

Особенности картирования различных отделов аркуатного тракта у пациентов с глиомами левого полушария головного мозга: анализ 23 операций с пробуждением

Контакты:
Вадим Юрьевич
Жуков
vjukov@nsi.ru

В.Ю. Жуков¹, С.А. Горяйнов^{1,2}, С.Б. Буклина^{1,3}, Р.О. Афандиев¹, А.А. Огурцова¹, Г.Л. Кобяков¹,
С.А. Маряшев¹, А.Ю. Лубнин¹

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко»
Минздрава России; Россия, 125047 Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, 16;

²ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»; Россия, 236016 Калининград, ул. Александра
Невского, 14;

³ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова»
Минздрава России; Россия, 117997 Москва, ул. Островитянова, 1

Введение. Краниотомия в сознании – современный метод нейрохирургических операций, позволяющий сохранять речевые функции при стремлении к резекции максимального объема опухоли. Длительное время при операциях с пробуждением основное значение придавали электростимуляции только корковых зон речи. На сегодняшний день картирование длинных ассоциативных трактов во время удаления глиом доминантного по речи полушария головного мозга стало необходимым условием для сохранения речевых функций.

Цель исследования – анализ результатов интраоперационной электростимуляции аркуатного тракта в сопоставлении с данными магнитно-резонансной трактографии (МР-трактографии), а также речевых нарушений до и после операции у оперированных по методике краниотомии в сознании больных с глиомами левого полушария головного мозга, прилегающими к аркуатному тракту.

Материалы и методы. Операции с интраоперационным пробуждением проведены у 23 пациентов в возрасте от 19 до 67 лет (средний возраст – 41 год) с глиомами левого полушария головного мозга. Опухоль локализовалась в лобной доле у 11 пациентов, в височной доле – у 8, в теменной доле – у 4 пациентов. Распределение глиом по степени злокачественности было следующим: Grade 2–7, Grade 3–12, Grade 4–4. У всех пациентов на фоне пробуждения была проведена кортикальная электрофизиологическая стимуляция с целью контроля локализации корковых речевых зон и субкортикальная – для выявления аркуатного пучка. Речевые нарушения до и после операции оценивались нейропсихологом по методике Лурия, интраоперационно дополнительно использовали автоматизированный тест с называнием картинок. Средняя сила тока при прямой субкортикальной электростимуляции составила 4 мА. МР-трактография с построением аркуатного тракта и волюметрии посредством магнитно-резонансной томографии (МРТ) выполнены во всех 23 случаях до и после операции.

Результаты. Во время интраоперационной электростимуляции зона Брока выявлена у 8 из 11 пациентов с опухолями лобной доли, корковые височные речевые зоны – у 5 из 8 пациентов с опухолями височной доли. У 16 (70 %) из 23 пациентов картирован аркуатный тракт в виде появления смешанных речевых нарушений в глубине операционной раны лобной, теменной и височной долей. У 17 (75 %) из 23 пациентов в раннем послеоперационном периоде отмечено ухудшение функций речи: у 13 из них имело место сочетание лобного и височного типов нарушений речи (проводниковая афазия, возникшая из-за операции вблизи от аркуатного тракта). При послеоперационной МР-трактографии, выполненной 23 пациентам, в 3 (13 %) случаях выявлено прямое интраоперационное повреждение тракта, в 2 (9 %) случаях – ишемия в области его прохождения. По данным МРТ-волюметрии тотальная резекция выполнена в 8 случаях, субтотальная – в 9, парциальная – в 6 случаях.

Заключение. Во время операций с пробуждением при расположении опухоли в левом полушарии головного мозга важно картировать аркуатный пучок в глубинных отделах лобной, височной или теменной долей. При субкортикальной электростимуляции дугообразный пучок удалось выявить в 70 % случаев; по данным послеоперационной МР-трактографии анатомическая целостность дугообразного пучка была нарушена в 22 % случаев (прямое повреждение или ишемия). Ухудшение речевых функций после операции зафиксировано у 75 % пациентов. В раннем послеоперационном периоде основной причиной ухудшения речевых функций, связанных с аркуатным трактом, является его функциональная недостаточность, а не анатомическое повреждение. Указанные речевые нарушения регрессируют у подавляющего большинства пациентов (85 %) через 3–6 мес.

Ключевые слова: картирование аркуатного тракта, глиома, операция с пробуждением, афазия, речевое нарушение

Для цитирования: Жуков В.Ю., Горайнов С.А., Буклина С.Б. и др. Особенности картирования различных отделов аркуатного тракта у пациентов с глиомами левого полушария головного мозга: анализ 23 операций с пробуждением. Нейрохирургия 2025;27(3):58–68.

DOI: <https://doi.org/10.63769/1683-3295-2025-27-3-58-68>

Features of various parts of the arcuate fasciculus mapping in patients with left hemisphere gliomas: analysis of 23 awake brain surgeries

V.Yu. Zhukov¹, S.A. Goryainov^{1,2}, S.B. Buklina^{1,3}, R.O. Afandiyev¹, A.A. Ogurtsova¹, G.L. Kobayakov¹, S.A. Maryshev¹, A.Yu. Lubnin¹

¹N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Health of Russia; 16 4th Tverskaya-Yamskaya St., Moscow 125047, Russia;

²Emmanuel Kant Baltic Federal University; 14 Aleksandra Nevskogo St., Kaliningrad 236016, Russia;

³N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Ministry of Health of Russia; 1 Ostrovityanova St., Moscow 117997, Russia

Contacts: Vadim Yurievich Zhukov vjukov@nsi.ru

Background. Awake craniotomy is a modern technique of neurosurgical operations allowing to preserve speech while trying to achieve maximal tumor resection. For a long time, during awake surgeries the main importance was assigned to electrostimulation of the language centers. Currently, the mapping of the long association tracts during resection of gliomas of the speech-dominant hemisphere is the necessary requirement for speech preservation.

Aim. To analyze the results of intraoperative electrostimulation of the arcuate fasciculus in comparison with magnetic resonance tractography data (MR tractography), as well as speech disorders before and after surgical interventions in patients with left hemisphere gliomas adjacent to the arcuate fasciculus who underwent awake craniotomy.

Materials and methods. Awake surgeries were performed in 23 patients aged between 19 and 67 years old (mean age 41) with left hemisphere gliomas. Tumor was located in the frontal lobe in 11 patients, in the temporal lobe – in 8 patients, in the parietal lobe – in 4 patients. The malignancy grade was the following: Grade 2–7 patients, Grade 3–12 and Grade 4–4 patients. In all patients, the cortical electrophysiological stimulation to control localization of the cortical language centers and subcortical electrophysiological stimulation for identification of the arcuate fasciculus were performed during awakening. Speech disorders before and after surgery were evaluated by a neuropsychologist using the Luria method; intraoperatively, automated test with picture naming was additionally used. The mean current intensity during direct subcortical electrostimulation was 4 mA. MR tractography with reconstruction of the arcuate fasciculus and volumetry using magnetic resonance imaging (MRI) were performed in all 23 cases before and after surgery.

