

DOI: 10.17650/1683-3295-2021-23-3-59-68



ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЙ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ МОТОРНОЙ ЗОНЫ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА. НАБЛЮДЕНИЯ ИЗ ПРАКТИКИ

Д.С. Каньшина^{1,2}, М.Г. Подгурская¹, Д.В. Яковлева¹, О.В. Мальшева³, К.А. Чемодакова³, А.А. Зувев¹

¹ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; Россия, 105203 Москва, ул. Нижняя Первомайская, 70;

²ГБУЗ «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения г. Москвы; Россия, 119180 Москва, ул. Большая Полянка, 22;

³ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России; Россия, 194044 Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6

Контакты: Мария Геннадьевна Подгурская vikket@list.ru

Введение. Синдром дополнительной моторной зоны (ДМЗ) – симптомокомплекс, возникающий в результате повреждения премоторной коры и ее субкортикальной проекции. Общепринятый протокол функционального картирования ДМЗ при проведении нейрохирургического вмешательства этой области отсутствует.

Цель публикации – обобщить данные научной литературы и описать 2 случая лечения пациентов с опухолью, расположенной в области задних отделов верхней лобной извилины, с применением интраоперационного нейромониторинга. С учетом локализации опухоли одна операция выполнена с пробуждением, другая – по протоколу тотальной внутривенной анестезии с картированием только моторного представительства.

Клинические случаи. У обоих пациентов при интраоперационной прямой электростимуляции коры головного мозга, подлежащей резекции, вызванные моторные ответы зарегистрированы не были. Используемые модальности позволяли непрерывно оценивать состоятельность кортикоспинального тракта. Во время операции с пробуждением были зарегистрированы эпизоды одномоментного нарушения речи и прекращения движений в руке на контралатеральной стороне при стимуляции в субкортикальной проекции ДМЗ на силе тока 1–2 мА. У обоих пациентов в раннем послеоперационном периоде наблюдалось развитие грубого транзиторного неврологического дефицита в виде гемипареза и сенсомоторной афазии, расцененного как проявление пострезекционного синдрома ДМЗ. При контрольном осмотре спустя 6–7 мес после операции наблюдались легкий гемипарез (до 4–5 баллов), нарушение бimanуальной координации и порождения спонтанной речи.

Заключение. При картировании коры и проводящих путей головного мозга область локализации ДМЗ можно предположить на основании возникновения негативного моторного ответа, применяя протокол высокочастотной стимуляции под контролем электрокортикограммы. Необходимо продолжение исследований для определения максимально информативного способа картирования ДМЗ до и во время операций. С учетом представленных случаев, вопрос о проведении операций с пробуждением у пациентов с локализацией объемного образования в задних отделах лобной доли полушарий остается открытым.

Ключевые слова: интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, синдром дополнительной моторной зоны, картирование, кортикоспинальный тракт

Для цитирования: Каньшина Д.С., Подгурская М.Г., Яковлева Д.В. и др. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг дополнительной моторной зоны коры головного мозга. Наблюдения из практики. Нейрохирургия 2021;23(3):59–68. DOI: 10.17650/1683-3295-2021-23-3-59-68.

Features of intraoperative neuromonitoring of the supplementary motor area of the brain. Literature review and case report

D.S. Kanshina^{1,2}, M.G. Podgurskaya¹, D.V. Yakovleva¹, O.V. Malysheva³, K.A. Chemodakova³, A.A. Zuev¹

¹National Medical and Surgical Center n. a. N.I. Pirogov, Ministry of Health of Russia; 70 Nizhnyaya Pervomayskaya St., Moscow 105203, Russia;

²Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma, Moscow Healthcare Department; 22 Bolshaya Polyanka St., Moscow 119180, Russia;

³Military Medical Academy n. a. S.M. Kirov, Ministry of Defense of Russia; 6 Akademika Lebedeva St., Saint Petersburg 194044, Russia

Contacts: Maria Gennedievna Podgurskaya vikket@list.ru

Introduction. Supplementary motor area (SMA) syndrome is a symptom complex resulting from damage to the premotor cortex and its subcortical projection. There is no generally accepted protocol for functional mapping of SMA during neurosurgical intervention in this area.

The objective of the publication is to present a review of the literature and clinical cases from practice that describes the treatment of two patients with glioblastomas in the posterior regions of the superior frontal gyrus with IOM. Given the localization of the tumor in the dominant hemisphere, one operation was performed with awakening, the other according to the protocol of total intravenous anesthesia with mapping of only motor representative areas.

Clinical cases. In both cases, during intraoperative direct electrical stimulation of the cortex subjected to resection, evoked motor responses were not recorded. The modalities used made it possible to continuously evaluate the viability of the cortico-spinal tract. During the surgery with awakening, episodes of an instantaneous termination of the initiation of speech and counter directional movements in the arm were recorded – in the subcortical projection of the SMA at a current strength of 1–2 mA. Both patients in the early postoperative period showed the development of a gross transient neurological deficit in the form of hemiparesis and sensorimotor aphasia, which was a manifestation of post-resection SMA syndrome. During the follow-up (control) examination 6–7 months after the operation, the following was observed in the clinical picture: mild hemiparesis up to 4–5 points, impaired bimanual coordination; difficulty the initiation of speech spontaneous speech.

Conclusion. When mapping the cortex and subcortical structures, the localization of SMA can be assumed in the event of a negative motor response of the cerebral cortex using the protocol of high-frequency stimulation under EcoG control. Standardization of the SMA mapping protocol would be useful in clinical practice for determining the boundaries of resection and planning the scope of rehabilitation measures.

