

© Team of authors, 2026 / © Коллектив авторов, 2026  
3.1.10 Neurosurgery / 3.1.10 Нейрохирургия

## The Efficacy of Magnetic Resonance Tractography and Intraoperative Neurophysiological Monitoring in the Surgical Treatment of Midbrain Gliomas in Children

Sh.R. Fayzullaev<sup>1</sup>, Sh. U. Kadyrov<sup>1</sup>, E.A. Khuhlaeva<sup>1,2</sup>, A.A. Ogurtsova<sup>1</sup>, R.M. Afandiev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Autonomous Institution National Medical Research Center of Neurosurgery nam. after Academ. N.N. Burdenko,

<sup>2</sup>Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Federal State Budget Educational Institution for Additional Professional Education "Russian Medical Academy of Continuing Professional Education," Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

Contacts: Fayzullaev Sharof Rakhmatullaevich – e-mail: Fayzullaev@nsi.ru

## Эффективность использования магнитно-резонансной трактографии и интраоперационного нейрофизиологического мониторинга при хирургическом лечении глиом среднего мозга у детей

Ш.Р. Файзуллаев<sup>1</sup>, Ш.У. Кадыров<sup>1</sup>, Е.А. Хухлаева<sup>1,2</sup>, А.А. Огурцова<sup>1</sup>, Р.М. Афандиев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАУ Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко Минздрава РФ, Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава РФ, Москва, Россия

Контакты: Файзуллаев Шароф Рахматуллаевич – e-mail: Fayzullaev@nsi.ru

## 磁共振纤维束成像 (MR 纤维束追踪) 与术中神经生理监测在儿童中脑胶质瘤外科治疗中的有效性

Sh.R. Fayzullaev<sup>1</sup>, Sh. U. Kadyrov<sup>1</sup>, E.A. Khuhlaeva<sup>1,2</sup>, A.A. Ogurtsova<sup>1</sup>, R.M. Afandiev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>俄罗斯联邦卫生部 N.N. 布尔登科院士命名国家神经外科医学研究中心 (联邦国家自治机构), 莫斯科, 俄罗斯

<sup>2</sup>俄罗斯联邦卫生部“俄罗斯继续职业教育医学院” (联邦国家预算补充职业教育机构), 莫斯科, 俄罗斯

联系人: Fayzullaev Sharof Rakhmatullaevich – e-mail: Fayzullaev@nsi.ru

This article describes two clinical cases of children with midbrain tumors who underwent surgery at the N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery. The efficacy of preoperative magnetic resonance (MR) tractography and intraoperative neurophysiological monitoring is examined. These modern techniques aid in determining the optimal surgical approach, extent of resection, and preservation of the patient's functional status.

**Conclusion.** Reconstruction of the corticospinal tract using MR tractography with subsequent intraoperative monitoring are effective methods in the surgical treatment of midbrain tumours.

**Keywords:** midbrain, MR tractography, intraoperative neuromonitoring, corticospinal tract, midbrain gliomas

**Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

**Financing.** The study was performed without external funding.

**Compliance with patient rights and principles of bioethics.** All patients gave written informed consent to participate in the study.

**For citation:** Fayzullaev Sh.R., Kadyrov Sh.U., Khuhlaeva E.A., Ogurtsova A.A., Afandiev R.M. The Efficacy of Magnetic Resonance Tractography and Intraoperative Neurophysiological Monitoring in the Surgical Treatment of Midbrain Gliomas in Children. *Head and Neck. Russian Journal.* 2026;14(1):149–158

**Doi:** 10.25792/HN.2026.14.1.149-158

The authors are responsible for the originality of the data presented and the possibility of publishing illustrative material – tables, drawings, photographs of patients.

В статье проводится описание 2 клинических случаев детей с опухолью среднего мозга, прооперированных в НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко. Рассматривается эффективность применения преоперационной МР-трактографии и интраоперационного нейрофизиологического мониторинга, которые являются современными методами, способствующими выбору оптимального хирургического доступа, объема резекции и сохранения функционального статуса пациента.

**Заключение:** Реконструкция кортикоспинального тракта при помощи МР-трактографии и последующий интраоперационный нейрофизиологический мониторинг являются эффективными методами при хирургическом лечении опухолей среднего мозга.

**Ключевые слова:** средний мозг, МР-трактография, интраоперационный мониторинг, кортикоспинальный тракт, глиомы среднего мозга

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики.** Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

**Для цитирования:** Файзуллаев Ш.Р., Кадыров Ш.У., Хухлаева Е.А., Огурцова А.А., Афандиев Р.М. Эффективность использования магнитно-резонансной трактографии и интраоперационного нейрофизиологического мониторинга при хирургическом лечении глиом среднего мозга у детей. *Head and neck. Голова и шея. Российский журнал.* 2026;14(1):149–158

**Doi:** 10.25792/HN.2026.14.1.149-158

Авторы несут ответственность за оригинальность представленных данных и возможность публикации иллюстративного материала – таблиц, рисунков, фотографий пациентов.

本文描述了两例在 N.N. 布尔登科国家神经外科医学研究中心接受手术治疗的儿童中脑肿瘤临床病例，并评估了术前磁共振 (MR) 纤维束成像与术中神经生理监测的效果。这些现代技术有助于确定最佳手术入路、切除范围，并最大程度保留患者的功能状态。

结论：通过 MR 纤维束成像重建皮质脊髓束，并结合后续术中监测，是中脑肿瘤外科治疗的有效方法。

关键词：中脑；MR 纤维束成像；术中神经监测；皮质脊髓束；中脑胶质瘤

利益冲突：作者声明无利益冲突。

经费来源：本研究未获得任何经费资助。

遵守患者权利和生物伦理原则：所有患者均签署了书面知情同意书参与本研究。

引用格式：Fayzullaev Sh.R., Kadyrov Sh.U., Khuhlaeva E.A., Ogurtsova A.A., Afandiev R.M. The Efficacy of Magnetic Resonance Tractography and Intraoperative Neurophysiological Monitoring in the Surgical Treatment of Midbrain Gliomas in Children. *Head and Neck. Russian Journal.* 2026;14(1):149–158

**Doi:** 10.25792/HN.2026.14.1.149-158

作者对所呈现数据的原创性以及发表插图材料（表格、图示、患者照片）的可能性负责。

По данным литературы, глиомы среднего мозга составляют 10–14% от общего числа новообразований ствола. Они возникают преимущественно у детей, в возрасте 7–9 лет [9]. У взрослых эти новообразования встречаются значительно реже [8]. Среди опухолей среднего мозга у детей чаще верифицируются глиомы низкой степени злокачественности. На сегодняшний день известно, что:

- первичные ограниченные опухоли ствола (FBSG), являющиеся предметом хирургии, составляют 20% от всех опухолей ствола [11];
- большая часть отграниченных опухолей ствола – пилоидные астроцитомы, хотя встречаются и астроцитомы II–IV;
- топография ограниченных опухолей ствола разнообразна, что предполагает и многообразие клинических проявлений и использование различных хирургических доступов к опухоли;
- радикальное удаление ограниченных опухолей ствола гарантирует высокий шанс на длительную безрецидивную выживаемость [10].