Results. During intraoperative electrostimulation, Broca's area was identified in 8 of 11 patients with frontal lobe tumors, cortical temporal speech areas were identified in 5 of 8 patients with temporal lobe tumors. In 16 (70 %) of 23 patients, the arcuate fasciculus was mapped in the form of mixed speech abnormalities in the depth of operative wound in the frontal, parietal and temporal lobes. In 17 (75 %) of 23 patients, worsening the speech function was observed in the early postoperative period: in 13 of them a combination of frontal and temporal types of speech disorders (conduction aphasia caused by the surgery near the arcuate fasciculus) was observed. The postoperative MR tractography performed in 23 patients showed the direct intraoperative injury of the arcuate fasciculus in 3 (13 %) cases and adjacent ischemia – in 2 (9 %) cases. The MR volumetry showed total tumor resection in 8 cases, subtotal – in 9 cases, and partial – in 6 cases.

Conclusion. During awake surgeries for left hemisphere tumors, it is important to map the arcuate fasciculus in the deep parts of the frontal, temporal and parietal lobes. The subcortical stimulation allowed to identify the arcuate fasciculus in 70 % of presented cases; the MR tractography showed the damage of the anatomical integrity of the arcuate fasciculus in 22 % of cases (direct injury or ischemia). Worsened speech function after surgery was observed in 75 % of patients. In the early postoperative period, the main cause of worsened speech function related to the arcuate fasciculus is its functional insufficiency but not an anatomical damage. These speech disorders regress in the majority of patients (85 %) in 3–6 months after surgery.

Keywords: arcuate fasciculus mapping, glioma, awake surgery, aphasia, speech disorder

For citation: Zhukov V.Yu., Goryainov S.A., Buklina S.B. et al. Features of various parts of the arcuate fasciculus mapping in patients with left hemisphere gliomas: analysis of 23 awake brain surgeries. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2025;27(3):58–68.

DOI: <https://doi.org/10.63769/1683-3295-2025-27-3-58-68>

ВВЕДЕНИЕ

Глиомы являются наиболее часто встречающимися первичными опухолями центральной нервной системы, составляя >80 % от их общего числа. Результаты

большинства исследований показывают, что увеличение объема резекции глиом приводит к снижению числа рецидивов и увеличению продолжительности жизни [1]. При расположении опухоли вблизи от речевых

зон максимальная резекция может вызвать стойкий неврологический дефицит, который значительно снижает качество жизни пациента. Поэтому во время таких операций важно сохранять функцию речевых центров [2].

Современные методы функциональной нейровизуализации, такие как функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) и магнитно-резонансная трактография (МР-трактография), повысили эффективность планирования нейрохирургических операций, в том числе для опухолей, расположенных вблизи от речевых зон. Однако эти методы не обладают абсолютной точностью. Внесение данных предоперационной МР-трактографии в нейронавигационную систему также является ненадежным методом, так как во время операции возникает «смещение мозга». Поэтому «золотым стандартом» картирования речевых зон остается операция с пробуждением [3].

Как известно, глиомы распространяются вдоль волокон белого вещества, в связи с чем во время операций с пробуждением с целью сохранения функций речи необходимо картировать не только корковые центры речи, но и речевые проводящие пути. Следует отметить, что длинные ассоциативные тракты более чувствительны к повреждению, чем корковые речевые центры. Интраоперационное картирование белого вещества проводят с помощью прямой электростимуляции. Однако субкортикальная прямая электростимуляция аркуатного пучка, в отличие от пирамидного тракта, на сегодняшний день изучена недостаточно [4].

Данная работа является продолжением предыдущих исследований группы авторов НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко [5–7] и содержит анализ серии наблюдений, включающей 23 пациента с глиомами высокой и низкой степени злокачественности, расположенными в левом полушарии головного мозга вблизи аркуатного тракта, у которых выполнено как кортикальное, так и субкортикальное картирование, а также проведен анализ интраоперационных и послеоперационных речевых нарушений.

Цель исследования — анализ результатов интраоперационной электростимуляции длинных ассоциативных трактов в сопоставлении с данными до- и послеоперационной МР-трактографии, а также оценка речевых нарушений у больных с прилегающими к аркуатному тракту глиомами левого полушария головного мозга, которые были оперированы по методике краниотомии в сознании.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Критерии включения пациентов в изучаемую группу: наличие МР-трактографии с построением аркуатного тракта до и после операции; расположение опухоли вблизи дугообразного тракта на расстоянии не более 2,0 см или инфильтрация тракта по данным предоперационной МР-трактографии.

Критерии исключения: значительные речевые нарушения до операции (ошибки при назывании >25 % картинок по автоматизированному тесту) и повторные хирургические вмешательства.

Операции с интраоперационным пробуждением проведены у 23 пациентов в возрасте от 19 до 67 лет (средний возраст — 41 год) с глиомами левого полушария головного мозга. Данные о пациентах исследуемой группы приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика пациентов исследуемой группы ($n = 23$)

Table 1. The characteristics of patients in the study group ($n = 23$)

Характеристика Characteristic	Число пациентов, n Number of patients, n
Пол: Sex:	
мужчины men	8
женщины women	19
Локализация опухоли: Tumor localization:	
лобная доля frontal lobe	11
височная доля temporal lobe	8
теменная доля parietal lobe	4
Гистологическая характеристика: Histological characteristics:	
глиомы низкой степени злокачественности: low-grade gliomas:	8
дисэмбриопластическая нейроэпителиальная опухоль dysembryoplastic neuroepithelial tumor	1
диффузная астроцитома diffuse astrocytoma	3
олигодендроглиома oligodendroglioma	4
глиомы высокой степени злокачественности: high-grade gliomas:	15
анапластическая астроцитома anaplastic astrocytoma	5
анапластическая олигодендроглиома anaplastic oligodendroglioma	6
глиобластома glioblastoma	4

У всех пациентов до операции и на 4–6-й день после нее проводили комплексное нейропсихологическое исследование по методу А.Р. Лурия [8]. Этот метод позволяет осуществить детальный качественный анализ выявляемых расстройств, их механизмов, а также устанавливать топическую принадлежность выявленных симптомов. Исследовали разные виды праксиса, качественные особенности речевых функций (в том числе письма и счета), пространственных функций, слуховой и зрительный гнозис, а также мышление.