Key words: intraoperative neuromonitoring, supplementary motor area syndrome, mapping, cortico-spinal tract

For citation: Kanshina D.S., Podgurskaya M.G., Yakovleva D.V. et al. Features of intraoperative neuromonitoring of the supplementary motor area of the brain. Literature review and case report. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2021;23(3):59–68. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2021-23-3-59-68.

ВВЕДЕНИЕ

Функциональная дополнительная моторная зона (ДМЗ) расположена в верхних отделах 6-го цитоархитектонического поля Бродмана в обоих полушариях головного мозга, фронтально прилегая к первичной двигательной коре нижних конечностей. Впервые предположение о существовании ДМЗ высказал F.M.R. Walshe в 1935 г. Он описал эмоциональный паралич лица после кортикотомии в области моторного представительства нижней конечности [1]. При ее повреждении возникает ряд неврологических симптомов: аспонтанность речи и движений, парезы мышц лица, носящие транзиторный характер. Эти симптомы принято объединять термином «синдром ДМЗ» [2]. Он может быть следствием нейрохирургических манипуляций в области задних отделов лобной доли и регрессирует в течение нескольких месяцев после оперативного вмешательства.

Для предоперационной локации ДМЗ используют навигационную транскраниальную магнитную стимуляцию [3] и функциональную магнитно-резонансную томографию [4, 5], однако смещение мозга после трепанации и вскрытия твердой мозговой оболочки затрудняет использование полученных данных для определения точных границ безопасной резекции. «Золотой стандарт» картирования – использование прямой электрической стимуляции коры и субкортикальных трактов с интраоперационной оценкой клинических и инструментальных проявлений. Однако

общепринятая методология картирования ДМЗ отсутствует, регистрируемые ответы трудно стандартизировать, а клинические проявления вариативны [6].

Цель публикации – обобщить данные научной литературы и описать 2 случая лечения пациентов с опухолью, расположенной в области задних отделов верхней лобной извилины, с применением интраоперационного нейромониторинга. С учетом локализации опухоли одна операция выполнена с пробуждением, другая – по протоколу тотальной внутривенной анестезии с картированием только моторного представительства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск научной литературы проводили в базах данных PubMed, eLIBRARY.ru. Для поиска использовали ключевые слова: «дополнительная моторная зона», «пострезекционный синдром дополнительной моторной зоны», «интраоперационный нейромониторинг».

Представляем 2 собственных клинических наблюдения пострезекционного синдрома ДМЗ при лечении глиом в проекции верхней лобной извилины с применением интраоперационного нейромониторинга, включавшего картирование коры и проводящих путей. В одном случае оперативное вмешательство проводилось с пробуждением и оценкой функций речи и движений в правых конечностях во время прямой электростимуляции коры мозга, в другом – по протоколу тотальной внутривенной анестезии с оценкой только двигательной функции (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительная характеристика клинических случаев

Table 1. Comparative characteristics of clinical cases

Параметр Parameter	Пациент 1 Patient 1	Пациент 2 Patient 2
I. ОПИСАНИЕ I. DESCRIPTION		
Возраст, лет Age, years	52	33
Правша/Левша Right-handed/Left-handed	Правша Right-handed	
Жалобы Complaints	Головокружение, снижение памяти Vertigo, decreased memory	Эпилептические приступы Epileptic seizures
Анамнез History	Дебют заболевания около 4 мес назад с эпизодами замирания, неврологический дефицит отсутствует Disease onset about four months ago with episodes of freezing without neurological deficit	Заболевание манифестировало повторными генерализованными эпилептическими приступами, неврологический дефицит отсутствует Disease manifested as repeated generalized epileptic seizures without neurological deficit
Результаты магнитно-резонансной томографии головного мозга (T2-взвешенное изображение) Results of brain magnetic resonance imaging (T2-weighted imaging)	Объемное образование левой лобной доли размерами 7,6 × 4,4 × 4,5 см с нечеткими неровными контурами с вовлечением премоторной зоны и прецентральной извилины и распространением на правую лобную долю через валик и среднюю треть мозолистого тела Mass in the left frontal lobe 7.6 × 4.4 × 4.5 cm in size with ill-defined blunt edges with involvement of the premotor zone and precentral gyrus and expansion into the right frontal lobe through the splenium and middle third of the corpus callosum	Объемное образование правой лобной доли размерами 7,6 × 3,5 × 5,4 см, окруженное выраженной зоной перифокального отека, с вовлечением премоторной зоны, прецентральной и поясной извилины, компримирующее тело бокового желудочка, с участком субкортикально измененного сигнала в левой лобной доле Mass in the right frontal lobe 7.6 × 3.5 × 5.4 cm in size surrounded by an area of pronounced perifocal edema with involvement of the premotor zone, precentral and callosal gyri compressing the left ventricle with an area of subcortically altered signal in the left frontal lobe
Функциональная магнитно-резонансная томография Functional magnetic resonance imaging	—	Выявлено прилегание первичной моторной зоны верхней и нижней конечности к задним и заднемедиальным границам объемного образования Attachment of the primary motor zone of the upper and lower extremities to the posterior and posterior-median edges of the mass was observed
II. ОПЕРАЦИЯ II. SURGERY		
Описание Description	Костно-пластическая трепанация в левой лобно-теменной области, микрохирургическое удаление объемного образования левой лобной доли с поражением средней трети мозолистого тела с интраоперационным пробуждением и картированием речевых зон по протоколу (сон-пробуждение-седация) Osteoplastic trepanation in the left frontoparietal area, microsurgical removal of the mass in the left frontal lobe with involvement of the middle third of the corpus callosum with intraoperative awakening and mapping of the language zones per protocol (sleep-awakening-sedation)	Костно-пластическая трепанация в правой лобно-теменной области, микрохирургическое удаление объемного образования правой лобной доли по протоколу тотальной внутривенной анестезии Osteoplastic trepanation in the right frontoparietal area, microsurgical removal of the mass of the right frontal lobe per protocol of total intravenous anesthesia
Особенности операции Surgical features	Субпиальное удаление опухолевой ткани с сохранением парасагиттальных сосудов Subpial removal of tumor tissue with preservation of the parasagittal vessels	Опухолевая ткань удалена с сохранением парасагиттальных сосудов Tumor tissue removed with preservation of the parasagittal vessels
Гистологический тип Histology	Диффузная глиома, grade 2. Индекс пролиферации Ki-67 – 6 % Diffuse glioma Grade 2. Proliferation index Ki-67 – 6 %	Диффузная астроцитома, grade 2. Индекс пролиферации Ki-67 – 2–3 % Diffuse astrocytoma Grade 2. Proliferation index Ki-67 – 2–3 %

