DOI: https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-2-61-69

CC BY 4.0

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ НИЗКОЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ГЛИОМ ФУНКЦИОНАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ЗОН ГОЛОВНОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И КЛИНИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Д.В. Низолин, А.В. Ким, Ю.А. Зуева, О.О. Шмелева, Н.Е. Маслов, А.Ю. Ефимцев, Э.Т. Назаралиева, К.А. Самочерных

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России; Россия, 197341 Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2

Контакты: Дмитрий Владимирович Низолин *dlarinskij@mail.ru*

Хирургическое лечение опухолей, расположенных вблизи функционально значимых зон, подразумевает использование таких технологий, как краниотомия в сознании, кортикальная и субкортикальная стимуляция. Задача этих и других технологий – достижение максимального объема резекции опухоли без ухудшения функционального статуса пациента. Применение вышеупомянутых технологий у взрослых пациентов хорошо изучено, чего нельзя сказать в отношении педиатрических пациентов.

Цель работы – представить 2 клинических случая успешного лечения педиатрических пациентов с низкозлокачественными глиомами функционально значимых зон головного мозга и обзор литературы по данной проблеме.

В клинических наблюдениях выявлено поражение функционально значимых зон: сенсорной речевой коры и кортикоспинального тракта соответственно. Поражение речевой коры в первом представленном наблюдении подтверждено также данными функциональной магнитно-резонансной томографии. В первом случае проведена операция с пробуждением, использованием кортикального и субкортикального картирования, во втором – с использованием субкортикального картирования и метаболической навигации. И в том и в другом случае достигнуто тотальное удаление опухоли при удовлетворительном функциональном исходе.

Достижение оптимального баланса функционального исхода и степени радикальности удаления низкозлокачественных опухолей функционально значимых зон возможно при использовании комплексного подхода, основанного на анализе разномодальных данных.

Ключевые слова: функционально значимые зоны, краниотомия в сознании, кортикальная стимуляция

Для цитирования: Низолин Д.В., Ким А.В., Зуева Ю.А. и др. Хирургическое лечение низкозлокачественных глиом функционально значимых зон головного мозга у детей: обзор литературы и клинические наблюдения. Нейрохирургия 2024;26(2):61–9.
DOI: https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-2-61-69

Surgical treatment of gangliogliomas in functional areas of the brain in child: a literature review and clinical cases

D.V. Nizolin, A.V. Kim, Yu.A. Zueva, O.O. Shmeleva, N.E. Maslov, A.Yu. Efimtsev, E.T. Nazaralieva, K.A. Samochernykh

V.A. Almazov National Medical Research Center, Ministry of Health of Russia; 2 Akkuratova St., St. Petersburg 197341, Russia

Contacts: Dmitry Vladimirovich Nizolin *dlarinskij@mail.ru*

Surgical treatment of tumors located near functional areas involves the use of technologies such as awake craniotomy, cortical and subcortical stimulation. The introduction of these and other technologies makes it possible to achieve maximum resection of the tumor without compromising the functional status of the patient. The use of this technologies has been well studied in adults, but this not about pediatric patients.

Aim of the work is to present two clinical cases of successful treatment of low-grade gliomas of functional areas of the brain in children and literature review.

In clinical cases, damage of functionally significant areas were noted: the sensory speech cortex and the corticospinal tract. The involving speech cortex in the first case was also confirmed by functional magnetic resonance imaging. In the first case, an operation was performed with awake craniotomy, using cortical and subcortical mapping, in the second, using subcortical mapping and metabolic navigation. Total tumor resection was achieved in both clinical cases with a good functional outcome.
Achieving an optimal balance of functional outcome and the degree of radical removal of low-grade tumors of functional areas is possible using an integrated approach based on the analysis of multimodal data.

Keywords: functional areas, awake craniotomy, cortical stimulation

For citation: Nizolin D.V., Kim A.V., Zueva Yu.A. et al. Surgical treatment of gangliogliomas in functional areas of the brain in child: a literature review and clinical cases. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2024;26(2):61–9. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-2-61-69

ВВЕДЕНИЕ

На данный момент не вызывает сомнений то, что максимальное удаление глиальных опухолей играет решающую роль в лечении как во взрослой популяции, так и в детской [1–4]. Тем не менее увеличение степени резекции может быть сопряжено с развитием стойкого неврологического дефицита и, как следствие, значительным снижением качества жизни [2]. Достижение баланса между онкологической пользой и функциональным исходом – приоритетная задача современной нейроонкологии. Данное утверждение особенно актуально в случаях глиом функционально значимых зон (ФЗЗ). Проблема хирургии опухолей ФЗЗ достаточно исследована применительно к взрослой популяции, что отражается в довольно большом количестве серий наблюдений, чего нельзя сказать о данной проблеме в нейрохирургии детского возраста [2, 5, 6].

Достоверно оценить распространенность опухолей ФЗЗ больших полушарий головного мозга в детской популяции сложно. Тем не менее известно, что в России ежегодно регистрируется 1–1,2 тыс. новых случаев опухолей головного мозга у детей, 25 % из которых располагаются супратенториально [7]. По данным зарубежной литературы, около 40 % опухолей головного мозга, выявляемых у пациентов детского возраста, располагаются в супратенториальной области, из них 20 % – в ФЗЗ [8].

Успешное лечение глиом ФЗЗ требует применения краниотомии в сознании (КС), различных опций нейромониторинга и нейровизуализации. При этом выбор в пользу той или иной технологии напрямую зависит от зоны интереса и реализуемой при ее непосредственном участии функции.