Особый акцент был сделан на исследовании речевой функции, при этом оценивали спонтанную речь, называние, понимание, повторение, письмо под диктовку. Для оценки словарного запаса и инертности речевых функций проводили тест на беглость речи с называнием в течение 1 мин слов с заданным признаком (красные или зеленые предметы, существительные на букву «К» или «С»). Кроме этого, все больные до и после операции выполняли компьютеризированный naming-тест.

Для интраоперационного мониторинга речи также использовали компьютеризированный тест [9] с называнием существительных или глаголов по представленным простым черно-белым картинкам (всего по 50 картинок, изображающих действия или предметы), а также оценивали автоматизированные ряды (счет от 1 до 10, перечисление месяцев, дней недели). На протяжении всего периода пробуждения на фоне непрерывной субкортикальной электростимуляции во время удаления опухоли осуществлялся свободный диалог с пациентом (ему задавали вопросы об основных этапах его жизни).

Всем пациентам до и после операции были выполнены магнитно-резонансная томография (МРТ) с контрастным усилением и МР-трактография с построением аркуатного тракта. Оценивали взаимоотношение аркуатного тракта и глиомы: интактность, дислокация или инфильтрация волокон. После операции дополнительно оценивали повреждение тракта (разрыв тракта и ишемия в зоне тракта по данным МРТ в режиме диффузно-взвешенных изображений). Всем пациентам до операции проведена фМРТ с определением зон Брока и Вернике.

Хирургическое вмешательство осуществлялось с интраоперационным пробуждением пациентов по протоколу asleep-awake-asleep. У всех 23 пациентов была проведена кортикальная и субкортикальная электрофизиологическая стимуляция с целью контроля локализации функционально значимых структур и уточнения допустимого объема резекции. После вскрытия твердой мозговой оболочки на кору устанавливали 8-контактный электрод для регистрации электрокортикограммы для контроля появления или нарастания эпилептиформной активности вследствие электростимуляции.

Электростимуляцию коры проводили единичными прямоугольными импульсами длительностью 1 мс с частотой подачи стимула 50 Гц (по Пенфилду). Амплитуда стимула в большинстве случаев составляла 4 мА. При наличии у пациента типичных эпилептиформных компонентов по данным электрокортиграфии исходной (до начала стимуляции) силу стимула снижали до 2 мА. При получении отрицательного эффекта при стандартном уровне стимуляции на участке коры, на котором по данным фМРТ предположительно локализовалась речевая зона, выполняли повторное

тестирование. При этом силу стимула увеличивали до 5–6 мА. В качестве стимулирующего зонда использовали стандартный биполярный двухконтактный электрод.

В ходе удаления опухоли проводили непрерывную субкортикальную электростимуляцию с помощью специального кольцевого электрода, соединенного с вакуумным аспиратором. Осуществляли монополярную катодную стимуляцию с теми же техническими параметрами, что и при стимуляции коры. Референтный электрод (анод) располагался в точке Fz. Сила стимула при субкортикальной стимуляции составляла 4 мА. После появления речевых нарушений в ходе динамической монополярной стимуляции дополнительно использовали биполярную стимуляцию для уточнения локализации проводящих путей белого вещества (биполярный зонд, ток от 4 до 8 мА). У 18 пациентов субкортикально использовали монополярную и биполярную стимуляцию, а у 5 пациентов — только биполярную.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования на дооперационном этапе

До оперативного вмешательства у 16 из 23 пациентов речь была в норме. Характер жалоб и когнитивный статус до операции прямо зависели от степени злокачественности опухоли. У больных с глиобластомами выявлена преимущественно негрубая акустико-мнестическая афазия (по А. Р. Лурия) с нарушением называния и слухоречевой памяти; при анапластических глиомах установлено сочетание эпилептических приступов и легких нарушений речи (по типу эфферентной моторной (афазии Брока) и акустико-мнестической афазии), а при глиомах низкой степени злокачественности до операции отмечался эпилептический синдром. Кроме этого, при нейропсихологическом исследовании у большинства пациентов выявлены нарушения слухоречевой памяти разной степени. Все пациенты в исследуемой группе были правшами.

По данным предоперационной фМРТ зона Брока была обнаружена у всех 11 пациентов с опухолью лобной доли; зона Вернике также была выявлена у всех 8 пациентов с опухолью височной доли.

Соотношение аркуатного пучка и опухоли по данным МР-трактографии отражено в табл. 2.

Как видно из табл. 2, при МР-трактографии до операции в 12 случаях тракт был не инфильтрирован, а в 11 случаях — инфильтрирован. В то же время по данным послеоперационной МР-трактографии выявлено 5 случаев повреждения тракта: 3 случая прямого разрыва (микрохирургическим инструментом) и 2 случая — непрямого повреждения (ишемического характера).

При анализе размеров опухоли по данным дооперационной МРТ определено, что в 5 случаях опухоли были до 3 см в диаметре, в 15 случаях — от 3,0 до 6,0 см, в 3 случаях — >6 см.

Таблица 2. Данные магнитно-резонансной трактографии с реконструкцией левого аркуатного тракта до и после операции ($n = 23$)Table 2. The data of magnetic resonance tractography with reconstruction of left arcuate fasciculus before and after surgery ($n = 23$)

Состояние тракта Fasciculus state	До операции, n Before surgery, n	После операции, n After surgery, n
Интактен Intact	6	6
Дислоцирован Dislocated	6	6
Инфильтрирован Infiltrated	8	5
Инфильтрирован + дислоцирован Infiltrated + dislocated	3	1
Поврежден Damaged	0	5

Примечание. Тракт «инфильтрирован» – тракт до операции не простирается, находится в зоне опухоли, но речевых нарушений нет или почти нет; «дислоцирован» – находится по периферии опухоли, деформирован из-за ее роста; «поврежден» – не простирается после операции, находился в зоне опухоли, появились речевые нарушения.

Note. “Infiltrated” fasciculus – prior to surgery the fasciculus can’t be reconstructed, it is located in the area of the tumor, but there are minor or no speech abnormalities; “dislocated” fasciculus – the fasciculus is located at the periphery of the tumor, it is deformed due to tumor growth; “injured” fasciculus – it can’t be reconstructed after surgery, it is located in the area of the tumor, speech abnormalities are arisen.

Исследования во время операции

Опухоли лобной доли. Во время интраоперационной электростимуляции коры зона Брока выявлена у 8 из 11 пациентов с опухолями лобной доли. Ее обнаружение при электростимуляции сопровождалось остановкой речи или персеверациями предыдущих слов при назывании картинок, что было характерно для эфферентной моторной афазии по А.Р. Лурия (афазии Брока). Совпадение зоны Брока, выявленной при фМРТ и прямой стимуляции коры (ПСК), установлено у 7 из 8 больных.

