiveness of four different clinical fMRI paradigms for preoperative regional determination of language lateralization in patients with brain tumors. *Neuroradiology.* 2012; 54 (9): 1015–1025. <https://doi.org/10.1007/s00234-012-1056-2>
74. Chang Y.A., Javadi S.S., Bahrami N. et al. Mapping lexical-semantic networks and determining hemispheric language dominance: Do task design, sex, age, and language performance make a difference? *Brain Lang.* 2018; 179: 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2018.02.005>
75. Mohtasib R.S., Alghamdi J.S., Baz S.M. et al. Developing fMRI protocol for clinical use. Comparison of 6 Arabic paradigms for brain language mapping in native Arabic speakers. *Neurosciences (Riyadh).* 2021; 26 (1): 45–55. <https://doi.org/10.17712/nsj.2021.1.20200012>
76. Black D.F., Vachha B., Mian A. et al. American Society of Functional Neuroradiology-Recommended fMRI Paradigm Algorithms for Presurgical Language Assessment. *Am. J. Neuroradiol.* 2017; 38 (10): E65–E73. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5345>
77. Omisade A., O'Grady C.B., Schmidt M.H., Fisk J.D. Visual and Auditory fMRI Paradigms for Presurgical Language Mapping: Convergent Validity and Relationship to Individual Variables. *Neurol. Res. Int.* 2019; 2019: 6728120. <https://doi.org/10.1155/2019/6728120>
78. Ramsey N.F., Sommer I.E., Rutten G.J., Kahn R.S. Combined analysis of language tasks in fMRI improves assessment of hemispheric dominance for language functions in individual subjects. *Neuroimage.* 2001; 13 (4): 719–733. <https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0722>
79. Литвинова Л.Д., Печенкова Е.В., Власова Р.М., Березуцкая Ю.Н., Сеницын В.Е. Локализация зон, связанных с восприятием речи: сопоставление трех проб для фМРТ на материале русского языка. Международный симпозиум по нейроимиджингу: фундаментальные исследования и клиническая практика. М.: МГППУ, 2012: 76–79.
80. Rumshiskaya A.D., Vlasova R., Litvinova L. et al. Combined analysis of two tasks improves localization of Wernicke's area in patients with primary brain tumors. European Congress of Radiology (ECR). Vienna, Austria, 2014. <https://doi.org/10.1594/ecr2014/C-1232>
81. Bradshaw A.R., Thompson P.A., Wilson A.C. et al. Measuring language lateralisation with different language tasks: a systematic review. *PeerJ.* 2017; 5: e3929. <https://doi.org/10.7717/peerj.3929>
82. Partovi S., Konrad F., Karimi S. et al. Effects of covert and overt paradigms in clinical language fMRI. *Acad. Radiol.* 2012; 19 (5): 518–525. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2011.12.017>
83. Croft L.J., Rankin P.M., Liegeois F. et al. To speak, or not to speak? The feasibility of imaging overt speech in children with epilepsy. *Epilepsy Res.* 2013; 107 (1–2): 195–199. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2013.08.008>
84. Wilson S.M., Bautista A., Yen M. et al. Validity and reliability of four language mapping paradigms. *Neuroimage Clin.* 2017; 16: 399–408. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2016.03.015>
85. Berro D.H., Lemee J.M., Leiber L.M. et al. Overt speech feasibility using continuous functional magnetic resonance imaging: Isolation of areas involved in phonology and prosody. *J. Neurosci Res.* 2020; 98 (12): 2554–2565. <https://doi.org/10.1002/jnr.24723>
86. Игнатъев Г.А., Власова Р.М., Акинина Ю.С., Завьялова В.В., Ушаков В.Л., Иванова М.В., Драгой О.В. фМРТ-исследование чтения предложений: эффект контрольного условия. Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 16 июня 2015 / Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман. М.: Буки Веди, ИППИП, 2015: 158–164.
87. Price C.J., Devlin J.T., Moore C.J. et al. Meta-analyses of object naming: effect of baseline. *Hum. Brain. Mapp.* 2005; 25 (1): 7082. <https://doi.org/10.1002/hbm.20132>