Тем не менее в настоящее время выбор оптимального мало-травматичного хирургического доступа и удаление опухоли

этой локализации часто составляет сложность ввиду риска повреждения критических структур мозга при подходе и удалении опухоли, с последующим появлением стойкого неврологического дефицита.

В современной нейрохирургии для минимизации риска интраоперационного повреждения кортикоспинального тракта (КСТ) применяют 2 взаимодополняющих диагностических метода: предоперационную магнитно-резонансную трактографию и интраоперационный нейрофизиологический мониторинг.

Магнитно-резонансная трактография (МР-трактография) обладает следующими диагностическими возможностями:

- трехмерная реконструкция КСТ;
- определение топографо-анатомических взаимоотношений между КСТ и опухолью;
- планирование оптимального хирургического доступа с минимизацией риска повреждения проводящих путей [3].

Интраоперационный электрофизиологический мониторинг (ИОМ) проводится в ходе хирургического вмешательства. Включает в себя комплекс модальностей, из которых чаще всего используются транскраниальные моторные вызванные

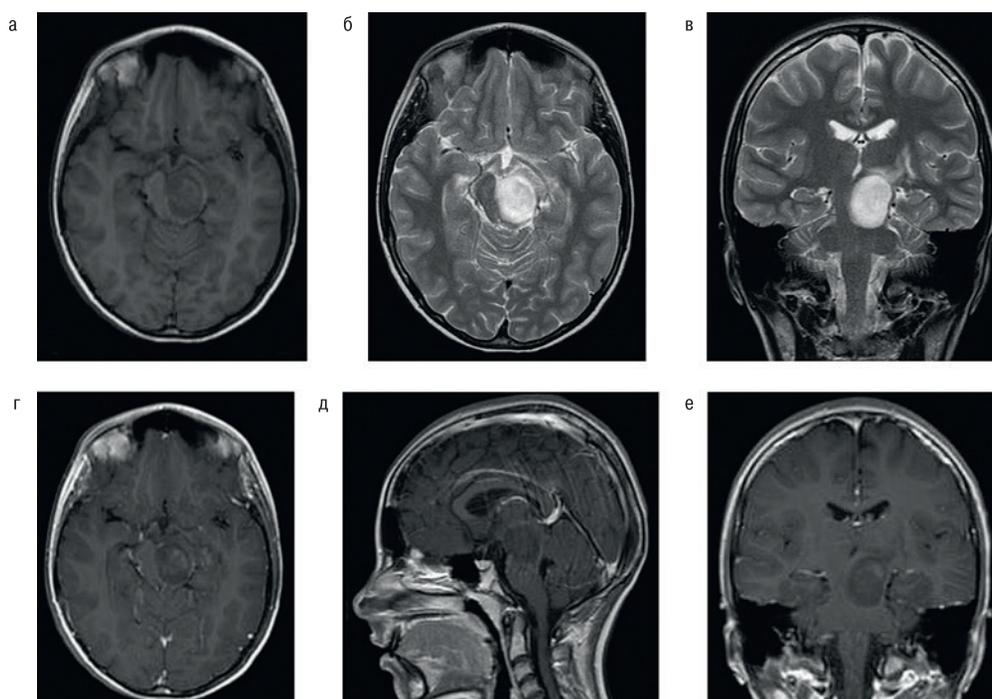


Рис. 1. МРТ головного мозга опухоли левой ножки мозга

а – в режиме T1 в аксиальной проекции, б – в аксиальной проекции в режиме T2 с контрастным усилением, в – в коронарной проекции в режиме T2, г – в аксиальной проекции в режиме T1 с контрастным усилением, д – в сагитальной проекции в режиме T1 с контрастным усилением, е – в коронарной проекции в режиме T1 с контрастным усилением.

Fig. 1. Brain MRI of a left cerebral peduncle tumor

A – axial T1-weighted image, б – axial contrast-enhanced T2-weighted image, в – coronal T2-weighted image, г – axial contrast-enhanced T1-weighted image, д – sagittal contrast-enhanced T1-weighted image, е – coronal contrast-enhanced T1-weighted image.

потенциалы (ТК МВП) и прямая электрическая стимуляция проводящих путей.

Ключевыми преимуществами метода являются:

- интраоперационная идентификация КСТ в глубине операционной раны;
- объективный контроль функционального состояния проводящих путей в режиме реального времени;
- возможность корректировки объема хирургического вмешательства при получении ответа от проводящих путей при прямой стимуляции в операционном поле [4].

Сочетание этих методов позволяет существенно повысить безопасность нейрохирургических вмешательств, обеспечивая как предоперационное планирование, так и интраоперационный контроль состояния КСТ.

**Цель работы** – осветить значимость предоперационной МР-трактографии, а также ИОМ при удалении ограниченных глиом среднего мозга у детей.

В публикации представлено 2 клинических примера, демонстрирующие особенности хирургии глиом среднего мозга без использования МР-трактографии и ИОМ, а также с использованием данных методов.

В первом наблюдении планирование операции и хирургическое лечение проводилось без данных МР-трактографии и ИОМ.

## Клинический случай 1

Ребенок А-ва, 12 лет. За 1 месяц до постановки диагноза упала с велосипеда, спустя несколько дней появилось снижение

силы в правой руке. Данное явление связывали с падением. Затем появилась асимметрия лицевой мускулатуры. В связи с этим проведена магнитно-резонансная томография (МРТ) головного мозга, при которой выявлена ограниченная опухоль покрышки среднего мозга слева, образование смещало левую ножку мозга кпереди, вызывая перитуморальный отек. Накопление контрастного вещества гетерогенное (рис. 1).

В клинической картине у ребенка отмечался гемипарез в правых конечностях до 4 баллов, парез лицевого нерва справа по центральному типу.

Удаление опухоли производилось трансвисочным трансхориодальным доступом с использованием УЗ-сканирования. Данный доступ был выбран ввиду крупных размеров опухоли, расположение которой преимущественно в центральной части среднего мозга, на уровне хороидальной щели. Интуитивно, опухоль смещала КСТ в переднелатеральном направлении.