Продолжение табл. 1
Continuation of table 1

Параметр Parameter	Пациент 1 Patient 1	Пациент 2 Patient 2
III. ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЙ НЕЙРОМОНИТОРИНГ III. INTRAOPERATIVE NEUROMONITORING		
Картирование речевых зон Language mapping	Penfield, 2–3 мА	—
Моторное картирование Motor mapping	Taniguchi, 6–10 мА	
Субкортикальная электростимуляция Subcortical electrostimulation		
Методика стимуляции Stimulation technique	Taniguchi, 6–10 мА	
Стимулятор Stimulator	Картирующий электрод-аспиратор Raabe [7] Mapping suction electrode Raabe [7]	Монополярный электростимулятор Monopolar electrostimulator
Корковая электростимуляция Cortical electrostimulation		
Стимулятор Stimulator	8-контактный корковый электрод-полоска 8-contact cortical strip electrode	4-контактный корковый электрод-полоска 4-contact cortical strip electrode
Сила стимула Stimulus level	20–35 мА	10–15 мА
IV. ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫЙ ПЕРИОД IV. POSTOPERATIVE PERIOD		
1-е сутки после операции Day 1 after surgery		
Двигательная сфера Motor sphere	Правосторонняя гемиплегия Right-sided hemiplegia	Левосторонний гемипарез (1–2 балла*), центральный левосторонний парез мимической мускулатуры Left-sided hemiparesis (1–2 points*), central left-sided paresis of the mimic muscles
Нарушения речи Speech impediments	Грубые нарушения речи в виде сенсомоторной афазии (2 балла**) [8] Severe speech impediments in the form of sensorimotor aphasia (2 points**) [8]	Грубые нарушения речи: нарушение понимания и порождения Severe speech impediments: affected understanding and generation
4-е сутки после операции Day 4 after surgery	—	Увеличился объем движений в конечностях и их сила, однако сохранялось нарушение инициации речи Increased motion volume and strength in the extremities, but speech initiation was still affected
10–12-е сутки Days 10–12	Увеличение силы правых конечностей до 3–4 баллов [9] Strength in the right extremities up to 3–4 points [9]	К 12-м суткам пациентка самостоятельно ходила; сохранялись слабость и неловкость движений рукой On day 12 the patient walked independently, weakness and awkwardness in the hand persisted
18-е сутки Day 18		
Двигательная сфера Motor sphere	Сила в паретичных конечностях выросла до 4 баллов Strength in the paretic extremities increased by 4 points	Неловкость при движении рукой при выполнении некоторых бытовых задач; нарушение бимануальной координации в дистальных отделах верхних конечностей; непроизвольные хватательные феномены в левой руке “Awkwardness in the hand” during performance of some everyday activities; affected bimanual coordination in the distal parts of the upper extremities; involuntary grabbing motions in the left hand

Окончание табл. 1

End of table 1

Параметр Parameter	Пациент 1 Patient 1	Пациент 2 Patient 2
Речь Speech	<p>Степень афатических нарушений составила 7 баллов (средняя) [8]; грубые нарушения наблюдались в субтесте на понимание глаголов (5 баллов) и рассказе по картинке (3 балла), в остальных субтестах наблюдались нарушения средней либо легкой степени выраженности</p> <p>Level of aphasic abnormalities was 7 points (moderate intensity) [8]; severe defects were observed in the subtest for verb understanding (5 points) and storytelling with a picture (3 points), other subtests showed intermediate or mild intensity</p>	Речь полностью восстановилась Speech completely recovered
6–7 месяцев 6–7 months		
Двигательная сфера Motor sphere	<p>В неврологическом статусе регресс двигательного дефицита</p> <p>Regress of motor deficit in the neurological status</p>	<p>Левосторонний монопарез в ноге до 4 баллов; неловкость в левых конечностях, нарушение бимануальной координации в дистальных отделах обеих рук</p> <p>Left-sided monoparesis in the leg up to 4 points; awkwardness in the left extremities, abnormal bimanual coordination in the distal parts of both hands</p>
Речь Speech	<p>При тестировании речи выявляются легкие нарушения в субтестах на лексическое решение и понимание предложений (9 баллов). Более выраженные нарушения наблюдались в субтестах на различение минимальных пар слогов (5 баллов) и понимание спонтанной речи (7 баллов)</p> <p>In speech testing, mild defects in subtests for lexical solving and understanding of statements (9 points) were observed. More severe abnormalities were observed in subtests for distinguishing of minimal syllable pairs (5 points) and understanding of spontaneous speech (7 points)</p>	Речь полностью восстановилась Speech completely recovered

*Здесь и далее по шкале MRC. **По шкале русского афазнологического теста.