При субкортикальной стимуляции речевые нарушения были схожи с таковыми при афазии Брока (например, персеверации, остановка речи). При этом у 6 пациентов при электростимуляции субкортикальных отделов (на глубине около 2,5 см) установлена акустико-мнестическая афазия (номинативная) – забывание слов, т.е. при стимуляции глубинных задних отделов лобной доли обнаруживали речевые эффекты, очень схожие с таковыми при стимуляции зоны Вернике височной доли (так называемая проводниковая афазия).

Опухоли височной доли. При электростимуляции коры височные речевые зоны выявлены у 5 из 8 больных с опухолями височной доли. Наблюдалась типичная картина речевых нарушений по типу акустико-мнестической афазии [3]. При назывании картинок (чаще – объектов) во время электростимуляции больные забывали слова, пытались описывать функцию предметов на картинках, появлялись литеральные парафазии, иногда отмечались такие негрубые расстройства, как сложности с пониманием инструкций

(пациенты переспрашивали их). Совпадение зоны Вернике, выявленной при фМРТ и ПСК, установлено у 3 из 5 больных.

При субкортикальной стимуляции также отмечались нарушения называния в виде забывания слов и литеральных парафазий. При этом у 4 пациентов при электростимуляции субкортикальных отделов (на глубине около 3,0 см) выявлены моторные нарушения речи. Больные испытывали затруднения с началом произнесения слова, вплоть до остановки речи (как при стимуляции зоны Брока), в легких случаях наблюдались «спотыкания» при назывании и персеверации слов и слогов, некоторые больные начинали «растягивать» слова и говорить их по слогам. Таким образом, при стимуляции глубинных задних отделов височной доли обнаруживали речевые эффекты, очень схожие с таковыми при стимуляции зоны Брока лобной доли (так называемая проводниковая афазия). Топика расположения электрода при этом соответствовала проекции аркуатного тракта, что и было подтверждено данными послеоперационной МР-трактографии у некоторых пациентов.

Опухоли теменной доли. При электростимуляции коры теменной доли речевых нарушений не обнаружено. При субкортикальной электростимуляции речевые нарушения выявлены у всех 4 пациентов с опухолями теменной доли. При этом у 3 пациентов отмечались нарушения речи, характерные для стимуляции зоны Вернике (забывание слов, литеральные парафазии); у 1 пациента – нарушения речи, характерные для стимуляции зоны Брока (нарушение инициации речи). Таким образом, была выявлена проводниковая афазия.

Исследования после оперативного вмешательства

В раннем послеоперационном периоде ухудшение речевых функций установлено у 17 больных: появление новых речевых нарушений — в 13 случаях, нарастание имевшихся нарушений речи — в 4 случаях. При этом у 4 из этих пациентов нарушения речи соответствовали только месту операции — височная (номинативная афазия) при вмешательствах на височной доле, афазия по лобному типу (афазия Брока) — при вмешательствах на лобной доле. Однако у 13 пациентов нарушения речи после операции носили сложный характер, а именно имело место сочетание признаков поражения лобной и височной долей, т.е. акустико-мнестическая афазия сочеталась с отчетливым моторным компонентом нарушения речи или наоборот. У 6 из этих 13 пациентов опухоль была расположена в лобной доле, у 3 — в височной доле и у 4 — в теменной доле.

Из 3 пациентов с опухолью лобной доли с отрицательным картированием зоны Брока при ПСК и «положительной» зоной Брока по данным предоперационной фМРТ речевые нарушения развились у 1 пациента и носили характер проводниковой, а не моторной афазии.

Из 3 пациентов с опухолью височной доли с отрицательным картированием зоны Вернике при ПСК и «положительной» зоной Вернике по данным предоперационной фМРТ речевые нарушения развились у 2 пациентов: у одного появилась только проводниковая афазия, а второго — только сенсорная.

Речевые нарушения были более выраженными и встречались чаще у тех пациентов, у которых по данным предоперационной МР-трактографии отмечалась инфильтрация аркуатного тракта.

Проведенная всем пациентам в первые 48–72 ч после операции МРТ-волюметрия показала, что субтотальная резекция выполнена в 17 наблюдениях, парциальная — в 6 наблюдениях.

Оценка речевых функций через 3–6 месяцев после операции

Катамнез прослеживали только у тех пациентов, у которых после операции наблюдалось ухудшение речевых функций. Из них осмотрено всего 13 пациентов. Полное или значительное восстановление речевых функций выявлено у 10 больных. Перманентные нарушения речи имели место у 3 пациентов. У этих 3 пациентов по данным послеоперационной МР-трактографии выявлено прямое анатомическое повреждение аркуатного тракта. При этом у 2 пациентов с ишемическим повреждением в области аркуатного тракта по результатам послеоперационной МР-трактографии через 6 мес отмечалось полное восстановление речи.

Клинический пример 1. Пациентка С., 32 лет, с анапластической олигодендроглиомой (Grade 3) в левой теменной доле. Из анамнеза: около 2 мес назад возник эпилептический приступ.

Нейропсихологическое исследование до операции: речь и письмо сохранены. Данные МРТ-исследования представлены на рис. 1.

Интраоперационный мониторинг (краниотомия в сознании): в конце резекции опухоли на фоне непрерывной субкортикальной электростимуляции (сила тока 4 мА) при свободном диалоге в теменной доле на глубине около 3 см возникли нарушения речи (забывание и пропуски слов, литеральные парафазии) (см. рис. 1, д: зоны 2, 17, 75).

Нейропсихологический осмотр после операции: у пациентки акустико-мнестическая афазия (забывает названия предметов на картинках — височный тип) в сочетании с лобной моторной афазией (обилие персевераций, в том числе при письме — тотальная аграфия из-за персевераций) — проводниковая афазия при поражении аркуатного тракта, соединяющего функции височной и лобной долей (см. рис. 1, ж).

Через 3 мес после операции речевых нарушений не выявлено.

Клинический пример 2. Пациентка Р., 32 лет, с олигодендроглиомой (Grade 3) в левой височной доле и супрамаргинальной извилине теменной доли. Из анамнеза: стала отмечать, что в последнее время при малейшем отвлечении сразу забывала прочитанное.

Нейропсихологическое исследование до операции: речь и письмо сохранены; наблюдается отчетливое снижение слухоречевой памяти в отсроченном звене. Данные МРТ-исследования представлены на рис. 2.

Интраоперационный мониторинг (краниотомия в сознании): при электростимуляции коры (сила тока 4 мА) кпереди от опухоли в задних отделах верхней височной извилины выявлены литеральные парафазии; в конце резекции опухоли на фоне непрерывной субкортикальной электростимуляции (сила тока 4 мА) при свободном диалоге в задне-верхних отделах височной доли на глубине около 3 см выявлен отчетливый моторный компонент нарушений речи — персеверации слов и слогов, вплоть до полной невозможности начать произнесение слова — остановка речи, как при стимулировании зоны Брока (см. рис. 2, е: зоны G, P). На этом этапе удаление опухоли прекращено.

