

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
НЕЙРОХИРУРГИИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Н.Н. БУРДЕНКО»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

КАХХАРОВ Руслан Абдуллаевич

ХИРУРГИЧЕСКОЕ УДАЛЕНИЕ ОПУХОЛЕЙ БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ И
ПОДКОРКОВЫХ СТРУКТУР ГОЛОВНОГО МОЗГА, ПРИЛЕЖАЩИХ К
ПИРАМИДНОМУ ТРАКТУ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МР-ТРАКТОГРАФИИ И
ИНТРАОПЕРАЦИОННОГО ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА У ДЕТЕЙ

3.1.10. Нейрохирургия

1.5.5. Физиология человека и животных (медицинские науки)

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научные руководители:

доктор медицинских наук Кадыров Шавкат Умидович

кандидат медицинских наук Огурцова Анна Анатольевна

Москва - 2024

Оглавление

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| Глава 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ..... | 13 |
| 1.1 Эпидемиология опухолей больших полушарий и подкорковых структур головного мозга у детей..... | 13 |
| 1.2 Анатомия пирамидного тракта..... | 15 |
| 1.3 Этапы созревания пирамидного тракта, факторы, влияющие на созревание. Феномен «нейропластичности»..... | 20 |
| 1.4 МР-трактография с реконструкцией пирамидного тракта у детей..... | 23 |
| 1.5 Планирование резекции опухолей, прилегающих к пирамидному тракту, в зависимости от результатов МР-трактографии у детей..... | 25 |
| 1.6 Интраоперационный электрофизиологический мониторинг функционального состояния пирамидного тракта у детей | 28 |
| 1.7 Резюме..... | 31 |
| Глава 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ..... | 32 |
| 2.1 Клинические группы пациентов. Критерии включения и исключения..... | 32 |
| 2.2 Предоперационное обследование пациентов..... | 32 |
| 2.3 Нейровизуализационные характеристики групп пациентов, МР- трактография..... | 34 |
| 2.4 Удаление опухолей, прилегающих к пирамидному тракту. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг функционального состояния пирамидного тракта..... | 36 |
| 2.5 Послеоперационное обследование пациентов..... | 40 |
| 2.6 Статистический анализ..... | 42 |
| Глава 3 МР-ТРАКТОГРАФИЯ ПРИ ОПУХОЛЯХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ПИРАМИДНОМУ ТРАКТУ У ДЕТЕЙ | 43 |
| 3.1 МР-трактография при опухолях больших полушарий моторной коры и субкортикальной локализации головного мозга..... | 43 |
| 3.2 МР-трактография при глубинных опухолях головного мозга..... | 50 |

| | |
|--|-----|
| 3.3 Факторы, влияющие на результаты МР-трактографии у детей..... | 60 |
| 3.4 Сопоставление уровня дооперационной мышечной силы с целостностью пирамидного тракта по результатам МР-трактографии..... | 61 |
| 3.5 Резюме..... | 65 |
| Глава 4 ПЛАНИРОВАНИЕ УДАЛЕНИЯ ОПУХОЛЕЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ПИРАМИДНОМУ ТРАКТУ У ДЕТЕЙ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЗУЛЬТАТОВ МР-ТРАКТОГРАФИИ..... | 66 |
| 4.1 Планирование удаления полушарных опухолей моторных зон головного мозга..... | 66 |
| 4.2 Планирование удаления опухолей глубинных структур головного мозга..... | 72 |
| 4.3 Резюме..... | 80 |
| Глава 5 РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ..... | 83 |
| 5.1 Общие данные..... | 83 |
| 5.2 Радикальность операций..... | 86 |
| 5.3 Ближайшие неврологические исходы..... | 89 |
| 5.4 Роль комплексного интраоперационного нейрофизиологического мониторинга функционального состояния пирамидного тракта в радикальности резекции и сохранении двигательного статуса у детей..... | 95 |
| 5.5 Осложнения хирургического лечения..... | 109 |
| 5.6 Отдаленные неврологические исходы..... | 111 |
| 5.7 Резюме..... | 115 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 117 |
| ВЫВОДЫ..... | 132 |
| ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ..... | 134 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ..... | 136 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 137 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

Проблема комплексного лечения опухолей головного мозга у детей - одна из актуальных в настоящее время. Опухоли центральной нервной системы (ЦНС) в структуре онкологической патологии детского возраста занимают второе место (20%) после гемобластозов (40%), и первое место среди всех солидных опухолей. Показатель заболеваемости при опухолях ЦНС у детей составляет 5,96 на 100 000 населения [98]. По данным статистического отчета The Central Brain Tumor Registry of the United States (CBTRUS) за 2016-2020 гг. (выпуск 2023 года), у детей и подростков в возрасте 0–19 лет частота выявления всех первичных опухолей ЦНС составила 6,13 на 100 000 населения [99]. Эти эпидемиологические данные остаются неизменными на протяжении последних 20 лет [96-99].

При доброкачественных опухолях головного мозга радикальное удаление опухоли является основным и, нередко, единственным видом онкологического лечения, тогда как резекция злокачественных опухолей - лишь один из этапов лечения. Известно, что радикальность удаления опухоли коррелирует с общей и безрецидивной выживаемостью пациентов [2,12,16,17,49,50,63,130,134].

Несмотря на превалирование в детской популяции доброкачественных опухолей [2,9,12,16,17,49,50,63,64,69,96,97,108,130,134], тотальное удаление может быть ограничено топографо-анатомическим расположением опухоли.

Актуальной проблемой современной нейрохирургии является резекция опухолей головного мозга, прилежащих к кортикоспинальному тракту (КСТ), в связи с риском его повреждения, развитием двигательного дефицита на стороне, контралатеральной очагу поражения, приводящего к инвалидизации пациента и снижению качества жизни.

В связи с этим, цель резекции опухолей, расположенных вблизи пирамидного тракта - максимально радикальное удаление опухоли, с одновременным сохранением целостности пирамидного тракта, что позволит избежать нарастания

двигательного дефицита.

Принципиально важным является выявление соотношения опухоли и двигательного пути на этапе планирования операции. Для визуализации моторной коры и топографии КСТ, определения взаимоотношения опухоли с двигательными путями, применяется функциональная МРТ в определении локализации моторной коры (фМРТ) и МР-трактография [20,23,28,38,46,51,58,59,63,68,73,81,88,95,122]. Методами интраоперационного контроля топографии и функционального состояния пирамидного тракта являются операции с картированием функциональных зон коры и проводящих путей белого вещества мозга [20,22,23,25,34,55,58,61,63,68,83,88,95,132,133,136], комплексный интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОМ) [4,27,28,33,38,43,46,47,74,75,78,81,83,92,94,103,114,118,122]. Методики функциональной нейровизуализации и awake-операции ограничены возрастом ребенка и его кооперативностью [20,23,26,58,59,61,63,68,88,95,133], хоть и встречаются единичные серии с включением детей младше 15 лет [23,68].

Таким образом, в детской нейрохирургии основными методами предотвращения повреждения КСТ во время операции является предоперационная МР-трактография и интраоперационный нейрофизиологический мониторинг.

Подавляющий мировой опыт использования МР-трактографии и всего объема ИОМ – это взрослые пациенты с опухолями больших полушарий [3,10,27,35,43,49,50,103,111,114,135]. Оба метода исторически встречали ряд технических затруднений в получении результатов у детей, особенно младшей возрастной группы. Долгое время транскраниальные моторные вызванные потенциалы являлись единственным методом протекции функционального статуса детей. Вопрос резекции глубоких опухолей, в начале развития хирургии данной области, состоял в возможности удаления данных топографически сложных глиом [7,18,24,33,100,102], в настоящее время в большей степени изучается онкологический аспект лечения данных пациентов [28,46,73,86,122].

Мировой опыт применения МР-трактографии и ИОМ в детской нейрохирургии включает преимущественно глубокие опухоли. В настоящее

время встречается всё больше публикаций, освещающих успешное использование трактографии и ИОМ у детей независимо от возраста пациента и топографического расположения опухоли. К сожалению, в публикациях практически нет развернутых данных о планировании хирургического подхода в зависимости от результатов МР-трактографии, вариантах использования ИОМ при опухолях вблизи пирамидного тракта, значений тока прямой стимуляции, а также не встречается публикаций по сопоставлению данных МР-трактографии и ИОМ в детской популяции [21,25,31,38,46,47,51,72,73,90,122]. В большей степени, эволюционным шагом в локализации моторных зон является появление различных методик картирования моторной коры и КСТ в глубине раны (методы Penfield и Taniguchi). Отсутствие разнообразных работ, освещающих картирование пирамидного тракта у детей, обусловлено особенностями картирования при незавершённых процессах синаптогенеза и миелинизации нервных волокон. Таким образом, соотнести показатели ИОМ во взрослой и детской группе невозможно со статистической и «доказательной» точки зрения.

На основании данных мировой литературы, полученных результатов нашего исследования было выявлено, что МР-трактография и ИОМ могут успешно применяться в хирургическом лечении детей с опухолями, прилегающими к КСТ, проводить радикальную резекцию глиом, сохраняя и улучшая дооперационный функциональный статус детей. Данный факт подтверждает значимость работы и актуальность изучения различных факторов перечисленных инструментальных методов для выявления оптимальной тактики хирургического лечения.

Степень разработанности темы

При анализе русскоязычной и англоязычной литературы не найдены научные исследования, систематизирующие показания к использованию МР-трактографии, определение необходимого объема ИОМ при хирургическом удалении опухолей, прилегающих к пирамидному тракту у детей.

Существует небольшое количество публикаций, описывающих применение МР-трактографии при глубинных опухолях разной гистологической природы у

детей [21,28,38,46,72,81], применение метода при полушарных опухолях описано скудно [81,133,136]. По данным литературы, реконструкция КСТ МР-трактографией у детей является более сложной, чем у взрослых [22,34,132,133,136]. При этом четкого описания факторов, которые влияют на результаты трактографии у детей в литературе нет.

Применение ИОМ в протекции КСТ в детской нейрохирургии долгое время оставалось низкорезультативным, преимущественно за счет детей младшей возрастной группы [9,29,30,37,48,91,119]. Только при расширении технических возможностей комплексов для интраоперационного мониторинга и применении их в повседневной практике вновь появился интерес к изучению ИОМ при резекции опухолей вблизи моторных зон.

Комплексный интраоперационный нейрофизиологический мониторинг состояния пирамидного тракта у детей включает транскраниальные моторные вызванные потенциалы (ТК МВП) и прямую стимуляцию. В доступной мировой литературе не освещается объем применяемого ИОМ, фактически нет разработанной тактики и определения необходимого объема ИОМ во время резекции опухолей вблизи КСТ. Не описаны факторы, влияющие на воспроизводимость ТК МВП и прямую стимуляцию, роль динамики показателей ИОМ на функциональные исходы и влияние этих показателей на радикальность операций [31,36,38,51,73,81,90,122]. Важно отметить, что существуют работы, которые определили проблемы использования ИОМ у детей, возможные пути их решения и первичные результаты применения ИОМ у детей [90]. Необходимо дальнейшее изучения факторов, влияющих на результаты применения МР-трактографии и ИОМ у детей.

Цель исследования

Оценить результаты применения МР-трактографии и различного объема интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в хирургическом лечении детей с супратенториальными опухолями головного мозга, прилежащими к кортикоспинальному тракту.

Задачи исследования

1. Оценить особенности расположения кортикоспинального тракта по результатам МР-трактографии в различных топографо-анатомических группах супратенториальных опухолей, прилежащих к пирамидному тракту у детей;
2. Выявить значимость предоперационной МР-трактографии в планировании удаления различных топографо-анатомических групп супратенториальных опухолей, прилежащих к пирамидному тракту у детей;
3. Определить роль комплексного интраоперационного нейрофизиологического мониторинга при резекции супратенториальных опухолей, прилежающих к пирамидному тракту, в сохранении функционального статуса и степени резекции опухолей у детей;
4. Выявить физиологические факторы, влияющие на информативность модальности различных методов интраоперационного электрофизиологического мониторинга - транскраниальных моторных вызванных потенциалов и прямой стимуляции;
5. Определить прогностическую значимость динамики модальности транскраниальных моторных вызванных потенциалов в ближайших и отдаленных неврологических исходах.

Новизна исследования

Выполнена исследовательская работа, освещающая результаты применения МР-трактографии и комплексного нейрофизиологического мониторинга в хирургическом лечении пациентов с супратенториальными опухолями, прилежащими к КСТ у детей.

Впервые на большом клиническом материале проведен анализ применения МР-трактографии у детей, оценка расположения КСТ относительно опухоли в различных топографо-анатомических группах. На основании результатов МР-трактографии выработан алгоритм выбора хирургического доступа.

Впервые освещены результаты применения различного объема ИОМ, модальности ТК МВП и прямой стимуляции у детей разного возраста, различного

гистологического и топографо-анатомического расположения опухолей. Выполнено сопоставление данных МР-трактографии и ИОМ в зависимости от топографо-анатомической группы опухоли.

Впервые определена чувствительность и специфичность изменения модальности ТК МВП и прогностическая значимость динамики модальности в ближайших и отдаленных неврологических исходах. Предпринята попытка систематизации модальности прямой стимуляции и её роль в радикальности резекции различных топографо-анатомических опухолей.

Теоретическая и практическая значимость работы

Разработаны показания к применению МР-трактографии в зависимости от топографии опухоли, объективно сформулированы показания к выбору хирургического доступа в топографо-анатомических группах опухолей.

Определен необходимый объем ИОМ при резекции супратенториальных опухолей различной топографии, прилежащих к КСТ у детей.

Результаты исследования позволяют определять показания к применению обоих инструментальных методов в хирургическом лечении супратенториальных опухолей вблизи КСТ для сохранения функционального статуса детей и увеличения радикальности операций в топографо-анатомических группах опухолей.

Методология и методы диссертационного исследования

Дизайном работы является когортное нерандомизированное исследование, группа состоит из ретроспективной (с 2016 по 2018 гг.) и проспективной (с 2019 по 2023 гг.) части.

Методология, использованная в исследовании, базируется на современных теоретических и практических основах нейрохирургического лечения пациентов с опухолями, прилегающими к КСТ.

Всем пациентам проведены клинические (неврологическое, нейроофтальмологическое и оториноларингологическое обследования),

нейровизуализационные и лабораторные методы исследования (морфологическое исследование биологического материала). Объект исследования – пациенты с супратенториальными опухолями головного мозга, прилегающими к пирамидному тракту у детей, оперированные с 2016 по 2023 год в 1 нейрохирургическом отделении ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России. В основную группу, с использованием расширенного протокола ИОМ (ТК МВП и прямая стимуляция КСТ), включены 67 операций, в контрольную – 52 операции.

Предметом исследования являлись результаты инструментальных методов исследования (МРТ, МР-трактография, ИОМ), функциональный статус детей до и после хирургического лечения (ближайшие и отдаленные неврологические исходы).

В ходе исследования применялись общенаучные методы статистического и сравнительного анализов, табличные и графические приемы визуализации данных. Работа выполнена в соответствии с современными требованиями к научно-исследовательской работе.

Положения, выносимые на защиту

1. Супратенториальные опухоли, прилегающие к пирамидному тракту у детей, имеют определенные особенности смещения пирамидного тракта относительно опухоли в зависимости от топографо-анатомической группы;
2. МР-трактография позволяет планировать безопасную резекцию супратенториальных опухолей, прилегающих к пирамидному тракту, не зависимо от возраста ребенка, топографо-анатомического расположения опухоли;
3. Применение комплексного интраоперационного нейрофизиологического мониторинга (ТК МВП и прямая стимуляция) позволяет проводить безопасную радикальную резекцию опухолей вблизи пирамидного тракта, чем использование только ТК МВП или при отсутствии ИОМ;
4. Возраст ребенка, топографо-анатомическое расположение опухоли и функциональный статус до операции влияют на модальность ТК МВП и прямой

стимуляции;

5. Анализ динамики модальности ТК МВП в ходе резекции опухоли позволяет спрогнозировать ближайшие и отдаленные неврологические исходы.

Степень достоверности исследования

Наличие репрезентативной выборки пациентов, выбранной в соответствии с целью и задачами исследования, а также использование статистических методов обработки данных делают результаты диссертации и основанные на них выводы достоверными и обоснованными в соответствии с принципами доказательной медицины. Они согласуются с литературными данными, полученными ранее по рассматриваемой тематике.

Апробация результатов исследования

Основные положения и результаты диссертации доложены и обсуждены на: X Ежегодной конференции нейрохирургов Северо-Западного Федерального округа, г. Санкт-Петербург, 29.09.2023; XI Всероссийской научно-практической конференции «Клиническая нейрофизиология и нейрореабилитация», г. Санкт-Петербург, 13.10.2023; XXIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Поленовские чтения», г. Санкт-Петербург, 12.04.2024; Всероссийском Форуме молодых ученых «Медицинская наука: вчера, сегодня, завтра», посвященный 300-летию Российской Академии наук и 80-летию отделения медицинских наук РАН, г. Москва, 18.04.2024; расширенном заседании проблемной комиссии «Детская нейрохирургия» ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России 03.07.2024.

Внедрение в практику

Результаты исследований используются в работе 1 нейрохирургического отделения (детская нейрохирургия) и лаборатории клинической нейрофизиологии ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России.

Личный вклад автора

Автору принадлежит ведущая роль в сборе материала, анализе, обобщении и научном обосновании полученных результатов, в непосредственном участии во всех этапах исследования: определении цели и задач исследования, участии в лечении пациентов, в том числе в нейрохирургических операциях в качестве ассистента, в формулировке выводов, подготовке публикаций результатов исследования, написании текста диссертации и автореферата.

Публикации и реализация результатов исследования

По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ, которые полностью отражают результаты исследования, из них 2 статьи - в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, 5 - в виде статей и тезисов в материалах отечественных и зарубежных конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 152 страницах текста, состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка использованной литературы. Работа содержит 8 таблиц, 72 рисунка. Библиографический указатель содержит 136 источников, из них 16 отечественных и 120 зарубежных.

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Эпидемиология опухолей больших полушарий и подкорковых структур головного мозга у детей

Эпидемиологическая структура онкологической заболеваемости у детей отличается от таковой у взрослых: опухоли ЦНС различной степени злокачественности (grade) 6,13 на 100 000 в детской популяции против 24,83 на 100 000 во взрослой популяции [99]. Опухоли головного мозга являются наиболее распространенной формой солидных опухолей у детей и представляют собой основную причину смертности от онкологических заболеваний в этой возрастной группе. Около 6% всех опухолей ЦНС выявляются именно у детей (до 18 лет) - некоторые гистологические виды опухолей более характерны для детского возраста [96,98,99,109].

В 2021 году вышла 5 редакция классификации первичных опухолей ЦНС Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [131]. Наибольшие изменения претерпела классификация глиальных и эмбриональных опухолей ЦНС [5,131]. Согласно новой классификации, термин «глиобластома» был упразднён, вместо этого, в зависимости от анатомического расположения, указываются термины «диффузная астроцитома без/с перестройкой MYB/MYBL1» «диффузная полушарная глиома без/с мутацией в гене N3 G34» и «диффузная срединная глиома без/с альтерацией N3K27».

Эмбриональные опухоли наиболее часто регистрируются среди опухолей ЦНС у детей в возрасте 0-4 лет, составляют 9% всех первичных опухолей ЦНС у детей до 18 лет и 0,8% диагностированных опухолей в целом. Морфологические группы, по данным CBTRUS, включают множество различных гистопатологий: медуллобластома, атипичная тератоидно-рабдоидная опухоль (АТРО) и несколько других более редких видов. Медуллобластомы, АТРО и все другие эмбриональные опухоли внутри группы составляют 68%, 17% и 14% соответственно [96,98,99,109].

Глиомы составляют приблизительно 42% опухолей у детей и подростков в

возрасте до 18 лет. Пилоидная астроцитома (ПА) и другие виды глиом составляют 15% и 12% соответственно. ПА чаще диагностируется до 9 лет, уровень заболеваемости снижается в более старшем возрасте.

Если рассматривать отдельные возрастные группы, в возрасте 0 – 4 года преобладают эмбриональные опухоли. В возрасте 5 – 9 лет ПА выходят на первое место, злокачественные глиомы на второе, на третьем располагаются эпендимомы. У подростков (10-18 лет) глиомы составляют приблизительно 27% от всех опухолей ЦНС и пилоидная астроцитома встречается уже в 7% случаев [2,96,98,99,109].

Пятилетняя общая выживаемость для всех опухолей ЦНС в детском возрасте составляет 73%, при этом данный показатель сильно варьирует от гистологического вида опухоли. Так, пятилетняя общая выживаемость у пациентов с диагнозом ПА составляет 96%, в то время как у пациентов с эмбриональными опухолями 62%, с эпендимарными опухолями 75%, а с диффузными срединными и полушарными глиомами – 17% [1,2,28,32,46,51,73,96,98,99,109,112,122,123,127].

Если рассматривать анатомическую локализацию опухолей - полушарные опухоли составляют от 25 до 40% всех опухолей головного мозга у детей и часто это глиомы или глионейрональные опухоли [2,12,17,134], основную часть глиом составляют пилоидные астроцитомы [16,51,96,98,99,109]. Глионейрональные опухоли включают ганглиоглиомы, ганглиоцитомы, дизэмбриопластические нейроэпителиальные опухоли и реже другие виды. В больших полушариях мозга поражение лобной, височной, теменной и затылочной доли наблюдалось соответственно в 5%, 6%, 2% и 1% среди всех опухолей ЦНС в детском и подростковом возрасте [98].

Опухоли глубинных структур мозга – редкая патология, встречающаяся в 1-5% всех внутримозговых новообразований мозга. При этом, глиомы высокой степени злокачественности у детей встречаются несколько чаще в глубинных структурах (от 50 до 70% случаев), чем в больших полушариях головного мозга [2,96,98,99,109]. Глиомы таламуса, включая таламопедункулярную область, описываются как 1–5% от общего числа опухолевых поражений головного мозга у

детей [33,39,51,102,105,117]. Опухоли зрительных путей, описанные и классифицированные Dodge и соавторами [44], составляют 3-5% опухолей головного мозга в детском возрасте и часто ассоциированы с нейрофиброматозом 1 типа. При этом опухоли зрительного тракта (Dodge III), расположенные около ножки мозга, составляют небольшой процент от всех опухолей зрительных путей [44,53].