*Here and elsewhere evaluation per the MRC scale. **Here and elsewhere evaluation per the Russian aphasia test.

Проведение динамического субкортикального картирования при силе стимуляции 6–10 мА с регистрацией вызванных моторных ответов с тестируемых миотомов отражало безопасную дистанцию до кортикоспинального тракта.

У пациентки 1 в зоне субкортикальной проекции ДМЗ были зарегистрированы эпизоды одномоментного нарушения речи и прекращения движений в руке на контралатеральной стороне. Они не сопровождались потерей тонуса мышц при силе тока 1–2 мА.

При речевом картировании с использованием РАТ при силе стимула 2–3 мА были выявлены зоны нарушения речи (в субтесте на заканчивание предложений), которые, вероятно, соответствовали зоне лобно-гоского пучка, расположенного в структуре опухоли.

В послеоперационном периоде (1-е сутки после операции) в связи с наличием неврологического дефицита выполнена контрольная магнитно-резонансная

томография, при которой в обоих случаях установлено отсутствие остаточной ткани опухоли, внутричерепных гематом, очагов ишемии (рис. 1).

При проведении контрольной МР-трактографии пациентки 1 ход прилегающих к опухоли трактов сохранен (рис. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

История исследования ДМЗ началась в 50-х годах прошлого столетия, и до сих пор патогенетические механизмы возникновения неврологического дефицита в случае ее резекции остаются предметом споров [11–31].

Связь с двигательными функциями. В 1951–1954 гг. Jasper, Penfield продемонстрировали в эксперименте на приматах и в последующем подтвердили существование ДМЗ у людей, описав 2 случая неврологического дефицита, возникшего после абляции премоторной коры [10].

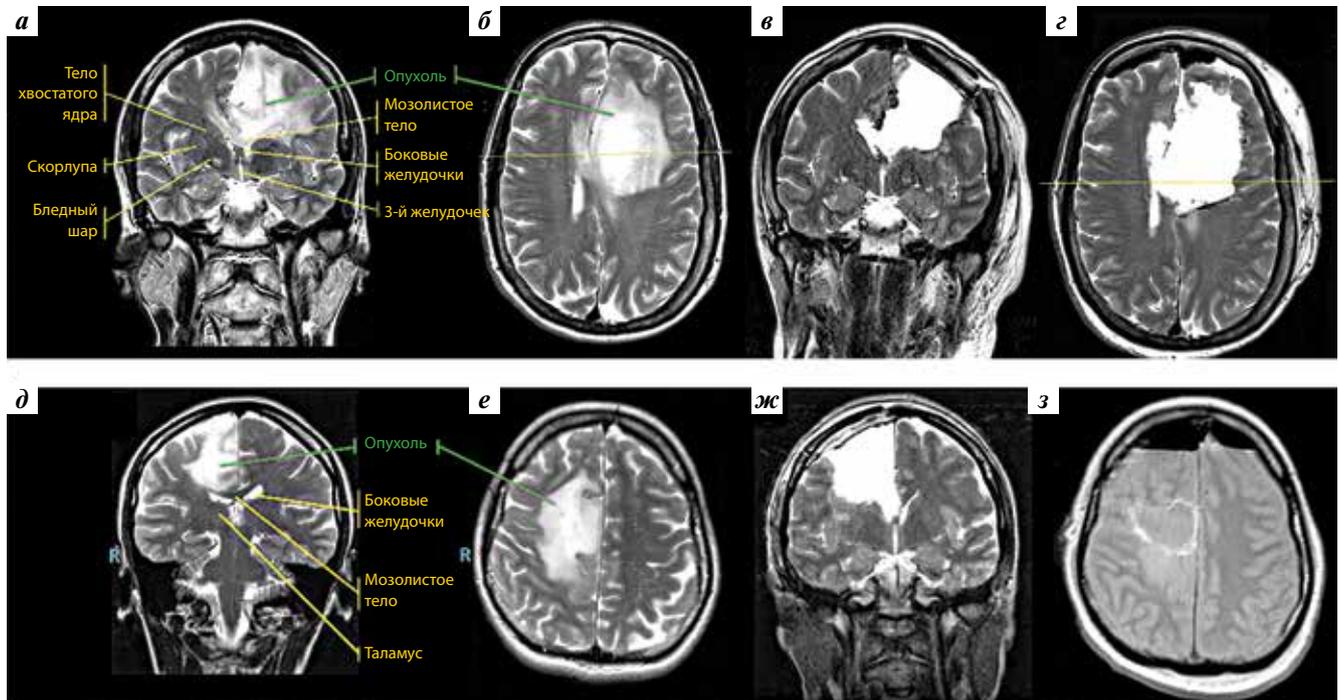


Рис. 1. Магнитно-резонансная томография головного мозга, T2-взвешенные изображения, режим FLAIR. Верхний ряд – пациентки 1, нижний ряд – пациентки 2: а, д – коронарные проекции (нативные), б, е – аксиальные проекции (нативные); в, ж – коронарные проекции (контрольные); г – контрольное изображение в аксиальной проекции в 1-е сутки после операции (признаков остаточной ткани опухоли нет); з – контрольное изображение в аксиальной проекции