Описание операции. Укладка пациента на спине с поворотом головы на 90 градусов. Краниотомия проводилась над височной долей. При помощи УЗ-сканера был визуализирован височный рог бокового желудочка, границы опухоли и траектория подхода к ней. Точкой входа являлась средняя височная извилина. На глубине около 3 см вскрылась полость височного рога, идентифицирована сосудистая щель, осуществлена ее диссекция. Обнаружена деформированная поверхность среднего мозга. В месте наибольшей деформации мозг изменен. Он разведен микропинцетом. Обнаружена опухолевая ткань серо-желтого цвета. Часть ее взята для гистологического исследования. Опухоль имела плотную консистенцию.

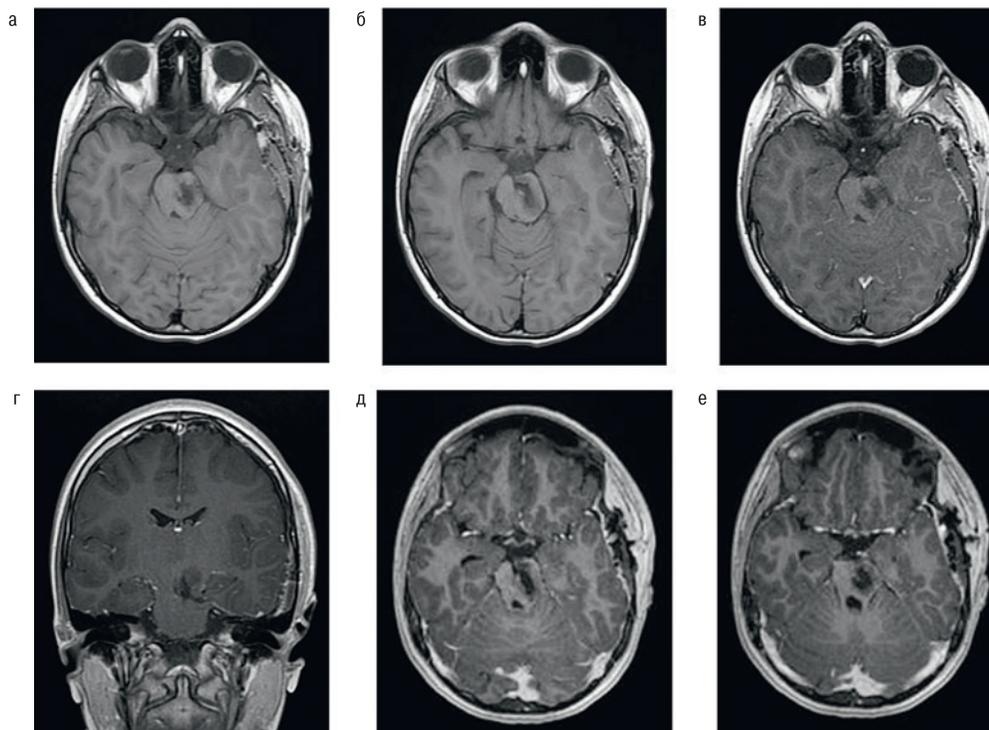


Рис. 2. МРТ головного мозга после удаления опухоли левой ножки мозга

а, б, в – в режиме T1 в аксиальной проекции, г – в коронарной проекции в режиме T1 с контрастным усилением, д, е – в аксиальной проекции в режиме T1 с контрастным усилением.

Fig. 2. Postoperative brain MRI after resection of the left cerebral peduncle tumor

а, б, в – axial T1-weighted images, г – coronal contrast-enhanced T1-weighted image, д – е axial contrast-enhanced T1-weighted images.

Удаление осуществлено при помощи отсоса, биполярной коагуляции, ультразвукового деструктора, диссектора. После удаления центральной части опухоли периферические отделы низводились в рану и резецировались. Постепенно был резецирован весь объем патологической ткани до интактного мозга. Вскрылась межножковая цистерна, деформация ствола мозга регрессировала. Осуществлен гемостаз при помощи биполярной коагуляции и гемостатической марли. Рана промыта и заполнена теплым физиологическим раствором. Твердая оболочка ушита, герметизирована Тахокомбом. Костный лоскут уложен на место и фиксирован. Мягкие ткани ушиты послойно.

Гистологический диагноз: пилоидная астроцитомы, Grade 1.

По данным МРТ головного мозга после операции на 6-е сутки визуализировалась картина субтотального удаления опухоли, послеоперационная полость – в области покрышки среднего мозга слева, по контурам резекции отмечались остаточные фрагменты опухоли, без накопления контрастного вещества. Деформация прилежащих структур регрессировала (рис. 2).

В раннем послеоперационном периоде, у ребенка выросла слабость до 3 баллов в правых конечностях. Появились глазодвигательные нарушения в виде отсутствия реакции зрачка на свет и птоза слева, расходящееся паралитическое косоглазие (рис. 3).

При динамическом наблюдении и реабилитации регрессировал птоз слева, спустя 2 года у пациента сохраняется стойкий правосторонний гемипарез.

В данном наблюдении тактика хирургического вмешательства основывалась только на результатах МРТ и визуальной картине в ходе операции. У хирурга не было предварительной информации о состоянии КСТ, о характере его вовлеченности в структуру опухоли, а также о степени приближения области хирургии к КСТ и о степени механического воздействия на него в ходе операции.

В следующем наблюдении планирование операции и тактика хирургии основывались на комплексе инструментальных и клинических методов обследования, включая результаты предоперационной МР-трактографии и ИОМ.

## Клинический случай 2

Ребенок П-ва, 12 лет. За 3 месяца до госпитализации и операции стала подволакивать левую ногу. Также появились головные боли в вечернее время после занятий спортом. В дальнейшем родители отметили слабость лицевой мускулатуры слева. Обратились к неврологу. Проведена МРТ головного мозга, которая выявила объемное образование среднего мозга и базальных отделов таламуса справа. Опухоль имела округлую форму, четкие границы с прилежащим мозгом, гетерогенно накапливала контрастное вещество, отмечался перифокальный отек (рис. 4).

При обследовании в НМИЦ в неврологическом статусе выявлено: левосторонний гемипарез до 3 баллов, снижение зрачковой реакции на свет с двух сторон, анизокория, легкая недостаточность 7-го нерва слева по центральному типу.



Рис. 3. Неврологический статус ребенка после операции на 7-е сутки  
Fig. 3. Clinical appearance of the child on the 7th postoperative day

Проведена МР-трактографии с построением КСТ. Правый КСТ был истончен и смещен по переднелатеральному краю опухоли (рис. 4).

В связи с полученными данными неврологического статуса, МРТ и МР-трактографии, учитывая, что опухоль располагалась в пределах половины среднего мозга, имела крупный объем, но четкие границы, сдвигала КСТ в переднелатеральном направлении, а также деформировала хороидальную щель височного рога правого бокового желудочка. В данном случае оптимальным и малотравматичным являлся транскортикальный трансхороидальный доступ под контролем ИОМ.