1.2 Анатомия пирамидного тракта

Основная часть волокон кортикоспинального тракта начинается из пирамидальных клеток неокортекса первичной моторной коры, которая соответствует прецентральной извилине (область 4 по Бродману) и премоторной коры, которая располагается непосредственно впереди от прецентральной извилины (область 6 по Бродману) соответствующего полушария головного мозга. Далее, формируясь в лучистый венец, образует проекционные волокна на уровне подкорковых структур в виде колена внутренней капсулы (Рисунок 1.1).

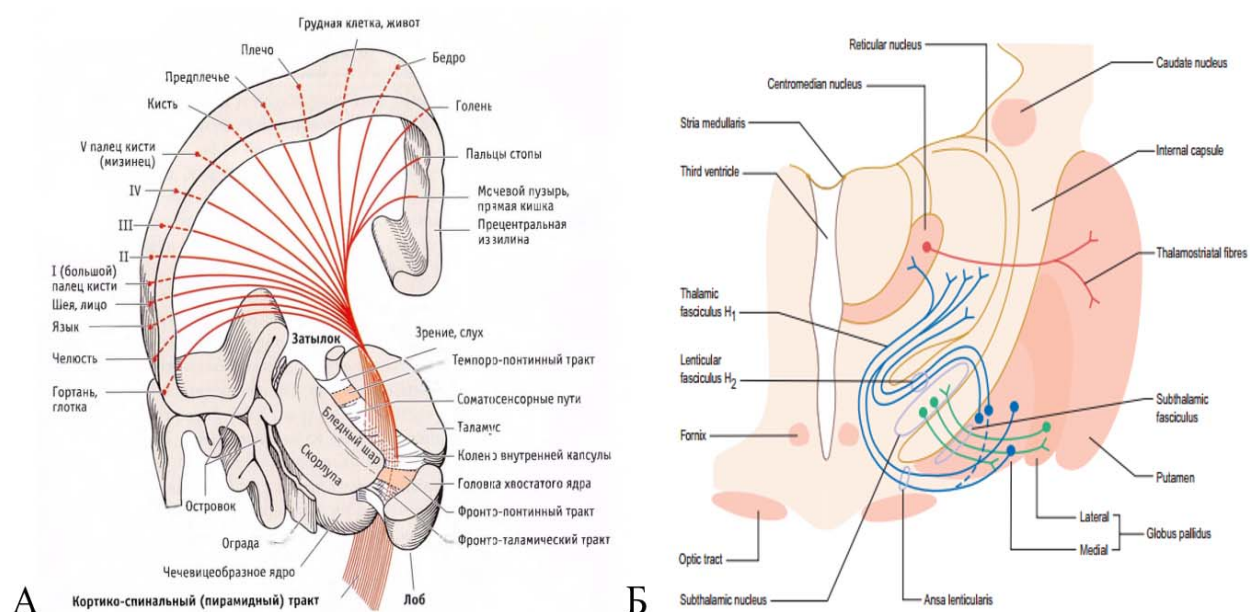


Рисунок 1.1 - А - Схематическое изображение хода пирамидного тракта от прецентральной извилины, формируясь в лучистый венец и внутреннюю капсулу на уровне подкорковых ядер. Иллюстрация заимствована у П. Дуус [14]; Б – Схематическое изображение основных связей базальных ганглиев. Иллюстрация заимствована у Elliott L. [85]

Из внутренней капсулы проекционные волокна строго топографически попадают в специфические ядра таламуса. Нервные волокна из прецентральной извилины в основном переключаются на вентральном заднелатеральном ядре соответствующего таламуса, а также центромедиальном и парафасциальном ядрах. Нервные волокна от премоторной коры, в основном, отправляются в передний отдел вентролатерального ядра, центромедиального ядра, парафасциального и центрлатеральную часть внутриламинарного ядра (Рисунок 1.2) [85].

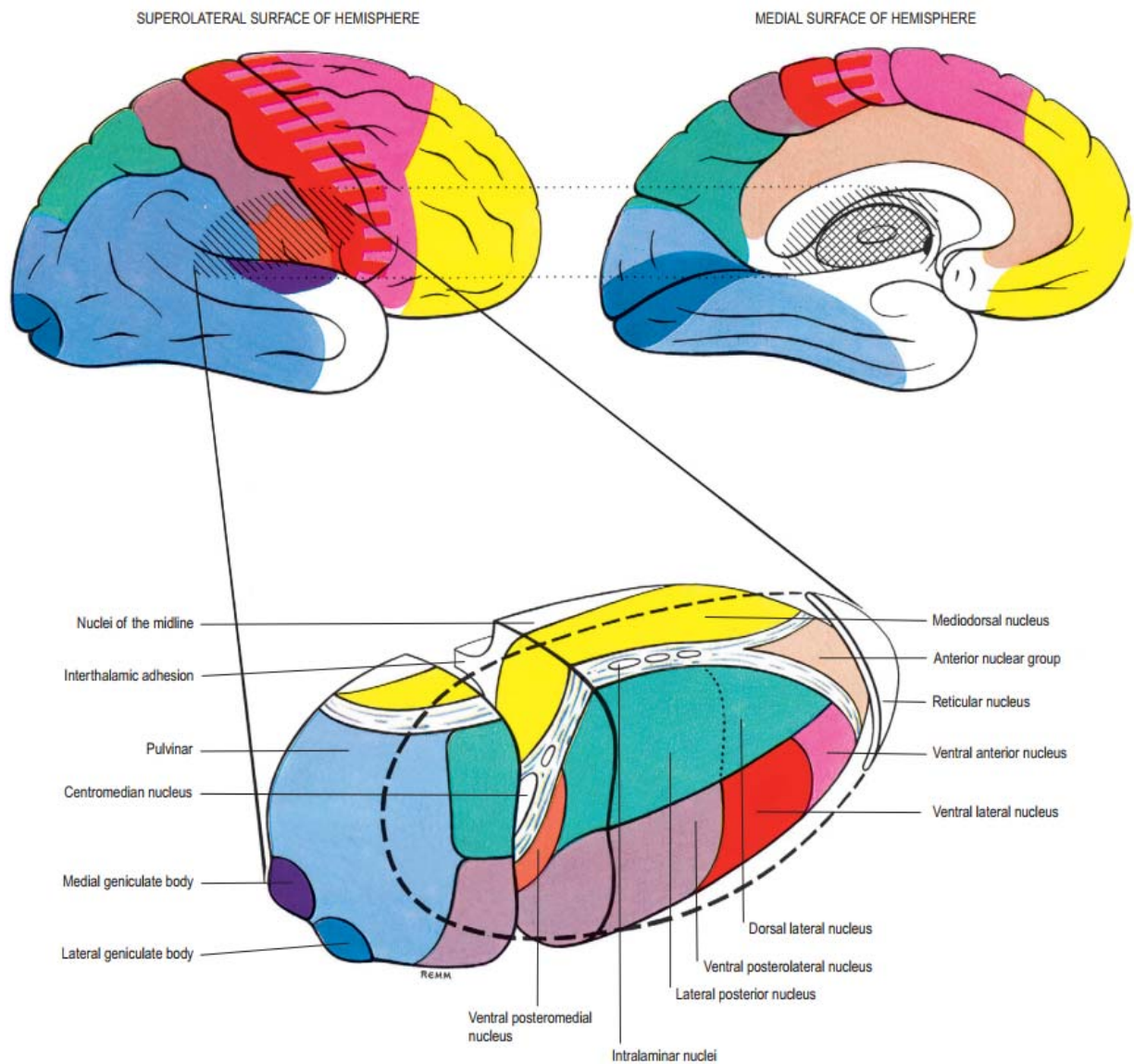


Рисунок 1.2 - Схематическое изображение основных ядер таламуса и их связи с корой больших полушарий головного мозга. Основная часть волокон из прецентральной извилины переключается на вентральном заднелатеральном ядре (выделены коричневым цветом, ventral posterolateral nucleus), из премоторной коры – вентролатеральном ядре (выделены красным цветом, ventral lateral nucleus). Иллюстрация заимствована у Elliott L. [85]

Вслед за таламусом, КСТ продолжается в виде ножек головного мозга, образуя многочисленные связи с базальными ядрами и проходит субталамическую область. Данную область в современной литературе называют таламопедункулярной областью [33,39,51,102,105,117]. Проходя через ножки головного мозга, КСТ образует компактный тяж из продольных волокон кортикоспинального тракта в основании ствола головного мозга, наряду с кортикопонтинным, кортикоядерным трактом, располагаясь вентрально (так называемые кортикофугальные волокна). На уровне продолговатого мозга КСТ формируется в пирамиды, большинство волокон перекрещивается и переходит в свою спинальную часть [85].

Корковое моторное представительство кровоснабжается в основном за счет передней мозговой артерии (ПМА) - перикаллезной артерии А4 и А5 сегментов, средней мозговой артерии (СМА) сегмента М4, корковых веток [13,85,103].

Подкорковые ядра кровоснабжаются за счет внутренней сонной артерии (ВСА) - перфорирующих артерий к переднему продырявленному веществу, передней ворсинчатой артерии (ПВА); задней соединительной артерии (ЗСА); ПМА – таламостриарных артерий, возвратной артерии Гейбнера; СМА - лентикулостриарных артерий, артерий М3 сегмента; веток задней мозговой артерии (ЗМА) - заднемедиальных центральных артерий Р1 сегмента, медиальной и латеральной задних ворсинчатых артерий (ЗмВА, ЗлВА), ножковых ветвей, таламоколенчатых артерий [13,85,103].

При компактных опухолях больших полушарий мозга риск повреждения основных артерий в большинстве случаев минимален, тогда как при гигантских опухолях полушарий и глубинных опухолях мозга часто наблюдается включение артерий в строум образования и/или сложные анатомотопографические взаимоотношения опухоли и сосудов мозга (Рисунок 1.3).

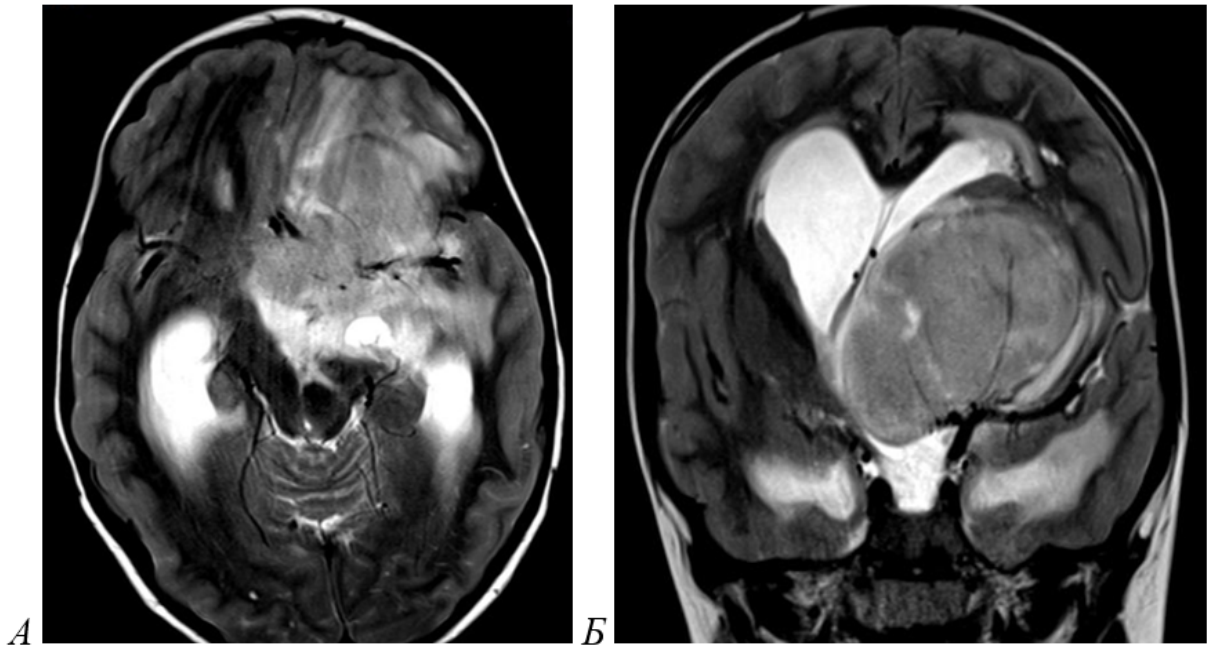


Рисунок 1.3 - А,Б – МРТ головного мозга, Т2-последовательность в аксиальной (А) и коронарной (Б) проекции. Гигантская плеоморфная ксантоастроцитома, WHO grade 2, лобно-височно-островковой области у 7 летнего ребенка. Опухоль включает ВСА, начальные отделы ПМА, М1 и М2 сегменты СМА

При глубинной опухоли ветки ПМА остаются кпереди от опухоли и зачастую риск их повреждения не велик. Опыт резекции глубинных опухолей позволил пересмотреть взгляд на хирургические доступы и в некоторых случаях использовать подход в обход перфорирующих лентикулостриарных артерий СМА, примером является височный трансхориоидальный доступ [11]. Основным риском при резекции глубинной опухоли остаётся повреждение ворсинчатых (ПВА, ЗмВА и ЗлВА) и задней соединительной артерии (Рисунок 1.4,1.5).

Взаимоотношения различных анатомических групп опухолей с основными артериями и окружающими мозговыми структурами будут освещены в соответствующем разделе.

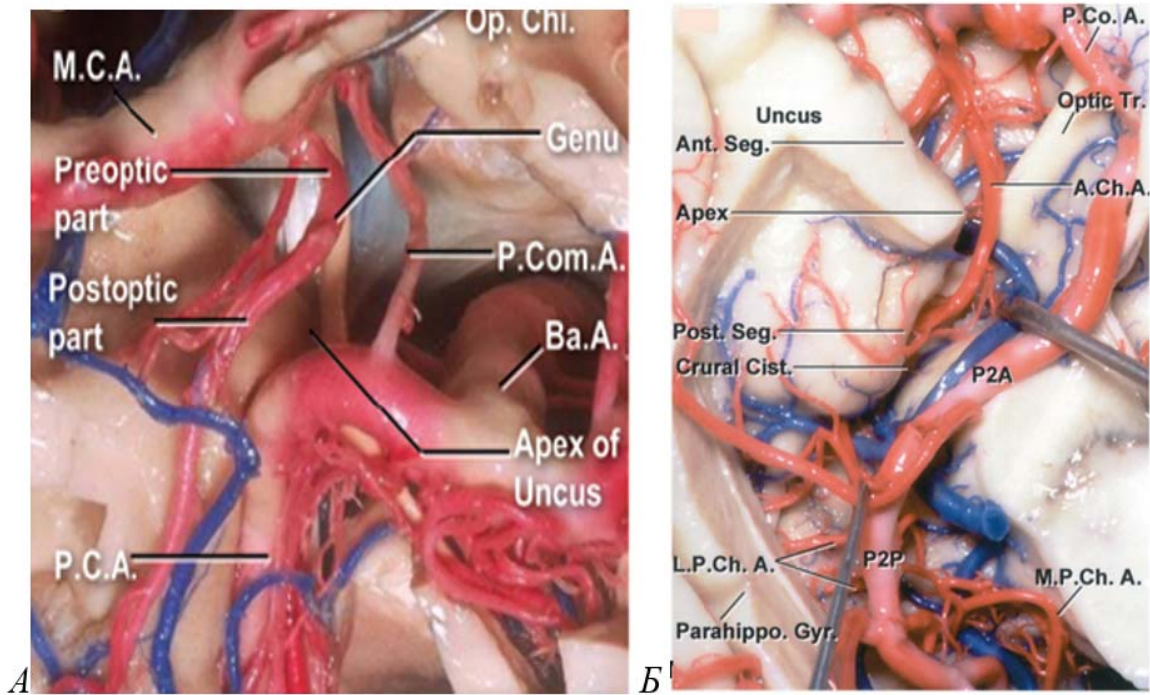


Рисунок 1.4 - Патологоанатомический снимок: А - вид снизу, ПВА разделена не классически, на 3 сегмента: преоптическую (Preoptic part), колено (Genu) и постоптическую части (Postoptic part). Иллюстрация заимствована у N.Tanriover [126]; Б – вид сверху, парагиппокампальная извилина удалена (ПВА (A.Ch.A.) и ЗСА (P.Com.A.), начальные отделы ЗМА (P.C.A.), ЗмВА (M.P.Ch.A.) и ЗЛВА (L.P.Ch.A.). Основные артерии тесно прилегают к ножке мозга (Ped.), зрительному тракту (Optic Tr.). Иллюстрация заимствована у A.Rhoton [107]

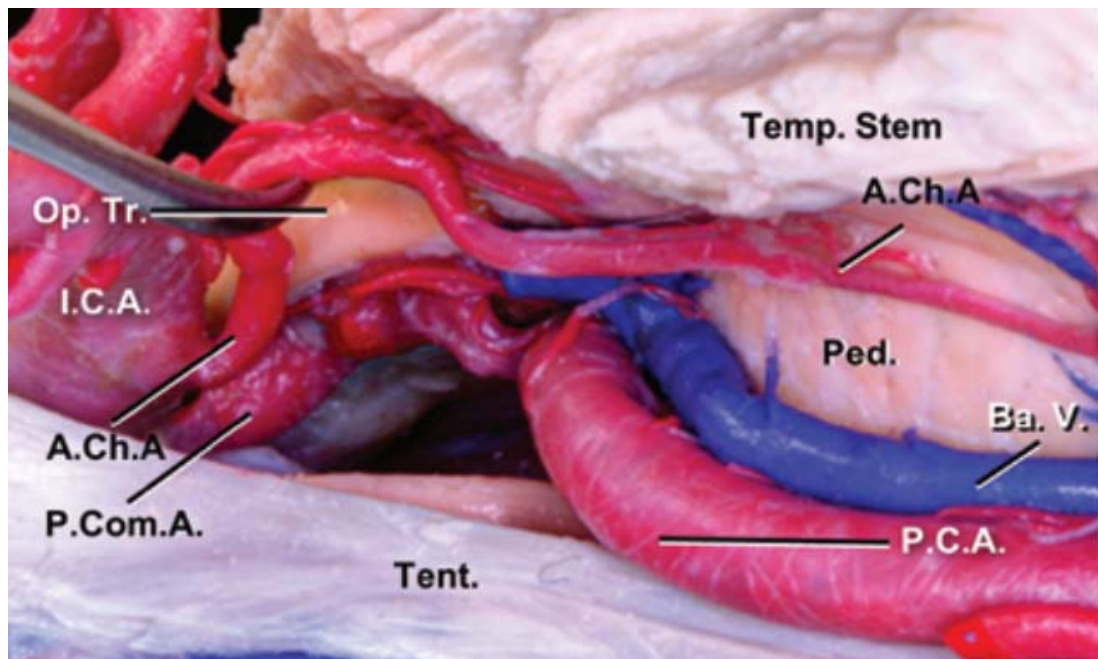


Рисунок 1.5 - Патологоанатомический снимок, вид сбоку. На иллюстрации демонстрируется прохождение ПВА (A.Ch.A.) и ЗСА (P.Com.A.) по отношению к зрительному тракту (Optic Tr.), ножке мозга (Ped.), базальной вене (Ba.V.). Иллюстрация заимствована у A.Rhoton [107]

1.3 Этапы созревания пирамидного тракта, факторы, влияющие на созревание. Феномен «нейропластичности»

Кортикоспинальный тракт начинает формироваться на 9 неделе внутриутробной жизни. Рост неокортекса у плода во второй половине третьего месяца внутриутробного развития связан с появлением ассоциативных волокон и развития пирамидного пути, в основном на уровне подкорковых ядер - формируется внутренняя капсула. Параллельно развитию ассоциативных путей, формируются многочисленные связи между подкорковыми ядрами и будущим корковым моторным представительством. Сами подкорковые ядра, к моменту образования связей, уже сформированы и являются зрелыми анатомическими структурами. Пирамидный тракт достигает своих каудальных отделов ЦНС к 29 неделе гестации [45,85,104].

Новейшие исследования в области нейроэмбриологии и нейровизуализации объективизировали данные фундаментальных исследований прошедших десятилетий [56,62,71,76,128]. Динамика структурных изменений мозга была обнаружена внутриутробно с помощью диффузионно-тензорной визуализации (DTI). В атласе Н.Huang [62] представлены снимки 67 здоровых плодов в гестационном возрасте от 21 до 39 недель. В течение 3-го триместра становятся очевидными ассоциативные пучки волокон. Пирамидный тракт в пределах внутренней капсулы, на ранних стадиях развития, мог визуализироваться уже на 13 неделе гестации (Рисунок 1.6) [56,62,71,88,128].

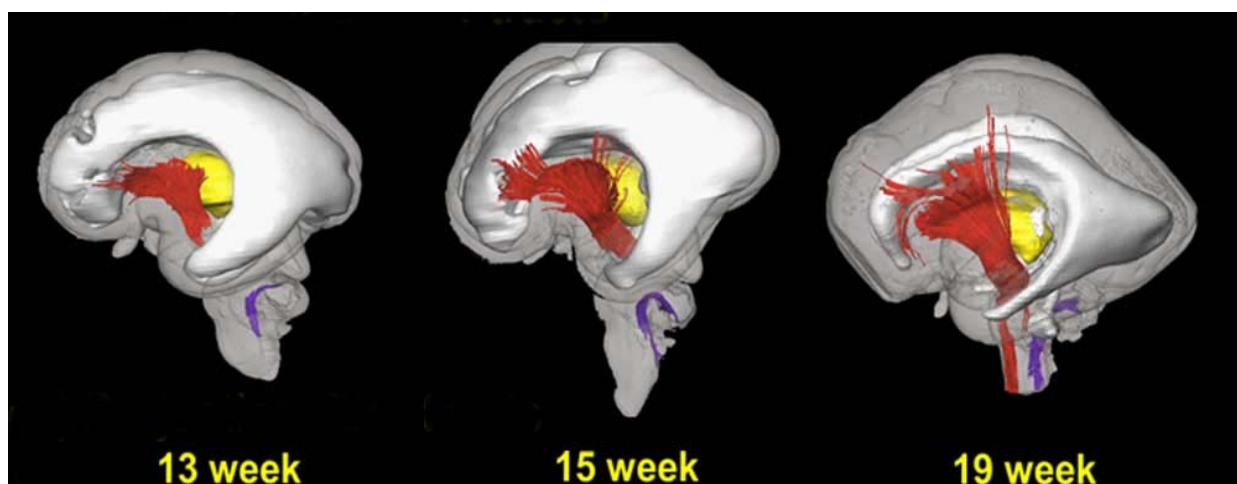


Рисунок 1.6 - 3D-изображение DTI визуализации, развитие волокон пирамидного тракта. Боковой вид, красным и фиолетовым цветом указан развивающийся пирамидный тракт мозга на 13, 15 и 19 неделе гестации. Желтая структура – таламус, белая – желудочки мозга. Иллюстрация заимствована у Huang H. и соавторов [88]

Мозг доношенного новорожденного имеет массу от 300 до 400 г., голова при рождении составляет одну четверть от общего объема тела. Наибольший прирост происходит в первый год - объем мозга увеличивается до 75% от его будущего взрослого объема. Рост можно объяснить множеством факторов (увеличением размера нервных клеток, формированием аксональных связей и пр.), однако основной фактор – миелинизация аксонов. Сенсорные пути — зрительные, слуховые, проводники поверхностной и глубокой чувствительности — миелинизируются в первую очередь; двигательные волокна миелинизируются позже. Миелинизация кортикоспинальных путей во внутренней капсуле и ножках мозга завершается раньше других отделов тракта, через 10–14 дней после рождения. В течение первых двух и последующих лет рост мозга протекает гораздо медленнее и может продолжаться вплоть до 17 лет [85].