Использование КС позволяет снизить риск развития перманентного неврологического дефицита при хирургическом лечении глиальных опухолей как высокой, так и низкой степени злокачественности [8–11]. Метаанализ серий операций с пробуждением показал снижение частоты развития неврологических нарушений на 58 % и более высокую степень радикальности по сравнению с процедурами без интраоперационного картирования [12]. В обзоре, включившем данные 951 случая, было показано, что операция с пробуждением обусловливает более короткое пребывание в больнице (4 дня против 9 дней) и меньшее количество неврологических осложнений (7 % против 23 %) по сравнению с аналогичными операциями без пробуждения [13]. Однако, несмотря на растущий опыт применения КС, данный подход все еще редко используется в детской практике, о чем свидетельствуют немногочисленные серии наблюдений [5, 6, 14–17]. Тем не менее КС у детей возможна и демонстрирует схожий уровень эффективности в сравнении со взрослой популяцией при определенных условиях [5].

Цель настоящей работы – представить 2 клинических случая успешного лечения педиатрических пациентов с низкозлокачественными глиомами ФЗЗ головного мозга и обзор литературы по данной проблеме.

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ НИЗКОЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ГЛИОМ ФУНКЦИОНАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ЗОН ГОЛОВНОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ

Методика проведения КС у детей, а также критерии отбора пациентов подробно описаны (несмотря на недостаточное количество описанных серий наблюдений), чего нельзя сказать о методике кортикальной стимуляции.

Единого протокола по стимуляции речевых зон в педиатрической практике нет. Данные, основанные на имеющихся сериях наблюдений, разнятся в отношении определения параметров стимуляции. Так, в исследовании L.N. Lohkamp и соавт. рекомендуется начальная сила тока 1 мА, максимальная – 7 мА [17], а J.A. Balogun и соавт. использовали интенсивность стимуляции в диапазоне от 3 до14 мА [6].

Субкортикальная стимуляция признана «золотым стандартом» для идентификации кортикоспинального тракта. Тем не менее данный метод до сих пор не стандартизирован [18–20]. В некоторых работах критическим считается получение моторных вызванных потенциалов при стимуляции кортикоспинальных волокон с силой тока 1–2 мА. [19, 20]. По другим данным, операция при получении ответов с такой силой тока может быть продолжена в случае уверенности хирурга в возможности полного удаления опухоли [21].

В то же время результаты анализа 294 операций с субкортикальной стимуляцией показали, что тракты белого вещества могут быть идентифицированы, когда край резекции уже находится внутри интересуемого тракта или на расстоянии 2–3 мм, что значительно увеличивает риск их повреждения [22].

Субкортикальная стимуляция позволяется идентифицировать тракты белого вещества интраоперационно, однако информация о положении и ходе трактов необходима также на этапе планирования.

Диффузно-тензорные изображения стали основным способом обозначения трактов при предоперационном планировании. В головном мозге однонаправленное движение молекул воды называют анизотропией. Поскольку в белом веществе движение молекул воды происходит параллельно аксональным волокнам, это движение можно зафиксировать и получить информацию о положении трактов [23].

Сравнение данных трактографии и субкортикальной стимуляции показало довольно оптимистичные результаты. Для установления степени соответствия результатов предоперационной трактографии и интраоперационной субкортикальной стимуляции в некоторых исследованиях использовали расстояние между точкой субкортикальной стимуляции и данными нейронавигационной станции [24, 25]. Было показано, что это расстояние составляет порядка 8,7 мм [26, 27].

Хорошо зарекомендовало себя использование данных трактографии и систем нейронавигации. J.S. Wu и соавт. показали, что использование нейронавигации с трактографией на основе диффузно-тензорной визуализации без субкортикальной стимуляции позволяет значительно снизить послеоперационный моторный дефицит при максимальной резекции у пациентов с глиомами [28]. A. Romano и соавт. оценили применение трактографии как на этапе планирования, так и интраоперационно в исследовании, включившем 28 пациентов. По данным этих авторов, трактография в 25 % случаев повлияла на выбор доступа и в 64 % случаев – на определение края резекции. Подобные результаты были получены и в других исследованиях с участием пациентов с опухолями [29].

В целом большинство исследований показало, что трактография на основе диффузно-тензорной визуализации является достаточно точным методом для идентификации моторных, речевых и зрительных трактов. Однако идентификация трактов при значительном отеке, пересечении волокон довольно проблематична [24, 30]. Так называемый «сдвиг мозга» также может ограничивать применение трактографии вместе с нейронавигацией. Отчасти элиминировать данное ограничение может помочь применение ультразвукового сканирования в реальном времени, сопряженного с нейронавигацией [31].

Помимо идентификации трактов белого вещества на этапе планирования, необходимо располагать информацией о расположении самих ФЗЗ. Для этого используют функциональную магнитно-резонансную томографию (фМРТ) – метод, основанный на изменении мозгового кровотока в местах повышенной нейрональной активности. Лежащий в основе данного метода феномен BOLD (blood oxygenation level independent) связан с различными магнитными свойствами 2 модификаций железосодержащих молекул гемоглобина – окси- и дезоксигемоглобина. Усиление метаболической активности нейронов приводит к увеличению интенсивности кровотока, что регистрируется при фМРТ. В ходе исследования регистрируется ответ коры на речь или произвольное движение пальцем и др. [32]. Данный метод имеет ограничения, связанные с артефактами движения, а также искажением сигнала сосудами, питающими опухоль [17, 32]. В настоящее время все чаще используют фМРТ в состоянии покоя, которая также хорошо зарекомендовала себя в предоперационной идентификации ФЗЗ. К преимуществам данного метода относится возможность полной идентификации сети определенной ФЗЗ, а не только той части, что ответственна за выполнение задания. Также данный метод не требует выполнения заданий, что особенно актуально в педиатрической популяции [33, 34].

Отдельное внимание следует уделять использованию метаболической навигации как дополнительного метода, облегчающего ориентацию на интраоперационном этапе.