Нейропсихологический осмотр после операции: у пациентки выявлены черты височной акустико-мнестической афазии (забывала название, но описывала предмет) в сочетании с лобной моторной афазией (обилие персевераций, в том числе и при письме — аграфия, из-за персевераций не смогла написать даже свою фамилию) — проводниковая афазия при поражении аркуатного тракта (см. рис. 2, з, и).

ОБСУЖДЕНИЕ

Современное понимание нейроанатомической основы языковых функций основано на изучении моделей, включающих многие области коры головного мозга (верхнюю и нижнюю лобные извилины, нижнюю теменную долю, верхнюю и среднюю височные

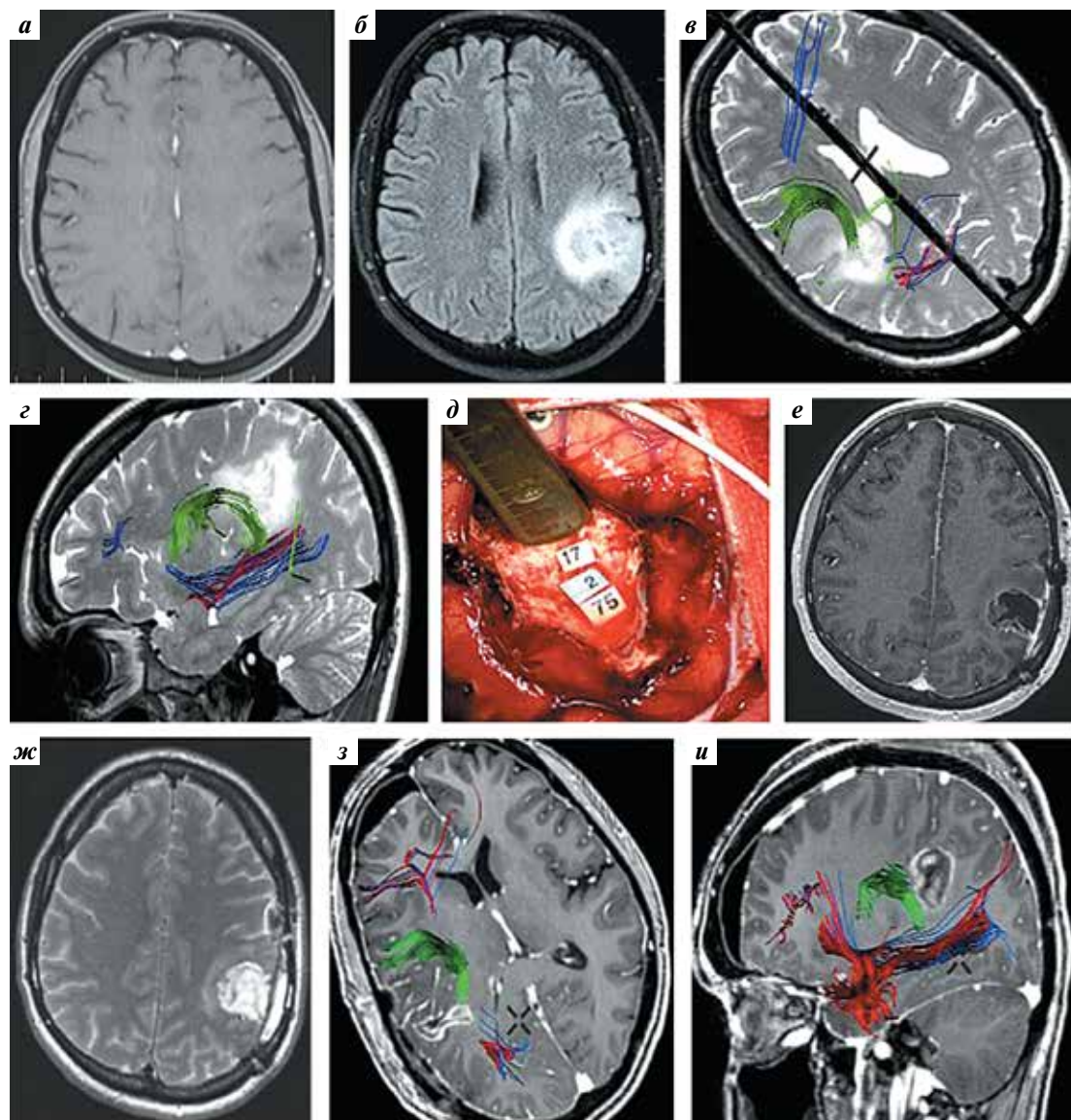


Рис. 1. Данные пациентки С.: а, б – магнитно-резонансная томография (МРТ) до операции: аксиальные срезы в T1-режиме с контрастным усилением (а) и в режиме T2 FLAIR (б); в, з – магнитно-резонансная трактография до операции: зеленым цветом обозначен дугообразный пучок (инфильтрирован) – включен в структуру опухоли по задней границе; нижний лобно-затылочный (обозначен синим цветом) и нижний продольный (обозначен красным цветом) тракты интактны; д – интраоперационная фотография: цифрами 2, 17, 75 обозначен аркуатный тракт; е, ж – МРТ после операции: аксиальные срезы в T1-режиме с контрастным усилением (е) и в T2-режиме (ж); з, и – магнитно-резонансная трактография: зеленым цветом обозначен дугообразный пучок, который расположен вблизи послеоперационной полости; нижний лобно-затылочный и нижний продольный пучки интактны

Fig. 1. Data of female patient S.: а, б – magnetic resonance imaging (MRI) before surgery: axial scans in contrast-enhanced T1-weighted (а) and T2 FLAIR modes (б); в, з – magnetic resonance tractography before surgery: arcuate fasciculus (infiltrated) is shown in green: it is incorporated into the tumor along the posterior boundary; inferior fronto-occipital (shown in blue) and inferior longitudinal (shown in red) fasciculi are intact; д – intraoperative image: figures 2, 17, 75 denote the arcuate fasciculus; е, ж – MRI after surgery: axial scans in contrast-enhanced T1-weighted (е) and T2-weighted modes (ж); з, и – magnetic resonance tractography after surgery: arcuate fasciculus is shown in green, it is located near the postoperative cavity, inferior fronto-occipital and inferior longitudinal fasciculi are intact

извилины) и тракты белого вещества (лобный косой пучок, дугообразный пучок, нижний лобно-затылочный пучок и другие волокна) [10, 11].