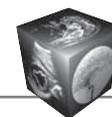
88. Власова Р.М. Мозговые механизмы номинативной функции речи: нейропсихологический и нейровизуализационный подход: Дис. ... канд. психол. наук. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. М., 2013.
89. Karakas S., Baran Z., Ceylan A.O. et al. A comprehensive neuropsychological mapping battery for functional magnetic resonance imaging. *Int. J. Psychophysiol.* 2013; 90 (2): 215–234. <https://doi.org/10.1016/j.jpsycho.2013.07.007>
90. Thakkar I., Arrano-Carrasco L., Cortes-Rivera B. et al. Alternative language paradigms for functional magnetic resonance imaging as presurgical tools for inducing crossed cerebro-cerebellar language activations in brain tumor patients. *Eur. Radiol.* 2021. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08137-9>
91. Mahdavi A., Azar R., Shoar M.H. et al. Functional MRI in clinical practice: Assessment of language and motor for pre-surgical planning. *Neuroradiol J.* 2015; 28 (5): 468–473. <https://doi.org/10.1177/1971400915609343>
92. Gould L., Mickleborough M.J., Wu A. et al. Presurgical language mapping in epilepsy: Using fMRI of reading to identify functional reorganization in a patient with long-standing temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Behav. Case Rep.* 2016; 5: 6–10. <https://doi.org/10.1016/j.ebcr.2015.10.003>
93. Tie Y., Rigolo L., Ozdemir Ovalioglu A. et al. New Paradigm for Individual Subject Language Mapping: Movie-Watching fMRI. *J. Neuroimaging.* 2015; 25 (5): 710–720. <https://doi.org/10.1111/jon.12251>
94. Буклина С.Б., Подопригора А.Е., Пронин И.Н., Болдырева Г.Н., Бондаренко А.А., Пяшина Д.В., Фадеева Л.М., Корниенко В.Н. фМРТ-исследования доминантности полушария по речи у больных с опухолями головного мозга. Международный симпозиум по нейроимиджингу: фундаментальные исследования и клиническая практика. М.: МГППУ, 2012: 52–55.
95. Vlasova R.M., Sinitsyn V.E., Pechenkova E.V. The Effect of Word Frequency on the Brain Correlates of Object Naming in Russian. *The Russian Journal of Cognitive Science.* 2015; 2 (1): 24–40
96. Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н., Кротенкова М.В., Кадыков А.С., Боголепова И.Н., Белопасова А.В. Картирование речевых структур головного мозга у здоровых людей с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии. *Лучевая диагностика и терапия.* 2012; 2 (3): 65–72
97. Коробкова Л.А., Власова Р.М., Сеницын В.Е., Печенкова Е.В. Номинация или артикуляция: фМРТ-исследование. Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 16 июня 2015 г. / Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман. М.: Буки Веди, ИППиП, 2015: 190–196.
98. Драгой О.В., Власова Р.М., Козинцева Е.Г., С.А., Акинина Ю.С., Петрушевский А.Г., Федина О.Н., Гутырчик Е.Ф., Иванова М. В. фМРТ-исследование названия действий при афазии. Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 16 июня 2015 г. / Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман. М.: Буки Веди, ИППиП, 2015: 119–124.
99. Власова Р.М., Печенкова Е.В., Ахутина Т.В., Сеницын В.Е., Ситников А.Р. Называние действий по картинкам: фМРТ-исследование. Международный симпозиум по нейроимиджингу: фундаментальные исследования и клиническая практика. М.: МГППУ, 2012: 58–60.
100. Печенкова Е.В., Власова Р.М., Новикова М.В., Фаликман М.В., Сеницын В.Е. Чтение предложений как активирующее задание для функциональной МРТ головного мозга. *Российский электронный журнал лучевой диагностики.* 2012; 2 (2): 406–407
101. Белопасова А.В., Кадыков А.С., Коновалов Р.Н., Кремнева Е.И. Организация нейрональной речевой системы у здоровых лиц и ее реорганизация у пациентов с постинсультной афазией. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2013; 7 (1): 25–30
102. Власова Р.М., Печенкова Е.В., Ахутина Т.В., Драгой О.В. Структурно-функциональная организация использования глаголов и существительных в зависимости от стратегии их актуализации. *Вопросы психологии.* 2012; 4: 128–138.
103. Большина Т.А., Малютина С.А., Завьялова В.В., Игнатъев Г.А., Власова Р.М., Ушаков В.Л., Иванова М.В., Драгой О.В. Русскоязычная фМРТ-парадигма для локализации речевых зон в мозге. Седьмая международная конференция по когнитивной науке / Под ред. Ю.И. Александрова, К.В. Анохина. Светлогорск: Институт психологии РАН, 2016: 163–164.
104. Купцова С.В., Власова Р.М., Драгой О.В., Иванова М.В., Малютина С.А., Петрушевский А.Г., Федина О.Н., Гутырчик Е.Ф. Особенности реорганизации речевых зон мозга у больных с разными формами афазии. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: лингвистика и межкультурная коммуникация.* 2015; 4: 74–81.
105. Tie Y., Rigolo L., Norton I.H. et al. Defining language networks from resting-state fMRI for surgical planning – a feasibility study. *Hum. Brain Mapp.* 2014; 35 (3): 1018–1030. <https://doi.org/10.1002/hbm.22231>
106. Sair H.I., Agarwal S., Pillai J.J. Application of Resting State Functional MR Imaging to Presurgical Mapping: Language Mapping. *Neuroimaging Clin. N. Am.* 2017; 27 (4): 635–644. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2017.06.003>
107. Rosazza C., Zaca D., Bruzzone M.G. Pre-surgical Brain Mapping: To Rest or Not to Rest? *Front. Neurol.* 2018; 9: 520. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00520>
108. Shirer W.R., Ryali S., Rykhlevskaia E. et al. Decoding subject-driven cognitive states with whole-brain connectivity patterns. *Cereb. Cortex.* 2012; 22 (1): 158–165. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr099>
109. Tanaka N., Stuffelbeam S.M. Presurgical Mapping of the Language Network Using Resting-state Functional Connectivity. *Top. Magn. Reson. Imaging.* 2016; 25 (1): 19–24. <https://doi.org/10.1097/RMR.0000000000000073>
110. Branco P., Seixas D., Deprez S. et al. Resting-State Functional Magnetic Resonance Imaging for Language Preoperative Planning. *Front. Hum. Neurosci.* 2016; 10: 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00011>
111. Sair H.I., Yahyavi-Firouz-Abadi N., Calhoun V.D. et al. Presurgical brain mapping of the language network in patients with brain tumors using resting-state fMRI: Comparison with task fMRI. *Hum. Brain Mapp.* 2016; 37 (3): 913–923. <https://doi.org/10.1002/hbm.23075>
112. Branco P., Seixas D., Castro S.L. Mapping language with resting-state functional magnetic resonance imaging: A study on the functional profile of the language network. *Hum. Brain Mapp.* 2020; 41 (2): 545–560. <https://doi.org/10.1002/hbm.24821>
113. Румшицкая А.Д., Паникратова Я.Р., Маковская Л.А., Власова Р.М., Мершина Е.А., Сеницын В.Е., Печенкова Е.В. Целесообразность использования фМРТ покоя для индивидуального картирования зон головного мозга, связанных с моторными, речевыми и регу-