Считается, что при повреждении детский мозг естественным образом восстанавливается лучше, чем взрослый - «принцип Кеннарда» [51]. Маргарет А. Кеннард стала пионером в изучении нейропластичности мозга у детей. Она утверждала, что, если повреждение мозга произошло в более раннем детском возрасте, тем более вероятно, что компенсаторные механизмы смогут уменьшить негативные последствия. Примерно в то же время возникла конкурирующая

гипотеза - избирательная уязвимость. В исследовании Hebb [57] описано, что интеллект и показатели высших корковых функций были хуже у пациентов, перенесших повреждение головного мозга в раннем возрасте, чем у взрослых.

Нейропластичность относится к биологической способности центральной нервной системы созреть, изменяться структурно и функционально в ответ на приобретаемый опыт и адаптироваться после повреждения [51].

В настоящее время доказано, что при любом поражении головного мозга у взрослых усиливаются клеточные защитные механизмы - нейрогенез, глиогенез и синаптогенез, тогда как у детей помимо этого происходит реструктуризация головного мозга в целом, здоровые клетки «привыкают к жизни» без пораженных участков головного мозга [40,51,70,82,116]. Этим же и объясняются большие компенсаторные возможности детского мозга. Как пример – опухоли мозга могут достигать гигантских размеров, а состояние пациента может оставаться удовлетворительным долгое время. Примером являются так же операции, направленные на дисконнекцию мозга при эпилепсии [79].

Исследования магнитно-резонансной томографии показывают, что после повреждения головного мозга проявляется большая активация в ипсилатеральной премоторной коре и контралатеральной первичной моторной коре у взрослых [40,82,116]. При этом у здоровых новорожденных детей моторный центр включает двустороннюю иннервацию из первичной моторной коры [65,89].

По мере взросления происходит прогрессирующее торможение ипсилатеральной коры, что приводит к контралатеральному моторному контролю [65,70,89]. Помимо аспектов развития, наблюдаемых у здоровых детей, также существуют отчетливые паттерны нейронной пластичности, в частности, после ранних поражений головного мозга [80,96,132].

Такая функциональная реорганизация может происходить в функциональных центрах речи, в моторной области [80,96,132], в то время как сенсорная зона остается наиболее стабильной.

При этом поражение головного мозга у детей младшего возраста может вызывать паттерны нейронной пластичности, не наблюдаемые у детей старшего

возраста [80,96,120,121,132]. У детей раннего возраста происходит лишь формирование и становление двигательного акта путем созревания пирамидной и экстрапирамидной систем движения [80,81,96,120,121,132].

1.4 МР-трактография с реконструкцией пирамидного тракта у детей

Основным методом предоперационного определения локализации пирамидного тракта и моторных зон мозга у детей является МР-трактография, которая может использоваться в любом возрасте [15,20,22,23,25,34,55,58,59,61,63,68,81,88,95,106,124,132,133,136]. Диффузионно-тензорная МРТ (ДТ МРТ, МР-трактография) дает информацию о степени и направленности диффузии воды, отражая микроструктурную интегрированность [15]. В основе лежит эхо-планарная импульсная последовательность (ИП DW-EPI). МР-трактография - метод, позволяющий неинвазивно на дооперационном этапе выстроить проводящие пути головного мозга, в том числе кортикоспинальный тракт. При этом сложная конфигурация белого вещества не отражается в полной мере в связи с отсутствием возможности реконструкции пересекающихся волокон. Это является ограничением метода стандартной МР-трактографии [1,15,106,124].

Диффузионные изображения с высоким угловым разрешением и разложением по сферическим функциям (Constrained spherical deconvolution – high angular resolution diffusion imaging (CSD-HARDI)) – метод, основным преимуществом которого является возможность визуализации в одном вокселе более двух разнонаправленных пучков аксонов, то есть пересекающихся трактов. Для этого применяют большое количество направлений диффузионных градиентов и вероятностный алгоритм обработки данных [1,15,35,67,106,124]. Стандартная МР-трактография может выстраивать только волокна КСТ, иннервирующие мышцы ноги, так как волокна, ответственные за мышцы руки и лица анатомически пересекают верхний продольный пучок, а волокна из латеральных отделов КСТ имеют изгиб до перехода к вертикальной части и пересекаются с верхним продольным пучком на уровне лучистой радиации и поглощаются в результате ограничения метода – отсутствия визуализации пересекающихся волокон при ДТ

MPT. CSD-HARDI новейший метод, способный нивелировать технические недостатки стандартной МР-трактографии, при этом имеющий свои – высокие технологичные требования со специальной математической обработкой данных и долгое время реконструкции трактов [1,35,67].

До настоящего времени большинство публикаций, посвященных МР-трактографии, основаны на результатах использования у взрослых пациентов. По данным литературы, реконструкция КСТ по результатам МР-трактографии у детей является более сложной, чем у взрослых [22,34,132,133,136]. В большинстве случаев, авторы сталкиваются с невозможностью точного определения и построения КСТ по данным МР-трактографии у детей младшего возраста, что может объясняться незаконченным процессом миелинизации КСТ. Существует небольшое количество публикаций, в которых описано применение МР-трактографии при супратенториальных опухолях вблизи КСТ у детей [21,28,38,46,72,81].

В серии Giuseppe Cinalli [38] описывается применение МР-трактографии у 27 пациентов с опухолями таламуса и таламопедункулярной области. Выявлено, что КСТ в большинстве случаев смещался антелатерально, к сожалению, без описания при каких именно топографо-анатомических вариантах опухолей.

Jun-Ное Kim и соавторы [72] приводят результаты хирургического лечения опухолей таламуса у детей. Проведено 27 резекций, 17 пациентам была проведена дооперационная МР-трактография, у большинства из них удаление опухоли проходило с использованием ИОМ. Были сделаны выводы, что с помощью МР-трактографии и ИОМ была достигнута радикальная резекция опухолей и улучшение неврологических исходов. Несмотря на положительное мнение авторов к применению обоих методов в совокупности, соотношения данных ИОМ и МР-трактографии не освещено.

Результаты удаления опухолей таламуса с выполнением дооперационной МР-трактографии, так же, представлены в серии Abdulelah A.Alluhaubi и соавторов [73]. На основании изучения данных 10 пациентов авторами сделан вывод, что тотальная резекция опухолей таламуса у детей с сохранением функционального

статуса может быть осуществима, в том числе с помощью выполнения дооперационной МР-трактографии. К сожалению, результаты проводимой МР-трактографии и соотношение МР-трактографии и ИОМ в публикации не освещены.

Christian Dorfer и соавторы [46] описывают применение трактографии при опухолях таламуса, рассмотрены диффузные срединные глиомы N3 K27M мутантные. Показано положительное влияние дооперационной МР-трактографии в безопасной резекции этих опухолей.

Применение МР-трактографии при опухолях больших полушарий и глубинных структур у детей описано в серии Anna Lorenzen [81], объем исследуемых составил 26 пациентов, освещена методика исследования и основные проблемы выполнения трактографии.

В других публикациях, как правило, основой является описание отдельных клинических случаев [28,31,51,90,122,133,136], которые рекомендуют проводить МР-трактографию пациентам с супратенториальными опухолями вблизи КСТ.

1.5 Планирование резекции опухолей, прилегающих к пирамидному тракту, в зависимости от результатов МР-трактографии у детей

Существуют особенности в планировании хирургического подхода при полушарных и при глубинных опухолях.

Когда речь идет о резекции полушарных опухолей, важна протекция прилегающих проводящих путей и функциональных зон мозга. В этом случае обязательным является применение картирования моторных зон коры для безопасной кортикотомии в зоне резекции опухоли.

К сожалению, описание планирования хирургического доступа в зависимости от результатов МР-трактографии при полушарных опухолях не освещено в доступных детских обзорах [81], но широко продемонстрировано в применении у взрослых пациентов [10,27,35,43,49,50,103,111,114,135], в том числе с применением интраоперационной нейронавигации. Ввиду ранее указанных гистологических особенностей полушарных опухолей у детей [5,98,99,131], различной результативности МР-трактографии у детей и взрослых

[22,34,132,133,136], необходимо отдельное освещение роли МР-трактографии в планировании удаления полушарных опухолей моторных зон у детей.

Хирургические подходы к глубинным опухолям разделяются на трансцистернальные и транскортикальные. Трансцистернальные подходы включают в себя доступы через «анатомические коридоры» - вдоль серпа мозга (транскаллезный, затылочный межполушарный), субтенториальный супрацеребеллярный, субвисочный. Транскортикальные доступы предполагают рассечение мозга на небольшом протяжении в «немой» зоне - трансвентрикулярные доступы (височный, теменной, лобный), доступ через Сильвиеву щель (трансинсулярный). Еще до применения МР-трактографии, представление о безопасном хирургическом подходе к глубинным опухолям основывалось на результатах резекции опухолей таламуса. Несмотря на появление крупных серий, освещающих хирургический подход и успешную резекцию опухолей таламуса (серия Ozek [100], Puget [102], Baroncini [24], Albright [18], Коновалов [6]), выделение ряда редких глубинных опухолей (хвостатого, лентикулярного ядра, зрительного тракта и др.) в отдельные анатомические группы не происходило, что объясняется схожими с таламическими глиомами хирургическими подходами. Описывалось применение транскаллезного и лобного трансвентрикулярного доступа при опухолях передних отделов таламуса; супрацеребеллярного, затылочного межполушарного и теменного трансвентрикулярного доступа при глиомах задних отделов таламуса. У части пациентов с преимущественным латеральным ростом опухоли применялся трансинсулярный, а в последующем и височный трансвентрикулярный доступы. Выбор доступа был сформирован на основании фундаментальных представлений об анатомическом расположении КСТ в пределах внутренней капсулы, дополнительными параметрами выбора являлось расположение основных сосудов мозга и хирургическая доступность формируемого анатомического коридора. Основной проблемой систематизации применения хирургических подходов к таламическим, и в общем к глубинным, опухолям является отсутствие единой топографической классификации глубинных глиом. В Центре нейрохирургии им.

ак. Н.Н. Бурденко используется собственная классификация глубоких опухолей [7].

В настоящее время, при помощи МР-трактографии, стала доступным объективизация выбора определенных доступов в зависимости от смещения КСТ при глубокой опухоли.

Jun-Ное Kim и соавт. [72] описывают выбор хирургического доступа на основании смещения КСТ по результатам МР-трактографии. При смещении КСТ кпереди или антелатерально применяли транскаллезный и теменной трансвентрикулярный доступ, при медиальном смещении височный трансвентрикулярный доступ.

При удалении опухолей таламуса и таламопедункулярной области Giuseppe Cinalli и соавторы [38] используют преимущественно транскистернальные доступы, лишь при резекции опухолей ножки мозга чаще применяли височный трансвентрикулярный доступ. В исследуемой группе, как и было указано выше, часто наблюдалось антелатеральное смещение КСТ.

В серии Abdulelah A.Alluhaybi [21] при удалении опухолей таламуса использованы транскортикальные доступы, к сожалению обоснования выбора доступа, в зависимости от результатов трактографии, не приведено.

В работе Christian Dorfer [46] резюмирована резекция диффузных срединных глиом таламуса, которая проводилась преимущественно транскаллезным межполушарным доступом. Причиной этому вероятно является группа пациентов, которая состоит из злокачественных глиом таламуса. Основными целями операции при инфильтративных глубоких глиомах являются гистологическая верификация и удаление большего объема опухоли, в том числе для устранения окклюзионной гидроцефалии, в этом случае транскаллезный доступ подходит лучше всего. Описания порядка выбора хирургического доступа в зависимости от смещения КСТ по данным трактографии не освещено.

В представленных исследованиях освещена роль МР-трактографии в оптимизации планирования резекции полушарных опухолей моторных зон мозга и объективизации выбора хирургического доступа к глубокой опухоли.

1.6 Интраоперационный электрофизиологический мониторинг функционального состояния пирамидного тракта у детей

Исторически, применение ИОМ в детской нейрохирургии было сконцентрировано на хирургическом лечении эпилепсии. Первый опыт успешного картирования моторных зон датируется 1954 годом, осуществлённый Penfield в лечении ребенка с туберозным склерозом [101]. В дальнейшем, описание картирования моторных зон будет опубликовано лишь в 1980 году Berger [29], чья публикация будет являться одной из работ, возобновившей интерес к мониторингу состояния пирамидного тракта в детской нейрохирургии. В последующем будут опубликованы множество работ, создающие представление о низкой результативности использования ИОМ функционального состояния КСТ у детей [30,37,48,91,119]. В представленных работах сообщается, что метод картирования по Penfield успешен лишь у детей старше 5 лет. Данный метод реализуется биполярным зондом путем использования бифазной стимуляции частотой 50 или 60 Гц, поддерживаемой в течение нескольких секунд. В 1993 году публикуется основополагающая статья Taniguchi [125], которая совершит прорыв в картировании КСТ, в том числе у детей. Метод является основным в картировании моторных зон по настоящее время. В Европейских странах данная методика быстро обретает популярность, но в Америке вводится в использование лишь к 2010 году. Только в 2020 году J. Roth и S. Constantini [109] опубликовали важные данные, показывающие различие полученных результатов в двух разных техниках стимуляции – Taniguchi и Penfield. Моторное картирование было информативным у 84% детей по технике Taniguchi против 25% по Penfield. При этом самым «молодым» пациентом с успешным картированием моторных зон техникой Taniguchi являлся грудной ребенок 3 месяцев. Полученные данные схожи с результатами других исследователей [66,110]. Вышеизложенные факты объясняют почему длительное время публикации по использованию прямой стимуляции в детской нейрохирургии носили описательный характер, основным методом протекции функционального состояния КСТ интраоперационно являлись транскраниальные моторные вызванные потенциалы.

В условиях современной нейрохирургии интраоперационный нейрофизиологический мониторинг функционального состояния структур мозга, в том числе двигательных проводящих путей, является стандартом при операциях вблизи функционально значимых зон, позволяя проводить более радикальную резекцию опухолей сохраняя и улучшая функциональный статус пациентов. Комплексный интраоперационный нейрофизиологический мониторинг состояния пирамидного тракта включает в себя транскраниальные моторные вызванные потенциалы (ТК МВП), прямые кортикальные моторные вызванные потенциалы и прямую субкортикальную стимуляцию КСТ (монополярная и биполярная) – картирование моторной коры и субкортикальная стимуляция пирамидного тракта. Монополярная стимуляция проводится либо специальным монополярным зондом, либо соединением специального кольцевого стимулирующего электрода с корпусом вакуумного аспиратора, используемого при обычных нейрохирургических вмешательствах. Это позволяет обеспечивать непрерывную стимуляцию (картирование) в том месте, где находится наконечник аспирационного устройства. При монополярной стимуляции, КСТ фиксируется путем радиально направленной стимуляции от наконечника устройства. Биполярная стимуляция подразумевает непосредственное соприкосновение в ране специальным двухконтактным стимулирующим зондом, КСТ фиксируется между двумя этими контактами. Используется следующая методика стимуляции [метод Taniguchi, 125]: короткая последовательная катодная стимуляция 4-мя импульсами с длительностью импульса 0,5 мс, межстимульный интервал 4 мс, частота 2 Гц между стимуляциями. Интенсивность стимуляции варьируется в зависимости от этапа операции и анатомической области, где проводится стимуляция, диапазон силы тока составляет от 1 до 25 мА.

Совершенствование ИОМ и набор опыта, помогают определить так называемый “предел безопасной резекции” опухолей вблизи КСТ [31,36-38,95-97,107,110,116,117,129].

Все современные исследования в области ИОМ ставят основной целью объективизацию параметров нейрофизиологического исследования, таких как

кратность и интенсивность прямой стимуляции и ряда других показателей [10,27,28,35,43,49,50,103,109,111,113,135]. При этом серий, освещающих использование комплексного протокола ИОМ при резекции супратенториальных глиом, прилегающих к пирамидному тракту у детей, фактически нет. Описания особенностей ИОМ либо отсутствуют, либо скудны, что не дает четкого понимания объема, используемого интраоперационного мониторинга [31,36,38,51,81,90,122].

J. Roth и S. Constantini [109] в 2020 году опубликовали исследование, освещающее применение всего объема ИОМ у детей. Серия состоит из 57 детей с «поверхностными» и «глубинными» образованиями, 40 из которых опухоли. У 30 пациентов во время операции использовалась прямая стимуляция КСТ, ТК МВП у 26 детей. Важным выводом статьи является отличие результатов применения техники прямой стимуляции Penfield и Taniguchi у детей. К тому же доказано, что локализация опухоли, возраст ребенка и степень двигательных нарушений до операции не являются ограничениями в использовании ИОМ у детей. Одним из выводов является предположительный безопасный порог силы прямой стимуляции при резекции опухолей обеих топографических групп вблизи моторных зон, который составил 6 мА. Важно, что сами авторы подтверждают слабую достоверность полученного результата в виду гетерогенности топографо-анатомических групп опухолей.

Серия С. Dorfer и соавт. [46] состоит из пациентов с диффузными срединными глиомами таламуса. В исследовании 22 пациента с предоперационной МР-трактографией и полным объемом ИОМ. Применение комплексного подхода позволило увеличить радикальность удаления опухолей с сохранением функционального статуса. Описание опухолей другой локализации вблизи КСТ не приводится, как и пороговые значения тока прямой стимуляции, соотношения МР-трактографии и ИОМ.

V. Veneš и соавт. [28] освещают результаты лечения пациентов с опухолями таламуса и таламопедункулярной области. Пороговая сила тока в конце резекции часто регистрировалась до 5 мА, к сожалению, данных в какой именно топографо-анатомической группе нет.

1.7 Резюме

В детской нейрохирургии основными методами предотвращения повреждения КСТ во время операции является предоперационная МР-трактография и интраоперационный нейрофизиологический мониторинг. Мировой опыт использования данных методов – это взрослые пациенты с опухолями больших полушарий. Оба метода исторически встречали ряд технических сложностей в получении результатов у детей, особенно младшей возрастной группы. Основной теорией, обосновывающей данные результаты, является наличие незавершённых процессов синаптогенеза и миелинизации нервных волокон у детей. Таким образом, результаты МР-трактографии и показатели ИОМ в лечении пациентов взрослой и детской возрастной группы не соотносимы.

В настоящее время встречается всё больше публикаций, освещающих успешное использование трактографии и ИОМ у детей независимо от возраста пациента и топографического расположения опухоли. К сожалению, в публикациях практически нет развернутых данных о планировании хирургического подхода в зависимости от результатов МР-трактографии, обобщения вариантов взаимоотношения глиом и КСТ в зависимости от топографо-анатомической группы опухоли, обозначения влияющих на модальность ИОМ факторов, а также не встречается публикаций по сопоставлению данных МР-трактографии и ИОМ в детской популяции.

В связи с малым количеством публикаций, освещающих результаты лечения детей с опухолями, прилегающими к КСТ с применением МР-трактографии и комплексного ИОМ, наличием противоречий в применении этих методов в детской популяции, и наличием большого объема клинического материала НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко, данное исследование является актуальным.

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Клиническая группа пациентов

В основу работы положено когортное нерандомизированное исследование с ретроспективной (с 2016 по 2018 гг.) и проспективной (с 2019 по 2023 гг.) частью, основанное на опыте хирургического лечения супратенториальных опухолей головного мозга, прилегающих к кортикоспинальному тракту у детей.

Проанализированы данные 100 пациентов, которым проведено 119 операций на базе 1 нейрохирургического отделения (детская нейрохирургия) НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко с января 2016 по декабрь 2023 гг. Все операции выполнял один нейрохирург.

Возраст пациентов варьировал от 6 месяцев до 18 лет. Средний возраст детей составил 8,8 лет. В зависимости от возраста пациенты разделены на группы: 0-5 лет 30 пациентов (30%), 6-12 лет 42 детей (42%), 13-17 лет 28 детей (28%). Пациентов женского пола было 51 (51%), мужского – 49 (49%). Опухоль располагалась справа у 40 пациентов (40%), слева – у 60 (60%).

Критериями включения пациентов в исследование были дети с супратенториальными опухолями головного мозга различной степени злокачественности, расстояние солидной части опухоли до КСТ по данным МРТ не более 1 см. Исключались из исследования пациенты с сопутствующей патологией ЦНС (перинатальное поражение ЦНС, факоматозы и др.), классические МР-диффузные (WHO grade 2,3) опухоли, не имевшие масс-эффекта.

Целью операции было радикальное удаление опухоли. Конечный объем резекции зависел от характера роста опухоли, ее предположительного гистологического диагноза и результатов динамики ИОМ в ходе удаления.

2.2 Предоперационное обследование пациентов

Всем пациентам проведено неврологическое, офтальмологическое, отоневрологическое исследование до и после операции, СКТ и МРТ головного

мозга и части пациентам (45%) выполнена МР-трактография до и после операции.