В литературе описаны многочисленные случаи транзиторной послеоперационной афазии при хирургической резекции (с пробуждением) глиом, расположенных в доминантном по речи полушарии [2, 12, 13]. Для снижения вероятности появления послеоперационного речевого дефицита используют интраопера-

ционное картирование не только корковых речевых зон, но и длинных ассоциативных путей. Большое значение имеют параметры и сила тока при стимуляции ассоциативных трактов. По данным Н. Duffau и соавт., почти у 80 % пациентов сразу после операций с пробуждением на доминантном полушарии возникают речевые нарушения. По прошествии 3 мес до 95 % больных не имеют неврологического дефицита [14]. Н. Duffau и соавт. использовали силу тока 2 мА. По результатам

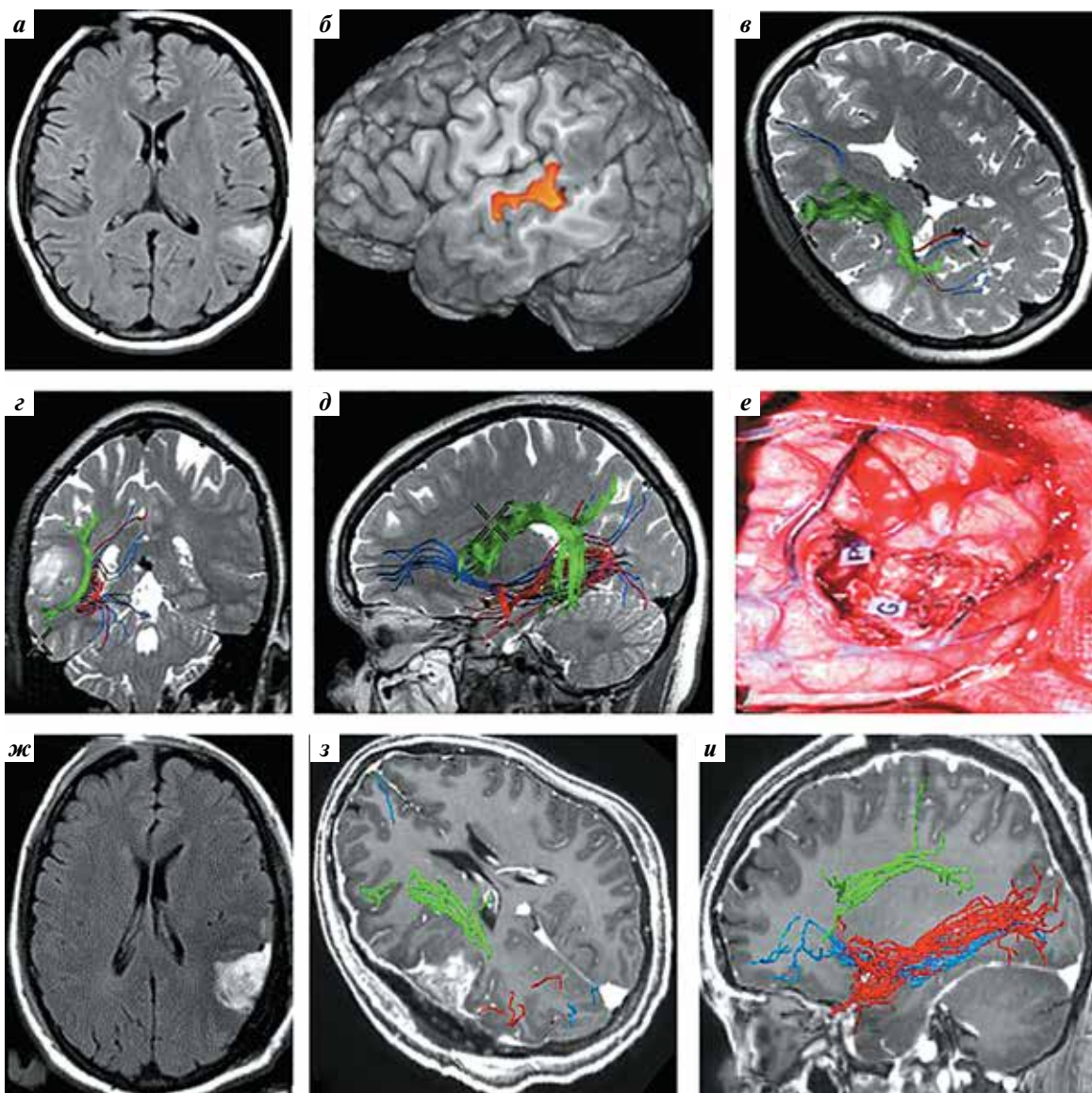


Рис. 2. Данные пациентки Р.: а – магнитно-резонансная томография (МРТ) до операции: аксиальный срез в режиме FLAIR; б – функциональная МРТ до операции: оранжевым цветом обозначена зона Вернике (расположена впереди от опухоли); в–д – магнитно-резонансная трактография до операции: зеленым цветом обозначен дугообразный пучок (интактный) – расположен по задней границе опухоли и тесно прилежит к ней; нижний лобно-затылочный (обозначен синим цветом) и нижний продольный (обозначен красным цветом) тракты интактны; е – интраоперационная фотография: буквами G, P обозначен аркуатный тракт; ж – МРТ после операции: аксиальный срез в режиме T2 FLAIR; з, и – магнитно-резонансная трактография после операции: зеленым цветом обозначен дугообразный пучок; нижний лобно-затылочный и нижний продольный тракты интактны

Fig. 2. Data of female patient R.: а – magnetic resonance imaging (MRI) before surgery: axial scan in FLAIR mode; б – preoperative functional MRI: Wernicke's area is shown in orange (located at the front of the tumor); в–д – magnetic resonance tractography before surgery: arcuate fasciculus (intact) is shown in green: it is located very close to the posterior border of the tumor; inferior fronto-occipital (shown in blue) and inferior longitudinal (shown in red) fasciculi are intact; е – intraoperative image: letters G and P denote the arcuate fasciculus; ж – MRI after surgery: axial scan in T2 FLAIR mode; з, и – magnetic resonance tractography after surgery: arcuate fasciculus is shown in green; inferior fronto-occipital and inferior longitudinal fasciculi are intact

других авторов, которые останавливали резекцию при силе тока в 6 мА, транзиторные речевые нарушения возникали у 60 % пациентов, постоянные речевые нарушения оставались почти у 10 % пациентов [13]. В нашем исследовании нарастание речевых нарушений в раннем послеоперационном периоде наблюдалось у 75 % пациентов, а перманентные нарушения речи были у 15 %, при этом мы использовали силу тока 4 мА.

Чем меньше сила тока, на которой останавливают резекцию, тем больше радикальность удаления опухоли, однако и больше вероятность повреждения тракта [15]. Как известно, сила тока имеет прямую взаимосвязь с расстоянием, на которое он распространяется, с примерным соотношением 1 мм – 1 мА («золотое правило» нейрофизиологии). Это правило распространяется только на монополярный электрод, что доказано в работах Белло на пирамидном тракте [3].