- лляторными функциями. Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 15 июня 2017 г. / Под ред. Е. В. Печенковой, М. В. Фаликман. М.: Буки Веди, ИППИП, 2017: 311–316.
114. Hsu A.L., Chen H.S., Hou P. et al. Presurgical resting-state functional MRI language mapping with seed selection guided by regional homogeneity. *Magn. Reson. Med.* 2020; 84 (1): 375–383. <https://doi.org/10.1002/mrm.28107>
115. Lemee J.M., Berro D.H., Bernard F. et al. Resting-state functional magnetic resonance imaging versus task-based activity for language mapping and correlation with perioperative cortical mapping. *Brain Behav.* 2019; 9 (10): e01362. <https://doi.org/10.1002/brb3.1362>
116. Park K.Y., Lee J.J., Dierker D. et al. Mapping language function with task-based vs. resting-state functional MRI. *PLoS One.* 2020; 15 (7): e0236423. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236423>
117. Liu H., Stuffelbeam S.M., Sepulcre J. et al. Evidence from intrinsic activity that asymmetry of the human brain is controlled by multiple factors. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2009; 106 (48): 20499–20503. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908073106>
118. Wang D., Buckner R.L., Liu H. Functional specialization in the human brain estimated by intrinsic hemispheric interaction. *J. Neurosci.* 2014; 34 (37): 12341–12352. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0787-14.2014>
119. Rolinski R., You X., Gonzalez-Castillo J. et al. Language lateralization from task-based and resting state functional MRI in patients with epilepsy. *Hum. Brain Mapp.* 2020; 41 (11): 3133–3146. <https://doi.org/10.1002/hbm.25003>
120. Mbwana J.S., You X., Allion A. et al. Functional connectivity hemispheric contrast (FC-HC): A new metric for language mapping. *Neuroimage Clin.* 2021; 30): 102598. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2021.102598>
121. Gohel S., Laino M.E., Rajeev-Kumar G. et al. Resting-State Functional Connectivity of the Middle Frontal Gyrus Can Predict Language Lateralization in Patients with Brain Tumors. *Am. J. Neuroradiol.* 2019; 40 (2): 319–325. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5932>
122. Phillips N.L., Shatil A.S., Go C. et al. Resting-State Functional MRI for Determining Language Lateralization in Children with Drug-Resistant Epilepsy. *Am. J. Neuroradiol.* 2021; 42 (7): 1299–1304. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A7110>
123. DeSalvo M.N., Tanaka N., Douw L. et al. Resting-State Functional MR Imaging for Determining Language Laterality in Intractable Epilepsy. *Radiology.* 2016; 281 (1): 264–269. <https://doi.org/10.1148/radiol.2016141010>
124. Tuncer M.S., Salvati L.F., Grittner U. et al. Towards a tractography-based risk stratification model for language area associated gliomas. *Neuroimage Clin.* 2021; 29: 102541. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2020.102541>
125. Ivanova M.V., Isaev D.Y., Dragoy O.V. et al. Diffusion-tensor imaging of major white matter tracts and their role in language processing in aphasia. *Cortex.* 2016; 85: 165–181. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.019>
126. Baboyan V., Basilakos A., Yourganov G. et al. Isolating the white matter circuitry of the dorsal language stream: Connectome-Symptom Mapping in stroke induced aphasia. *Hum. Brain Mapp.* 2021. <https://doi.org/10.1002/hbm.25647>
127. Duffau H., Herbet G., Moritz-Gasser S. Toward a pluricomponent, multimodal, and dynamic organization of the ventral semantic stream in humans: lessons from stimulation mapping in awake patients. *Front. Syst. Neurosci.* 2013; 7: 44. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00044>
128. Di Cristofori A., Basso G., de Laurentis C. et al. Perspectives on (A)symmetry of Arcuate Fasciculus. A Short Review About Anatomy, Tractography and TMS for Arcuate Fasciculus Reconstruction in Planning Surgery for Gliomas in Language Areas. *Front. Neurol.* 2021; 12: 639822. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.639822>
129. Leclercq D., Duffau H., Delmaire C. et al. Comparison of diffusion tensor imaging tractography of language tracts and intraoperative subcortical stimulations. *J. Neurosurg.* 2010; 112 (3): 503–511. <https://doi.org/10.3171/2009.8.JNS09558>
130. Caverzasi E., Hervey-Jumper S.L., Jordan K.M. et al. Identifying preoperative language tracts and predicting postoperative functional recovery using HARDI q-ball fiber tractography in patients with gliomas. *J. Neurosurg.* 2016; 125 (1): 33–45. <https://doi.org/10.3171/2015.6.JNS142203>
131. Castellano A., Bello L., Michelozzi C. et al. Role of diffusion tensor magnetic resonance tractography in predicting the extent of resection in glioma surgery. *Neuro Oncol.* 2012; 14 (2): 192–202. <https://doi.org/10.1093/neuonc/nor188>
132. Klein A.P., Ulmer J.L., Mueller W.M. et al. DTI for Presurgical Mapping In: Functional Brain Tumor Imaging / Pillai J. – New York: Springer, 2014: 95–109.
133. Farshidfar Z., Faeghi F., Mohseni M. et al. Diffusion tensor tractography in the presurgical assessment of cerebral gliomas. *Neuroradiol. J.* 2014; 27 (1): 75–84. <https://doi.org/10.15274/NRJ-2014-10008>

## References

1. Fedorenko E., Kanwisher N. Neuroimaging of Language: Why Hasn't a Clearer Picture Emerged? *Language and Linguistics Compass.* 2009; 3 (4): 839–865. <https://doi.org/10.1111/j.1749-818X.2009.00143.x>
2. Ojemann G. A. Individual variability in cortical localization of language. *J. Neurosurg.* 1979; 50 (2): 164–169. <https://doi.org/10.3171/jns.1979.50.2.0164>
3. Ding J. R., Zhu F., Hua B. et al. Presurgical localization and spatial shift of resting state networks in patients with brain metastases. *Brain Imaging Behav.* 2019; 13 (2): 408–420. <https://doi.org/10.1007/s11682-018-9864-6>
4. Szelenyi A., Bello L., Duffau H. et al. Intraoperative electrical stimulation in awake craniotomy: methodological aspects of current practice. *Neurosurg. Focus.* 2010; 28 (2): E7. <https://doi.org/10.3171/2009.12.FOCUS09237>
5. 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; 3 (4): 4–25
6. Ritaccio A. L., Brunner P., Schalk G. Electrical Stimulation Mapping of the Brain: Basic Principles and Emerging Alternatives. *J. Clin. Neurophysiol.* 2018; 35 (2): 86–97. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000440>
7. Szelenyi A., Senft C., Jardan M. et al. Intra-operative subcortical electrical stimulation: a comparison of two methods. *Clin. Neurophysiol.* 2011; 122 (7): 1470–1475. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.12.055>
8. Tate M.C., Guo L., McEvoy J., Chang E.F. Safety and efficacy of motor mapping utilizing short pulse train direct cortical stimulation. *Stereotact Funct. Neurosurg.* 2013; 91 (6): 379–385. <https://doi.org/10.1159/000350020>
9. Riva M., Fava E., Gallucci M. et al. Monopolar high-frequency language mapping: can it help in the surgical management of gliomas? A comparative clinical study.