Fig. 1. Magnetic resonance imaging, T2, FLAIR. Patient 1 (top row) and Patient 2 (bottom row): а, д – coronal view (native); б, е – axial view (native); в, ж – coronal view (control); г – control axial view, 1 postoperative day; has not feature residual tissue tumor; з – control axial view

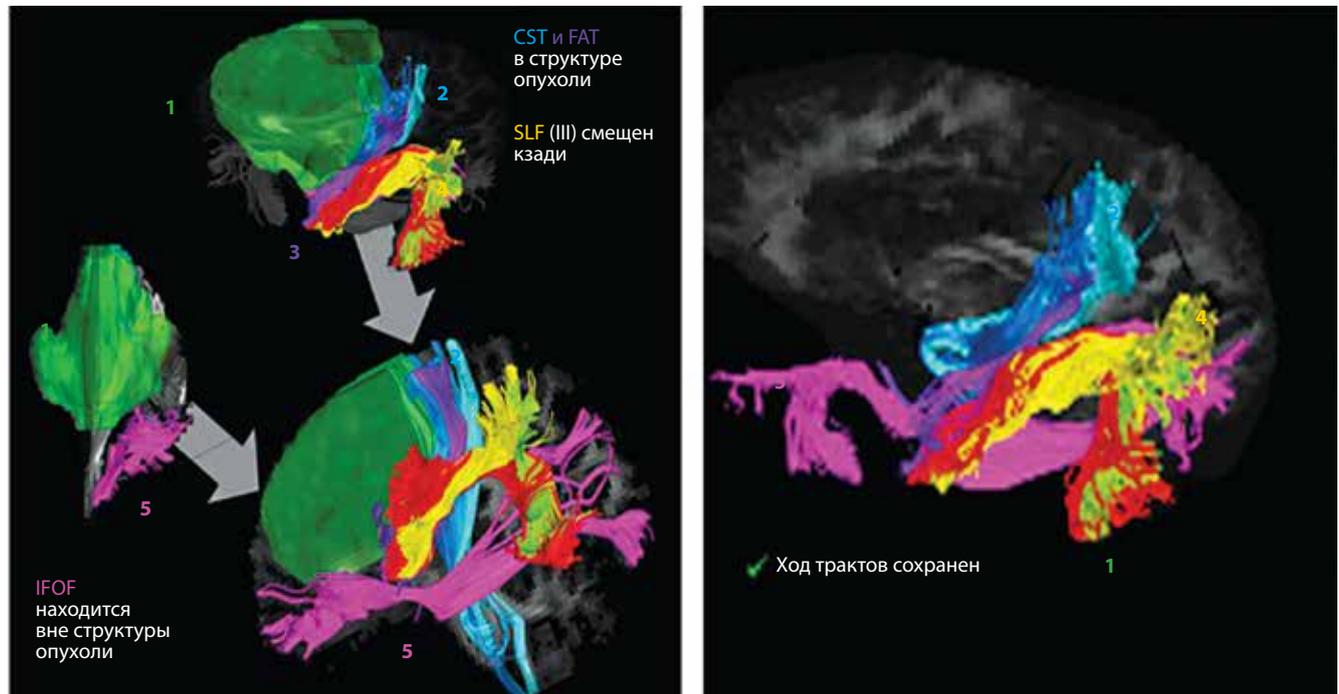


Рис. 2. Пациент 1. Магнитно-резонансная трактография. Нативная и контрольная 3D-модель пространственного взаимоотношения опухоли и проводящих путей белого вещества мозга. 1 – опухоль; 2 – кортикоспинальный тракт (CST); 3 – лобный косой пучок (FAT); 4 – верхний продольный пучок (SLF III); 5 – нижний лобно-затылочный пучок (IFOF)

Fig. 2. Patient 1 magnetic resonance tractography. 3D model of spatial relative tumor position and conducting pathways of brain white matter native and control: 1 – tumor; 2 – corticospinal tract (CST); 3 – frontal aslant tract (FAT); 4 – superior longitudinal fasciculus (SLF III); 5 – inferior fronto-occipital fasciculus (IFOF)

В 1952 г. Woolsey и соавт. описали соматотопические связи заднего отдела премоторной коры с миотомы ног и передним отделом лицевой мускулатуры [11].

В 1959 г. De Vito, Smith объясняли многообразие приходящего неврологического дефицита при резекции или абляции ДМЗ с позиции филогенеза: премоторная кора, формируясь из цингулярной области, имеет богатые внутрикортикальные связи и участвует в регуляции движений ипсилатеральных конечностей [23].

В 1967 г. Bancaud, Talairach путем регистрации вызванных ответов с внутренней капсулы при стимуляции ДМЗ доказали взаимосвязь премоторной коры с миотомы туловища и конечностей билатерально опосредовано через моторную кору и наличие тесных взаимосвязей с базальными ганглиями и мозжечком [26].

В 1972 г. Waltragny описал результаты хирургической абляции медиальной части лобной доли и ДМЗ двух пациентов, с контралатеральным развитием переходящего ощущения «чужой конечности» при сохранности поверхностной и глубокой чувствительности [22].

В 1977 г. Laplane и соавт. подробно описали 3 случая резекции в области ДМЗ, сопоставив возникший дефицит с объемом хирургического вмешательства и предположив участие ДМЗ в регуляции спонтанных и автоматических движений [2].

Связь с речевыми функциями. В 1951 г. Woolsey и соавт. описывали отдельные клинические случаи акинетического мутизма и речевых нарушений на фоне резекции медиальной части лобной доли [13].