Поэтому в нашем исследовании для картирования аркуатного тракта мы осуществляли монополярную стимуляцию. При этом монополярный электрод был прикреплен к вакуумному аспиратору, что позволяло непрерывно использовать субкортикальную электро-стимуляцию во время резекции опухоли. Биполярный электрод использовали дополнительно для точечной локализации речевых функций. В нашей серии наблюдений аркуатный тракт был выявлен у 16 (70 %) из 23 пациентов. Это связано с тем, что при субкортикальной стимуляции мы использовали силу тока 4 мА. У пациентов, у которых не был выявлен аркуатный тракт, расстояние от опухоли до тракта составляло около 1,0–1,5 см. В исследовании D. Mato и соавт. аркуатный тракт был выявлен лишь у 33 % пациентов. Это обусловлено тем, что у половины пациентов дугообразный пучок находился на большом расстоянии от опухоли [12].

Аркуатный пучок имеет значительную протяженность в больших полушариях головного мозга. Волокна аркуатного тракта соединяют нижнюю лобную извилину с верхней и средней височными извилинами и проходят в глубинных отделах лобной, теменной и височной долей [16].

Нарастание речевых нарушений в раннем послеоперационном периоде может быть вызвано как анатомическим повреждением аркуатного тракта, так и его функциональной недостаточностью [15]. Анатомическое повреждение тракта во время операции может в дальнейшем приводить к перманентным нарушениям речи.

По последним данным [3], причиной функциональной недостаточности проводящих путей белого вещества является спазм мелких сосудов, кровоснабжающих (питающих) волокна тракта, что не учитывается при послеоперационной МР-трактографии (при этом тракт сохранен). Сохранность основной массы волокон аркуатного тракта обеспечивает восстановление речи в отдаленном периоде.

В нашем исследовании число пациентов с нарастающим речевым расстройством в раннем послеоперационном периоде было больше (75 %), чем число пациентов с анатомическим повреждением аркуатного тракта по данным послеоперационной МР-трактографии (22 %). Это можно объяснить функциональной недостаточностью аркуатного тракта.

При послеоперационной МР-трактографии в 3 (13 %) случаях выявлено прямое интраоперационное повреждение тракта. Это связано с тем, что во время резекции не применялась динамическая монополярная стимуляция (проводилась только биполярная стимуляция), и хирург критически приблизился к речевым путям. У 2 пациентов в конце резекции опухоли во время гемостаза с помощью биполярной коагуляции возникли речевые нарушения. При послеоперационной МР-трактографии выявлена зона ишемии

в области тракта. Н. Duffau и соавт. рекомендуют не использовать биполярную коагуляцию вблизи трактов, а применять только гемостатическую марлю, однако они проводят операции с пробуждением преимущественно при глиомах низкой степени злокачественности.

Указанные речевые нарушения регрессировали у подавляющего большинства пациентов (85 %) через 3–6 мес. Перманентные нарушения речи наблюдались только у тех пациентов (15 %), у которых по данным послеоперационной МР-трактографии отмечалось прямое анатомическое нарушение целостности дугообразного пучка.

В значительно меньшем числе публикаций проводится анализ сложного речевого синдрома в послеоперационном периоде после краниотомии в сознании [17, 18]. Речевой синдром при поражении аркуатного тракта, соединяющий черты височного и лобного поражения, ранее был описан нами на меньшей группе пациентов и трактован как проводниковая афазия при поражении аркуатного тракта [5, 7, 19].

Настоящая работа является продолжением накопления и анализа наблюдений за пациентами с глиомами головного мозга, которым была выполнена краниотомия в сознании. Особенностью нашей серии наблюдений является локализация опухолей в лобной, височной и теменной долях доминантного по речи левого полушария, а также применение субкортикальной моно- и биполярной электрической стимуляции с картированием всех отделов аркуатного тракта и тщательным анализом до-, интра- и послеоперационных речевых нарушений. В результате данной работы было установлено, что характер речевых нарушений зависел от локализации опухоли в пределах левого полушария. При локализации опухоли в заднелобной области, особенно при распространении на субкортикальные отделы, существовала возможность повреждения аркуатного тракта во время операции. Поэтому у части пациентов речевые нарушения ограничивались исключительно лобной симптоматикой (персеверации), а у других присоединялись речевые симптомы «на отдалении» – височные симптомы (забывание слов), обусловленные поражением передней части аркуатного тракта, проходящей в лобной доле, т.е. обнаруживалась так называемая проводниковая афазия. При расположении опухоли в задневисочной области помимо речевых нарушений по височному типу могли возникать лобные симптомы. При локализации опухоли в теменной области речевые симптомы возникали только «на отдалении» – по височному или по лобному типу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во время операций с пробуждением при расположении опухоли в левом полушарии головного мозга важно картировать аркуатный пучок в глубинных

отделах лобной, височной или теменной долей. При субкортикальной электростимуляции дугообразный пучок удалось выявить в 70 % случаев; по данным послеоперационной МР-трактографии целостность дугообразного пучка была нарушена в 22 % случаев (прямое повреждение или ишемия). Ухудшение речевых функций в раннем послеоперационном периоде

выявлено у 75 % пациентов. В раннем послеоперационном периоде основной причиной ухудшения речевых функций, связанных с аркуатным трактом, является его функциональная недостаточность, а не анатомическое повреждение. Указанные речевые нарушения регрессируют у подавляющего большинства пациентов (85 %) через 3–6 мес.