- J. Neurosurg.* 2016; 124 (5): 1479–1489. <https://doi.org/10.3171/2015.4.JNS14333>
10. Verst S.M., de Aguiar P.H.P., Joaquim M.A.S. et al. Monopolar 250-500Hz language mapping: Results of 41 patients. *Clin. Neurophysiol. Pract.* 2019; 4: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2018.11.002>
  11. Kim P.E., Singh M. Functional magnetic resonance imaging for brain mapping in neurosurgery. *Neurosurg. Focus.* 2003; 15 (1): E1. <https://doi.org/10.3171/foc.2003.15.1.1>
  12. Papanicolaou A.C., Wheless J.W., Babajani-Feremi A. et al. Letter re: Practice guideline summary: Use of fMRI in the presurgical evaluation of patients with epilepsy: Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology.* 2017; 89 (6): 640. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000004204>
  13. Bakulin I.S., Poydasheva A.G., Medyntsev A.A., Suponeva N.A., Piradov M.A. Transcranial magnetic stimulation in cognitive neuroscience: Methodological basis and safety. *The Russian Journal of Cognitive Science.* 2020. 7 (3): 25–44. <https://doi.org/10.47010/20.3.2>. (In Russian)
  14. Bowyer S.M., Zillgitt A., Greenwald M., Lajiness-O'Neill R. Language Mapping With Magnetoencephalography: An Update on the Current State of Clinical Research and Practice With Considerations for Clinical Practice Guidelines. *J. Clin. Neurophysiol.* 2020; 37 (6): 554–563. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000489>
  15. Grummich P., Nimsky C., Pauli E. et al. Combining fMRI and MEG increases the reliability of presurgical language localization: a clinical study on the difference between and congruence of both modalities. *Neuroimage.* 2006; 32 (4): 1793–803. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.05.034>
  16. Najib U., Bashir S., Edwards D., Rotenberg A., Pascual-Leone A. Transcranial brain stimulation: clinical applications and future directions. *Neurosurg. Clin. N. Am.* 2011; 22 (2): 233–251, ix. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2011.01.002>
  17. Papanicolaou A.C., Rezaie R., Narayana S. et al. Is it time to replace the Wada test and put awake craniotomy to sleep? *Epilepsia.* 2014; 55 (5): 629–632. <https://doi.org/10.1111/epi.12569>
  18. Benjamin C.F.A., Li A.X., Blumenfeld H. et al. Presurgical language fMRI: Clinical practices and patient outcomes in epilepsy surgical planning. *Hum. Brain Mapp.* 2018; 39 (7): 2777–2785. <https://doi.org/10.1002/hbm.24039>
  19. Kremneva E.I., Konovalov R.N., Krotenkova M.V. Functional Magnetic Resonance Imaging. *Annaly Klinicheskoy i Experimental'noy Nevrologii = Annals of Clinical and Experimental Neurology.* 2011; 5 (1): 30–34. (In Russian)
  20. Ternovoy S.K., Sinityn V.E., Morozov S.P. Application of Functional MRI in Neurosurgery of Cerebral Tumors. *Medicinskaja vizualizacija = Medical Visualization.* 2002; 2: 5–10. (In Russian)
  21. Vlasova R.M., Pechenkova E.V., Sinityn V.E., Stepanyan M.A. Conjoint Use of Functional Magnetic Resonance Imaging and Neuropsychological Assessment in Neurosurgery of Brain Tumors: Presurgical Diagnostics. *Kubanskii nauchnyi meditsinskii vestnik = Kuban Scientific Medical Bulletin.* 2010; (6): 38–43. (In Russian)
  22. Tokarev A.S., Stepanov V.N., Shatokhina Yu.I., Chuvilin S.A., Shalumov A.Z. The usage of functional magnetic resonance imaging of brain in neurosurgery. *Russian Journal of Neurosurgery.* 2017; (2): 3–10. (In Russian)
  23. Dmitriev A.Yu., Dashyan V.G. Sodium Fluorescein and Indocyanine Green in Neuro-Oncology and Surgery of Brain Arteriovenous Malformations. Review. *Vestnik nevrologii, psixiatrii i neyrohirurgii = Bulletin of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery.* 2021; 8: 614–627. <https://doi.org/10.33920/med-01-2108-04> (In Russian)
  24. Geschwind N. Language and the brain. *Sci. Am.* 1972; 226 (4): 76–83. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican.0472-76>
  25. Anderson J.M., Gilmore R., Roper S. et al. Conduction aphasia and the arcuate fasciculus: A reexamination of the Wernicke-Geschwind model. *Brain Lang.* 1999; 70 (1): 1–12. <https://doi.org/10.1006/brln.1999.2135>
  26. Catani M., Jones D.K., Ffytche D.H. Perisylvian language networks of the human brain. *Ann Neurol.* 2005; 57 (1): 8–16. <https://doi.org/10.1002/ana.20319>
  27. Tremblay P., Dick A.S. Broca and Wernicke are dead, or moving past the classic model of language neurobiology. *Brain Lang.* 2016; 162: 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2016.08.004>
  28. Mazoyer B., Zago L., Jobard G. et al. Gaussian mixture modeling of hemispheric lateralization for language in a large sample of healthy individuals balanced for handedness. *PLoS One.* 2014; 9 (6): e101165. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101165>
  29. Kundu B., Rolston J.D., Grandhi R. Mapping language dominance through the lens of the Wada test. *Neurosurg. Focus.* 2019; 47 (3): E5. <https://doi.org/10.3171/2019.6.FOCUS19346>
  30. Partovi S., Jacobi B., Rapps N. et al. Clinical standardized fMRI reveals altered language lateralization in patients with brain tumor. *Am. J. Neuroradiol.* 2012; 33 (11): 2151–2157. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A3137>
  31. Li Q., Dong J.W., Del Ferraro G. et al. Functional Translocation of Broca's Area in a Low-Grade Left Frontal Glioma: Graph Theory Reveals the Novel, Adaptive Network Connectivity. *Front Neurol.* 2019; 10: 702. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00702>
  32. Kuchukhidze G., Siedentopf C., Unterberger I. et al. Language Dominance in Patients With Malformations of Cortical Development and Epilepsy. *Front Neurol.* 2019; 10: 1209. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.01209>
  33. Hickok G., Poeppel D. The cortical organization of speech processing. *Nat. Rev. Neurosci.* 2007; 8 (5): 393–402. <https://doi.org/10.1038/nrn2113>
  34. Yuan D., Luo D., Kwok V.P.Y. et al. Myeloarchitectonic Asymmetries of Language Regions in the Human Brain. *Cereb. Cortex.* 2021; 31 (9): 4169–4179. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhab076>
  35. Bradshaw A.R., Bishop D.V.M., Woodhead Z.V.J. Methodological considerations in assessment of language lateralisation with fMRI: a systematic review. *Peer J.* 2017; 5: e3557. <https://doi.org/10.7717/peerj.3557>
  36. Tailby C., Abbott D.F., Jackson G.D. The diminishing dominance of the dominant hemisphere: Language fMRI in focal epilepsy. *Neuroimage Clin.* 2017; 14: 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2017.01.011>
  37. Polczynska M., Japardi K., Curtiss S. et al. Improving language mapping in clinical fMRI through assessment of grammar. *Neuroimage Clin.* 2017; 15: 415–427. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2017.05.021>
  38. Walenski M., Europa E., Caplan D., Thompson C.K. Neural networks for sentence comprehension and production: An ALE-based meta-analysis of neuroimaging studies. *Hum. Brain Mapp.* 2019; 40 (8): 2275–2304. <https://doi.org/10.1002/hbm.24523>