В 1954 г. Chusid указывал, что в большинстве наблюдений речевой дефицит при синдроме ДМЗ представлен именно сложностями инициации беглой речи, затруднением понимания и носит транзиторный характер [17].

В 1967 г. Luria, Bernstein в исследованиях спонтанной речи и ее беглости предположили участие премоторной коры в акте инициации речи [15].

В 2010 г. Forf, McGregor подчеркивали наличие переднезаднего зависящего от возраста градиента в структуре аркуатного тракта, а также коннективности между ДМЗ обоих полушарий посредством передней комиссуры [18].

В 2016 г. Jang, Kim продемонстрировали повреждение аркуатного тракта в недоминантном полушарии, а также увеличение длительности восстановительного периода речевых нарушений у пациента с внутримозговым кровоизлиянием в доминантном полушарии [19].

В 2019 г. Драгой, Зырянов предположили участие дополнительной моторной зоны и лобного косого пучка в речевых нарушениях, не объяснимых традиционными афатическими расстройствами на фоне резекции коркового речевого представительства левого полушария [20, 21].

Современные диагностические методики, такие как стереоэлектроэнцефалография и транскраниальная магнитная стимуляция, позволили детальнее изучить роль ДМЗ в формировании тормозящих процес-

сов в головном мозге и доказать ее взаимосвязь с артикуляционно-фонологической сетью и формированием поведенческих навыков [3–5].

Согласно современным представлениям, выявленные на предоперационном этапе моторные и речевые кортикальные представительства, а также проводящие пути белого вещества головного мозга возможно интраоперационно сопоставить с результатами динамического картирования, проводимого в случае пробуждения пациента с нейролингвистическим тестированием [27]. В настоящее время единственным интраоперационным методом оценки состоятельности функциональной сохранности речевых трактов в случае невозможности проведения операции с пробуждением является регистрация кортико-кортикального вызванного потенциала [28]. Другим потенциально эффективным и безопасным способом считается пассивное картирование речи, основанное на анализе колебаний гамма-диапазона электрокортикограммы, регистрируемой при выполнении пациентом заданий или прослушивании речи [29].

Анализ результатов интраоперационного картирования выявил ряд феноменов, таких как позитивные и негативные моторные ответы (НМО), регистрируемые в процессе стимуляции ДМЗ. Термином НМО определяют остановку продолжающегося движения конечности в момент кортикальной и субкортикальной электростимуляции, которое не сопровождается изменением тонуса мышц [6]. Для верификации рекомендуют чередовать работу мышц агонистов и антагонистов, что возможно только в условиях операции с пробуждением. Механизм его возникновения может быть аналогичен эффекту speech arrest при речевом картировании. Как показали исследования, регистрация НМО возможна в обеих гемисферах в момент интраоперационного картирования в субкортикальных проекциях ДМЗ [30]. Работы Kinoshita и Rech продемонстрировали возможность регистрации НМО при частичном повреждении таких трактов, как аслант и лобно-стриатный; это повреждение проявляется расстройством бимануальной координации [31, 32]. Данные нарушения зарегистрированы у пациентки 1. Позитивный моторный ответ (ПМО) – сокращение мышечных групп во время стимуляции, сопровождающееся непроизвольными движениями, был описан Penfield в 1937 г. [33]. Термин вошел в обиход после идентификации НМО Luders и соавт. в 1987 г. [34]. В исследованиях Reach, Duffau и соавт. показано, что субкортикальная резекция в проекции ДМЗ сопровождается регистрацией НМО за счет эффекта ингибирования моторной и речевой функции при операциях с пробуждением, при этом двигательный дефицит впоследствии затрагивает преимущественно представительство мышц лица и верхних конечностей [30]. Причину интраоперационного нарушения речи определяют, применяя языковые тесты: выявленные ошибки при отсутствии

дизартрии свидетельствуют об ингибировании речевого тракта. Анализ 117 случаев интраоперационного картирования показал высокую частоту встречаемости НМО мышц лица в проекции прецентральной извилины обоих полушарий и низкий — в левой оперкулярной и постцентральной извилине. На основании этого было сформировано два кластера НМО моторного представительства лица для обоих полушарий. Кластер А — с ядром между полями 55b и 6v левой гемисферы, 55b и лобно-глазным полем правой гемисферы и кластер В с ядром в вентральной премоторной коре поля 6 обеих гемисфер (согласно цитоархитектоническим полям М. Grasser). НМО и ПМО моторного представительства верхних конечностей были локализованы вблизи представительства лица в полях 43, 6v и частично 55b и перекрещивались с ними. Согласно топографии субкортикальных трактов в проекции указанных кластеров частично проходят длинная ветвь дугообразного пучка, передний дугообразный пучок, лобный косой пучок и верхний продольный пучок, чем объясняется многообразие неврологического дефицита при резекции субкортикального представительства ДМЗ [6].

Таким образом, у пациенток 1 и 2 в раннем послеоперационном периоде предположительно имелось транзиторное поражение вследствие резекции участка области ДМЗ — гемиплегия у пациентки 1 и гемипарез (1–2 балла по шкале MRC) у пациентки 2. Однако при интраоперационном нейромониторинге кортикоспинальный тракт находился в 6–10 мм от зоны резекции, что свидетельствовало о безопасной дистанции. При магнитно-резонансной трактографии была подтверждена сохранность кортикоспинального тракта и отсутствие зон отека и ишемии.

У пациентки 1 нарушение инициации речи, вероятно, связано с поражением лобного-косого пучка, по ходу которого располагалась объемное образование.