Широкое распространение в хирургии глиом высокой степени злокачественности получило использование 5-аминолевулиновой кислоты (5-ALA) [35]. Однако роль 5-ALA в хирургии глиом низкой степени злокачественности до сих пор оценивается неоднозначно [36]. По данным M. Jaber и соавт., представивших результаты самой большой серии наблюдений (n = 82), видимая флюоресценция наблюдалась лишь в 13 (16 %) случаях [37]. Похожие результаты продемонстрированы и в других исследованиях [38, 39]. Однако в серии наблюдений S.A. Goryaynov и соавт. видимая флюоресценция наблюдалась в 52 % случаев. Такие результаты авторы связывают с более высокой дозой 5-ALA (25 мг/кг массы тела) и особенностями гистоструктуры опухолей в выборке. Исследователи предположили, что наличие видимой интраоперационной флюоресценции связано с наличием потенциальных очагов злокачественной трансформации в глиомах низкой степени злокачественности [40]. Таким образом, роль 5-ALA в оптимизации хирургического лечения глиом низкой степени злокачественности неоднозначна и требует дальнейшего анализа.

Далее нами описан алгоритм лечения пациентов детского возраста с опухолями отдельных ФЗЗ на примере 2 клинических случаев: пациента 16 лет с ганглиоглиомой речевой зоны и пациента 9 лет с ганглиоглиомой базальных отделов.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 1

Пациент, *16 лет, правша, поступил в клинику НМИЦ им. В.А. Алмазова Минздрава России с жалобами на однократный судорожный приступ с нарушением речи в постиктальном периоде, головную боль, быструю утомляемость. По результатам магнитно-резонансной томографии (МРТ) выявлена кистозная опухоль задних отделов левой височной доли. По данным фМРТ в состоянии покоя, отображающей активацию лингвальной сети (рис. 1), отмечалось близкое расположение опухоли к сенсорной речевой зоне, по данным трактографии — к дугообразному пучку.*

По данным нейропсхиологического обследования отмечались легкая недостаточность звукового анализа и синтеза, фонематического восприятия, умеренное снижение объема оперативной слухоречевой памяти, легкие нарушения номинативной функции речи.

С пациентом и его родителями была проведена беседа о сути предстоящей операции. Акцент был сделан на том, что ребенку предстоит принимать активное участие в процессе в ходе самого ответственного этапа. В палате были смоделированы положение ребенка на операционном столе и ограниченность его визуального контакта с окружающей обстановкой. Пациент в ходе работы с нейропсихологом тщательно ознакомился с заданиями для интраоперационного тестирования. Также перед операцией пациент познакомился со всеми членами хирургической и анестезиологической бригад.

Удаление опухоли проводили с интраоперационным пробуждением. В качестве языкового задания мы использовали тест по называнию предметов и тест на заканчивание предложений [41]. В начале стимуляции использовали силу тока 1 мА, при отсутствии ошибок при выполнении языкового задания силу тока увеличивали на 1 мА. В ходе кортикальной стимуляции по Пенфилду с силой тока 4 мА в точке «44» (рис. 2) отмечено невыполнение языкового задания на заканчивание предложений. Стимуляцию проводили трехкратно в момент озвучивания задания. По мере удаления опухоли проводили динамическую субкортикальную стимуляцию по Танигучи с частотой 300 Гц и начальной силой тока 10 мА. В непосредственной близости от дугообразного пучка — 4 мм по данным нейронавигации, что соответствовало краю резекции (рис. 3), — при силе тока в 6 мА отмечалось наличие парафазий при выполнении пациентом задания

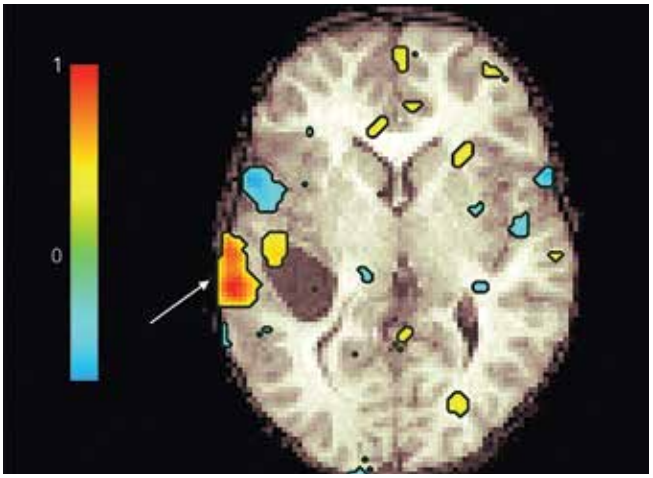

Рис. 1. *Предоперационная функциональная магнитно-резонансная томография в состоянии покоя, отображающая активацию лингвальной сети, демонстрирует близость опухоли к речевой зоне (указано стрелкой)*

Fig. 1. *Preoperative state functional magnetic resonance imaging of the lingual network demonstrates the proximity of the tumor to the speech zone (arrow)*

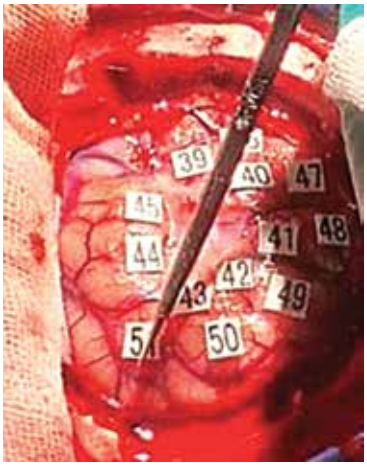

Рис. 2. *Интраоперационная фотография на этапе кортикальной стимуляции. Положение речевой коры соответствует отметке «44» (наблюдалось невыполнение языкового задания). В остальных точках нарушений при выполнении языкового задания не отмечено*