В исследование включались следующие топографо-анатомические группы опухолей:

- Опухоли больших полушарий моторной коры и субкортикальной локализации головного мозга (34 пациента):

- опухоли области центральных извилин (ЦИ): расположенные в области прецентральной и постцентральной извилин, прилежащих отделов лучистого венца – 23 пациента;

- гигантские опухоли больших полушарий (ГО): опухоли, поражающие более чем одну долю одного полушария, расположенные в области моторных зон – 11 пациентов;

- Опухоли подкорковых структур (глубинные опухоли, 66 пациентов)

- опухоли таламуса:

- А. передних отделов таламуса (ПТ) – 7 пациентов;

- Б. медиальных отделов таламуса (МТ) – 4 пациента;

- В. задних отделов таламуса (ЗТ) – 24 пациента;

- опухоли таламопедункулярной области (ТП) – 10 пациентов;

- опухоли зрительного тракта (ЗрТ) – 14 пациентов;

- распространенные опухоли подкорковых узлов (РОПУ) – 7 пациентов.

В группе преобладали пациенты с глубинными глиомами (81 резекция, 68,3% от всех операций).

Клиническая картина пациентов была разнообразной и зависела от уровня поражения КСТ и прилежающих структур головного мозга (Таблица 2.1). Основным оцениваемым синдромом в исследовании являлись двигательные нарушения.

Таблица 2.1 - Клиническая картина в зависимости от топографо-анатомической группы опухоли (абсолютные значения, процентное соотношение)

| Симптом/ синдром | Количество | | Топография | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------|-----|------------|----|----|----|----|----|-----|------|
| | Абсолютное число | % | ЦИ | ГО | ПТ | ЗТ | МТ | ТП | ЗрТ | РОПУ |
| Парез/плегия | 56 | 56 | 5 | 10 | 3 | 11 | 2 | 10 | 11 | 5 |
| Гипертензионно-гидроцефальный | 51 | 51 | 4 | 10 | 3 | 19 | 2 | 3 | 5 | 5 |
| Эпилепсия | 18 | 18 | 13 | 2 | - | 2 | - | - | 1 | - |
| Экстрапирамидные нарушения | 18 | 18 | - | - | 1 | 5 | 1 | 4 | 4 | 3 |
| Глазодвигательные нарушения | 18 | 18 | - | - | - | 11 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| Нарушение полей зрения | 17 | 17 | 1 | - | - | 5 | 1 | - | 8 | 2 |
| Нарушение чувствительности | 3 | 3 | 2 | - | - | - | - | - | 1 | - |
| Общее число | 100 | 100 | 23 | 11 | 7 | 24 | 4 | 10 | 14 | 7 |

ЦИ-центральных извилин, ГО – гигантские опухоли, ПТ – передний таламус, ЗТ – задний таламус, МТ – медиальный таламус, ТП – таламопедункулярная область, ЗрТ – зрительный тракт, РОПУ – распространенные опухоли подкорковых узлов

2.3 Нейровизуализационные характеристики групп пациентов, МР-трактография

Всем пациентам до операции была выполнена МРТ в стандартных режимах (T1, T2, FLAIR, DWI) и с контрастным усилением в трех проекциях (аксиальной, сагиттальной, фронтальной) на аппаратах 1.5-3.0 Т (фирма GE (США)). В послеоперационном периоде всем пациентам в условиях НМИЦН для исключения послеоперационных осложнений и гидроцефалии проводилась КТ головного мозга непосредственно после операции. С целью оценки радикальности операций МРТ с контрастным усилением осуществлялось в раннем послеоперационном периоде в условиях НМИЦН, либо в сроки до 1 месяца по месту жительства.

По данным КТ и МР-характеристик произведена оценка размеров опухоли, степень воздействия на окружающие мозговые структуры и сосуды мозга,

предположительное кровоснабжение, наличие петрификатов в опухоли и возможная инфильтрация твердой оболочки и кости при полушарных опухолях. Также рассматривалась дислокация смежных анатомических структур и степень их смещения, наличие или отсутствие перитуморального отека, окклюзии ликворных путей и её уровень, накопление опухолью контрастного препарата. Проведение МРТ исследования детям малого возраста было проведено в условиях общей седации.

Метод МР-трактографии (режим DTI, CSD-HARDI), был проведен 45 пациентам (45%), позволял оценить состояние кортикоспинального тракта, тенденции смещения его в зависимости от топографии опухолей. По данным МР-трактографии стандартного режима визуализировалось отношение КСТ к опухолевой ткани, по данным HARDI режима можно было отследить ход волокон КСТ до моторной коры. Реконструкция КСТ осуществлялась врачами-рентгенологами НМИЦН без участия нейрохирурга при помощи компьютерных программ Инобитек Dicom-viewer версии 1.15, TrackVis и 3D Slicer.

Ниже представлена информация о проведении МР-трактографии в возрастных и топографо-анатомических группах (Рисунок 2.1).

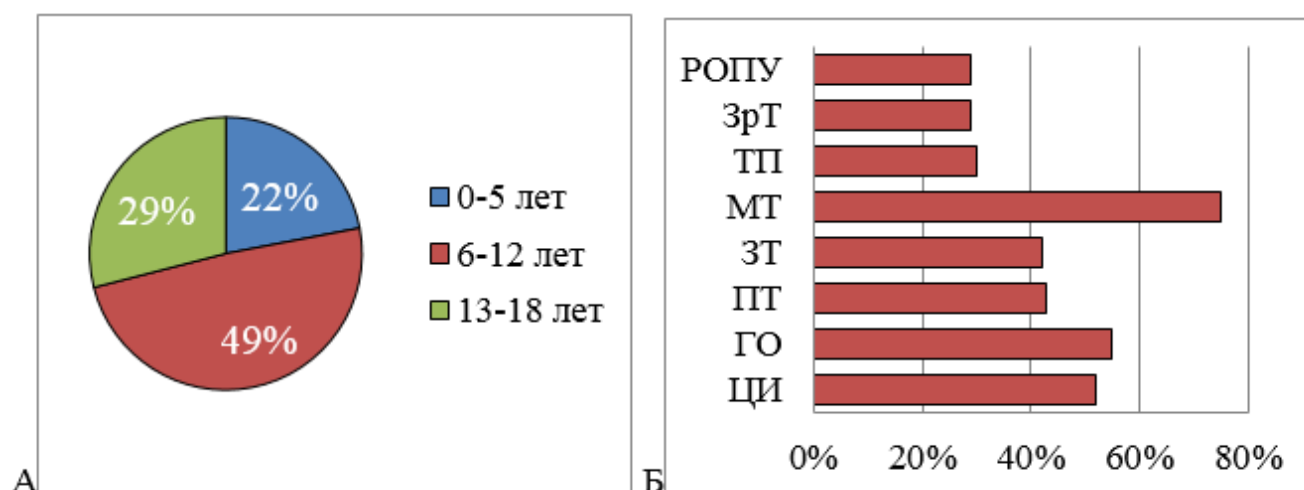


Рисунок 2.1 – А: МР-трактография в возрастных группах (процентные значения); Б: МР-трактография в топографо-анатомических группах (процентные значения): ЦИ-центральных извилин, ГО – гигантские опухоли, ПТ – передний таламус, ЗТ – задний таламус, МТ – медиальный таламус, ТП – таламопедункулярная область, ЗрТ – зрительный тракт, РОПУ – распространенная опухоль подкорковых узлов

Превалировали дети 6-12 лет, МР-трактография была выполнена в меньшей степени при глиомах таламопедункулярной области, зрительного тракта и при распространенных опухолях подкорковых узлов.

2.4 Удаление опухолей, прилегающих к пирамидному тракту.

Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг функционального состояния пирамидного тракта

Анестезия

Все операции проводились под эндотрахеальным наркозом и постоянным мониторингом ЭКГ, артериального давления, парциального давления CO₂ и частоты дыхания. Применялась тотальная внутривенная анестезия, включающая в качестве седатирующего агента пропофол, а в качестве анальгезирующего – фентанил. Газовые анестетики не применялись. В случае использования ИОМ миорелаксанты использовались только на этапе интубации. При гигантских полушарных опухолях, в подавляющем большинстве случаев, операция проводилась с использованием аппарата для аутоотрансфузии LivaNova XTRA.

Хирургические доступы

При удалении полушарных опухолей моторных зон использовались транскортикальные доступы. При опухолях области центральных извилин (ЦИ), в некоторых случаях, разметка операционного доступа осуществлялась с использованием безрамной интраоперационной навигации (Fiagon, Medtronic StealthStation navigation). Для подхода к опухолям глубинных структур применялись следующие доступы: 1) транскаллезный, 2) затылочный межполушарный, 3) транскортикальные трансвентрикулярные доступы (лобный, височный, теменной), 4) птериональный, 5) инфратенториальный супрацеребеллярный, 6) субвисочный.

Микрохирургический этап операции во всех случаях проводился под микроскопом («Zeiss», «Leica»).

Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг функционального состояния пирамидного тракта

В период с 2016 по 2021 год объем использованного ИОМ определялся ведущим хирургом на основании эмпирического опыта, в ряде случаев организационными причинами. С 2021 года была определена и несколько модифицирована в ходе её использования нейрофизиологическая стратегия удаления опухолей, прилежащих к пирамидному тракту, которая используется с 2021 года на базе 1 нейрохирургического отделения (детская нейрохирургия) НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко.

Нейрофизиологическая стратегия не нова в описании и применяется при резекции опухолей, прилегающих к пирамидному тракту, в различных мировых исследованиях. Для подробности изложения, приводим описание нашего использования нейрофизиологической стратегии, а именно использование комплексного ИОМ - ТК МВП и прямой стимуляции пирамидного тракта.

Для интраоперационного нейрофизиологического мониторинга использовалась специализированная 32-х канальная система для интраоперационного нейромониторинга ISIS-IOM компании Inomed (Германия). Транскраниальная стимуляция проводилась при помощи винтовых субдермальных электродов, расположенных в точках C3-C4 (по международной схеме Джаспера). На них подавался ток в виде пачек импульсов (train-4) длительностью от 0,5 до 1 мс. Амплитуда стимуляции варьировала в зависимости от уровня моторного порога (от 40 до 120 мА, стандартный уровень 40-60 мА). Регистрировались моторные вызванные потенциалы (МВП) с мышц верхних и нижних конечностей, с мышц лица (m.biceps/triceps brahii, m.tenar, m.rectus femoris/biceps femoris, m.gastrocnemius/m tibialis anterior, m.orbicularis oris) путем установки на указанные мышцы-мишени субдермальных игольчатых электродов. Анализировалась конфигурация ТК МВП, их исходная амплитуда на начальном уровне моторного порога, а также динамика изменения МВП в ходе и к концу резекции опухоли.

Прямую стимуляцию волокон кортикоспинального тракта в операционной ране проводили с использованием моно- и биполярных зондов (Метод М.

Taniguchi, train-4) с интенсивностью от 1 до 20 мА. Регистрация МВП при прямой стимуляции проводилась с тех же мышц-мишеней, что и для ТК МВП. Кортикотомия проводилась после предварительного картирования предполагаемой моторной коры биполярным зондом на силе тока 20 мА. С этапа начала резекции опухоли, проводилась непрерывная субкортикальная стимуляция монополярным зондом, присоединенным к аспиратору, сила тока устанавливалась на 12-15 мА. При получении МВП в глубине раны область моторного ответа обозначалась укладыванием хирургического материала. Интраоперационно, при отграниченных опухолях и четкой плоскости диссекции, проводилась дальнейшая резекция всей видимой части опухоли, в месте получения МВП резекция проводилась до интактного мозга с постепенным снижением силы тока прямой стимуляции вне зависимости от получаемой модальности. В конце резекции опухоли МВП регистрировались биполярным зондом на минимальном токе – фиксировалась пороговая сила тока. Количество точек стимуляции в глубине раны значительно различалась в зависимости от топографо-анатомической группы опухоли (при глубинных до 5 точек, при полушарных глиомах 10-15 точек). При отсутствии четкой плоскости диссекции решение об окончании операции принималось на основании интраоперационных данных и показателей мониторинга в совокупности (динамика ТК МВП, модальность тока прямой стимуляции). Помимо вышеперечисленного фиксировалось место, где были получены МВП прямой стимуляцией, для последующего соотношения с расположением КСТ по результатам МР-трактографии.

Таким образом, были описаны 3 группы пациентов в зависимости от объема использованного мониторинга:

- А. Удаление опухолей без использования ИОМ - 24 операции (20,2%);
- Б. Удаление опухолей только с использованием ТК МВП - 28 операций (23,5%);
- В. При удалении опухолей использован комплексный ИОМ – ТК МВП и прямая стимуляция – 67 операций (56,3%).

Для оценки однородности групп пациентов ниже представлены данные

гистологии опухолей и их топографо-анатомическая группа в зависимости от объема использованного мониторинга (Рисунок 2.2,2.3).

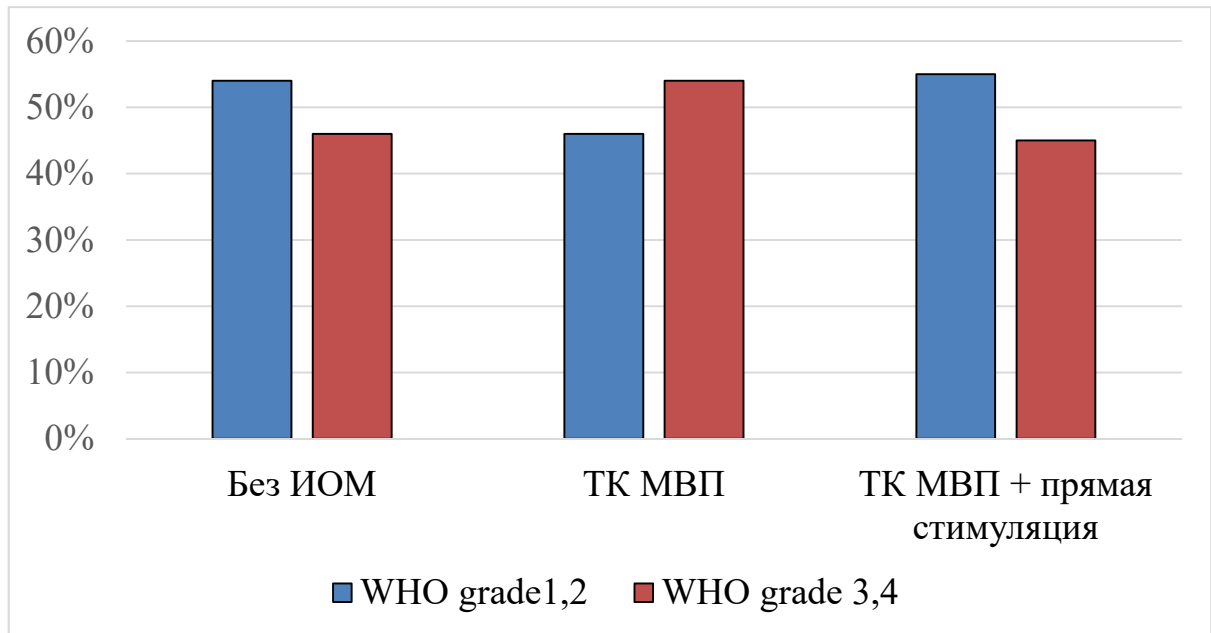


Рисунок 2.2 - Объем использованного ИОМ в гистологических группах (в процентном соотношении)

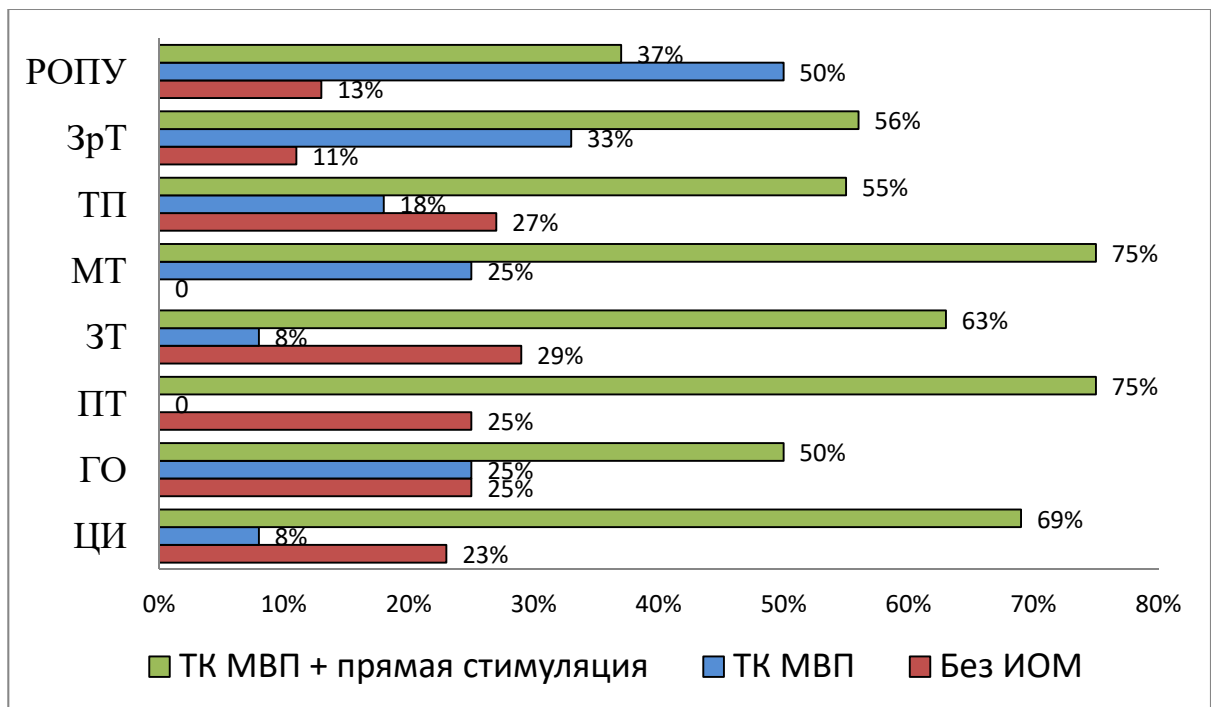


Рисунок 2.3 - Объем использованного ИОМ в топографо-анатомических группах (в процентном соотношении): ЦИ-центральных извилин, ГО – гигантские опухоли, ПТ – передний таламус, ЗТ – задний таламус, МТ – медиальный таламус, ТП – таламопедункулярная область, ЗрТ – зрительный тракт, РОПУ – распространенная опухоль подкорковых узлов

ТК МВП в ходе резекции использованы у 95 пациентов (группа Б и В). Оцениваемыми параметрами являлись стабильность инициальных МВП до резекции опухоли и их конфигурация и амплитуда в зависимости от функционального статуса до операции, возраста и топографо-анатомической группы опухоли; устойчивость МВП во время операции, соотношение динамики показателей МВП с ранними и отдаленными неврологическими исходами. Были обозначены группы по динамике ТК МВП во время операции: стабильные в ходе резекции, снижение модальности МВП без восстановления к концу операции, снижение модальности с восстановлением к концу операции и снижение модальности с исчезновением к концу операции. Низкоамплитудными МВП считались отличие их от «здоровой стороны» на 50% и более. Снижение (редукция) ТК МВП регистрировалась при падении амплитуды ТК МВП более чем на 10% от исходного уровня.

В группе с использованием прямой стимуляции фиксировалась пороговая сила тока и пациенты были разделены эмперически на подгруппы: в пределах 1-3 мА, 4-8 мА, 9-12 мА, 12-15 мА. Сравнение моно- и биполярной стимуляции не проводилось в связи с известными ограничениями обоих методов, которые были опубликованы ранее. Одним из примеров является работа, проведенная в Центре нейрохирургии [10], включающая взрослых пациентов. Описана разница методов и, по нашему мнению, не отличается в разных возрастных группах, так как оцениваемый параметр – показатели нейрофизиологического оборудования.

2.5 Послеоперационное обследование пациентов

Радикальность операции

Радикальность операции оценивалась по МРТ головного мозга режим Т1 с контрастным усилением, Т2 без контрастного усиления, на основании описания специалистами врачами-рентгенологами.

При WHO grade 1,2 опухолях оценка радикальности операции была следующей: тотальным удалением считалась полная резекция опухоли (100%), субтотальным – уменьшение объема опухоли на 75 - <100% от первоначального

объема, частичным – 50 - <75%.

При инфильтративно растущих WHO grade 3,4 опухолях, возможность тотального удаления опухоли отсутствует, по данным различных современных исследований. Околототальным удалением считалось, когда на контрольной МРТ явной остаточной опухоли не выявлялось, либо выявлялась тонкая полоска зоны инфильтрации опухоли (уменьшение на более 95% от исходного объема), данный объем удаления считался максимально радикальным в данной гистологической группе. Субтотальным считалась резекция 75% и более от исходного объема опухоли, частичным удалением считалось уменьшение опухоли на 50-75%.

Неврологические исходы

Двигательный статус пациента оценивался в 1 сутки после операции и к моменту выписки (в среднем, 7-14 суток), по стандартной шкале от 0 до 5 баллов двумя специалистами – нейрохирург и невролог, независимо друг от друга, после чего формировалось единое мнение. Осуществлено распределение пациентов на группы по динамике функционального статуса: с улучшением двигательных функций; без ухудшения двигательных функций; ухудшение двигательных функций с восстановлением на дооперационный уровень к моменту выписки из стационара; ухудшение без восстановления к моменту выписки. Помимо двигательных функций оценивалась сопутствующая неврологическая симптоматика посиндромно до и после операции.

Отдаленные функциональные исходы оценивались при очном осмотре пациента на 3 и 6 месяце от дня выписки, только в группе пациентов со стойким двигательным дефицитом на момент выписки. Летальность в раннем послеоперационном периоде отсутствовала.

Гистологический диагноз

Распределение пациентов в зависимости от гистологической структуры опухоли производилось на основании классификации опухолей центральной нервной системы ВОЗ, редакции 2021 года [131].