Литература | References

- Larjavaara S., Mäntylä R., Salminen T. et al. Incidence of gliomas by anatomic location. *Neuro Oncol* 2007;9(3):319–25. DOI: 10.1215/15228517-2007-016
- Sanai N., Mirzadeh Z., Berger M.S. Functional outcome after language mapping for glioma resection. *N Engl J Med* 2008;358(1):18–27. DOI: 10.1056/NEJMoa067819
- Aabedi A.A., Young J.S., Chang E.F. et al. Involvement of white matter language tracts in glioma: clinical implications, operative management, and functional recovery after injury. *Front Neurosci* 2022;16:932478. DOI: 10.3389/fnins.2022.932478
- Bello L., Gambini A., Castellano A. et al. Motor and language DTI Fiber Tracking combined with intraoperative subcortical mapping for surgical removal of gliomas. *NeuroImage* 2008;39(1):369–82. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.08.031
- Жуков В.Ю., Горайнов С.А., Буклина С.Б. и др. Картирование кортикальных речевых зон и аркуатного тракта у пациентов с глиомами височной доли левого полушария. Анализ серии из 27 наблюдений. *Нейрохирургия* 2023;25(1):53–61. DOI: 10.17650/1683-3295-2023-25-1-53-61
Zhukov V.Yu., Goriaynov S.A., Buklina S.B. et al. Mapping of cortical speech zones and arcuate tract in patients with gliomas of temporal lobe of left hemisphere (analysis of a series of 27 observations). *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2023;25(1):53–61. DOI: 10.17650/1683-3295-2023-25-1-53-61
- Горайнов С.А., Кондрашов А.В., Гольдберг М.Ф. и др. Длинные ассоциативные проводящие пути белого вещества головного мозга человека: анализ диссекций 18 полушарий и HARDI-CSD трактографии *in vivo*. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко* 2017;81(1):13–25. DOI: 10.17116/neiro201780713-25
Goriaynov S.A., Kondrashov A.V., Goldberg M.F. et al. Long association tracts of the human white matter: an analysis of 18 hemisphere dissections and *in vivo* HARDI-CSD tractography. *Zhurnal Voprosy neyrokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2017;81(1):13–25. (In Russ., In Engl.). DOI: 10.17116/neiro201780713-25
- Жуков В.Ю., Горайнов С.А., Буклина С.Б. и др. Интраоперационное картирование длинных ассоциативных трактов в хирургии глиом доминантной по речи лобной доли. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко* 2018;82(5):5–21. DOI: 10.17116/neiro2018820515
Zhukov V.Yu., Goriaynov S.A., Buklina S.B. et al. Intraoperative mapping of long association fibers in surgery of gliomas of the speech-dominant frontal lobe. *Zhurnal Voprosy neyrokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2018;82(5):5–20. (In Russ., In Engl.). DOI: 10.17116/neiro2018820515
- Лурия А.Р. Нарушения высших корковых функций при очаговых поражениях головного мозга. М.: Изд-во МГУ, 1962. 432 с.
Luria A.R. Disorders of higher cortical functions in focal brain lesions. Moscow: Izd-vo MGU, 1962. 432 p.
- Dragoy O., Chrabaszcz A., Tolkacheva V., Buklina S.B. Russian Intraoperative Naming Test: a standardized tool to map noun and verb production during awake neurosurgeries. *Russian Journal of Cognitive Sciences* 2016;3(4):4–25. DOI: 10.47010/16.4.1
- 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. DOI: 10.24835/1607-0763-109
- Zöllner J.P., Haag A., Hermesen A. et al. Ictal conduction aphasia and ictal angular gyrus syndrome as rare manifestations of epilepsy: the importance of ictal testing during video-EEG monitoring. *Epilepsy Behav Case Rep* 2017;8:55–62. DOI: 10.1016/j.ebcr.2017.07.003
- Mato D., Velasquez C., Gómez E. et al. Predicting the extent of resection in low-grade glioma by using intratumoral tractography to detect eloquent fascicles within the tumor. *Neurosurgery* 2021;88(2):E190–E202. DOI: 10.1093/neuros/nyaa463
- Rolston J.D., Englot D.J., Benet A. et al. Frontal operculum gliomas: language outcome following resection. *J Neurosurg* 2015;122(4):725–34. DOI: 10.3171/2014.11.JNS132172
- Duffau H., Gatignol P., Mandonnet E. et al. Intraoperative subcortical stimulation mapping of language pathways in a consecutive series of 115 patients with Grade II glioma in the left dominant hemisphere. *J Neurosurg* 2008;109(3):461–71. DOI: 10.3171/JNS/2008/109/9/0461
- Manfield J., Waqar M., Mercer D. et al. Multimodal mapping and monitoring is beneficial during awake craniotomy for intra-cranial tumours: results of a dual centre retrospective study. *Br J Neurosurg* 2023;37(2):182–7. DOI: 10.1080/02688697.2021.2016622
- Потапов А.А., Горайнов С.А., Жуков В.Ю. и др. Длинные ассоциативные пути белого вещества головного мозга: современный взгляд с позиции нейронаук. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко* 2014;78(5):66–77.
Potapov A.A., Goriaynov S.A., Zhukov V.Yu. et al. The long-associative pathways of the white matter: modern view from the perspective of neuroscience. *Zhurnal Voprosy neyrokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2014;78(5):66–77. (In Russ., In Engl.).
- Brown T., Shah A.H., Bregy A. et al. Awake craniotomy for brain tumor resection: the rule rather than the exception? *J Neurosurg Anesthesiol* 2013;25(3):240–7. DOI: 10.1097/ANA.0b013e318290c230
- Andrews J., Cahn N., Speidel B. et al. Dissociation of Broca's area from Broca's aphasia in patients undergoing neurosurgical resections. *J Neurosurg* 2022;138(3):847–57. DOI: 10.3171/2022.6.JNS2297
- Буклина С.Б., Жуков В.Ю., Горайнов С.А. и др. Проводниковая афазия у больных с глиомами левого полушария. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко* 2021;85(4):29–39. DOI: 10.17116/neiro20218504129
Buklina S.B., Zhukov V.Yu., Goriaynov S.A. et al. Conduction aphasia in patients with glioma in the left hemisphere. *Zhurnal Voprosy neyrokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2021;85(4):29–40. (In Russ., In Engl.). DOI: 10.17116/neiro20218504129

Вклад авторов

В.Ю. Жуков: разработка дизайна исследования, сбор и анализ данных, написание текста статьи;
С.А. Горяинов, С.Б. Буклина: сбор и анализ данных, редактирование статьи;
Р.О. Афандиев, А.А. Огурцова, Г.Л. Кобяков, С.А. Маряшев, А.Ю. Лубнин: сбор и анализ данных.

Authors' contributions

V.Yu. Zhukov: research design development, data collection and analysis, article writing;
S.A. Goryainov, S.B. Buklina: data collection and analysis, editing of the article;
R.O. Afandiyev, A.A. Ogurtsova, G.L. Kobayakov, S.A. Maryshev, A.Yu. Lubnin: data collection and analysis.

ORSID авторов / ORCID of authors

В.Ю. Жуков / V.Yu. Zhukov: <https://orcid.org/0000-0002-2523-3009>
С.А. Горяинов / S.A. Goryainov: <https://orcid.org/0000-0002-6480-3270>
Р.О. Афандиев / R.O. Afandiyev: <https://orcid.org/0000-0001-6384-7960>
А.А. Огурцова / A.A. Ogurtsova: <https://orcid.org/0000-0003-3595-2696>
Г.Л. Кобяков / G.L. Kobayakov: <https://orcid.org/0000-0002-7651-4214>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено при поддержке гранта Минобрнауки России № 075-15-2021-1343 «Развитие биоресурсной коллекции опухолей нервной системы человека с молекулярно-генетической паспортизацией для персонализированного лечения пациентов с нейроонкологическими заболеваниями».

Funding. The study was supported by a grant from the Ministry of Education and Science of Russia No. 075-15-2021-1343 “Development of a bioresource collection of human nervous system tumors with molecular and genetic certification for personalized treatment of patients with neuro-oncology diseases”.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Исследование носило ретроспективный характер.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study was retrospective.