Описание операции. Укладка пациента в положении на спине с поворотом головы на 90 градусов. Краниотомия проводилась над височной долей. При помощи УЗ-сканера визуализирован височный рог бокового желудочка, границы опухоли и траектория подхода к ней. Кортикотомия проводилась на небольшом промежутке (1,0–1,5 см) в области средней височной извилины (рис. 5).

В ходе операции проводился интраоперационный нейрофизиологический мониторинг состояния КСТ. Транскраниальная стимуляция проводилась при помощи штормных субдермальных электродов, расположенных в точках С3–С4 (по международной схеме расположения электродов Джаспера 10–20%). На них подавался ток в виде пачек импульсов (train-4) длительностью от 0,5 до 1,0 мс. Амплитуда стимуляции варьировалась в зависимости от уровня моторного порога (от 40 до 120 мА). Регистрировались моторные вызванные потенциалы (МВП) с мышц верхних и нижних конечностей (m.biceps/triceps brahii, m.tenar, m.rectus femoris/biceps femoris, m.gastrocnemius/m tibialis anterior) контралатерально локализации опухоли, анализировалась динамика амплитуды ответов, их конфигурация и стабильность воспроизведения. Критерием значимых изменений считалось падение амплитуды ТК МВП более чем на 50% от исходного уровня. Прямую стимуляцию волокон КСТ

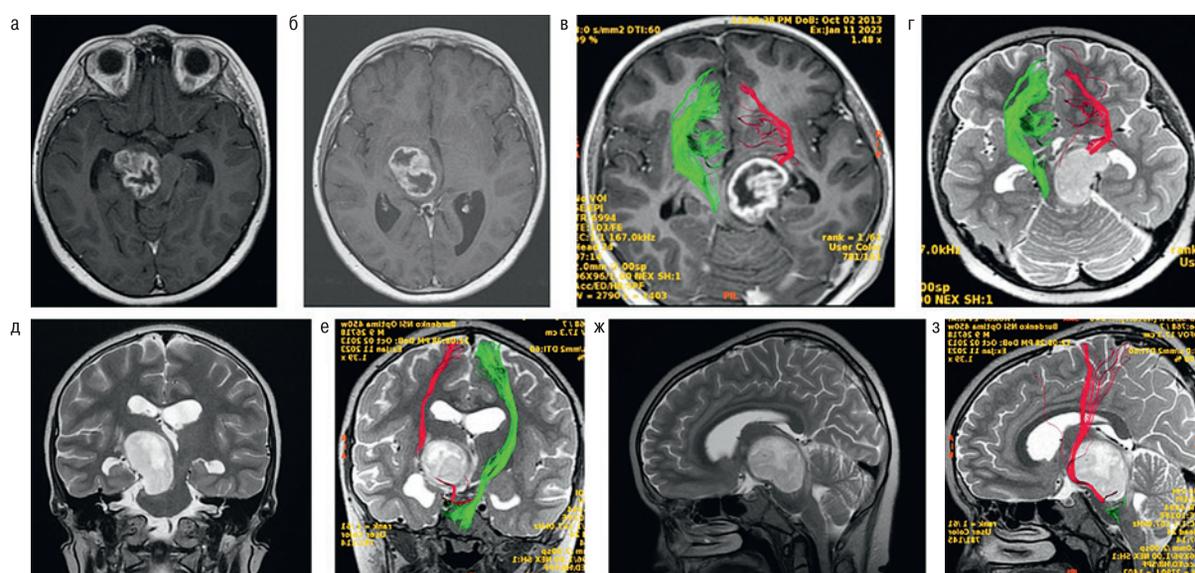


Рис. 4. МРТ головного мозга таламopedункулярной опухоли

а, б – в режиме Т1 в аксиальной проекции с контрастным усилением, в, г – МР-трактография в аксиальной проекции, д, е – коронарная проекция в режиме Т2 и трактография, ж, з – сагитальный срез в режиме Т2 и трактография.

Fig. 4. Brain MRI of a thalamopeduncular tumor

а, б – axial contrast-enhanced T1-weighted images, в, г – axial MR tractography, д, е – coronal T2-weighted images and tractography, ж, з – sagittal T2-weighted images and tractography.

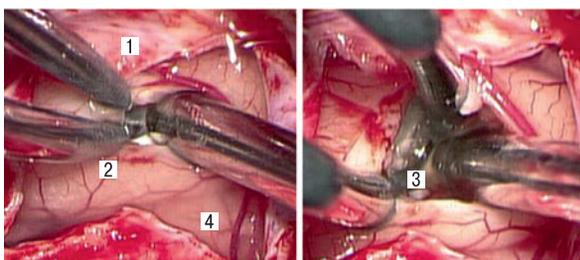


Рис. 5. Интраоперационные снимки подхода к опухоли левой ножки мозга трансвисочным трансхороидальным доступом 1 – ТМО, 2 – средняя височная извилина, 3 – височный рог бокового желудочка, 4 – верхняя височная извилина.

Fig. 5. Intraoperative photographs demonstrating the transtemporal transchoroidal approach to the left cerebral peduncle tumor 1 – dura mater, 2 – middle temporal gyrus, 3 – temporal horn of the lateral ventricle, 4 – superior temporal gyrus.

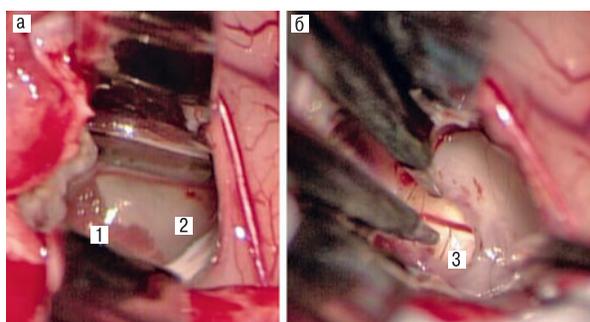


Рис. 6. Диссекция сосудистой щели при трансвисочном трансхороидальном доступе

а – идентификация сосудистой щели, б – диссекция сосудистой щели, 1 – сосудистое сплетение, 2 – полость височного рога бокового желудочка, 3 – деформированная боковая поверхность среднего мозга (распрепарирована сосудистая щель височного рога бокового желудочка).

Fig. 6. Dissection of the choroidal fissure during the transtemporal transchoroidal approach

А – identification of the choroidal fissure, б – dissection of the choroidal fissure, 1 – choroid plexus, 2 – temporal horn of the lateral ventricle, 3 – deformed lateral surface of the midbrain (with the choroidal fissure of the temporal horn dissected).

в операционной ране проводили с использованием биполярного зонда (train-4) с интенсивностью от 1 до 15 мА. Регистрация МВП при прямой стимуляции проводилась с тех же мышц-мишеней, что и для ТК МВП.