Fig. 2. *Intraoperative photo of cortical stimulation. The position of the speech cortex corresponds to the mark "44" (there was a failure to complete the language task). At other points, there are no violations during the performance of the language task*

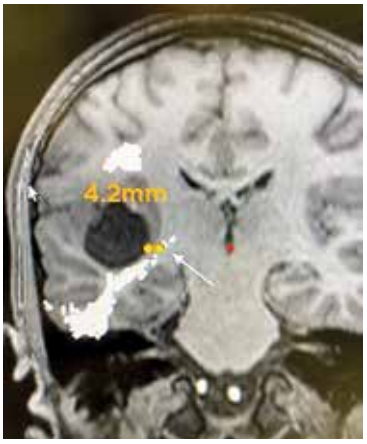

Рис. 3. *На экране станции нейронавигации стрелкой указано расстояние между границей резекции и волокнами дугообразного пучка по данным навигационной станции. Отмеченная точка соответствует зоне возникновения парафазий при субкортикальной стимуляции с силой тока 6 мА*

Fig. 3. *On the screen of the neuronavigation station, the arrow indicates the distance between the resection border and the fibers of the arcuate fascicle according to the data of the navigation station. The marked point corresponds to the zone of occurrence of paraphasia during subcortical stimulation with a current of 6 mA*

Рис. 4. *Послеоперационная магнитно-резонансная томография в режиме Т2 (аксиальная плоскость): в левой височной доле резекционная полость, окруженная зоной отека (указана стрелкой). Подтверждается тотальное удаление опухоли*

Fig. 4. *Postoperative magnetic resonance imaging T2 mode (axial plane): in the left temporal lobe there is a resection cavity surrounded by a zone of edema (indicated by an arrow). Complete resection of the tumor is confirmed*

по заканчиванию предложений и называнию предметов. При использовании меньшей силы тока ошибок при выполнении языкового задания не зафиксировано.

В раннем послеоперационном периоде наблюдались элементы афферентно-моторной афазии, которые регрессировали на 4-е сутки. Данные контрольной МРТ с контрастным усилением подтверждают тотальное удаление опухоли (рис. 4). По результатам гистологического исследования – ганглиоглиома, grade 1.

По данным МРТ головного мозга с контрастным усилением спустя 6 мес после операции признаков опухолевой ткани не обнаружено. При осмотрах невролога, нейропсихолога отклонений не выявлено.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 2

Пациент, *9 лет, поступил в клинику с жалобами на головную боль, слабость в правой руке. При неврологическом осмотре отмечался парез дистальной мускулатуры правой руки до 4 баллов. По данным МРТ: опухоль базальных отделов левого полушария. По данным магнитно-резонансной трактографии опухоль прилежит к левому кортикоспинальному тракту (рис. 5).*

Контроль достаточности размеров и места краниотомии проводили с использованием станции нейронавигации, интегрированной с микроскопом (рис. 6, 7).

В ходе удаления опухоли с применением динамической стимуляции по Танигучи с силой тока 8 мА идентифицирован левый кортикоспинальный тракт. По мере удаления опухоли и приближения к двигательным волокнам ответ был получен при стимуляции с силой тока 3 мА, что соответствовало расстоянию 4 мм по данным нейронавигации (рис. 8). Отдельные участки опухоли

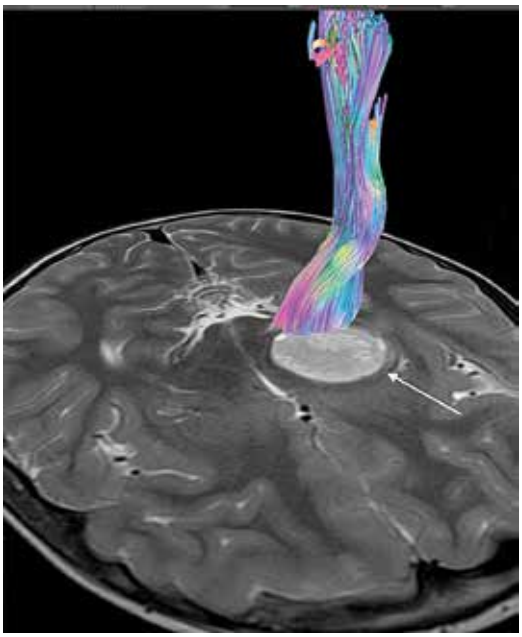

Рис. 5. *Предоперационная магнитно-резонансная томография в режиме Т2 (аксиальный срез): опухоль базальных ядер (задняя ножка внутренней капсулы, бледный шар), таламуса левого полушария и латеральных отделов левой ножки мозга (указана стрелкой) прилежит к левому кортикоспинальному тракту*

Fig. 5. *Preoperative magnetic resonance imaging in T2 mode (axial section): tumor of the basal ganglia (posterior leg of the internal capsule, globus pallidus), thalamus of the left hemisphere and lateral parts of the left brain stem (indicated by an arrow) is adjacent to the left corticospinal tract*