2.6 Статистический анализ

Для статистического анализа использовалось программное обеспечение STATISTICA version 8.0 (© StatSoft, Inc. 2007, США) и EXCEL (© Microsoft, 2016, США). Также, статистический анализ данных проведен с помощью языка статистического программирования и среды R (версия 4.3.1) в IDE RStudio (версия 2023.09.0). Распределение непрерывных и дискретных количественных переменных в выборке представлены как среднее арифметическое и стандартное отклонение ($M \pm SD$) для нормально распределенных случайных величин, медиана и квартили ($Me [Q1; Q3]$) для величин, распределение которых отличается от нормального. Распределение категориальных показателей представлены с помощью абсолютных значений процентов ($n (\%)$).

Соответствие выборки нормальному распределению определяли с помощью теста Шапиро-Уилка. Для определения чувствительности и специфичности методов использовали логистический регрессионный анализ. Различия в распределениях категориальных переменных в независимых выборках тестировали с помощью критерия Хи-квадрат и точного критерия Фишера, для зависимых выборок использовался критерий Мак-Немара. Нулевую гипотезу в статистических тестах отклоняли при уровне значимости $p < 0,05$. При помощи критерия согласия Пирсона производилась оценка значимости различий между фактическим количеством исходов или качественных характеристик выборки и теоретическим количеством, которое можно ожидать в изучаемых группах при справедливости нулевой гипотезы. В части случаев, интервальная оценка статистических параметров проводилась при помощи расчета доверительного интервала. Статистический анализ проводился на базе лаборатории биомедицинской информатики и искусственного интеллекта Института нейронаук ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России.

ГЛАВА 3 МР-ТРАКТОГРАФИЯ ПРИ ОПУХОЛЯХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ПИРАМИДНОМУ ТРАКТУ У ДЕТЕЙ

3.1 МР-трактография при опухолях больших полушарий моторной коры и субкортикальной локализации головного мозга

34 пациентам выполнено 38 операций, МР-трактография с реконструкцией КСТ выполнена 19 (55,8%) пациентам группы.

1) Опухоли области центральных извилин.

В 26 (68,4%) случаях опухоль располагалась в области центральных извилин (ЦИ) и прилежащих отделов лучистого венца.

13 пациентам выполнена МР-трактография:

- при глиомах области прецентральной извилины наблюдается смещение КСТ по контуру опухоли (6 пациентов) (Рисунок 3.1);

- при росте опухоли из теменных отделов мозга КСТ смещается кпереди (6 пациентов) (Рисунок 3.2);

- опухоли премоторных отделов лобной доли смещают КСТ кзади (1 пациент) (Рисунок 3.3).

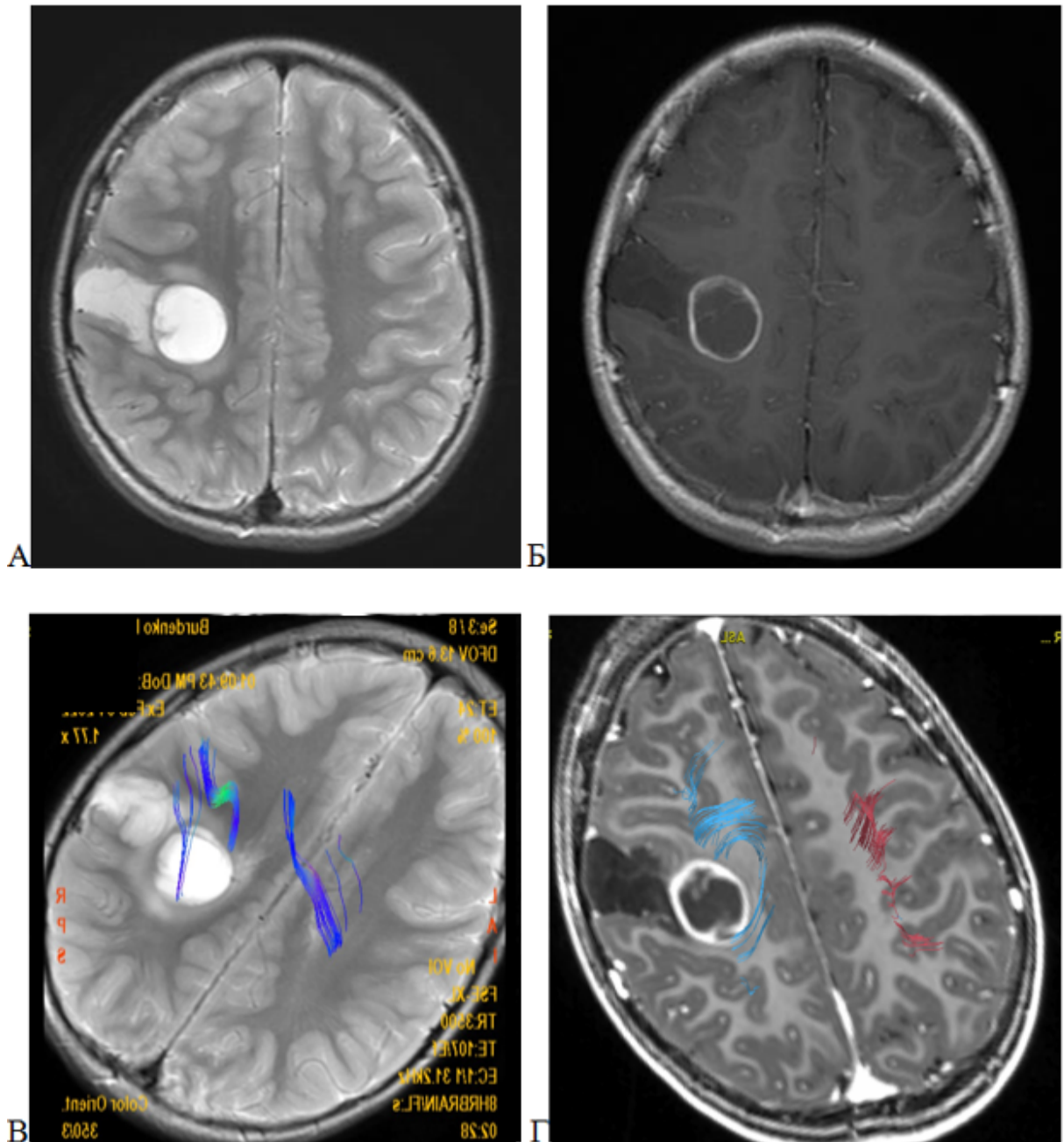


Рисунок 3.1 - Дизэмбриопластическая нейроэпителиальная опухоль, комплексная форма, WHO grade 1, области прецентральной извилины справа
 А – МРТ головного мозга, T2-последовательность в аксиальной проекции; Б – МРТ головного мозга, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции; В,Г – стандартная МР-трактография, T2-последовательность (В) и T1-последовательность с контрастным усилением (Г) в аксиальной проекции, 3D реконструкция. Волокна КСТ со стороны опухоли обозначены синим цветом, оттеснены по контуру опухоли

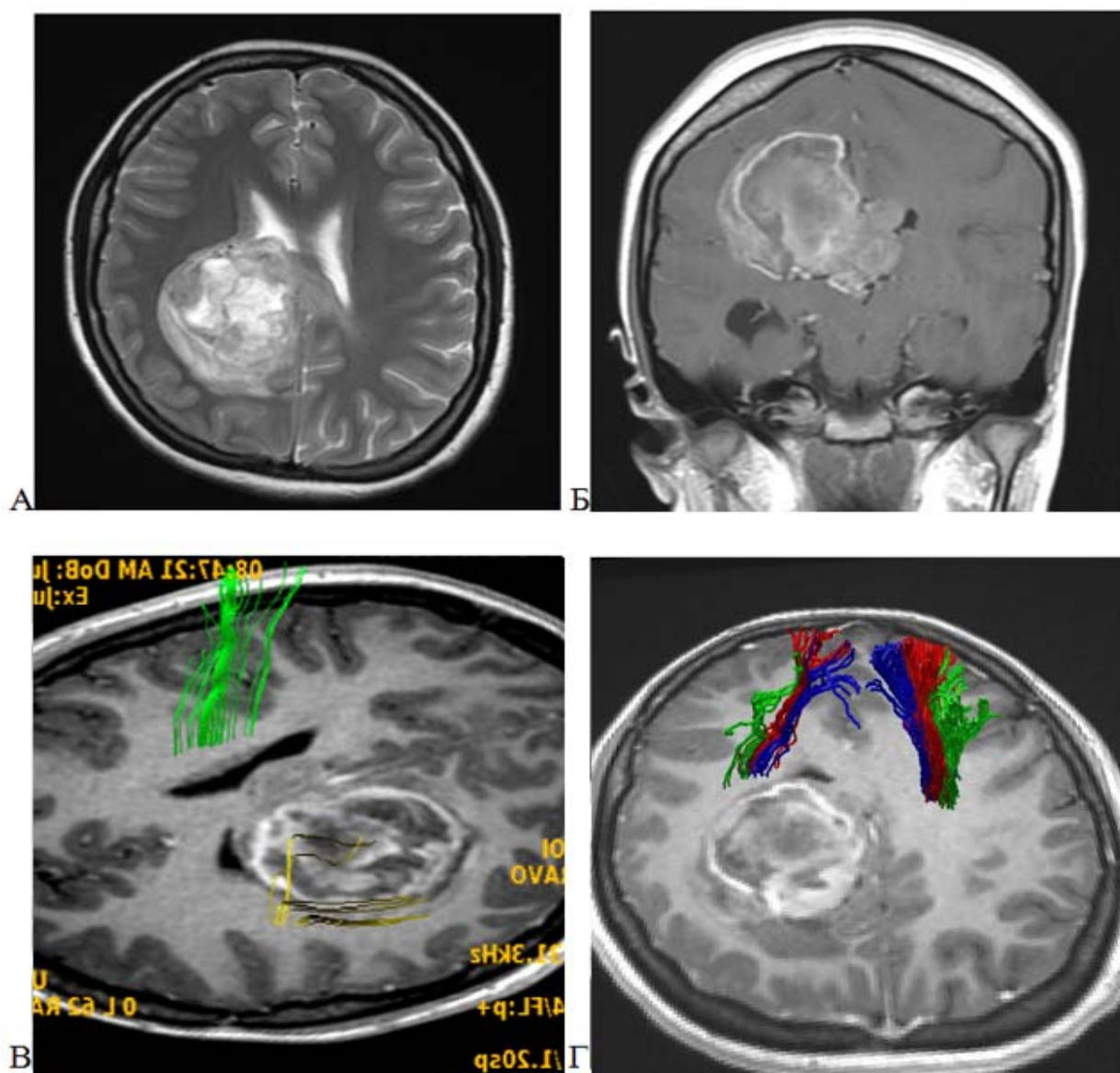


Рисунок 3.2 - Диффузная полушарная глиома, WHO grade 4, медиальной поверхности и глубинных отделов правой теменной доли с ростом через валик мозолистого тела на противоположную сторону

А – МРТ головного мозга, T2-последовательность в аксиальной проекции; Б – МРТ головного мозга, T1-последовательность с контрастным усилением в коронарной проекции; В – стандартная МР-трактография, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции, 3D реконструкция (КСТ желтым и зеленым цветом); Г – CSD-HARDI МР-трактография в аксиальной проекции, 3D реконструкция. Волокна КСТ: синий цвет – мышцы ноги, красный – мышцы руки, зеленый – мышцы лица, располагаются по передней границе опухоли

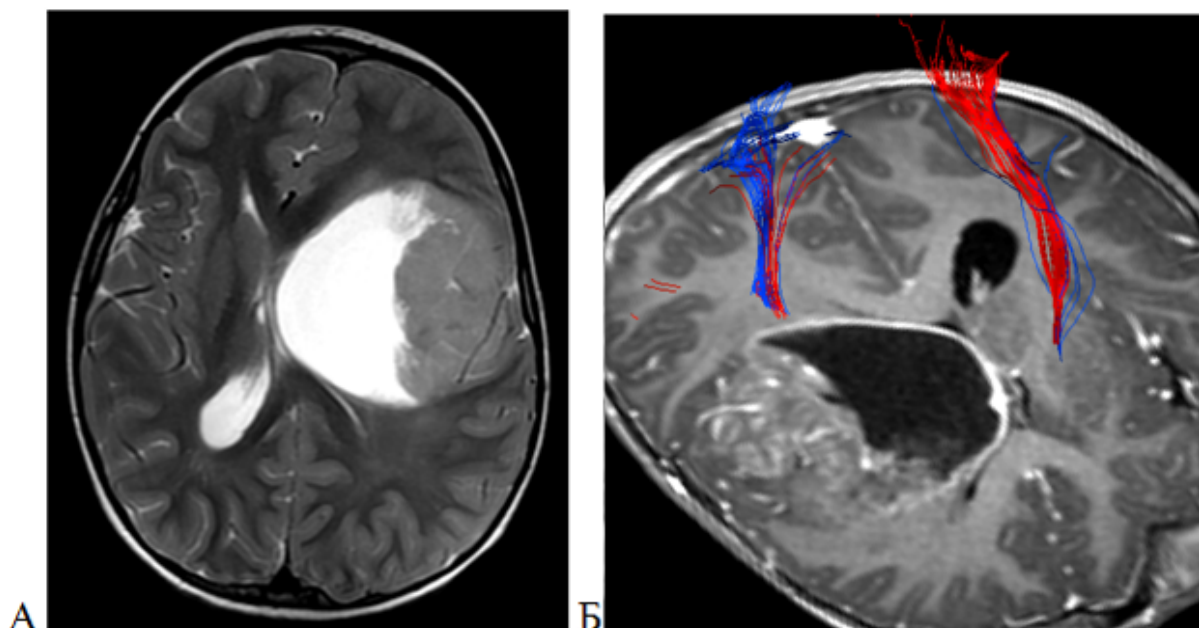


Рисунок 3.3 - Супратенториальная эпендимома, WHO grade 3, NOS, премоторной области левой лобной доли

А – МРТ головного мозга, T2-последовательность в аксиальной проекции; Б – стандартная МР-трактография, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции, 3D реконструкция. КСТ (выделен красно-синим цветом) смещен кзади от опухоли

2) Гигантские опухоли больших полушарий.

У 12 (31,5%) детей выявлены гигантские опухоли больших полушарий (ГО), выходящие за пределы 1 доли полушария головного мозга.

МР-трактография выполнена 6 из 12 пациентов, при этом смещение пирамидного тракта по контуру опухоли наблюдалось у 5 из них:

- при расположении опухоли латерально относительно средней линии, КСТ по медиальному контуру опухоли – 4 пациента (Рисунок 3.4);

- при расположении опухоли ближе к средней линии, пирамидный тракт был расположен по латеральному контуру – 1 пациент (Рисунок 3.5).

В одном случае местом исходного роста была затылочно-теменная область – пирамидный тракт был смещен кпереди.

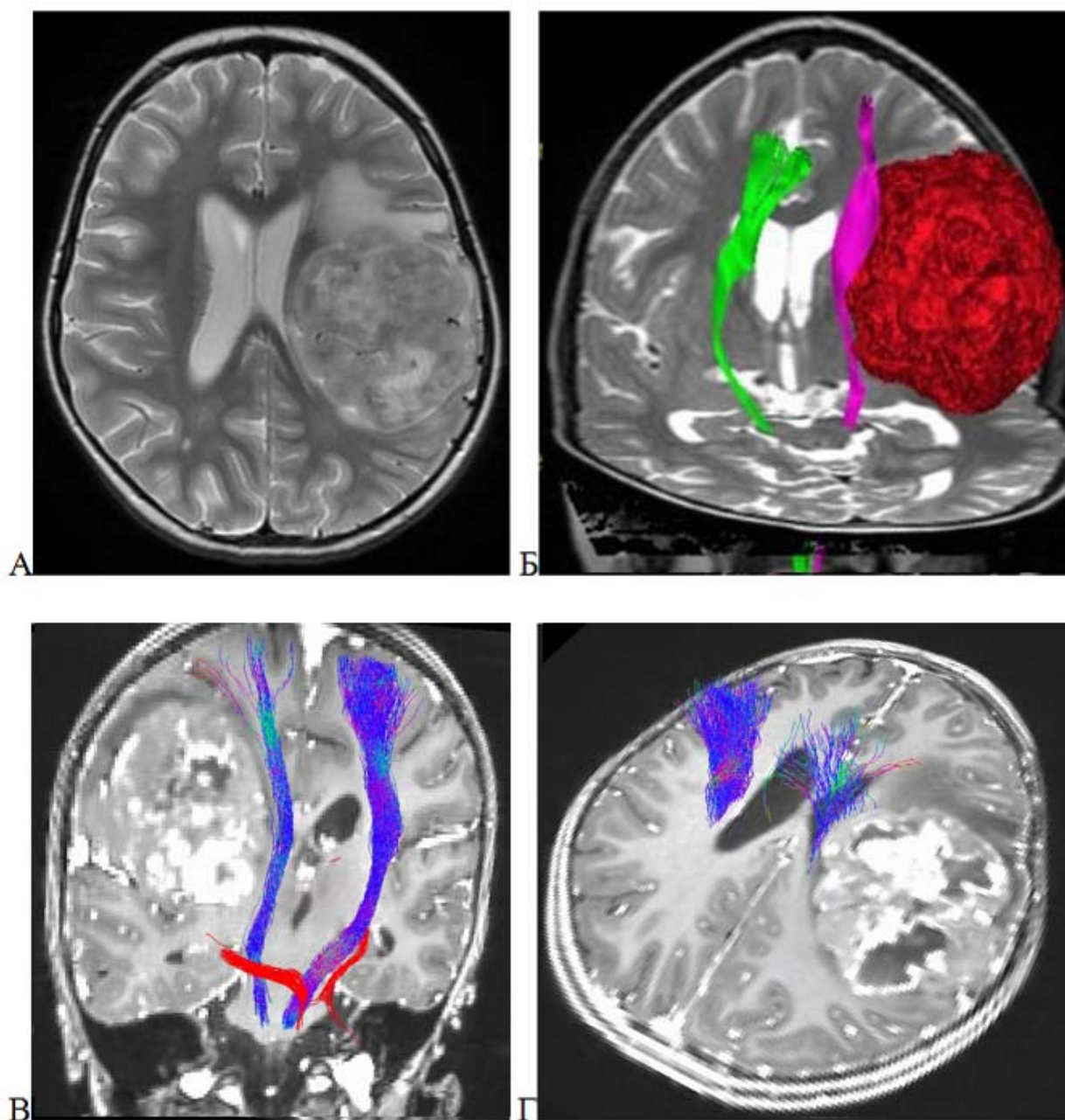


Рисунок 3.4 - Супратенториальная эпендимома, WHO grade 3, левой лобно-теменной области:

А – МРТ головного мозга, T2-последовательность в аксиальной проекции; Б – стандартная МР-трактография, T2-последовательность в аксиальной проекции с реконструкцией объема опухоли (КСТ обозначен фиолетовым и зеленым цветом); В,Г - CSD-HARDI МР-трактография в коронарной (в) и аксиальной проекции (г), 3D реконструкция. КСТ (синий цвет) огибает опухоль по медиальному контуру

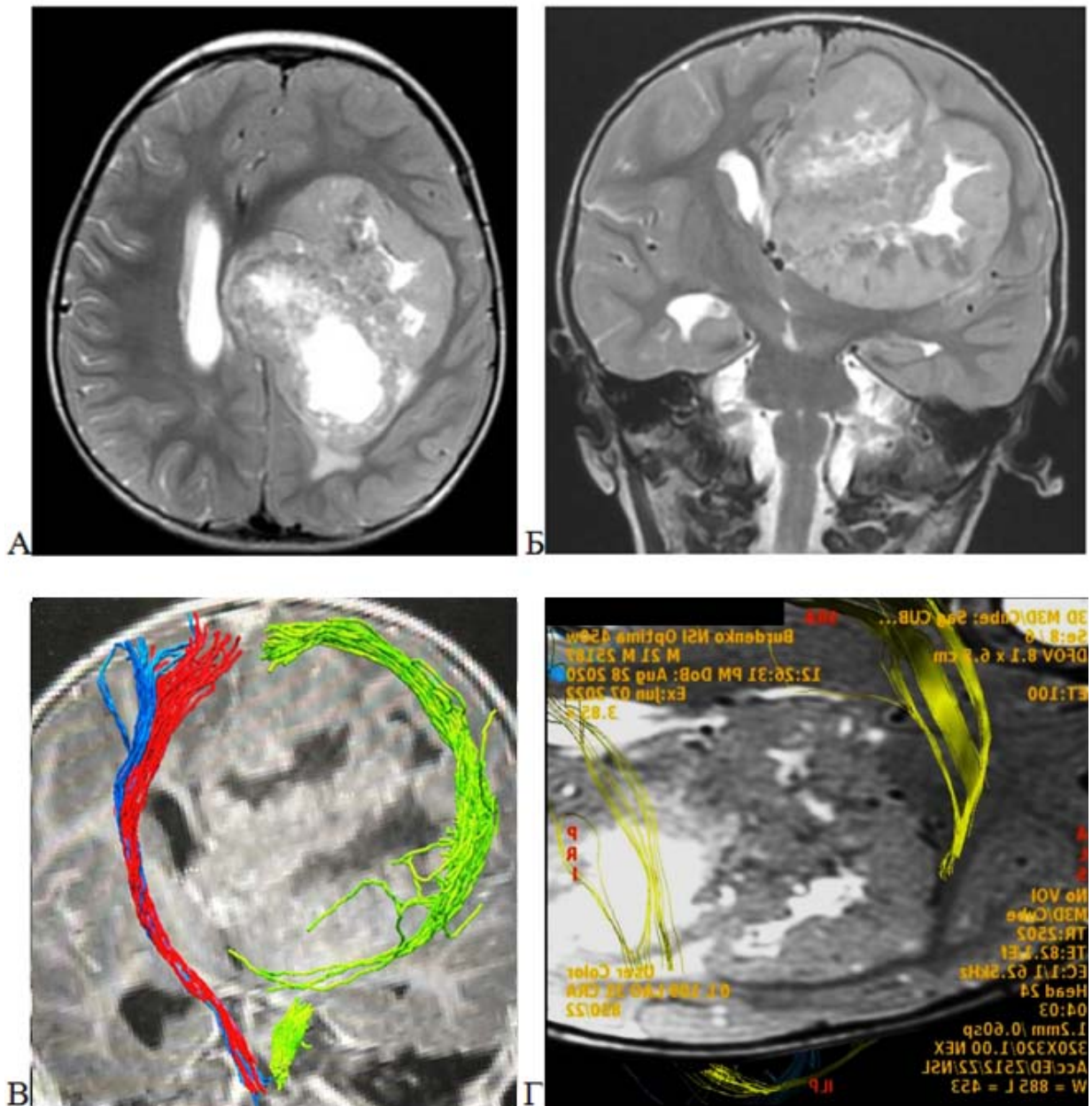


Рисунок 3.5 - Супратенториальная эпендимома, ZETA-fusion позитивная, WHO grade 3, левой лобно-теменно-подкорковой области

А, Б – МРТ головного мозга, T2-последовательность в аксиальной (А) и коронарной (Б) проекции.; В - CSD-HARDI трактография, T1-последовательность с контрастным усилением в коронарной проекции, 3D реконструкция, волокна КСТ зеленого цвета со стороны опухоли. Г - CSD-HARDI трактография, T2-последовательность в аксиальной проекции (КСТ желтый цвет), 3D реконструкция. Наблюдается деформация КСТ, прилегание его по латеральному контуру опухоли, опухоль растет за среднюю линию

Таким образом, опухоли области центральных извилин и гигантские опухоли больших полушарий, в большинстве случаев, смещают КСТ по контуру опухоли. Компактные опухоли центральных извилин смещают тракт по контуру опухоли,

«раздвигая» волокна пирамидного тракта, тогда как гигантские опухоли больших полушарий моторных зон мозга смещают КСТ по медиальному/латеральному контуру опухоли. По нашему мнению, нельзя выявить определенные тенденции смещения КСТ, если опухоль расположена в предполагаемой моторной зоне. Лишь при достижении крупных или гигантских размеров опухолей, если они расположены преимущественно в премоторной или теменно-затылочной области, можно прогнозировать, что КСТ смещается кзади в первом случае, и кпереди во втором случае. Смещение КСТ в зависимости от положения полушарной опухоли представлено на рисунке 3.6.