39. Middlebrooks E.H., Yagmurlu K., Szaflarski J.P. et al. A contemporary framework of language processing in the human brain in the context of preoperative and intraoperative language mapping. *Neuroradiology*. 2017; 59 (1): 69–87. <https://doi.org/10.1007/s00234-016-1772-0>
40. Benjamin C.F., Walshaw P.D., Hale K. et al. Presurgical language fMRI: Mapping of six critical regions. *Hum. Brain Mapp*. 2017; 38 (8): 4239–4255. <https://doi.org/10.1002/hbm.23661>
41. Lopez-Barroso D., Catani M., Rিপলles P. et al. Word learning is mediated by the left arcuate fasciculus. *Proc. Natl. Acad. Sci U S A*. 2013; 110 (32): 13168–13173. <https://doi.org/10.1073/pnas.1301696110>
42. Hickok G., Poeppel D. Neural Basis of Speech Perception. In: *Neurobiology of Language* / G. Hickok, S.L. Small (eds). Elsevier, 2016: 299–310.
43. Hickok G. The cortical organization of speech processing: feedback control and predictive coding the context of a dual-stream model. *J. Commun. Disord*. 2012; 45 (6): 393–402. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2012.06.004>
44. Duffau H., Moritz-Gasser S., Mandonnet E. A re-examination of neural basis of language processing: proposal of a dynamic hodotopical model from data provided by brain stimulation mapping during picture naming. *Brain Lang*. 2014; 131: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2013.05.011>
45. Akhutina T.V. The Model of Language Production by Leontiev and Ryabova: 1967–2005. In: *Psichologija, lingvistika i mezhdisciplinarnye svjazi = Psychology, Linguistics and Interdisciplinary Linkages* / T.V. Akhutina, D.A. Leontiev (eds). Moscow: Smysl, 2008: 79–104. (In Russian)
46. Alemi R., Batouli S.A.H., Behzad E. et al. Not single brain areas but a network is involved in language: Applications in presurgical planning. *Clin. Neurol. Neurosurg*. 2018; 165: 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2018.01.009>
47. Unadkat P., Fumagalli L., Rigolo L. et al. Functional MRI Task Comparison for Language Mapping in Neurosurgical Patients. *J. Neuroimaging*. 2019; 29 (3): 348–356. <https://doi.org/10.1111/jon.12597>
48. Barnett A., Marty-Dugas J., McAndrews M.P. Advantages of sentence-level fMRI language tasks in presurgical language mapping for temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Behav*. 2014; 32: 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2014.01.010>
49. Genetti M., Tyrand R., Grouiller F. et al. Comparison of high gamma electrocorticography and fMRI with electrocortical stimulation for localization of somatosensory and language cortex. *Clin. Neurophysiol*. 2015; 126 (1): 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.04.007>
50. Babajani-Feremi A., Narayana S., Rezaie R. et al. Language mapping using high gamma electrocorticography, fMRI, and TMS versus electrocortical stimulation. *Clin. Neurophysiol*. 2016; 127 (3): 1822–1836. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.11.017>
51. Weng H.H., Noll K.R., Johnson J.M. et al. Accuracy of Presurgical Functional MR Imaging for Language Mapping of Brain Tumors: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Radiology*. 2018; 286 (2): 512–523. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017162971>
52. Kundu B., Penwarden A., Wood J.M. et al. Association of functional magnetic resonance imaging indices with postoperative language outcomes in patients with primary brain tumors. *Neurosurg. Focus*. 2013; 34 (4): E6. <https://doi.org/10.3171/2013.2.FOCUS12413>
53. Mellerio C., Charron S., Lion S. et al. Perioperative functional neuroimaging of gliomas in eloquent brain areas. *Neurochirurgie*. 2017; 63 (3): 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2016.10.012>
54. Polczynska M.M. Organizing Variables Affecting fMRI Estimates of Language Dominance in Patients with Brain Tumors. *Brain Sci*. 2021; 11 (6). <https://doi.org/10.3390/brainsci11060694>
55. FitzGerald D.B., Cosgrove G.R., Ronner S. et al. Location of Language in the Cortex: A Comparison between Functional MR Imaging and Electrocortical Stimulation. *Am. J. Neuroradiol*. 1997; 18 (8): 1529–1539.
56. Roux F.E., Boulanouar K., Lotterie J.A. et al. Language functional magnetic resonance imaging in preoperative assessment of language areas: correlation with direct cortical stimulation. *Neurosurgery*. 2003; 52 (6): 1335–1345; discussion 1345–1347. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000064803.05077.40>
57. Austermuehle A., Cocjin J., Reynolds R. et al. Language functional MRI and direct cortical stimulation in epilepsy preoperative planning. *Ann. Neurol*. 2017; 81 (4): 526–537. <https://doi.org/10.1002/ana.24899>
58. Bizzi A., Blasi V., Falini A. et al. Presurgical functional MR imaging of language and motor functions: validation with intraoperative electrocortical mapping. *Radiology*. 2008; 248 (2): 579–589. <https://doi.org/10.1148/radiol.2482071214>
59. Lu J.F., Zhang H., Wu J.S. et al. “Awake” intraoperative functional MRI (ai-fMRI) for mapping the eloquent cortex: Is it possible in awake craniotomy? *Neuroimage Clin*. 2012; 2: 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2012.12.002>
60. Nadkarni T.N., Andreoli M.J., Nair V.A. et al. Usage of fMRI for pre-surgical planning in brain tumor and vascular lesion patients: task and statistical threshold effects on language lateralization. *Neuroimage Clin*. 2015; 7: 415–423. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2014.12.014>
61. Auer T., Schweizer R., Frahm J. An iterative two-threshold analysis for single-subject functional MRI of the human brain. *Eur. Radiol*. 2011; 21 (11): 2369–2387. <https://doi.org/10.1007/s00330-011-2184-5>
62. Mendez Orellana C., Visch-Brink E., Vernooij M. et al. Crossed cerebrotocerebellar language lateralization: an additional diagnostic feature for assessing atypical language representation in presurgical functional MR imaging. *Am. J. Neuroradiol*. 2015; 36 (3): 518–524. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A4147>
63. Loddenkemper T., Morris H.H., Moddel G. Complications during the Wada test. *Epilepsy Behav*. 2008; 13 (3): 551–553. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2008.05.014>
64. Dym R.J., Burns J., Freeman K., Lipton M.L. Is functional MR imaging assessment of hemispheric language dominance as good as the Wada test?: a meta-analysis. *Radiology*. 2011; 261 (2): 446–455. <https://doi.org/10.1148/radiol.11101344>
65. Wang A., Peters T.M., de Ribaupierre S., Mirsattari S.M. Functional magnetic resonance imaging for language mapping in temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Res. Treat*. 2012; 2012: 198183. <https://doi.org/10.1155/2012/198183>
66. Bauer P.R., Reitsma J.B., Houweling B.M. et al. Can fMRI safely replace the Wada test for preoperative assessment of language lateralisation? A meta-analysis and systematic review. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 2014; 85 (5): 581–588. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2013-305659>
67. Janecek J.K., Swanson S.J., Sabsevitz D.S. et al. Language lateralization by fMRI and Wada testing in 229 patients with epilepsy: rates and predictors of discordance.