Кортикотомия осуществлена на протяжении 1 см. На глубине 2,5 см вскрылась полость деформированного височного рога (рис. 5). После выведения ликвора напряжение мозга регрессировало. В просвете желудочка идентифицировалось сосудистое сплетение, и деформированная сосудистая щель (рис. 6).

Осуществлена диссекция сосудистой щели, обнажена деформированная боковая поверхность ножки среднего мозга.

Для профилактики повреждения КСТ осуществлено его картирование на поверхности деформированной ножки при помощи биполярного стимулирующего электрода. При уровне

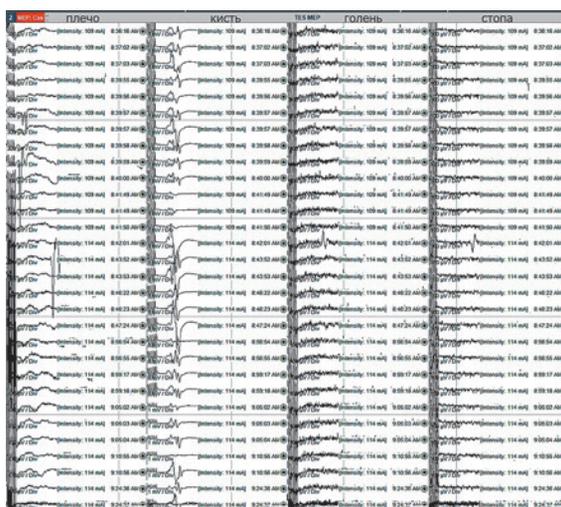


Рис. 7а. Мониторинг ТК МВП в ходе операции. Устойчивые моторные ответы регистрировались только с мышц кисти. Отмечено преходящее повышение и снижение амплитуды МВП. В конце удаления опухоли МВП сохранены с мышц кисти.

Fig. 7a. Intraoperative transcranial motor evoked potential (Tc-MEP) monitoring. Stable motor responses were recorded only from the hand muscles. Transient increases and decreases in MEP amplitudes were observed. By the end of the tumor resection, MEPs from the hand muscles remained preserved.

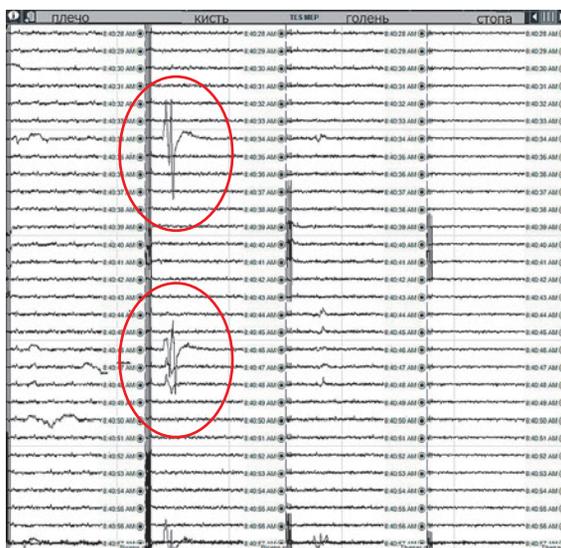


Рис. 7б. Картирование КСТ в ходе операции. При биполярной стимуляции в ложе опухоли током 2 мА получены МВП с мышц кисти (также отмечены нечеткие низкоамплитудные МВП с мышц голени)

Fig. 7б. Intraoperative CST mapping. Bipolar stimulation of the tumor bed at 2 mA elicited MEPs from the hand muscles (indistinct, low-amplitude MEPs from the lower leg muscles were also noted)

силы тока в 2 мА получены М-ответы от мышц руки, а также низкоамплитудные ответы от мышц голени. Следует отметить, что ТК МВП исходно в начале операции были получены только с мышц руки, с мышц ноги не получены, вероятно, вследствие исходного гемипареза (рис. 7 а, б).

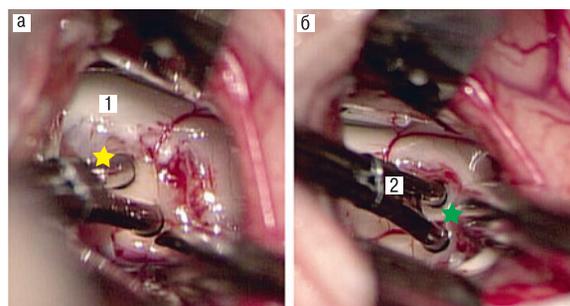


Рис. 8. Картирование боковой поверхности левой ножки мозга  
а – получен ответ от мышцы руки при силе тока 2 мА (зона ответа указана желтой звездочкой), б – безопасная точка входа (зона указана зеленой звездочкой), 1 – деформированная боковая поверхность среднего мозга, 2 – биполярный электрод.

Fig. 8. Mapping of the lateral surface of the left cerebral peduncle  
а – motor response obtained from the arm muscle at a current intensity of 2 mA (the response zone is indicated by a yellow asterisk), б – safe entry point (the zone is indicated by a green asterisk), 1 – deformed lateral surface of the midbrain, 2 – bipolar electrode.

Рассечение и разведение мозга осуществлено кпереди от хода КСТ (рис. 8).

На глубине 2 мм визуализирована опухолевая ткань серого цвета (рис. 9б).

Часть опухолевой ткани взята для гистологического исследования. Опухоль имела гетерогенную консистенцию, содержала кисту, которая была опорожнена, после чего деформация ствола существенно регрессировала. Удаление опухоли осуществлено при помощи ультразвукового деструктора, окончатого пинцета, диссектора, биполярной коагуляции. Опухоль в основном имела четкую плоскость диссекции с мозгом и постепенно была резецирована практически полностью. В передних отделах обнажилась арахноидальная оболочка ножковой и межножковой цистерн.

Удаление опухоли было осуществлено до здоровой мозговой ткани. В ходе удаления опухоли амплитуда ТК МВП существенно не изменилась (рис. 7б). Операция закончилась тщательным гемостазом при помощи биполярной коагуляции и гемостатической марлей. Оболочка зашита наглухо, кость фиксирована на костные швы. Послойное ушивание раны.