У пациентки 2 нарушение инициации речи возникло при оперативном вмешательстве на недоминантном полушарии и, по-видимому, обусловлено коннектами между ДМЗ обоих полушарий посредством передних отделов мозолистого тела [17].

У обеих пациенток в послеоперационном периоде также имелись нарушения бимануальной координации с непроизвольными хватательными феноменами, которые, вероятнее всего, обусловлены повреждением ДМЗ.

В представленных случаях мы подтвердили информативность клиничко-инструментального исследования НМО и нарушения речи во время проведения электрической стимуляции субкортикальных образований для локализации ДМЗ и трактов, связывающих ее с другими участками коры головного мозга. Однако такой подход требует обязательного пробуждения пациента для проведения клинического тестирования выпадающих функций даже в случае хирургического лечения недоминантного полушария.

Накопленный на сегодняшний день опыт позволяет пока только предположить наличие области ДМЗ на интраоперационном этапе за счет регистрации НМО, но не предотвратить развитие транзиторного неврологического дефицита. Дальнейшие работы в этой области помогут оценить особенности нейронной сети головного мозга, что будет полезно не только на этапе планирования резекции новообразований или абляции зон эпилептогенеза, но и при организации реабилитационных мероприятий у пациентов с поражением субкортикальной проекции ДМЗ различной этиологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При картировании коры и проводящих путей головного мозга область локализации ДМЗ можно определить при возникновении НМО, применяя протокол высокочастотной стимуляции под контролем электрокортикографии. Необходимо продолжить исследования для определения максимально информативного способа картирования ДМЗ до и во время операций. С учетом представленных случаев вопрос о проведении операций с пробуждением у пациентов с локализацией объемного образования в задних отделах лобной доли недоминантного полушария остается открытым.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Walshe F.M.R. On disorders of motor function following an ablation of part of the "legarea" of the cortex of man. *Brain* 1935;58:81–5.
2. Laplane M.D., Talairach J., Meininger V. et al. Clinical consequences of corticectomies involving the supplementary motor area. *J Neurol Sci* 1977;34:301–14.
3. Schramm S., Albers L., Ille S. et al. Navigated transcranial magnetic stimulation of the supplementary motor cortex disrupts fine motor skills in healthy adults. *Sci Rep* 2019;9(1):17744. DOI: 10.1038/s41598-019-54302-y.
4. Wongsripuetmet J., Tyan A.E., Carass A. et al. Preoperative mapping of the supplementary motor area in patients with brain tumor using resting-state fMRI with seed-based analysis. *Am J Neuroradiol* 2018;39:1493–8.
5. Kokkonen S.-M., Nikkinen J., Remes J. et al. Preoperative localization of the sensorimotor area using independent component analysis of resting-state fMRI. *Magn Reson Imaging* 2009;27:733–40. DOI: 10.1016/j.mri.2008.11.002.
6. Rech F., Herbet G., Gaudeau Y. et al. A probabilistic map of negative motor areas of the upper limb and face: a brain stimulation study. *Brain* 2019;142(4):952–65. DOI: 10.1093/brain/awz021.
7. Raabe A., Beck J., Schucht P., Seidel K. Continuous dynamic mapping