- Epilepsia*. 2013; 54 (2): 314–322.  
<https://doi.org/10.1111/epi.12068>
68. Szaflarski J.P., Gloss D., Binder J.R. et al. Practice guideline summary: Use of fMRI in the presurgical evaluation of patients with epilepsy: Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*. 2017; 88 (4): 395–402.  
<https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000003532>
  69. Sanjuan A., Forn C., Ventura-Campos N. et al. The sentence verification task: a reliable fMRI protocol for mapping receptive language in individual subjects. *Eur. Radiol.* 2010; 20 (10): 2432–2438.  
<https://doi.org/10.1007/s00330-010-1814-7>
  70. Sanjuan A., Bustamante J.C., Forn C. et al. Comparison of two fMRI tasks for the evaluation of the expressive language function. *Neuroradiology*. 2010; 52 (5): 407–415. <https://doi.org/10.1007/s00234-010-0667-8>
  71. de Guibert C., Maumet C., Ferre J.C. et al. fMRI language mapping in children: a panel of language tasks using visual and auditory stimulation without reading or metalinguistic requirements. *Neuroimage*. 2010; 51 (2): 897–909.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.02.054>
  72. Mahdavi A., Houshmand S., Oghabian M.A. et al. Developing optimized fMRI protocol for clinical use: comparison of different language paradigms. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2011; 34 (2): 413–419.  
<https://doi.org/10.1002/jmri.22604>
  73. Zaca D., Nickerson J.P., Deib G., Pillai J.J. Effectiveness of four different clinical fMRI paradigms for preoperative regional determination of language lateralization in patients with brain tumors. *Neuroradiology*. 2012; 54 (9): 1015–1025. <https://doi.org/10.1007/s00234-012-1056-2>
  74. Chang Y.A., Javadi S.S., Bahrami N. et al. Mapping lexical-semantic networks and determining hemispheric language dominance: Do task design, sex, age, and language performance make a difference? *Brain Lang*. 2018; 179: 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2018.02.005>
  75. Mohtasib R.S., Alghamdi J.S., Baz S.M. et al. Developing fMRI protocol for clinical use. Comparison of 6 Arabic paradigms for brain language mapping in native Arabic speakers. *Neurosciences (Riyadh)*. 2021; 26 (1): 45–55.  
<https://doi.org/10.17712/nsj.2021.1.20200012>
  76. Black D.F., Vachha B., Mian A. et al. American Society of Functional Neuroradiology-Recommended fMRI Paradigm Algorithms for Presurgical Language Assessment. *Am. J. Neuroradiol.* 2017; 38 (10): E65–E73.  
<https://doi.org/10.3174/ajnr.A5345>
  77. Omisade A., O'Grady C.B., Schmidt M.H., Fisk J.D. Visual and Auditory fMRI Paradigms for Presurgical Language Mapping: Convergent Validity and Relationship to Individual Variables. *Neurol. Res. Int.* 2019; 2019: 6728120. <https://doi.org/10.1155/2019/6728120>
  78. Ramsey N.F., Sommer I.E., Rutten G.J., Kahn R.S. Combined analysis of language tasks in fMRI improves assessment of hemispheric dominance for language functions in individual subjects. *Neuroimage*. 2001; 13 (4): 719–733. <https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0722>
  79. Litvinova L.D., Pechenkova E.V., Vlasova R.M., Bereztskaya Yu.N., Sinityn V.E. Brain Mapping of Speech Perception: Comparison of Three fMRI Tasks in Russian. International Symposium on Functional Neuroimaging. Moscow: Moscow State University of Psychology & Education, 2012: 76–79. (In Russian)
  80. Rumshiskaya A.D., Vlasova R., Litvinova L. et al. Combined analysis of two tasks improves localization of Wernicke's area in patients with primary brain tumors. European Congress of Radiology (ECR). Vienna, Austria, 2014.  
<https://doi.org/10.1594/ecr2014/C-1232>
  81. Bradshaw A.R., Thompson P.A., Wilson A.C. et al. Measuring language lateralisation with different language tasks: a systematic review. *PeerJ*. 2017; 5: e3929.  
<https://doi.org/10.7717/peerj.3929>
  82. Partovi S., Konrad F., Karimi S. et al. Effects of covert and overt paradigms in clinical language fMRI. *Acad. Radiol.* 2012; 19 (5): 518–525.  
<https://doi.org/10.1016/j.acra.2011.12.017>
  83. Croft L.J., Rankin P.M., Liegeois F. et al. To speak, or not to speak? The feasibility of imaging overt speech in children with epilepsy. *Epilepsy Res.* 2013; 107 (1–2): 195–199.  
<https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2013.08.008>
  84. Wilson S.M., Bautista A., Yen M. et al. Validity and reliability of four language mapping paradigms. *Neuroimage Clin.* 2017; 16: 399–408.  
<https://doi.org/10.1016/j.nicl.2016.03.015>
  85. Berro D.H., Lemee J.M., Leiber L.M. et al. Overt speech feasibility using continuous functional magnetic resonance imaging: Isolation of areas involved in phonology and prosody. *J. Neurosci Res.* 2020; 98 (12): 2554–2565. <https://doi.org/10.1002/jnr.24723>
  86. Ignatyev G.A., Vlasova R.M., Akinina Y.S., Zavyalova V.V., Ushakov V.L., Ivanova M.V., Dragoy O.V. An fMRI Study of Sentence Reading: The Effect of Control Condition. Cognitive Science in Moscow: New Research. Conference proceedings / E.V. Pechenkova, M.V. Falikman (eds). Moscow: Buki Vedi, Institute of Practical Psychology and Psychoanalysis, 2015: 158–164. (In Russian)
  87. Price C.J., Devlin J.T., Moore C.J. et al. Meta-analyses of object naming: effect of baseline. *Hum. Brain. Mapp.* 2005; 25 (1): 7082.  
<https://doi.org/10.1002/hbm.20132>
  88. Vlasova R.M. Brain Mechanisms of Language Nominative Function: Neuropsychological and Neuroimaging approach: PhD thesis. Lomonosov Moscow State University. Moscow, 2013. (In Russian)
  89. Karakas S., Baran Z., Ceylan A.O. et al. A comprehensive neuropsychological mapping battery for functional magnetic resonance imaging. *Int. J. Psychophysiol.* 2013; 90 (2): 215–234.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.07.007>
  90. Thakkar I., Arrano-Carrasco L., Cortes-Rivera B. et al. Alternative language paradigms for functional magnetic resonance imaging as presurgical tools for inducing crossed cerebro-cerebellar language activations in brain tumor patients. *Eur. Radiol.* 2021. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08137-9>
  91. Mahdavi A., Azar R., Shoar M.H. et al. Functional MRI in clinical practice: Assessment of language and motor for pre-surgical planning. *Neuroradiol J.* 2015; 28 (5): 468–473. <https://doi.org/10.1177/1971400915609343>
  92. Gould L., Mickleborough M.J., Wu A. et al. Presurgical language mapping in epilepsy: Using fMRI of reading to identify functional reorganization in a patient with long-standing temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Behav. Case Rep.* 2016; 5: 6–10.  
<https://doi.org/10.1016/j.ebcr.2015.10.003>
  93. Tie Y., Rigolo L., Ozdemir Ovalioglu A. et al. New Paradigm for Individual Subject Language Mapping: Movie-Watching fMRI. *J. Neuroimaging*. 2015; 25 (5): 710–720.  
<https://doi.org/10.1111/jon.12251>
  94. Buklina S.B., Podoprigora A.E., Pronin I.N., Boldyreva G.N., Bondarenko A.A., Pjashina D. V., Fadeeva L.M., Kornienko V.N. fMRI Studies of Language Hemisphere Dominance in Patients with Brain Tumors. International