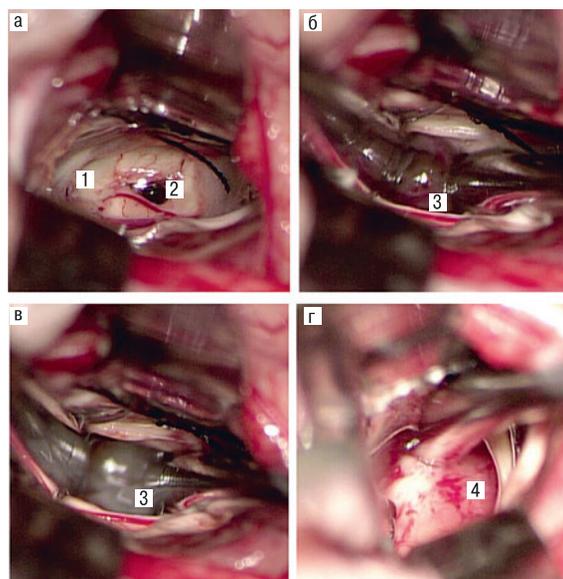


Рис. 9. Этапы удаления опухоли ножки мозга слева  
а – точка входа, б – идентификация опухолевой ткани, в – удаление опухоли, г – здоровая ткань ножки мозга после удаления опухоли, 1 – деформированная боковая поверхность среднего мозга, 2 – безопасная точка входа, 3 – опухоль, 4 – переходная зона в здоровую ткань мозга.

Fig. 9. Stages of left cerebral peduncle tumor resection  
а – entry point; (б) identification of tumor tissue, в – tumor removal, г – healthy tissue of the cerebral peduncle after tumor resection, 1 – deformed lateral surface of the midbrain, 2 – safe entry point, 3 – tumor, 4 – transition zone to healthy brain tissue.

Гистологический диагноз: пилоидная астроцитома. (CNS WHO grade 1).

По данным послеоперационной МРТ головного мозга остатков опухоли не выявлялось, деформация правой ножки мозга регрессировала. При МР-трактографии прослеживался ход КСТ на стороне поражения, который был истончен (рис. 10).

При пробуждении у ребенка гемипарез сохранился, однако к моменту выписки (на 7-е сутки), отмечено увеличение силы в руке слева до 4 баллов, в ноге – до 4–5 баллов. Через 1 месяц, на фоне реабилитационных мероприятий, сила в конечностях полностью восстановилась (рис. 11).

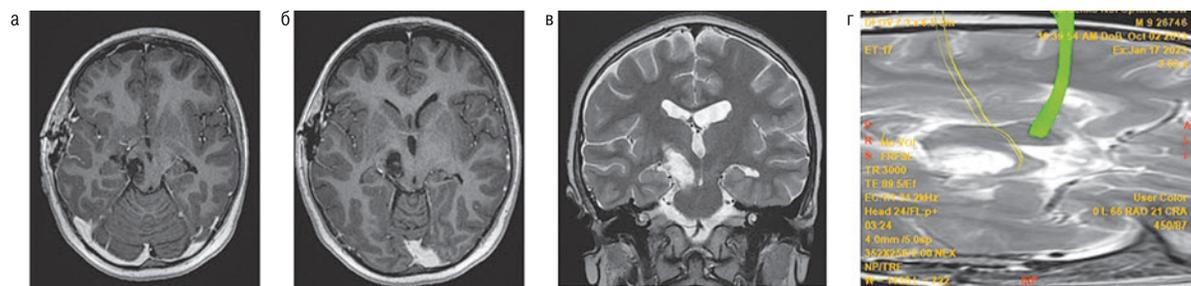


Рис. 10. МРТ головного мозга после субтотального удаления таламопедункулярной опухоли

а, б – в режиме Т1 в аксиальной проекции с контрастным усилением, в – коронарная проекция в режиме Т2, г – аксиальный срез в режиме Т2, включая трактографию.

Fig. 10. Brain MRI after subtotal resection of the thalamopeduncular tumor

а, б – axial contrast-enhanced T1-weighted images, в – coronal T2-weighted image, г – axial T2-weighted image with tractography.



Рис. 11. Неврологический статус пациента через 2 недели после операции. При пробе Барре отмечается легкая слабость в левой руке  
Fig. 11. Neurological status of the patient 2 weeks postoperatively. The Barré test demonstrates mild weakness in the left arm

При МРТ головного мозга через 3 года после операции рецидива опухоли нет.

В данном наблюдении планирование хирургического вмешательства проведено с учетом данных МР-трактографии. Весь объем ИОМ, включавший данные ТК МВП, прямую стимуляцию КСТ в глубине раны предоставили информацию о состоянии тракта и степени приближения к нему во время удаления. Это позволило осуществить радикальное удаление опухоли и способствовало регрессу неврологического моторного дефицита в послеоперационном периоде.

## Обсуждение

Актуальной проблемой в современной нейрохирургии при резекции внутримозговых глиом, прилегающих к КСТ, является риск его повреждения с развитием двигательного дефицита. Основной целью операции является максимально радикальное удаление опухоли с сохранением функционального статуса в послеоперационном периоде [3, 4]. Поэтому знание взаимоотношения между опухолевым поражением и функциональными зонами мозга способствует корректному выбору оптимального доступа к новообразованию и объему резекции [1].

Не вызывает сомнения необходимость удаления отграниченных глиом среднего мозга, радикальная резекция которых может приводить к длительному безрецидивному периоду или выздоровлению. В случаях, когда тотальное удаление сопряжено с высоким риском инвалидизации, проводится субтотальное удаление с последующей лучевой терапией. Комбинированное лечение оправдано при невозможности тотального удаления глубокой опухоли [12].

В современной нейрохирургии МР-трактография и ИОМ являются неотъемлемыми и составляющими при планировании и удалении опухолей мозга, располагающихся в функционально значимых зонах, в т.ч. при опухолях среднего мозга. В зависимости от преимущественной локализации опухоли в области среднего мозга, ее размеров, степени и вектора смещения смежных функционально значимых структур, таких как таламус, КСТ,

глазодвигательные ядра черепных нервов, наличие или отсутствие гидроцефалии, делается выбор в пользу оптимального доступа в обход, по данным трактографии, функциональных зон и минимизации риска инвалидизации пациента [4].

Изначально мишенью изучения метода МР-трактографии были такие патологии, как метаболические поражения, рассеянный склероз, сосудистая энцефалопатия, а также изменения мозга при тяжелой черепно-мозговой травме и возрастные изменения мозга. На сегодняшний день метод все больше используется при планировании удаления опухолей различной локализации головного и спинного мозга [1].

Большинство публикаций использования МР-трактографии и ИОМ – это взрослые пациенты с опухолями больших полушарий [13–15, 17]. Оба метода исторически считались технически сложными у пациентов детского возраста, особенно младшей возрастной группы. Зачастую исследователи сталкиваются с затруднением реконструкции КСТ при МР-трактографии у детей младшего возраста и связывают это с незавершенностью процесса миелинизации волокон КСТ.

Ch. Dorfer и соавт. [19] на примере диффузных срединных глиом H3 K27M-мутантного типа описывают применение МР-трактографии при опухолях таламуса у детей, демонстрируя значимость этого метода для планирования и безопасного выполнения их резекции. Авторы подтверждают, что применение данной методики способствует повышению безопасности хирургического вмешательства.