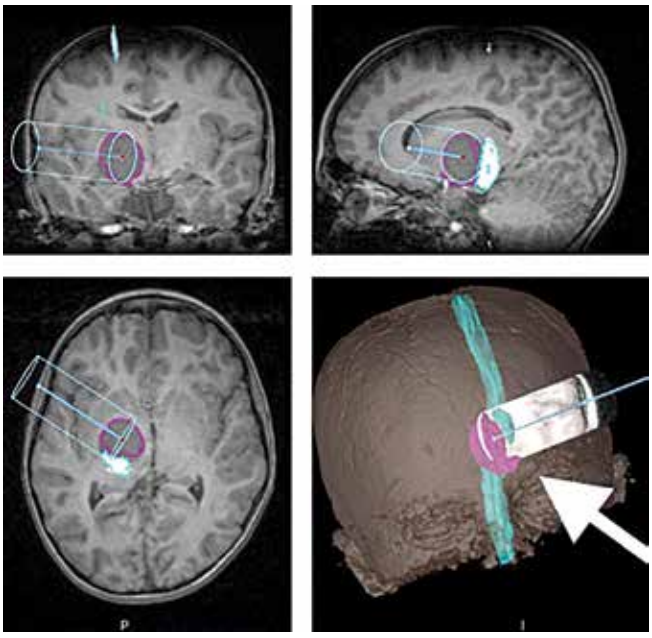

Рис. 6. *На экране станции нейронавигации отражен этап планирования доступа (показан стрелкой) с учетом расположения опухоли (отмечена малиновым контуром) и левого кортикоспинального тракта (бирюзовый контур)*

Fig. 6. *The screen of the neuronavigation station reflects the stage of access planning (shown by an arrow), taking into account the location of the tumor (marked with a crimson outline) and the left corticospinal tract (turquoise outline)*

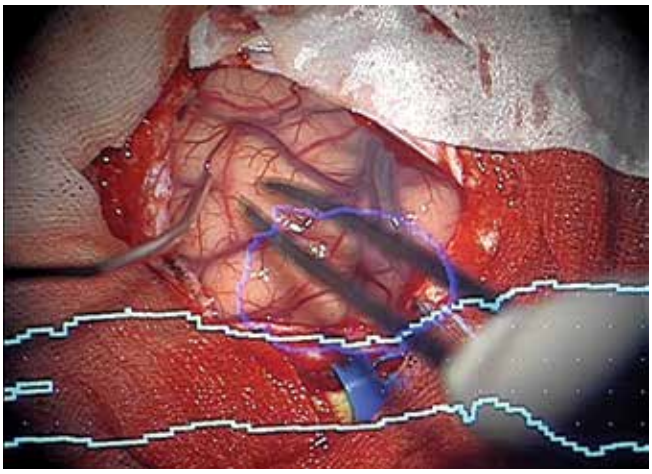

Рис. 7. *В окулярах микроскопа (во время операции) малиновым контуром отмечена граница проекции опухоли на кору, бирюзовым – проекция левого кортикоспинального тракта*

Fig. 7. *In the microscope (during the operation), the border of the tumor projection onto the cortex is marked with a crimson outline, the projection of the left corticospinal tract is marked with turquoise*

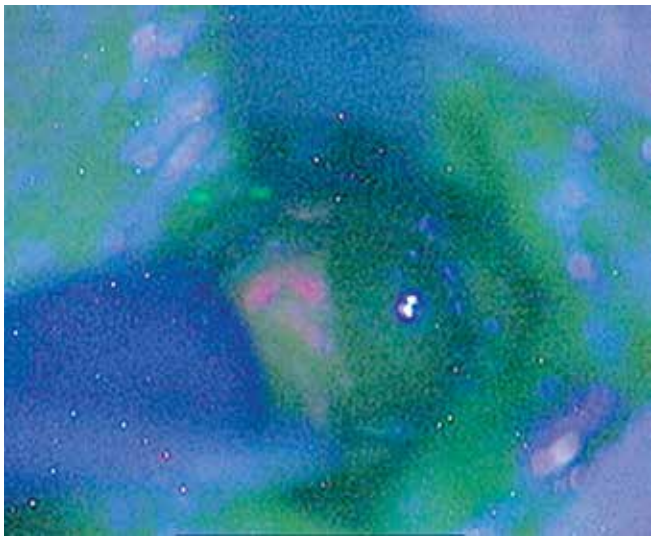

Рис. 9. *Интраоперационная фотография. Флуоресцентное свечение отдельных участков опухоли, индуцированное 5-ALA*

Fig. 9. *Intraoperative photo. Fluorescent glow of individual tumor areas induced by 5-ALA*

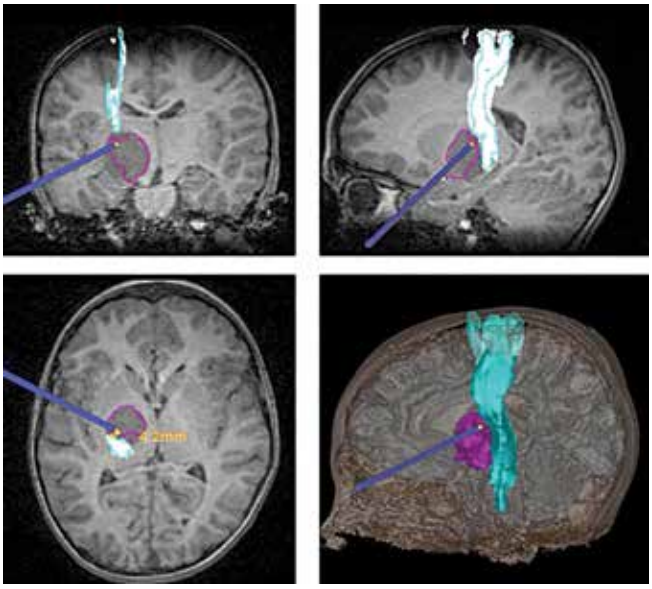

Рис. 8. *После идентификации левого кортикоспинального тракта в ходе динамической монополярной стимуляции (3 мА) при помощи поинтера станции нейронавигации определено расстояние от края резекции до кортикоспинального тракта – 4,2 мм*

Fig. 8. *After identification of the left corticospinal tract during dynamic monopolar stimulation (3 mA), using the pointer of the neuronavigation station, the distance from the resection edge to the corticospinal tract was determined to 4.2 mm*