- Symposium on Functional Neuroimaging. Moscow: Moscow State University of Psychology & Education, 2012: 52–55. (In Russian)
95. Vlasova R.M., Sinitsyn V.E., Pechenkova E.V. The Effect of Word Frequency on the Brain Correlates of Object Naming in Russian. *The Russian Journal of Cognitive Science*. 2015; 2 (1): 24–40
96. Kremneva E.I., Konovalov R.N., Krotenkova M.V., Kadykov A.S., Bogolepova I.N., Belopasova A.V. Functional Magnetic Resonance Mapping of Language Cortex in Healthy Subjects. *Lučevaja diagnostika i terapija = Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2012; 2 (3): 65–72. (In Russian)
97. Korobkova L.A., Vlasova R.M., Sinitsyn V.E., Pechenkova E.V. Nomination and articulation: fMRI research. Cognitive Science in Moscow: New Research. Conference proceedings / E.V. Pechenkova, M.V. Falikman (eds). Moscow: Buki Vedi, Institute of Practical Psychology and Psychoanalysis, 2015: 190–196. (In Russian)
98. Dragoy O.V., Vlasova R.M., Kozintseva E.G., Maljutina S.A., Akinina Yu.S., Petrushevsky A.G., Fedina O.N., Gutyrcik E.F., Ivanova M.V. fMRI Study of Action Naming in Aphasia. Cognitive Science in Moscow: New Research. Conference proceedings / E.V. Pechenkova, M.V. Falikman (eds). Moscow: Buki Vedi, Institute of Practical Psychology and Psychoanalysis, 2015: 119–124. (In Russian)
99. Vlasova R.M., Pechenkova E.V., Akhutina T.V., Sinitsyn V.E., Sitnikov A.R. Action Naming Based on Pictures: an fMRI study. International Symposium on Functional Neuroimaging. Moscow: Moscow State University of Psychology & Education, 2012: 58–60. (In Russian)
100. Pechenkova E.V., Vlasova R.M., Novikova M.V., Falikman M.V., Sinitsyn V.E. Reading sentences as activation task for functional MRI. *Rossijskij jelektronnyj zhurnal lučevoj diagnostiki = Russian Electronic Journal of Radiology*. 2012; 2 (2): 406–407. (In Russian)
101. Belopasova A.V., Kadykov A.S., Konovalov R.N., Kremneva E.I. Organization of Language Network in Healthy Subjects and Its Reorganization in Patients with Poststroke Aphasia. *Annaly Klinicheskoyi Experimental'noy Nevrologii = Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2013; 7 (1): 25–30. (In Russian)
102. Vlasova R.M., Pechenkova E.V., Akhutina T.V., Sinitsyn V.E. Structural-Functional Organization of Usage of Verbs and Nouns Depending on Strategy of Their Actualization. *Voprosy Psichologii*. 2012; 4: 128–138. (In Russian)
103. Bolgina T.A., Maljutina S.A., Zavyalova V.V., Ignatiev G.A., Vlasova R.M., Ushakov V.L., Ivanova M.V., Dragoy O.V. Russian-language fMRI paradigm for localization of language brain areas. VIIIth International Conference on Cognitive Science / Yu. I. Alexandrov, K. V. Anokhin (eds). Svetlogorsk: Psychological Institute of Russian Academy of Sciences, 2016: 163–164. (In Russian)
104. Kuptsova S.V., Vlasova R.M., Dragoy O.V., Ivanova M.V., Maljutina S.A., Petrushevskiy A.G., Fedina O.N., Gutyrcik E.F. Reorganization of Language Brain Areas in Patients with Different Aphasia Types. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: lingvistika i mezhkul'turnaja kommunikacija = Proceedings of Voronezh State University. Series: Linguistics and Intercultural Communication*. 2015; 4: 74–81. (In Russian)
105. Tie Y., Rigolo L., Norton I.H. et al. Defining language networks from resting-state fMRI for surgical planning – a feasibility study. *Hum. Brain Mapp*. 2014; 35 (3): 1018–1030. <https://doi.org/10.1002/hbm.22231>
106. Sair H.I., Agarwal S., Pillai J.J. Application of Resting State Functional MR Imaging to Presurgical Mapping: Language Mapping. *Neuroimaging Clin. N. Am*. 2017; 27 (4): 635–644. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2017.06.003>
107. Rosazza C., Zaca D., Bruzzone M.G. Pre-surgical Brain Mapping: To Rest or Not to Rest? *Front. Neurol*. 2018; 9: 520. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00520>
108. Shirer W.R., Ryali S., Rykhlevskaia E. et al. Decoding subject-driven cognitive states with whole-brain connectivity patterns. *Cereb. Cortex*. 2012; 22 (1): 158–165. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr099>
109. Tanaka N., Stufflebeam S.M. Presurgical Mapping of the Language Network Using Resting-state Functional Connectivity. *Top. Magn. Reson. Imaging*. 2016; 25 (1): 19–24. <https://doi.org/10.1097/RMR.0000000000000073>
110. Branco P., Seixas D., Deprez S. et al. Resting-State Functional Magnetic Resonance Imaging for Language Preoperative Planning. *Front. Hum. Neurosci*. 2016; 10: 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00011>
111. Sair H.I., Yahyavi-Firouz-Abadi N., Calhoun V.D. et al. Presurgical brain mapping of the language network in patients with brain tumors using resting-state fMRI: Comparison with task fMRI. *Hum. Brain Mapp*. 2016; 37 (3): 913–923. <https://doi.org/10.1002/hbm.23075>
112. Branco P., Seixas D., Castro S.L. Mapping language with resting-state functional magnetic resonance imaging: A study on the functional profile of the language network. *Hum. Brain Mapp*. 2020; 41 (2): 545–560. <https://doi.org/10.1002/hbm.24821>
113. Rumshiskaya A.D., Panikratova Ya.R., Makovskaya L.A., Vlasova R.M., Mershina E.A., Sinitsyn V.E., Pechenkova E.V. Scope and Limitations of Using Resting State fMRI for Individual Brain Mapping of Motor, Speech and Executive Functions. Cognitive Science in Moscow: New Research. Conference proceedings. / E.V. Pechenkova, M.V. Falikman (eds). Moscow: Buki Vedi, Institute of Practical Psychology and Psychoanalysis, 2017: 311–316. (In Russian)
114. Hsu A.L., Chen H.S., Hou P. et al. Presurgical resting-state functional MRI language mapping with seed selection guided by regional homogeneity. *Magn. Reson. Med*. 2020; 84 (1): 375–383. <https://doi.org/10.1002/mrm.28107>
115. Lemee J.M., Berro D.H., Bernard F. et al. Resting-state functional magnetic resonance imaging versus task-based activity for language mapping and correlation with perioperative cortical mapping. *Brain Behav*. 2019; 9 (10): e01362. <https://doi.org/10.1002/brb3.1362>
116. Park K.Y., Lee J.J., Dierker D. et al. Mapping language function with task-based vs. resting-state functional MRI. *PLoS One*. 2020; 15 (7): e0236423. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236423>
117. Liu H., Stufflebeam S.M., Sepulcre J. et al. Evidence from intrinsic activity that asymmetry of the human brain is controlled by multiple factors. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A*. 2009; 106 (48): 20499–20503. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908073106>
118. Wang D., Buckner R.L., Liu H. Functional specialization in the human brain estimated by intrinsic hemispheric interaction. *J. Neurosci*. 2014; 34 (37): 12341–12352. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0787-14.2014>
119. Rolinski R., You X., Gonzalez-Castillo J. et al. Language lateralization from task-based and resting state functional MRI in patients with epilepsy. *Hum. Brain Mapp*. 2020; 41 (11): 3133–3146. <https://doi.org/10.1002/hbm.25003>
120. Mbwana J.S., You X., Ailion A. et al. Functional connectivity hemispheric contrast (FC-HC): A new metric for language mapping. *Neuroimage Clin*. 2021; 30): 102598. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2021.102598>