Применение МР-трактографии при глиомах низкой степени злокачественности у детей описано A. Lorenzen и соавт. [13] на серии из 26 наблюдений, где представлены как методологические аспекты исследования, так и основные технические сложности его выполнения. Авторы утверждают, что методы оптимизируют оценку хирургических рисков и процесс принятия решений как на этапе планирования, так и интраоперационно.

Еще одним клиническим примером, подтверждающим целесообразность предоперационной МР-трактографии при удалении глубоких опухолей у детей, является серия A.A. Alluhaibi и соавт. [20]. На основании анализа 10 педиатрических случаев авторы заключают, что тотальная резекция таких образований с сохранением функционального статуса пациента достижима, в частности при использовании МР-трактографии. Однако в публикации отсутствуют детальные результаты трактографического исследования, а также не представлен сравнительный анализ данных с интраоперационным нейромониторингом.

Стандартные МРТ-изображения высокого качества не дают информации о состоянии КСТ, его смещении или деструкции при отграниченных глиомах среднего мозга. Метод МР-трактографии позволяет получать информации о ходе и смещении КСТ, граничащих с ним [1, 3, 4, 7]. Наряду с этим существует ряд сложностей при выполнении МР-трактографии при опухолях среднего мозга у детей. Стандартные протоколы визуализации часто используются у взрослых и требуют оптимизации для педиатрической популяции. Еще одной сложностью при применении стандартных алгоритмов МР-трактографии при глиомах среднего мозга является то, что патологические процессы (масс-эффект, перифокальный отек и инфильтративный рост) вызывают грубые нарушения нормальной архитектоники (смещение, дезорганизацию, деструкцию). В результате математические модели, лежащие в основе реконструкции путей, становятся неприменимы, что ведет к некорректным или неполным результатам МР-трактографии, снижая ее прогностическую ценность для планирования операции [13, 15, 19].

ИОМ в режиме реального времени дает информацию о состоянии КСТ и в зависимости от получаемых данных при прямой стимуляции позволяет увеличить объем резекции до радикального или прекратить хирургическую манипуляцию с целью сохранения двигательных волокон [18].

В работе приводится 2 клинических наблюдения детей, оперированных по поводу опухоли среднего мозга в НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко. Описываются результаты удаления с и без использования МР-трактографии и ИОМ. У пациентки, которой до операции проведена МР-трактография и во время операции проведен весь объем ИОМ (ТК МВП и прямая стимуляция в глубине раны), достигнута радикальная резекция опухоли. Во время операции прямая моторная стимуляция позволила максимально удалить опухоль и получить ответ от двигательных волокон на низкой модальности тока (2 мА). МР-трактография, проведенная после операции, показала некоторое истончение КСТ. Несмотря на это, к моменту выписки зарегистрировано значительное увеличение силы в левых конечностях.

Негативный опыт появления стойкого неврологического дефицита в наблюдении без предоперационной МР-трактографии и ИОМ свидетельствует об информативности и оправданности вышеуказанных методов для сохранения функционального статуса пациента.

## Выводы

Хирургия глиом среднего мозга у детей является одной из сложных проблем в современной нейрохирургии. Реконструкция КСТ при помощи МР-трактографии и интраоперационный нейрофизиологический мониторинг являются эффективными методами выбора оптимального хирургического доступа, увеличения объема резекции и профилактики повреждения двигательного пути.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Пронин И.Н., Фадеева Л.М., Захарова Н.Е. и др. Диффузионная тензорная магниторезонансная томография и трактография. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2008;2(1):32–40. [Pronin I.N., Fadeeva L.M., Zakharova N.E., et al. Diffus. Tensor Magnet. Resonance Imaging Tractograph. 2008;2(1):32–40 (In Russ.)].
2. Кадыров Ш.У., Коновалов А.Н., Озерова В.И. и др. Нейрорентгенологическая диагностика опухолей зрительного бугра. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2007;3:3–11. [Kadyrov Sh.U., Kononov A.N., Ozerova V.I., et al. X-ray neurodiagnosis of thalamic tumors. *J. Vopr. Neurosurg. Im. N.N. Burdenko*. 2007;3:3–11 (In Russ.)].
3. Kadyrov S.U., Kononov A.N., Pronin I.N. MR-tractography in diagnosis and choice of a neurosurgical approach to basal ganglia tumors. *J. Vopr. Neurosurg. Im. N.N. Burdenko*. 2018;82(1):78–85. Rus. Doi: 10.17116/neiro201882178-85. [PMID: 29543219].
4. Kakhkharov R.A., Kadyrov S.U., Ogurtsova A.A., et al. Surgical treatment of hemispheric and subcortical gliomas adjacent to corticospinal tract in children using MR-tractography and intraoperative electrophysiological monitoring. *J. Vopr. Neurosurg. Im. N.N. Burdenko*. 2022;86(6):16–24. English, Rus. Doi: 10.17116/neiro20228606116. [PMID: 36534620].
5. Lee R.P., Foster K.A., Lillard J.C., et al. Surgical and molecular considerations in the treatment of pediatric thalamopeduncular tumors. *J. Neurosurg. Pediatr.* 2017;20(3):247–55. Doi: 10.3171/2017.4.PEDS16668. [Epub 2017 Jul 7, PMID: 28686121, PMCID: PMC5839469].
6. Saliba J., Steven A., Berry J.F., Valle-Giler E.P. Diffusion Tensor Imaging and Tractography Utilized in the Resection of a Midbrain Cavernous Malformation. *Ochsner. J.* 2020;20(3):303–6. Doi: 10.31486/toj.19.0017. [PMID: 33071664, PMCID: PMC7529128].
7. Pan C., Li T., Zhang M., et al. A novel radiological classification of midbrain pilocytic astrocytomas and its implication for surgical management: a single-institution experience of 57 cases. *J. Neurosurg.* 2023;140(6):1527–39. Doi: 10.3171/2023.9.JNS23540. [PMID: 38134425, PMCID: PMC10810682].
8. Gray's Anatomy. *The Anatomical Basis of Clinical Practice, 40th Edition*, Susan Standing (Ed.). Churchill Livingstone Elsevier (2008), Editor-in Chief, ISBN: 978 0 8089 2371 8.
9. May P.L., Blaser S.I., Hoffman H.J., et al. Benign intrinsic tectal "tumors" in children. *J. Neurosurg.* 1991;74(6):867–71. Doi: 10.3171/jns.1991.74.6.0867. [PMID: 2033445].
10. Miyamoto S., Mikuni N., Yamada K., et al. Radical resection for intrinsic midbrain pilocytic astrocytoma: report of two cases. *Case Rep.* 2004;147:93–7.
11. Laigle-Donadey F., Doz F., Delattre J.Y. Brainstem gliomas in children and adults. *Curr. Opin. Oncol.* 2008;20:662–7.
12. Trunin Y.Y., Golanov A.V., Kononov A.N., et al. Stereotactic irradiation in the complex treatment of patients with intracranial pilocytic astrocytoma. *J. Vopr. Neurosurg. Im. N.N. Burdenko*. 2021;85(2):34–46. Rus. Doi: 10.17116/neiro20218502134. [PMID: 33864667].
13. Lorenzen A., Groeschel S., Ernemann U., et al. Role of presurgical functional MRI and diffusion MR tractography in pediatric low-grade brain tumor surgery: a single-center study. *Childs Nerv. Syst.* 2018;34(11):2241–8. Doi: 10.1007/s00381-018-3828-4. [Epub 2018 May 25, PMID: 29802593].
14. Косырькова А.В. Предоперационное планирование и интраоперационная идентификация пирамидных трактов в хирургии супратенториальных опухолей головного мозга. *Дисс. канд. мед. наук. М., 2021.*
15. Bello L., Castellano A., Fava E., et al. Intraoperative use of diffusion tensor imaging fiber tractography and subcortical mapping for resection of gliomas: technical considerations. *Neurosurg. Focus.* 2010;28(2):E6. Doi: 10.3171/2009.12.FOCUS09240.
16. Fu W, Ju Y., Zhang S., You C. Pediatric Basal Ganglia Region Tumors: Clinical and Radiologic Features Correlated with Histopathologic Findings. *World Neurosurg.* 2017;103:504–16. Doi: 10.1016/j.wneu.2017.04.004. [Epub 2017 Apr 10, PMID: 28408259].
17. 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;30:2559–65.
18. Sala F., Manganotti P., Tramontano V., et al. Monitoring of motor pathways during brain stem surgery: what we have achieved and what we still miss? *Neurophysiol. Clin.* 2007;37(6):399–406. Doi: 10.1016/j.neucli.2007.09.013. [Epub 2007 Oct 29, PMID: 18083495].
19. Dorfer C., Czech T., Gojo J., et al. Infiltrative gliomas of the thalamus in children: the role of surgery in the era of H3 K27M mutant midline gliomas. *Acta Neurochir. (Wien)*. 2021;163(7):2025–35. Doi: 10.1007/s00701-020-04589-y. [Epub 2020 Oct 22, PMID: 33090244, PMCID: PMC8195935].
20. Alluhaybi A.A., Altuhaini K.S., Soualmi L., et al. Thalamic Tumors in a Pediatric Population: Surgical Outcomes and Utilization of High-Definition Fiber Tractography and the Fiber Tracking Technique. *Cureus.* 2022;14(3):e23611. Doi: 10.7759/cureus.23611. [PMID: 35386482, PMCID: PMC8967070].