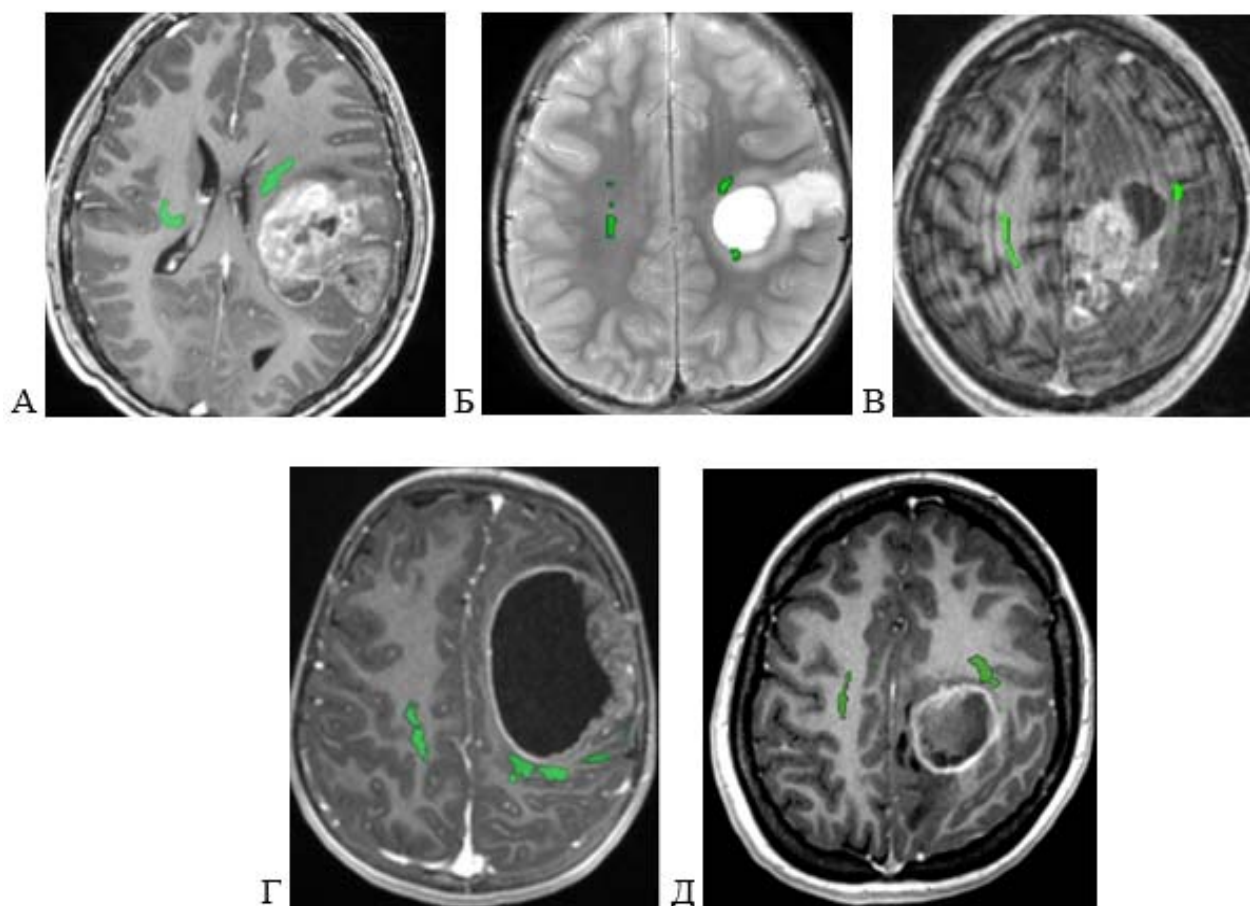


Рисунок 3.6 - Изображение положения пирамидного тракта в зависимости от места исходного роста опухоли в большом полушарии мозга на примере МР-трактографии, T1-последовательности с контрастным усилением (А,В,Г,Д) и T2-последовательности (Б) в аксиальной проекции, 2D реконструкции. КСТ обозначен зеленым цветом: А – смещение КСТ медиально; Б - смещение КСТ по контуру опухоли; В – смещение КСТ латерально; Г - смещение КСТ кзади; Д - смещение КСТ кпереди

3.2 МР-трактография при глубинных опухолях головного мозга

1) Опухоли таламуса диагностированы у 35 детей, которым проведено 42 операции (51,8% от всех глубинных опухолей). В зависимости от места исходного роста разделены на опухоли передних, задних и медиальных отделов таламуса.

А. Опухоли передних отделов таламуса

Проведено 8 операций (19%, 7 пациентов), в зависимости от размеров опухоли обтурировали одно или оба отверстия Монро (Рисунок 3.7), располагались вблизи передней спайки мозга и лентикулярного ядра (Рисунок 3.8). По данным МР-трактографии, проведенной 4 пациентам, КСТ во всех случаях расположен дорсолатерально относительно опухоли.

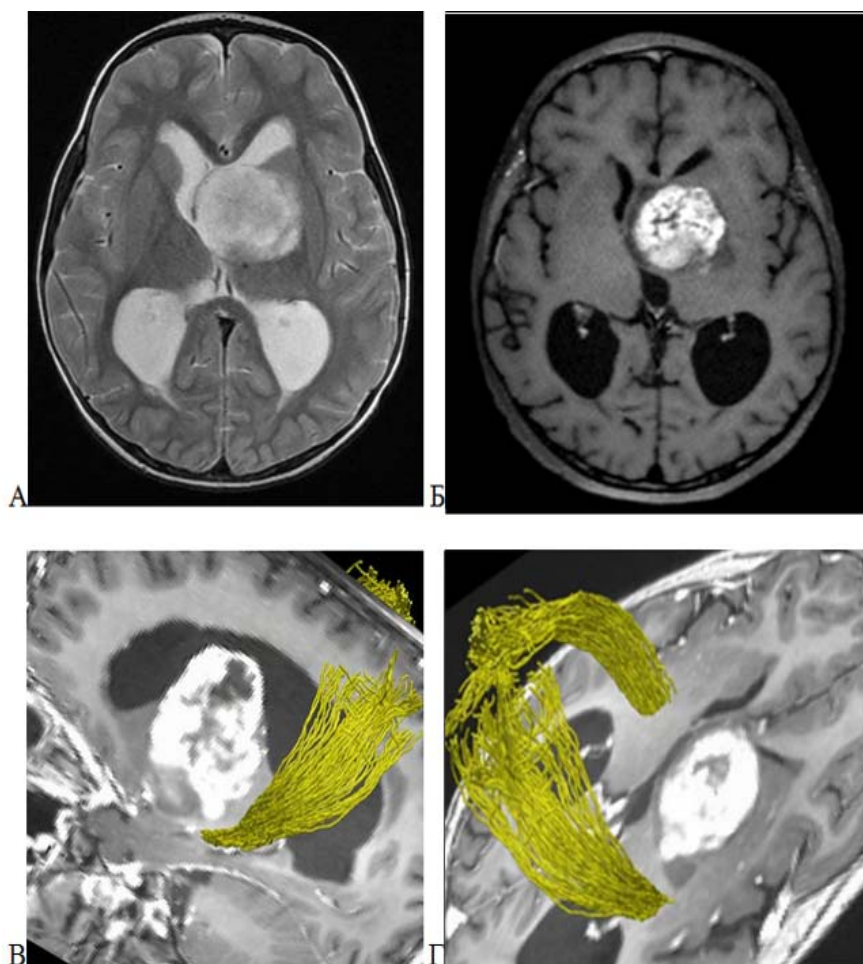


Рисунок 3.7 - Пилоидная астроцитома передних отделов таламуса слева (WHO grade 1). А: МРТ головного мозга, Т2-последовательность в аксиальной проекции; Б: МРТ головного мозга, Т1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции; В,Г – CSD-HARDI МР-трактография, Т1-последовательность с контрастным усилением в сагиттальной (В) и аксиальной (Г) проекции, 3D реконструкция. КСТ обозначен желтым цветом, смещен дорсолатерально

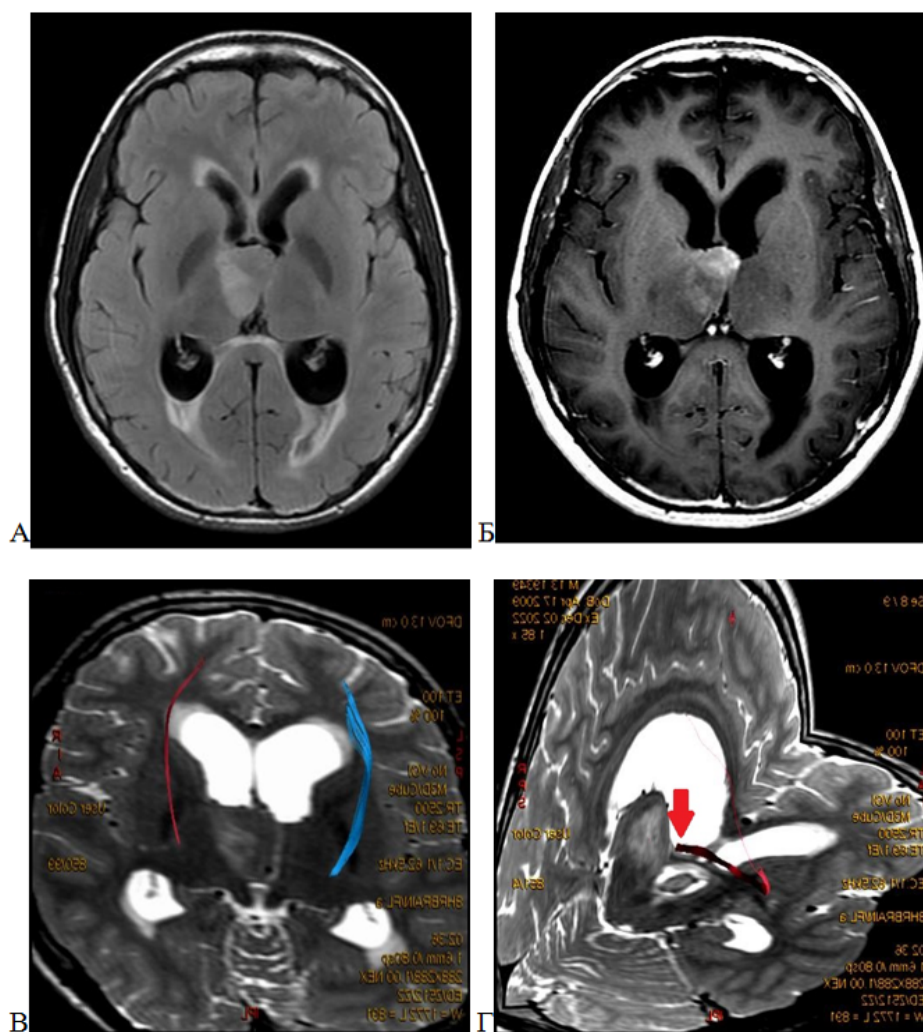


Рисунок 3.8 - Диффузная срединная глиома, НЗ K27-мутантная, WHO grade 4, передних отделов таламуса справа. А – МРТ головного мозга, T2-FLAIR-последовательность в аксиальной проекции; Б – МРТ головного мозга, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции; В,Г – МР-трактография, T2-последовательность в аксиальной проекции, 3D реконструкция КСТ (В, синего и красного цвета) и передней спайки мозга (Г, красного цвета, указано стрелкой). КСТ интактен, не смещен, расположен дорсолатерально

Б. Опухоли задних отделов таламуса

Наиболее многочисленная группа (n=24, 30 операций - 37% всех глубинных опухолей и 71,4% опухолей таламуса). Растут преимущественно в область ликворных пространств, теменно-височную область мозга, деформируя треугольник бокового желудочка и медиальные отделы височной доли. Внутренние мозговые вены располагаются медиально от опухоли, редко наблюдается рост через валик мозолистого тела и заднюю спайку мозга на противоположное полушарие. По результатам МР-трактографии 10 пациентов у

всех КСТ расположен антелатерально относительно опухоли (Рисунок 3.9, 3.10).

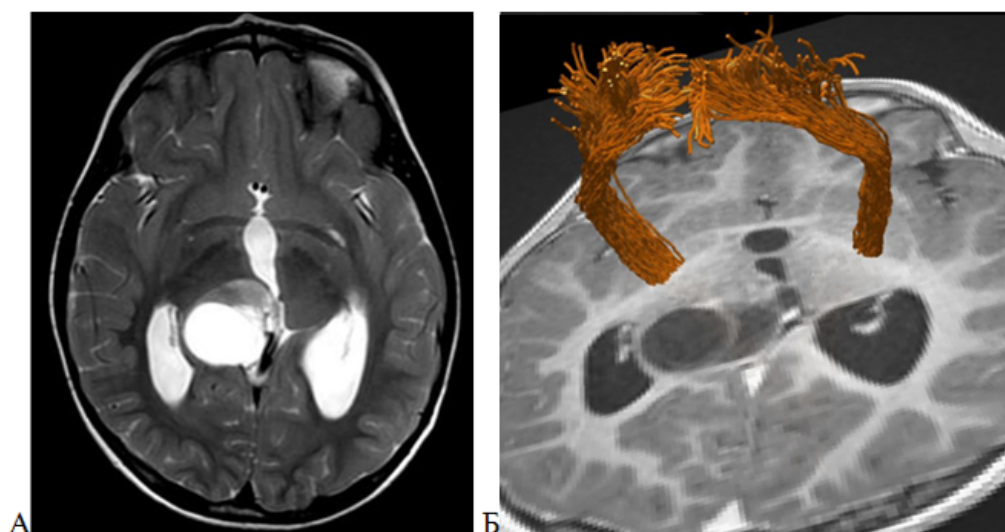


Рисунок 3.9 - Компактная пилоидная астроцитома, WHO grade 1, задних отделов таламуса справа. А – МРТ головного мозга, T2-последовательность в аксиальной проекции; Б – CSD-HARDI МР-трактография, T1-последовательность в аксиальной проекции, 3D реконструкция. КСТ (оранжевый цвет) по данным МР-трактографии расположен антелатерально, интактный

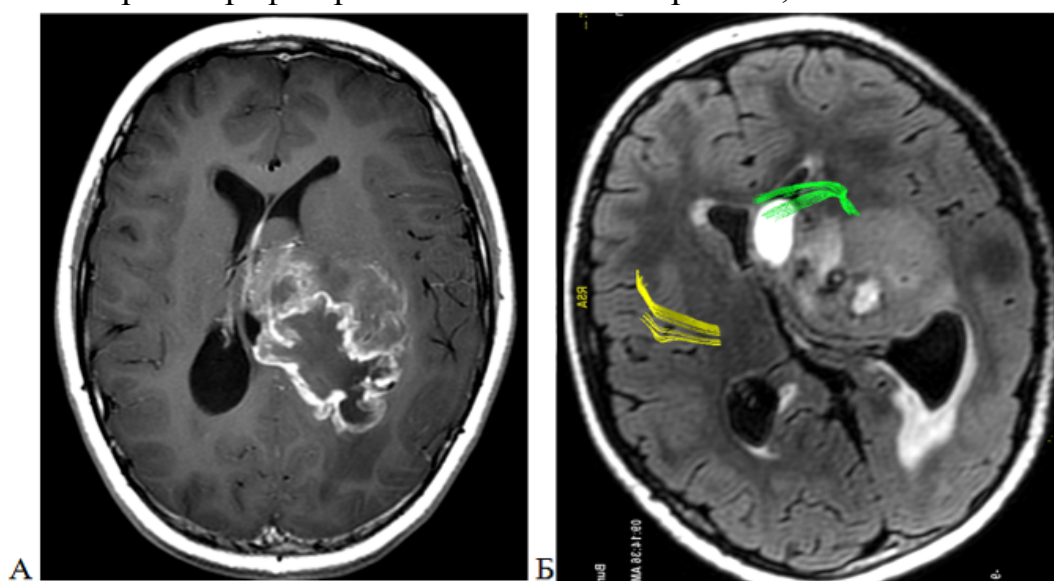


Рисунок 3.10 - Диффузная срединная глиома, Н3 К27-мутантная, WHO grade 4, задних отделов таламуса слева. А – МРТ головного мозга, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции. Опухоль крупных размеров, содержит некроз; Б – стандартная МР-трактография, T2 Flair -последовательность в аксиальной проекции, 3D реконструкция. Волокна КСТ выделены зеленым и желтым цветом, тракт деформирован и смещен в антелатеральном направлении

В. Опухоли медиальных отделов таламуса

Опухоли медиальных отделов зрительного бугра диагностированы у 4 пациентов. Рост направлен в просвет III желудочка: при локализации в передних

отделах желудочка, КСТ зачастую интактен или же смещен латерально; при росте в задние отделы - КСТ смещен антелатерально. По результатам МР-трактографии (n=3, 75% от группы), КСТ был расположен латерально/антелатерально во всех случаях (Рисунок 3.11,3.12).

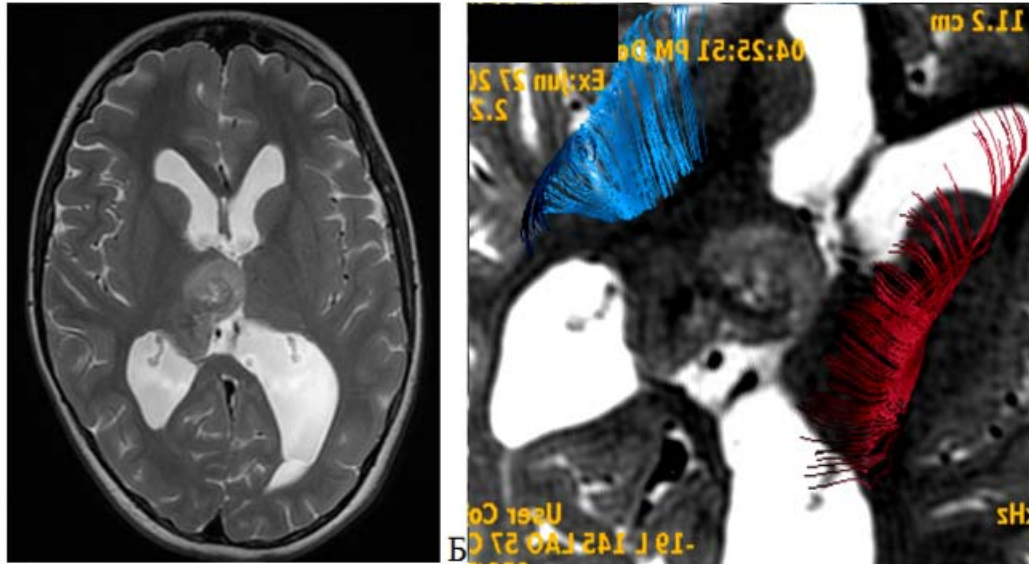


Рисунок 3.11 - Пилоидная астроцитома, WHO grade 1, медиальных отделов таламуса справа. А – МРТ головного мозга, T2-последовательность в аксиальной проекции; Б – стандартная МР-трактография, T2-последовательность в аксиальной проекции, 3D реконструкция. КСТ (синий и красный цвет) расположен антелатерально, интактный

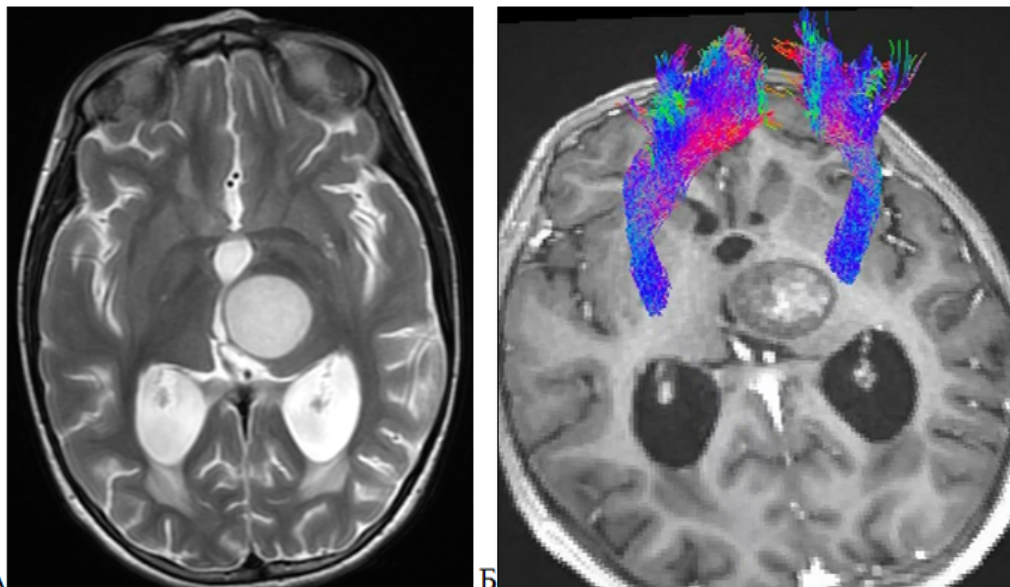


Рисунок 3.12 - Пилоидная астроцитома, WHO grade 1, медиальных отделов таламуса слева

А – МРТ головного мозга, T2-последовательность в аксиальной проекции; Б – CSD-HARDI МР-трактография, T1-последовательность в аксиальной проекции с контрастным усилением, 3D реконструкция. КСТ обозначен синим цветом, смещен в антелатеральном направлении

2) Опухоли таламопедункулярной области

Это опухоли, растущие из области перехода ножки головного мозга в таламус. Puget S. и соавторы в 2007 году впервые применили термин [102]. Растут в латеральном направлении в область сосудистой щели медиальных отделов височной доли. Помимо этого, часто рост опухоли происходит и в ростральном и в каудальном направлении – опухоль имеет супра- и субтенториальную часть.