121. Gohel S., Laino M.E., Rajeev-Kumar G. et al. Resting-State Functional Connectivity of the Middle Frontal Gyrus Can Predict Language Lateralization in Patients with Brain Tumors. *Am. J. Neuroradiol.* 2019; 40 (2): 319–325. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5932>
122. Phillips N.L., Shatil A.S., Go C. et al. Resting-State Functional MRI for Determining Language Lateralization in Children with Drug-Resistant Epilepsy. *Am. J. Neuroradiol.* 2021; 42 (7): 1299–1304. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A7110>
123. DeSalvo M.N., Tanaka N., Douw L. et al. Resting-State Functional MR Imaging for Determining Language Laterality in Intractable Epilepsy. *Radiology.* 2016; 281 (1): 264–269. <https://doi.org/10.1148/radiol.2016141010>
124. Tuncer M.S., Salvati L.F., Grittner U. et al. Towards a tractography-based risk stratification model for language area associated gliomas. *Neuroimage Clin.* 2021; 29: 102541. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2020.102541>
125. Ivanova M.V., Isaev D.Y., Dragoy O.V. et al. Diffusion-tensor imaging of major white matter tracts and their role in language processing in aphasia. *Cortex.* 2016; 85: 165–181. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.019>
126. Baboyan V., Basilakos A., Yourganov G. et al. Isolating the white matter circuitry of the dorsal language stream: Connectome-Symptom Mapping in stroke induced aphasia. *Hum. Brain Mapp.* 2021. <https://doi.org/10.1002/hbm.25647>
127. Duffau H., Herbet G., Moritz-Gasser S. Toward a pluricomponent, multimodal, and dynamic organization of the ventral semantic stream in humans: lessons from stimulation mapping in awake patients. *Front. Syst. Neurosci.* 2013; 7: 44. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00044>
128. Di Cristofori A., Basso G., de Laurentis C. et al. Perspectives on (A)symmetry of Arcuate Fasciculus. A Short Review About Anatomy, Tractography and TMS for Arcuate Fasciculus Reconstruction in Planning Surgery for Gliomas in Language Areas. *Front. Neurol.* 2021; 12: 639822. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.639822>
129. Leclercq D., Duffau H., Delmaire C. et al. Comparison of diffusion tensor imaging tractography of language tracts and intraoperative subcortical stimulations. *J. Neurosurg.* 2010; 112 (3): 503–511. <https://doi.org/10.3171/2009.8.JNS09558>
130. Caverzasi E., Hervey-Jumper S.L., Jordan K.M. et al. Identifying preoperative language tracts and predicting postoperative functional recovery using HARDI q-ball fiber tractography in patients with gliomas. *J. Neurosurg.* 2016; 125 (1): 33–45. <https://doi.org/10.3171/2015.6.JNS142203>
131. Castellano A., Bello L., Michelozzi C. et al. Role of diffusion tensor magnetic resonance tractography in predicting the extent of resection in glioma surgery. *Neuro Oncol.* 2012; 14 (2): 192–202. <https://doi.org/10.1093/neuonc/nor188>
132. Klein A.P., Ulmer J.L., Mueller W.M. et al. DTI for Presurgical Mapping In: Functional Brain Tumor Imaging / Pillai J. – New York: Springer, 2014: 95–109.
133. Farshidfar Z., Faeghi F., Mohseni M. et al. Diffusion tensor tractography in the presurgical assessment of cerebral gliomas. *Neuroradiol. J.* 2014; 27 (1): 75–84. <https://doi.org/10.15274/NRJ-2014-10008>

**Для корреспонденции\***: Печенкова Екатерина Васильевна – 101000 Москва, Армянский пер., д. 4, стр. 2. Тел.: +7-916-359-21-92. E-mail: [evpech@gmail.com](mailto:evpech@gmail.com)

**Печенкова Екатерина Васильевна** – канд. психол. наук, ведущий научный сотрудник Научно-учебной лаборатории когнитивных исследований НИУ “Высшая школа экономики”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3409-3703>

**Паникратова Яна Романовна** – младший научный сотрудник лаборатории нейровизуализации и мультимодального анализа ФГБНУ “Научный центр психического здоровья”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5698-4251>

**Мершина Елена Александровна** – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии МГУ имени М.В. Ломоносова, заведующая отделением рентгенодиагностики с кабинетами МРТ и КТ МНОЦ МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1266-4926>

**Власова Роза Михайловна** – канд. психол. наук, постдокторант, Департамент психиатрии, Университет Северной Каролины в Чапел-Хилле, США. <https://orcid.org/0000-0002-6455-8949>

**Contact\***: Ekaterina V. Pechenkova – 4-2, Armyansky per., Moscow, 101000, Russian Federation. Phone: +7-916-359-21-92. E-mail: [evpech@gmail.com](mailto:evpech@gmail.com)

**Ekaterina V. Pechenkova** – Cand. of Sci. (Psychology), Leading Research Fellow, Laboratory of Cognitive Research, HSE University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3409-3703>

**Yana R. Panikratova** – Research Scientist, Laboratory of Neuroimaging and Multimodal Analysis, Mental Health Research Center, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5698-4251>

**Elena A. Mershina** – Cand. of Sci. (Med.), Head of CT and MRI Unit at Radiology Department, Lomonosov Moscow State University Medical Research and Educational Center, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1266-4926>.

**Roza M. Vlasova** – Cand. of Sci. (Psychology), Postdoctoral Fellow, Department of Psychiatry, University of North Carolina at Chapel Hill, USA. <https://orcid.org/0000-0002-6455-8949>