- of the corticospinal tract during surgery of motor eloquent brain tumors: evaluation of a new method. *J Neurosurg* 2014;120(5):1015–24. DOI: 10.3171/2014.1.JNS13909.
8. Солоухина О.А., Иванова М.В., Аникина Ю.С. и др. Разработка стандартизированного теста для оценки речи при афазии: задания на порождение речи. В сб.: *Нейронаука для медицины и психологии: 12-й международный междисциплинарный конгресс*. 2016. С. 374–375. [Soloukhina O., Ivanova M., Akinina J. et al. Design a standardized test for assessing speech in aphasia: speech production tasks. In: *Neuroscience for medicine and psychology: 12th International Interdisciplinary Congress*. 2016. Pp. 374–375. (In Russ.)].
 9. Medical Research Council Weakness Scale. URL: <https://cpd-program.ru/methods/mrc.htm>.
 10. Penfield W., Welch K. The supplementary motor area of the cerebral cortex: A clinical and experimental study. *AMA Arch Neurol Psychiat* 1951;66(3):289–317. DOI: 10.1001/archneurpsyc.1951.02320090038004.
 11. Woolsey C.N., Settlage P.H., Meyer D.R. et al. Pattern of localization in precentral and “supplementary” motor areas and their relation to the concept of a premotor area. New York: Raven Press, 1952. Pp. 238–264.
 12. Cushing H., Eisenhardt L. *Meningiomas – Their Classification, Regional Behavior, Life History and Surgical End Results*. Springfield, 1938. 785 p.
 13. Erickson T.C., Woosley C.N. Observations on the supplementary motor area. *Trans Amer Neurol Ass* 1951;76:50–6.
 14. Luria A.R. *Higher cortical function in man*. New York, 1966. 513 p.
 15. A review of “The Co-ordination and Regulation of Movements” by N. Bernstein. Pergamon Press, 1967. <https://doi.org/10.1080/00140136808930945>
 16. Petlt-Dutadhs D., Gwot G., Messlmy R., Bourdillon Ch. A propos dune aphelia parattemte de la zone motnce supplementary de Penfield. *Rev Neurol* 1954;90:95–106.
 17. Chusld J.G., de Gutierrez-Mahoney C.G., Margulez-Lavergne M.P. Speech disturbances association with parasagittal lesions. *J Neurosurg* 1954;11:193–204.
 18. Ford A., McGregor K.M., Case K. et al. Structural connectivity of Brocas area and medial frontal cortex. *Neuro Image* 2010;52(4):1230–7. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2010.05.018.
 19. Sung Ho Jang M.D., Seong Ho Kim M.D., Min Cheol Chang M.D. Injury of the arcuate fasciculus in the non dominant hemisphere by subfalcine herniation in patients with intracerebral hemorrhage: two case reports and literature review. *J Korean Neurosurg Society* 2016;59(3):306–9. DOI: <https://doi.org/10.3340/jkns.2016.59.3.306>
 20. Sabouraud O., Pecker J. Suspension du langage non aphasique apres intervention sur la region mter-hemisphenque. *Rev Oto-neuro-ophthal* 1960;1:42–9.
 21. Драгой О.В., Зырянов А.С., Броннов О.Ю. и др. Функциональная специфичность левого лобного косоного пучка. *Когнитивная наука в Москве*. 157–62. [Dragoy O., Zyryanov A., Bronnov O. et al. Functional specificity of the left frontal aslant tract. *Russian Journal of Cognitive Science* 157–62. (In Russ.)].
 22. Waltregny A. L’epdepsle de l’Aire Motrlce Supplementaire. *Med et Hyg (Geneve)* 1972;31:815–16.
 23. De Vito J.L., Smith O.A. Projections from the mesial frontal cortex (supplementary motor area) to the cerebral hemisphere and brain stem of Macaca mulatta. *J Comp Neurol* 1959;3261–277.
 24. Lesendanger M., Segum J.J., Kunzle H. The supplementary motor area – a control system for posture. In: *Control of Posture and Locomotion*, Plenum Press, New York, 1973. Pp. 331–346.
 25. Chauvel P. Les Stimulations de l’Atrre Motrwe Suppldmentatre chez l’Homme – Remarques concernant son Orgamsatton foncttonnelle. *Med Thes Rennes* 1976.
 26. Bancaud J., Talalrach J. Organlsatlon foncttonnelle de l’atrr motnce supplementaire – Enseignements apportés par la st6r6o-E E G. *Neurochirurgie* 1967;13:343–6.
 27. Драгой О.В., Крабис А.В., Толкачева В.А., Буклина С.Б. Русский интраоперационный тест на называние: стандартизированный инструмент для картирования функции называния существительных и глаголов во время нейрохирургических операций в сознании. *Российский журнал когнитивной науки* 2016;3(4):4–25. [Dragoy O., Chrabaszcz A., Tolkacheva V., Buklina S. Russian intraoperative naming test: a standardized tool to map noun and verb production during awake neurosurgeries. *Russian Journal of Cognitive Science* 2016;3(4):4–25. (In Russ.)].
 28. Crowther L.J., Brunnera P., Kapellerc C. et al. A quantitative method for evaluating cortical responses to electrical stimulation. *J Neurosci Methods* 2019;311:67–75. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2018.09.034.
 29. Синкин М.В., Осадчий А.Е., Лебедев М.А. и др. Пассивное речевое картирование высокой точности во время операций по поводу глиом доминантного полушария. *Нейрохирургия* 2019;21(3):37–43. [Sinkin M.V., Osadchiy A.E., Lebedev M.A. et al. High resolution passive speech mapping in dominant hemisphere glioma surgery. *Russian journal of neurosurgery* 2019;21(3):37–43. (In Russ.)].
 30. Rech F., Duffau H., Pinelli C. et al. Intraoperative identification of the negative motor network during awake surgery to prevent deficit following brain resection in premotor regions. *Neurochirurgie* 2017;63:235–42.
 31. Rech F., Herbet G., Moritz-Gasser S., Duffau H. Disruption of bimanual movement by unilateral subcortical electrostimulation. *Hum Brain Mapp* 2014;35:3439–45.
 32. Kinoshita M., de Champfleury N.M., Deverduin J. et al. Role of fronto-striatal tract and frontal aslant tract in movement and speech: an axonal mapping study. *Brain Struct Funct* 2015;220:3399–412.
 33. Penfield W., Boldrey E. Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain* 1937;60:389.
 34. Luders H., Lesser R.P., Morris H.H., Dinner D.S. Negative motor responses elicited by stimulation of the human cortex. In: Wolf P., Dam M., Janz D. *Advances in epileptology*. New York: Raven Press, 1987. Pp. 229–31.

Вклад авторов

М.Г. Подгурская, Д.С. Каньшина, А.А. Зуев: сбор данных, участие в разработке дизайна работы, редактирование текста; Д.В. Яковлева, О.В. Малышева, К.А. Чемодакова: участие в сборе данных.

Authors’ contributions

M.G. Podgurskaya, D.S. Kanshina, A.A. Zuev: obtaining data for analysis, developing the research design, scientific editing; D.V. Yakovleva, O.V. Malysheva, K.A. Chemodakova: obtaining data for analysis.

ORCID авторов / ORCID of authors

М.Г. Подгурская / M.G. Podgurskaya: <https://orcid.org/0000-0002-0102-1378>

Д.С. Каньшина / D.S. Kanshina: <https://orcid.org/0000-0002-5142-9400>

А.А. Зуев / A.A. Zuev: <https://orcid.org/0000-0003-2974-1462>

Д.В. Яковлева / D.V. Yakovleva: <https://orcid.org/0000-0002-4874-248X>
О.В. Малышева / O.V. Malysheva: <https://orcid.org/0000-0002-0278-3470>
К.А. Чемодакова / K.A. Chemodakova: <https://orcid.org/0000-0003-0549-9069>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Financing. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики
Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.
Compliance with patient rights and principles of bioethics
All patients gave written informed consent to participate in the study.