Общее количество пациентов группы составило 10 пациентов (11 операций, 13,5% от глубоких опухолей). МР-трактография выполнена 3 пациентам, во всех случаях КСТ смещается антелатерально. Остальные отделы среднего мозга (покрышка и крыша) чаще не задействованы в опухолевом процессе, смещены кзади, таламус отеснен кверху (Рисунок 3.13, 3.14).

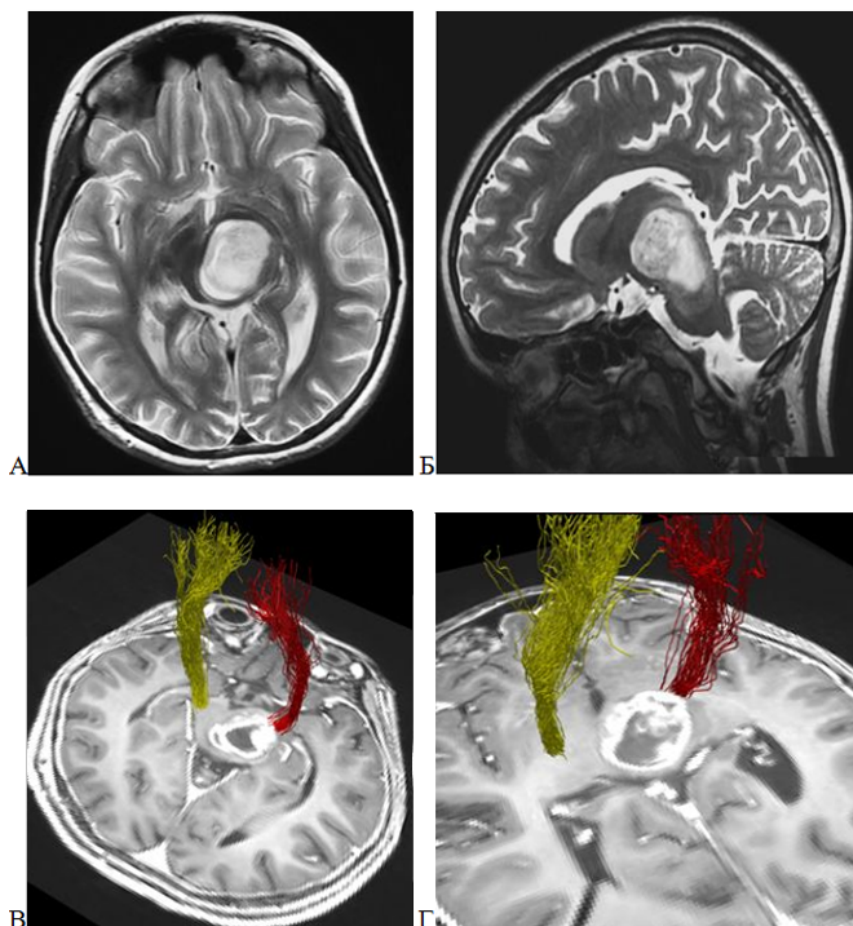


Рисунок 3.13 - Пилоидная астроцитома, WHO grade 1, таламопедункулярной области слева. А,Б – МРТ головного мозга, T2-последовательность в аксиальной (А) и сагиттальной (Б) проекции; В,Г – CSD HARDI МР-трактография, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции, 3D реконструкция. КСТ (красный и желтый цвет) смещен в антелатеральном направлении

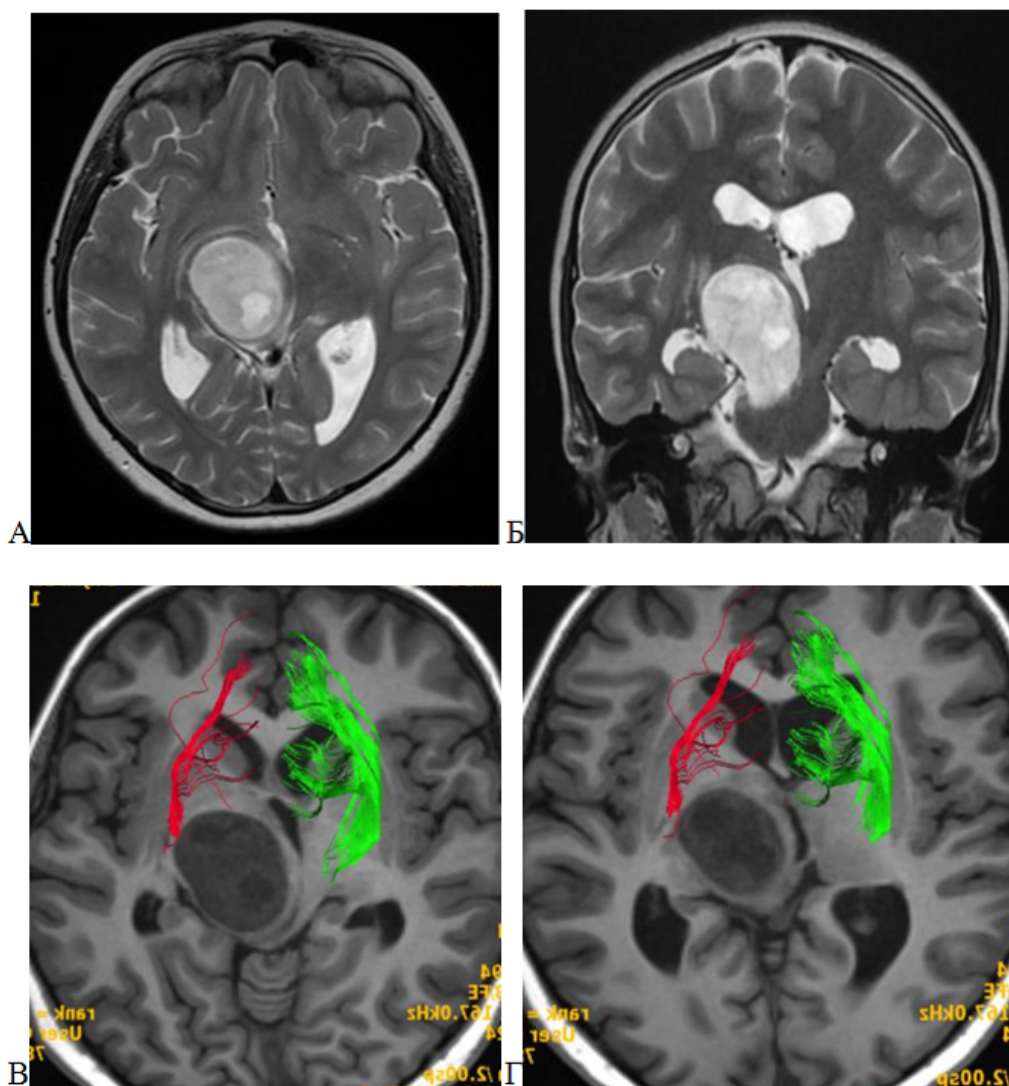


Рисунок 3.14 - Пилоидная астроцитома, WHO grade 1, таламопедункулярной области справа. А, Б – МРТ головного мозга, T2-последовательность в аксиальной (А) и коронарной (Б) проекции. Опухоль имеет супра- и субтенториальную часть; В, Г – стандартная МР-трактография, T1-последовательность в аксиальной проекции, 3D реконструкция. КСТ смещен антелатерально, обозначен красным и зеленым цветом

3) Опухоли зрительного тракта

Опухоли переднего и заднего отрезка зрительного тракта диагностированы у 14 детей (19 операций, 23,6%). Аналогично опухолям таламопедункулярной области растут в латеральном направлении, могут деформировать и проникать в просвет сосудистой щели височного рога, но ножка мозга и таламус смещены медиально (Рисунок 3.15, 3.16). По данным предоперационной МР-трактографии, выполненной 4 пациентам, КСТ смещен медиально: при глиомах переднего отрезка зрительного тракта КСТ смещается кзади и медиально, заднего отрезка – кпереди

и медиально. В 1 случае (5,2%), по результатам стандартной МР-трактографии, невозможно было выстроить КСТ, в связи с чем требовалось проведение CSD-HARDI трактографии (случай будет освещен ниже).

В этой группе, при помощи CSD-HARDI, в 3 случаях дополнительно выстраивались зрительные тракты (Пример, рисунок 3.16).

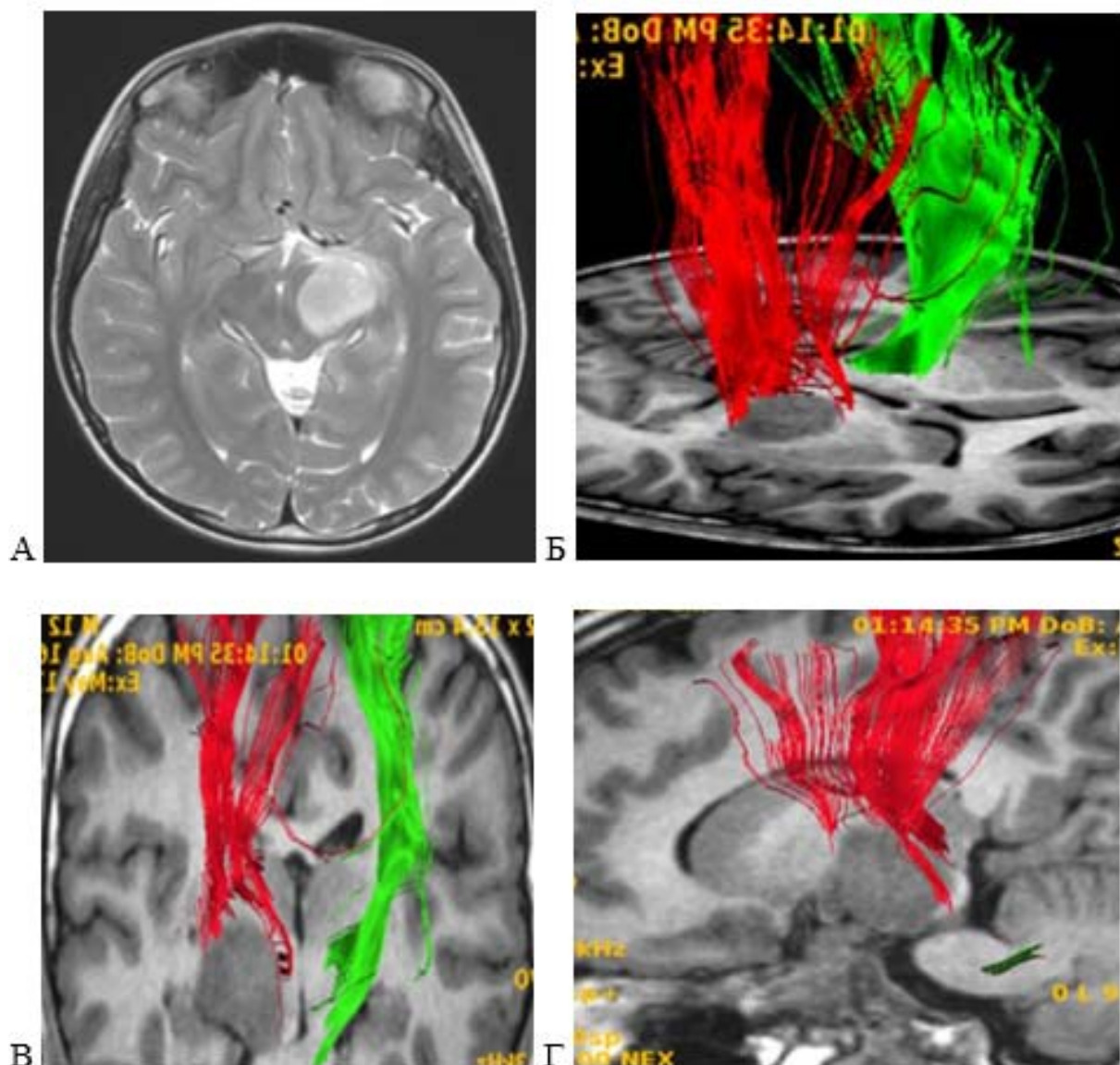


Рисунок 3.15 - Пилоидная астроцитома, WHO grade 1, передних отделов зрительного тракта слева. А – МРТ головного мозга, T2-последовательность в аксиальной проекции; Б,В,Г – МР-трактография, T1-последовательность в аксиальной(б), коронарной(в) и сагиттальной (г) проекции, 3D реконструкция. КСТ (красный и зеленый цвет) смещен медиально и кзади относительно опухоли

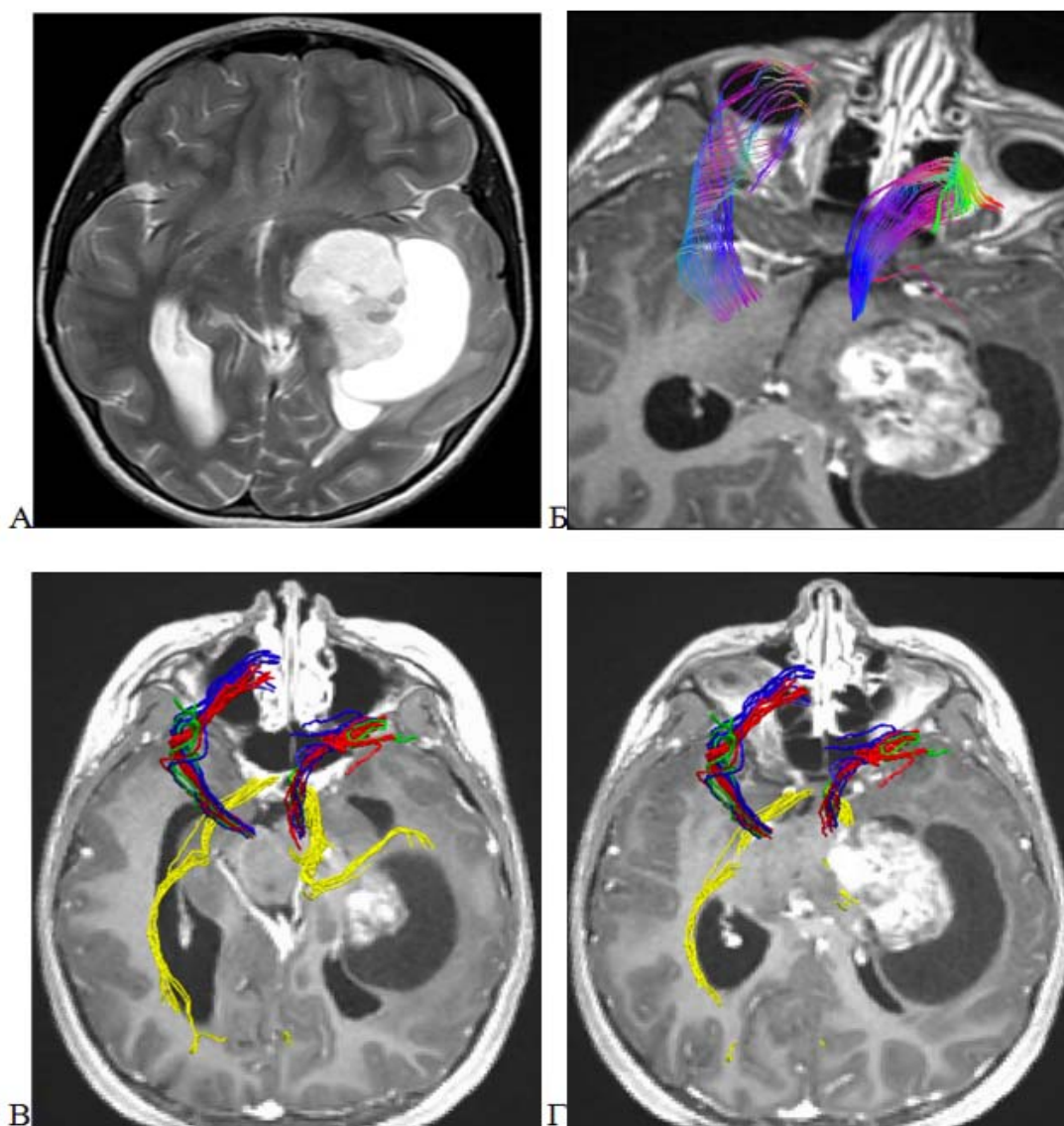


Рисунок 3.16 - Пилоидная астроцитома, WHO grade 1, задних отделов зрительного тракта слева. А – МРТ головного мозга, T2-последовательность в аксиальной проекции; Б – стандартная МР-трактография, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции. КСТ (синий цвет) расположен спереди и медиально; В,Г – CSD-HARDI МР-трактография, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции, 3D реконструкция. Волокна КСТ – зеленый, синий и красный цвет, зрительный тракт желтым цветом. Реконструирован сохраненный левый зрительный тракт, к которому прилежит медиальный край опухоли (зона исходного роста)

4) Распространенные опухоли подкорковых узлов

В эту группу вошли пациенты с крупными опухолями глубинной локализации. Часто, при больших размерах опухоли, сложно определить место исходного роста и прохождения кортикоспинального тракта. В группу вошло 7

пациентов, которым проведено 9 операций (11,1%).

У 2 пациентов была выполнена МР-трактография, в 1 случае КСТ проходил в пределах внутренней капсулы, которая была включена в строму опухоли (Рисунок 3.17), в 1 случае кзади от опухоли.

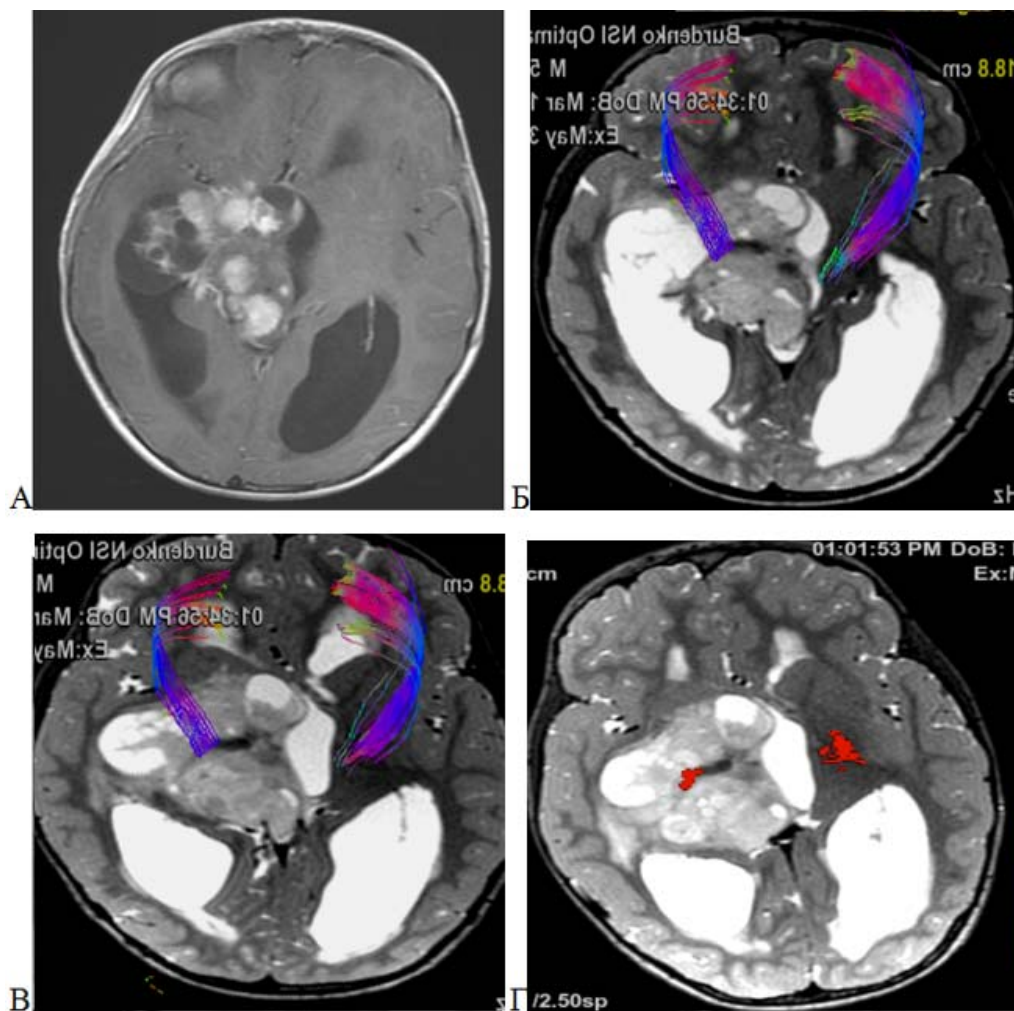


Рисунок 3.17 - Распространенная пилоидная астроцитома, WHO grade 1, подкорковых узлов. А – МРТ головного мозга, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции; Б, В – МР-трактография, T2-последовательность в аксиальной проекции, 3D реконструкция. КСТ (синий и красный цвет) расположен в пределах внутренней капсулы, которая включена в строму опухоли; Г - МР-трактография, T2-последовательность в аксиальной проекции, 2D реконструкция, КСТ обозначен красным цветом. Опухоль простирается от ножки мозга через все подкорковые структуры, распространяясь в медиальные отделы височной доли

Можно заключить, что соотношение глубинных опухолей с КСТ типично и зависит от топографо-анатомической группы: глиомы передних отделов таламуса смещают КСТ дорсолатерально; медиальных и задних отделов таламуса, таламопедункулярные опухоли – антелатерально; глиомы зрительного тракта смещают КСТ медиально. Данный факт подтверждается результатами МР-трактографии, в топографо-анатомических группах сторона расположения/смещения КСТ относительно опухоли была одинаковой во всех случаях. Исключение составляют распространенные опухоли подкорковых узлов.