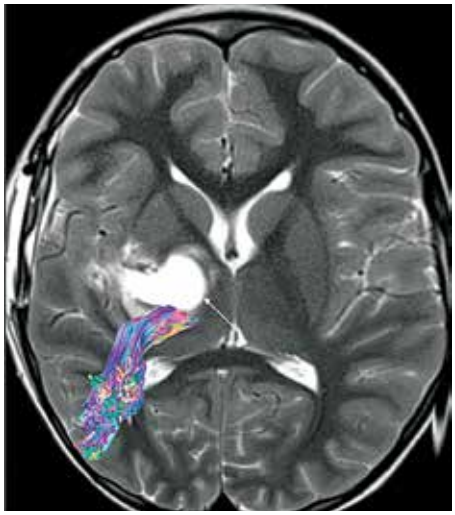

Рис. 10. *Послеоперационная магнитно-резонансная томография в режиме T2 (аксиальная плоскость): визуализируется резекционная полость размерами 45 × 20 × 23, окруженная зоной отека (указана стрелкой)*

Fig. 10. *Postoperative magnetic resonance imaging in T2 mode (axial plane) shows a resection cavity 45 × 20 × 23 in size, surrounded by a zone of edema (indicated by an arrow)*

продемонстрировали видимое флуоресцентное свечение, индуцированное 5-ALA (рис. 9). После визуально тотального удаления опухоли регистрация вызванных моторных ответов отмечалась при силе тока 3 мА.

По результатам гистологического исследования – пилоцитарная астроцитома, grade 1.

Послеоперационная МРТ в режиме T2 и магнитно-резонансная трактография (рис. 10) подтверждают тотальное удаление опухоли с сохранением левого кортикоспинального тракта.

В раннем послеоперационном периоде наблюдались нарастание пареза дистальной мускулатуры правой руки до 2 баллов, парез в проксимальной мускулатуре – до 3 баллов. Выраженной динамики, несмотря на проводимую терапию, в раннем послеоперационном периоде не отмечалось. Однако после реабилитационного лечения появилась положительная динамика в виде частичного регресса пареза дистальной мускулатуры правой руки до 3 баллов, пареза в проксимальной мускулатуре – до 4 баллов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Один из главных аспектов успешного применения КС у детей – тщательная психологическая подготовка пациента и его окружения (родителей) с целью формирования положительного отношения к предстоящей процедуре, что было продемонстрировано нами в клиническом наблюдении 1. Особое внимание следует уделять моделированию условий операционной, что поможет преодолеть страх перед замкнутым пространством и крепкой фиксацией головы. Такая тщательная подготовка позволяет сделать технологию КС безопасной и у детей более младшего возраста [16].

В ходе кортикальной стимуляции в клиническом наблюдении 1 мы успешно использовали силу тока 4 мА, что совпадает с данными больших серий наблюдений.

В клиническом наблюдении 2 в ходе субкортикальной стимуляции удалось достичь тотального удаления опухоли при получении моторных ответов при силе тока 3 мА. Однако это привело к развитию неврологического дефицита (хотя и частично регрессировавшего на фоне реабилитации), что может быть косвенным подтверждением мнения о небезопасности резекции при получении моторных ответов при силе тока 1–2 мА [19, 20].

Результаты совместного использования данных нейронавигации и трактографии, продемонстрированного нами в клиническом наблюдении 1, сравнивали с данными субкортикальной стимуляции. В нашем опыте данные о расстоянии до дугообразного пучка отличались на 1 мм. Такая точность нейронавигации и трактографии значительно отличается от средней разницы при применении данных методов в крупных сериях наблюдений [26, 27]. Тем не менее совместное использование данных трактографии и нейронавигации может быть полезно при отсутствии субкортикальной стимуляции.

В нашем опыте применение фМРТ в состоянии покоя позволило локализовать зону сенситивной речи на этапе предоперационного планирования, что было подтверждено при кортикальной стимуляции.

Применение метаболической навигации с использованием 5-ALA в клиническом наблюдении 2 не оказало влияния на объем резекции. Отдельные участки опухоли, отмеченные таким образом, были идентифицированы и при микроскопии в привычном световом спектре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка распространенности опухолей ФЗЗ в детской популяции в настоящее время достаточно проблематична. Тем не менее актуальность проблемы не вызывает сомнений, так же как и высокая сложность задачи, с которой сталкивается хирург в каждом отдельном случае, учитывая отсутствие в литературе единого алгоритма в отношении лечения опухолей ФЗЗ.