Поступила 25.12.2025

Получены положительные рецензии 11.01.26

Принята в печать 15.01.26

Received 25.12.2025

Positive reviews received 11.01.26

Accepted 15.01.26

**Вклад авторов.** Ш.Р. Файзуллаев – концепция и дизайн исследования, написание текста. Ш.У. Кадыров, Е.А. Хухлаева, А.А. Огурцова, Р.М. Афандиев – обработка материала и редактирование.

**Contribution of the authors.** Sh.R. Fayzullaev – concept and design of the study, writhing the text. Sh. U. Kadyrov, E.A. Khukhlaeva, A.A. Ogurtsova, R.M. Afandiev – processing of the material and editing.

### Информация об авторах:

Файзуллаев Шароф Рахматуллаевич – врач-нейрохирург, ФГАУ НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко Минздрава РФ. Адрес: 125047, Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16. ORCID: 0009-0007-1884-6513, IstinaresearcherID (IRID): 717118696.

Кадыров Шавкат Умидович – д.м.н., старший научный сотрудник 1-го детского нейрохирургического отделения ФГАУ НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко Минздрава РФ. Адрес: 125047, Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16. ORCID: 0000-0001-5879-1333, IstinaresearcherID (IRID): 72241463.

Хухлаева Елена Анатольевна – к.м.н., врач-невролог 1-го детского нейрохирургического отделения ФГАУ НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко Минздрава РФ. Адрес: 125047, Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16. ORCID: 0000-0002-7961-4245, IstinaresearcherID (IRID): 72241484.

Огурцова Анна Анатольевна – к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории клинической нейрофизиологии. ФГАУ НМИЦ Нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко Минздрава РФ. Адрес: 125047, Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16. ORCID: 0000-0003-3595-2696, IstinaresearcherID (IRID): 72241924.

Афандиев Рамин Малик оглы – врач-рентгенолог, младший научный сотрудник отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики

ФГАУ НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко Минздрава РФ. Адрес: 125047, Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16. ORCID: 0000-0001-6384-7960, IstinaresearcherID (IRID): 182732664.

### Author Information:

Fayzullaev Sharof Rakhmatullaevich – Neurosurgeon, National Medical Research Center for Neurosurgery named after Academ. N.N. Burdenko. Address: 16 4th Tverskaya-Yamskaya Street, Moscow, 125047. ORCID: 0009-0007-1884-6513, IstinaresearcherID (IRID): 717118696.

Kadyrov Shavkat Umidovich – D.Sc., Senior Researcher, 1st Pediatric Neurosurgery Department, National Medical Research Center for Neurosurgery named after Academ. N.N. Burdenko. Address: 16 4th Tverskaya-Yamskaya Street, Moscow, 125047. ORCID: 0000-0001-5879-1333, IstinaresearcherID (IRID): 72241463.

Khukhlaeva Elena Anatolyevna – PhD, Neurologist, 1st Pediatric Neurosurgery Department, National Medical Research Center for Neurosurgery named after Academ. N.N. Burdenko. Address: 16 4th Tverskaya-Yamskaya Street, Moscow, 125047. ORCID: 0000-0002-7961-4245, IstinaresearcherID (IRID): 72241484.

Ogurtsova Anna Anatolyevna – PhD, Senior Researcher, Laboratory of Clinical Neurophysiology. Federal State Autonomous Institution «N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery» of the Ministry of Health of the Russian Federation. Address: 16 4th Tverskaya-Yamskaya Street, Moscow, 125047. ORCID: 0000-0003-3595-2696, IstinaresearcherID (IRID): 72241924.

Afandiev Ramin Malik ogly – Radiologist, Junior Research Associate of Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic methods, N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Healthcare of Russia. Address: 16 4th Tverskaya-Yamskaya Street, Moscow, 125047. ORCID: 0000-0001-6384-7960, IstinaresearcherID (IRID): 182732664.