Наш собственный опыт и данные литературы позволяют сделать вывод, что успешное лечение опухолей ФЗЗ требует изменения привычной парадигмы нейроонкологии. Так, исключительно визуальная интраоперационная оценка хирургической интервенции должна дополняться пред- и интраоперационной оценкой, основанной на результатах применения описанных методов, что позволит добиться оптимального баланса между онкологической пользой и функциональным исходом.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Hervey-Jumper S.L., Berger M.S. Introduction: surgical management of eloquent area tumors. Neurosurgery 2020;87(6):1076–7. DOI: 10.1093/neuros/nyaa358
2. Bandopadhayay P., Bergthold G., London W.B. et al. Long-term outcome of 4,040 children diagnosed with pediatric low-grade gliomas: an analysis of the Surveillance Epidemiology and End Results (SEER) database. Pediatr Blood Cancer 2014;61(7): 1173–9. DOI: 10.1002/pbc.24958
3. Diwanji T.P., Engelman A., Snider J.W., Mohindra P. Epidemiology, diagnosis, and optimal management of glioma in adolescents and young adults. Adolesc Health Med Ther 2017;8:99–113. DOI: 10.2147/AHMT.S53391
4. Van den Bent M.J., Snijders T.J., Bromberg J.E. Current treatment of low grade gliomas. Memo 2012;5(3):223–7. DOI: 10.1007/s12254-012-0014-3
5. Delion M., Terminassian A., Lehousse T. et al. Specificities of awake craniotomy and brain mapping in children for resection of supratentorial tumors in the language area. World Neurosurg 2015;84(6):1645–52. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.06.073
6. Balogun J.A., Khan O.H., Taylor M. et al. Pediatric awake craniotomy and intra-operative stimulation mapping. J Clin Neurosci 2014;21(11):1891–4. DOI: 10.1016/j.jocn.2014.07.013
7. Кумирова Э.В. Новые подходы в диагностике опухолей центральной нервной системы у детей. Российский журнал детской онкологии и гематологии 2017;4:37–45. DOI: 10.17650/2311-1267-2017-4-1-37-45
Kumirova E.V. New approaches in the diagnosis of tumors of the central nervous system in children. Rossijskij zhurnal detskoj onkologii i gematologii = Russian Journal of Pediatric Hematology and Oncology 2017;4:37–45. (In Russ.). DOI: 10.17650/2311-1267-2017-4-1-37-45
8. Blionas A., Giakoumettis D., Klonou A. et al. Paediatric gliomas: diagnosis, molecular biology and management. Ann Transl Med 2018;6(12):251. DOI: 10.21037/atm.2018.05.11
9. Aghi M.K., Nahed B.V., Sloan A.E. et al. The role of surgery in the management of patients with diffuse low grade glioma: a systematic review and evidence-based clinical practice guideline. J Neurooncol 2015;125(3):503–30. DOI: 10. 1007/s11060-015-1867-1
10. De Benedictis A., Moritz-Gasser S., Duffau H. Awake mappin optimizes the extent of resection for low-grade gliomas

in eloquent areas. Neurosurgery 2010;66(6):1074–84; discussion 1084. DOI: 10.1227/01.NEU.0000369514.74284.78
11. Bello L., Gallucci M., Fava M. et al. Intraoperative subcortical language tract mapping guides surgical removal of gliomas involving speech areas. Neurosurgery 2007;60(1):67–80; discussion 80–2. DOI: 10.1227/01.NEU.0000249206.58601.DE
12. De Witt Hamer P.C., Robles S.G., Zwinderman A.H. et al. Impact of intraoperative stimulation brain mapping on glioma surgery outcome: a meta-analysis. J Clin Oncol 2012;30(20):2559–65. DOI: 10.1200/jco.2011.38.4818
13. 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.0b013e318290c2300
14. Akay A., Rükşen M., Çetin H.Y. et al. Pediatric awake craniotomy for brain lesions. Pediatr Neurosurg 2016;51(2):103–8. DOI: 10.1159/000442988
15. Ojemann S.G., Berger M.S., Lettich E., Ojemann G.A. Localization of language function in children: results of electrical stimulation mapping. J Neurosurg 2003;98(3):465–70. DOI: 10.3171/jns. 2003.98.3.0465
16. Riquin E., Martin P., Duverger P. et al. A case of awake craniotomy surgery in an 8-year-old girl. Childs Nerv Syst 2017;33(7):1039–42. DOI: 10.1007/s00381-017-3463-5
17. Lohkamp L.N., Beuriat P.A., Desmurget M. et al. Awake brain surgery in children – a single-center experience. Childs Nerv Syst 2020;36(5):967–74. DOI: 10.1007/s00381-020-04522-9
18. Roth J., Korn A., Sala F. et al. Intraoperative neurophysiology in pediatric supratentorial surgery: experience with 57 cases. Childs Nerv Syst 2020;36(2):315–24. DOI: 10.1007/s00381-019-04356-0
19. Seidel K., Beck J., Stieglitz L. et al. The warning-sign hierarchy between quantitative subcortical motor mapping and continuous motor evoked potential monitoring during resection of supratentorial brain tumors. J Neurosurg 2013;118(2):287–96. DOI: 10.3171/2012.10.jns12895
20. Seidel K., Schucht P., Beck J., Raabe A. Continuous dynamic mapping to identify the corticospinal tract in motor eloquent brain tumors: an update. J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg 2020;81(2):105–10. DOI: 10.1055/s-0039-1698384
21. 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
22. Keles G.E., Lundin D.A., Lamborn K.R. et al. Intraoperative subcortical stimulation mapping for hemispherical perirolandic gliomas located within or adjacent to the descending motor pathways: evaluation of morbidity and assessment of functional outcome in 294 patients. J Neurosurg 2004;100(3):369–75. DOI: 10.3171/jns.2004.100.3.0369
23. Choi B.D., Mehta A.I., Batich K.A. et al. The use of motor mapping to aid resection of eloquent gliomas. Neurosurg Clin N Am 2012;23(2):215–25, vii. DOI: 10.1016/j.nec.2012.01.013
24. 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
25. Berman J.I., Berger M.S., Chung S.W. et al. Accuracy of diffusion tensor magnetic resonance imaging tractography assessed using intraoperative subcortical stimulation mapping and magnetic source imaging. J Neurosurg 2007;107(3):488–94. DOI: 10.3171/JNS-07/09/0488
26. Kamada K., Todo T., Ota T. et al. The motor-evoked potential threshold evaluated by tractography and electrical stimulation. J Neurosurg 2009;111(4):785–95. DOI: 10.3171/2008.9.JNS08414
27. Ohue S., Kohno S., Inoue A. et al. Accuracy of diffusion tensor magnetic resonance imaging-based tractography for surgery of gliomas near the pyramidal tract: a significant correlation between subcortical electrical stimulation and postoperative tractography. Neurosurgery 2012;70(2):283–93; discussion 294. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31823020e6
28. Wu J.-S., Zhou L.-F., Tang W.-J. et al. Clinical evaluation and follow-up outcome of diffusion tensor imaging-based functional neuronavigation: a prospective, controlled study in patients with gliomas involving pyramidal tract. Neurosurgery 2007;61(5):935–48; discussion 948–9. DOI: 10.1227/01.neu.0000303189.80049.ab
29. Romano A., D'Andrea G., Minniti G. et al. Pre-surgical planning and MR-tractography utility in brain tumour resection. Eur Radiol 2009;19(12):2798–808. DOI: 10.1007/s00330-009-1483-6
30. Alexander A.L., Lee J.E., Lazar M., Field A.S. Diffusion tensor imaging of the brain. Neurotherapeutics 2007;4(3):316–29. DOI: 10.1016/j.nurt.2007.05.011
31. Liang C., Li M., Gong J. et al. A new application of ultrasound-magnetic resonance multimodal fusion virtual navigation in glioma surgery. Ann Transl Med 2019;7(23):736. DOI: 10.21037/atm.2019.11.113
32. Rutten G.J., Ramsey N.F. The role of functional magnetic resonance imaging in brain surgery. Neurosurg Focus 2010;28(2):E4. DOI: 10.3171/2009.12.FOCUS09251
33. Lee M.H., Miller-Thomas M.M., Benzinger T.L. et al. Clinical resting-state fMRI in the preoperative setting: are we ready for prime time? Top Magn Reson Imaging 2016;25(1):11–8. DOI: 10.1097/RMR.0000000000000075
34. Буккиева Т.А., Поспелова М.Л., Ефимцев А.Ю. и др. Функциональная МРТ в оценке изменений коннектома головного мозга у пациенток с постмастэктомическим синдромом. Лучевая диагностика и терапия 2021;12(4):41–9. DOI: 10.22328/2079-5343-2021-12-4-41-49
Bukkieva T.A., Pospelova M.L., Efimtsev A.Yu. et al. Functional MRI in the assessment of changes in the brain connectome in patients with post-mastectomy syndrome. Luchevaya diagnostika i terapiya = Diagnostic Radiology and Radiotherapy 2021;12(4):41–9. (In Russ.). DOI: 10.22328/2079-5343-2021-12-4-41-49
35. Stummer W., Molina E.S. Fluorescence imaging/agents in tumor resection. Neurosurg Clin N 2017;28:569–83. DOI: 10.1016/j.nec.2017.05.009
36. McGirt M.J., Chaichana K.L., Attenello F.J. et al. Extend of surgical resection is independently associated with survival in patients with hemispheric infiltraiting low-grade gliomas. Neurosurgery 2008;63(4):700–8. DOI: 10.1227/01.NEU.0000325729.41085.73
37. Jaber M., Wolfer J., Ewelt C. et al. The value of 5-aminolevulinic acid in low-grade gliomas and high-grade gliomas lacking glioblastoma imaging features: an analysis based on fluorescence, magnetic resonance imaging, 18F-fluoroethyl tyrosine positron emission tomography, and tumor molecular factor. Neurosurgery 2016;78(3):401–11; discussion 411. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001020
38. Widhalm G., Wolfsberger S., Minchev G. et al. 5-Aminolevulinic acid is a promising marker for detection of anaplastic foci in diffusely infiltrating gliomas with nonsignificant contrast enhancement. Cancer 2010;116(6):1545–52. DOI: 10.1002/cncr.24903
39. Ewelt C., Floeth F.W., Felsberg J. et al. Finding the anaplastic focus in diffuse gliomas: the value of Gd-DTPA enhanced MRI, FET-PET, and intraoperative, ALA-derived tissue fluorescence. Clin Neurol Neurosurg 2011;113(7):541–7. DOI: 10.1016/j.clineuro.2011.03.008
40. Goryaynov S.A., Widhalm G., Goldberg M.F. et al. The role of 5-ALA in low-grade gliomas and the influence of antiepileptic drugs on intraoperative fluorescence. Front Oncol 2019;9:423. DOI: 10.3389/fonc.2019.00423
41. 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. DOI: 10.47010/16.4.1

Вклад авторов
Д.В. Низолин: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и интерпретация данных, написание и редактирование текста статьи;
А.В. Ким, К.А. Самочерных: разработка концепции и дизайна исследования, редактирование текста статьи;
Ю.А. Зуева, О.О. Шмелева: сбор и интерпретация данных;
Н.Е. Маслов, А.Ю. Ефимцев, Э.Т. Назаралиева: сбор и интерпретация данных, написание текста статьи.
Authors' contributions
D.V. Nizolin: development of the concept and design of the study, data collection and interpretation, writing and editing of the article;
A.V. Kim, K.A. Samochernykh: development of the concept and design of the study, editing of the article;
Yu.A. Zueva, O.O. Shmeleva: data collection and interpretation;
N.E. Maslov, A.Yu. Efimtsev, E.T. Nazaralieva: data collection and interpretation, article writing.

ORCID авторов / ORCID of authors
Д.В. Низолин / D.V. Nizolin: https://orcid.org/0000-0001-8719-0342
А.В. Ким / A.V. Kim: https://orcid.org/0000-0002-6219-7270
К.А. Самочерных / K.A. Samochernykh: https://orcid.org/0000-0003-0350-0249

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках реализации государственного задания № 121031100289-2 «Разработка новых технологий нейрореабилитации пациентов после хирургического лечения опухолей центральной нервной системы».
Funding. The work was carried out within the framework of the implementation of the state task No. 121031100289-2 "Development of new technologies for neurorehabilitation of patients after surgical treatment of tumors of the central nervous system".

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Родители пациентов подписали информированное согласие на публикацию их данных.
Compliance with patient rights and principles of bioethics. The parents of the patients signed an informed consent to publication of their data.

Статья поступила: 20.10.2022. **Принята к публикации:** 25.01.2024.
Article submitted: 20.10.2022. **Accepted for publication:** 25.01.2024.