На рисунке 3.18 и 3.19 представлено смещение КСТ в зависимости от топографии глубинной опухоли.

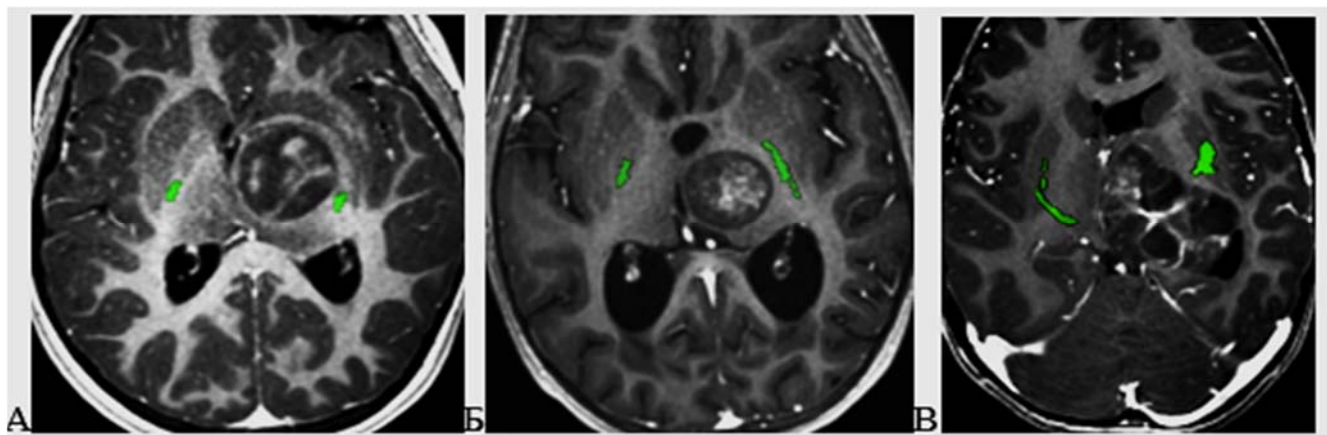


Рисунок 3.18 - Положение КСТ в зависимости от места исходного роста опухоли в таламусе на примере МР-трактографии, Т1-последовательности с контрастным усилением в аксиальной проекции, 2D реконструкции. КСТ обозначен зеленым цветом. А – опухоль передних отделов таламуса слева, КСТ дорсолатерально; Б - опухоль медиальных отделов таламуса слева, КСТ антелатерально; В – опухоль задних отделов таламуса слева, КСТ антелатерально

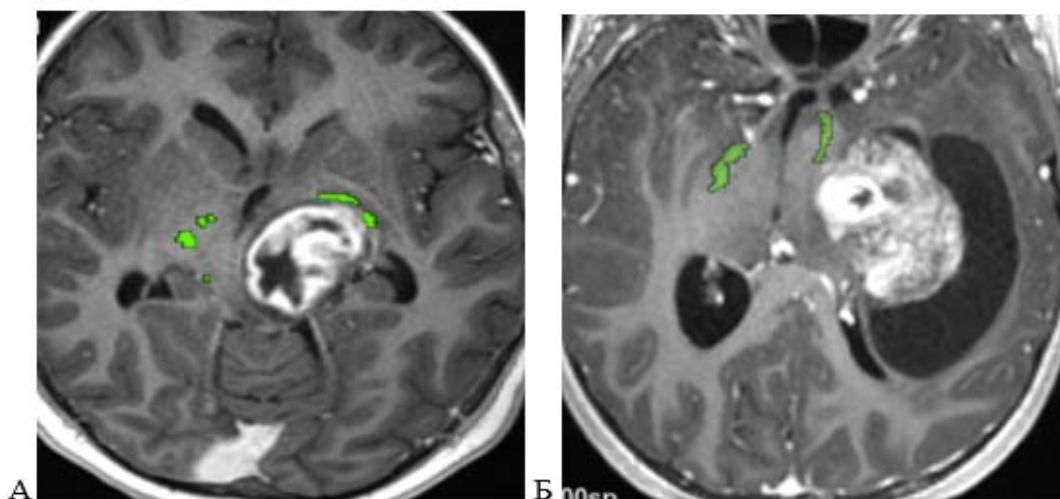


Рисунок 3.19 - Положение пирамидного тракта в зависимости от места исходного роста глубинной опухоли на примере МР-трактографии, Т1-последовательности с контрастным усилением в аксиальной проекции, 2D реконструкции. КСТ обозначен зеленым цветом. А – опухоль таламопедункулярной области слева, КСТ антелатерально; Б - опухоль зрительного тракта слева, КСТ медиально и кпереди

3.3 Факторы, влияющие на результаты МР-трактографии у детей

МР-трактография до и после операции проведена 45 детям. В 1 случае, при стандартной МР-трактографии, КСТ не построивался в виду гигантских размеров опухоли – ребенок раннего возраста, с гигантской опухолью зрительного тракта. CSD-HARDI МР-трактография позволила выстроить КСТ, с помощью специальной математической обработки снимков. Одним из отличий стандартной МР-трактографии и CSD-HARDI МР-трактографии является возможность реконструкции перекрещенных волокон. При сложности построения КСТ стандартной МР-трактографией, в случаях крупных опухолей с резким масс-эффектом, CSD-HARDI могла построить КСТ.

Во взрослой практике, в том числе в НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко, предложено оценивать соотношение КСТ и опухоли следующим образом [4,10,27]: интактный, смещенный, инфильтрированный, инфильтрированный и смещенный, расщепленный и разорванный.

В нашем исследовании в большинстве случаев наблюдалось смещение КСТ, в одном случае тракт был включен в строму опухоли, и в редких случаях КСТ был

интактен – все случаи компактные глубинные опухоли. Инфильтрация, по данным трактографии, наблюдалась только зрительного тракта при опухолях этой анатомической структуры. Зона инфильтрации являлась зоной исходного роста опухоли.

В большинстве случаев полушарных опухолей, по данным МР-трактографии, КСТ располагался по контуру опухоли. При опухолях таламуса, реже наблюдается расположение КСТ по контуру опухоли ввиду расположения смежных проводящих путей внутренней капсулы, тогда как при опухолях таламопедункулярной области, зрительного тракта и РОПУ пирамидный тракт всегда пролегает по контуру опухоли.

Таким образом, трудностей, которые влияли бы на реконструкцию КСТ выявлено не было. Сопоставление результатов МР-трактографии с данными прямой стимуляции будет представлено в соответствующих разделах диссертации.

3.4 Сопоставление уровня дооперационной мышечной силы с целостностью пирамидного тракта по результатам МР-трактографии

В группе пациентов с проведенной МР-трактографией проводилось сопоставление факта наличия двигательного дефицита с фактом истончения пирамидного тракта в режиме DTI (Рисунок 3.20).

Оценка целостности КСТ со стороны опухоли проводилась путем сопоставления его с противоположным сохранным КСТ у конкретного ребенка.

Градация целостности КСТ по данным МР-трактографии: 1) КСТ без истончения; 2) КСТ истончен.

Градация по мышечной силе: 1) двигательного дефицита нет; 2) двигательный дефицит есть (уровень мышечной силы 4 балла и ниже).

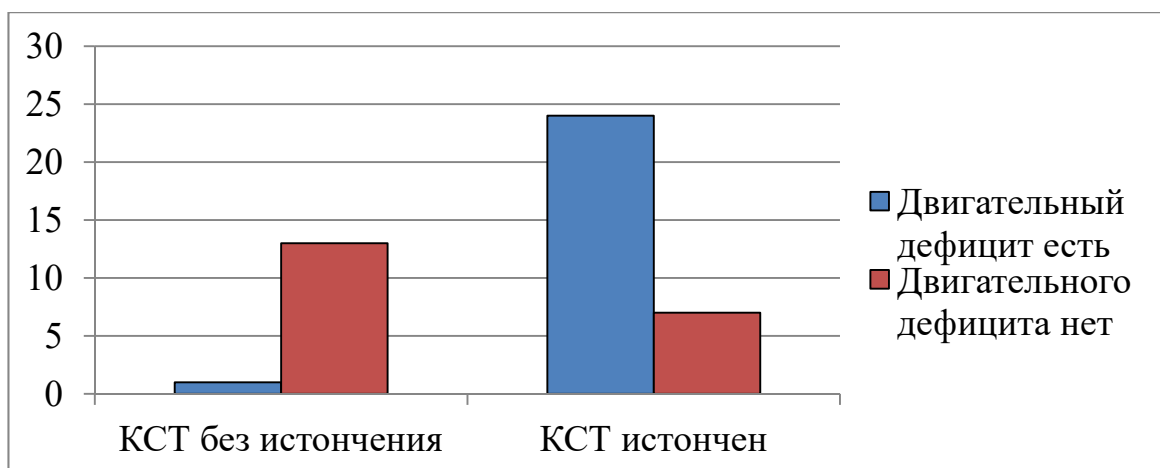


Рисунок 3.20 - Сопоставление толщины КСТ по результатам МР-трактографии и двигательного статуса ребенка до операции (в абсолютных значениях)

При наличии гемипареза, у 97% (37 из 38 детей) наблюдалось уменьшение волокон пирамидного тракта со стороны опухоли в сравнении с противоположным КСТ по результатам МР-трактографии.

В 8 (17,7%) случаях наблюдалось несоответствие клинических и нейровизуализационных данных. В 7 случаях по данным МР-трактографии КСТ был истончен, при этом мышечная сила была сохранной (5 баллов) – 4 глубинных (57%) и 3 полушарных опухоли (43%). В 1 случае КСТ не был истончен, но у ребенка наблюдался легкий гемипарез (больших размеров опухоль центральных извилин).

На реконструкцию КСТ при МР-трактографии влияет размер и топографическое положение опухоли, перифокальный отек, который может поглощать «толщину» реконструированного КСТ. При этом крупные размеры опухоли и перифокальный отек могут стать причиной снижения мышечной силы в виду объемного воздействия на пирамидный тракт. Важно отметить, что несоответствие функционального статуса с результатами МР-трактографии наблюдалось и по результатам стандартной и при CSD-HARDI трактографии.

При статистическом анализе выявлено, что наличие двигательных нарушений у ребенка сопровождается истончением реконструированного КСТ по результатам МР-трактографии (точный критерий Фишера, $p < 0,01$). Важно отметить, что чувствительность метода составила 95,2%, тогда как специфичность

(70,8%) была невысокой.

Ниже представлено клиническое наблюдение, когда лишь CSD-HARDI МР-трактография была чувствительным и информативным методом определения локализации КСТ.

Клиническое наблюдение 1

Ребенок 2 лет. В течение 3 месяцев у ребенка изменилась походка, стал подволакивать ногу и пользоваться преимущественно одной рукой. При дообследовании была выявлена правосторонняя гомонимная гемианопсия, гемипарез слева (3-4 балла).

При МРТ головного мозга с контрастным усилением выявлена крупная опухоль зрительного тракта справа, распространяющаяся на область гипоталамуса, окклюзионная гидроцефалия.

При проведении стандартной МР-трактографии пирамидный тракт не был построен в виду больших размеров опухоли. При проведении CSD-HARDI трактографии КСТ был построен, несколько истончен и смещен медиально и кзади (Рисунок 3.21).

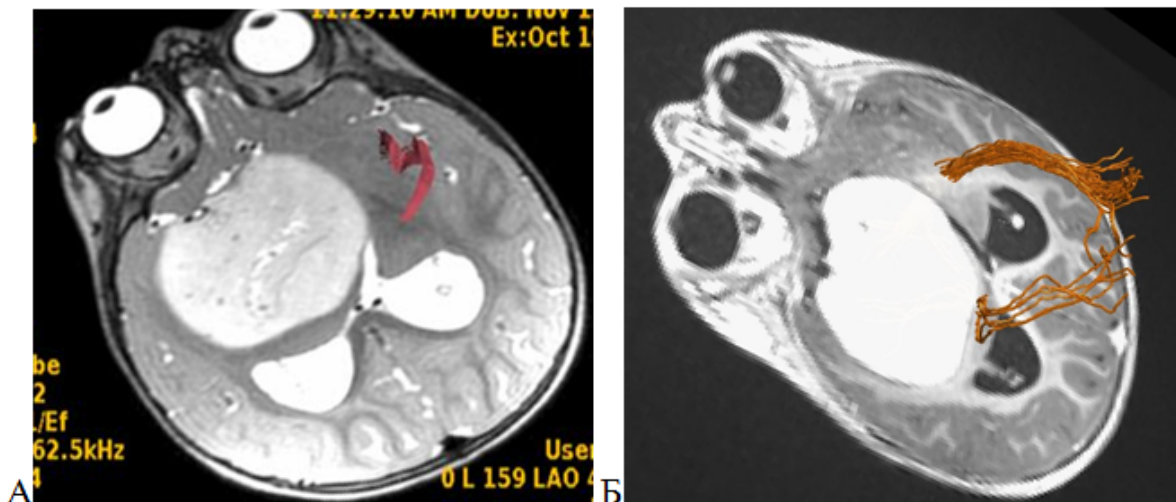


Рисунок 3.21 - Крупная пилоидная астроцитома, WHO grade 1, передних отделов зрительного тракта справа. А – стандартная МР-трактография, T2-последовательность в аксиальной проекции. КСТ не построен со стороны опухоли, с другой стороны целостность КСТ не нарушена (красный цвет); Б – CSD-HARDI МР-трактография, T1 последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции. Пирамидный тракт расположен медиально и кзади, истончен (оранжевый цвет)

С учетом топографии опухоли, смещения пирамидного тракта кзади и медиально по данным МР-трактографии - оптимальным хирургическим доступом являлся височный трансвентрикулярный транскориоидальный доступ. Во время операции использовался расширенный нейрофизиологический мониторинг двигательных функций - ТК МВП и прямая стимуляция пирамидного тракта. Изначально ТК МВП получены не были. С этапа кортикотомии начата непрерывная монополярная стимуляция (зонд фиксирован к аспиратору) на токе 15 мА, ТК МВП не регистрировались в ходе всей операции. При прямой биполярной стимуляции (сила тока 15 мА) МВП также зарегистрировать не удалось. ТК МВП не регистрировались в ходе резекции и к концу операции. Учитывая отсутствие плоскости диссекции опухоли вблизи ствола мозга и дна III желудочка, отсутствие МВП от прямой стимуляции, попытка тотального удаления не осуществлялась.

В раннем послеоперационном периоде отмечалось увеличение активных движений в левых конечностях, ребенок вертикализирован на 3 сутки. При контрольном МРТ – картина субтотального удаления опухоли (Рисунок 3.22).

Гистологическое заключение - Пилоидная астроцитома, WHO grade 1.

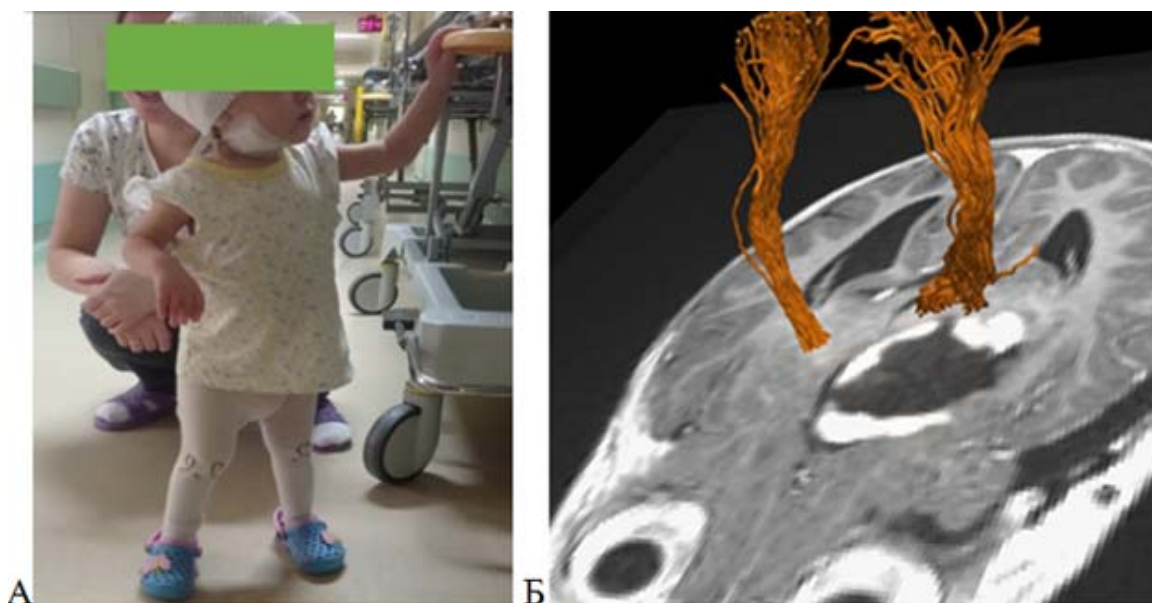


Рисунок 3.22 - А – Фото ребенка на 5 сутки после операции, положительная динамика в виде регресса гемипареза справа; б – послеоперационная CSD-HARDI МР-трактография – пирамидный тракт деформирован, не поврежден, отмечается увеличение толщины КСТ (оранжевый цвет)

Таким образом, данное клиническое наблюдение является единственным случаем, когда стандартная МР-трактография не визуализировала пирамидный тракт до операции, и он не был лоцирован прямой стимуляцией, ТК МВП не получены в течение всей операции, при минимальных двигательных нарушениях у ребенка до операции. В данном наблюдении определение локализации КСТ было возможно лишь при проведении CSD-HARDI МР-трактографии, что способствовало определению верного угла хирургической атаки и упростило ориентировку при удалении гигантской опухоли зрительного тракта.

3.5 Резюме

При полушарных опухолях, прилегающих к пирамидному тракту, по результатам проведенной МР-трактографии, не выявлено факторов, на основании которых можно было спрогнозировать расположение пирамидного тракта относительно опухоли. Часто, опухоли области центральных извилин и гигантские опухоли больших полушарий смещают пирамидный тракт по контуру опухоли (57,8%), реже в переднем (36,8%) и заднем (5,2%) направлении.

Смещение КСТ при глубинных опухолях зависит от топографо-анатомической группы: глиомы передних отделов таламуса – дорсолатерально; медиальных и задних отделов таламуса, таламопедункулярные опухоли – антелатерально; глиомы зрительного тракта смещают КСТ медиально. Исключение составляют распространенные опухоли подкорковых узлов;

Стандартная МР-трактография – информативный метод, позволяющий определить соотношение опухоли с трактом до операции независимо от возраста пациента, злокачественности и объема опухоли. Наличие двигательных нарушений сопровождается истончением реконструированного КСТ по результатам МР-трактографии у детей ($p < 0,01$). Чувствительность метода составила 95,2%, тогда как специфичность была невысокой (70,8%). CSD-HARDI режим дополняет метод стандартной МР-трактографии.

ГЛАВА 4 ПЛАНИРОВАНИЕ УДАЛЕНИЯ ОПУХОЛЕЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ПИРАМИДНОМУ ТРАКТУ У ДЕТЕЙ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЗУЛЬТАТОВ МР-ТРАКТОГРАФИИ

Основным критерием выбора оперативного доступа являлось расположение КСТ по отношению к опухоли, дополнительными - расположение магистральных сосудов, близость к критическим структурам и их инфильтрация (гипоталамус, хиазма, средний мозг, функциональные зоны коры и проводящие пути мозга).

4.1 Планирование удаления полушарных опухолей моторных зон головного мозга

В группе опухолей больших полушарий основным является транскортикальный доступ (n=38), имеет свои особенности в зависимости от топографоанатомического варианта.

При планировании операций следует учитывать (Рисунок 4.1): 1) глубину распространения опухоли; 2) расположение опухоли относительно средней линии; 3) расположение КСТ относительно опухоли.

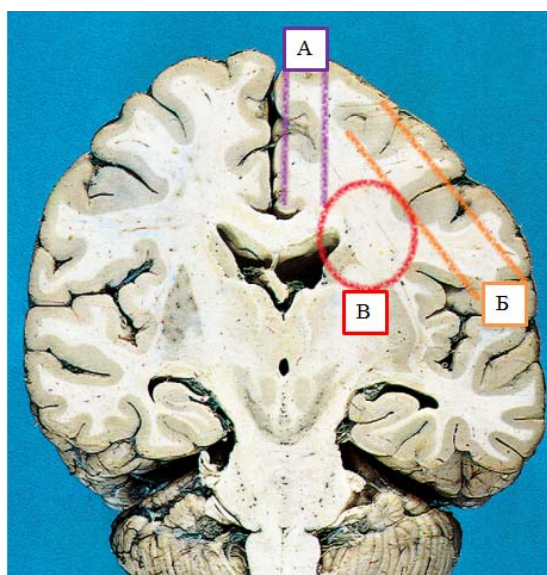


Рисунок 4.1 - Планирование хирургического доступа к полушарным опухолям в зависимости от расположения. А (фиолетовый цвет) - опухоли медиальных отделов больших полушарий; Б (оранжевый цвет) - опухоли конвекситальных отделов больших полушарий; В (красный цвет) - опухоли лучистого венца.
Основа схемы - фото Elliott L. [79]

Корковые опухоли целесообразно делить на медиальные и конвекситальные, в этих случаях речь всегда идет о компактных опухолях области центральных извилин. Все гигантские опухоли моторных зон имеют распространение на прилежащие отделы лучистого венца.

Независимо от размеров полушарной опухоли, предпочтительно использовать интраоперационную УЗ-навигацию с определением угла хирургической атаки (Рисунок 4.2). При небольших корковых опухолях может быть использована электромагнитная навигация (Fiagon и Medtronic StealthStation navigation).

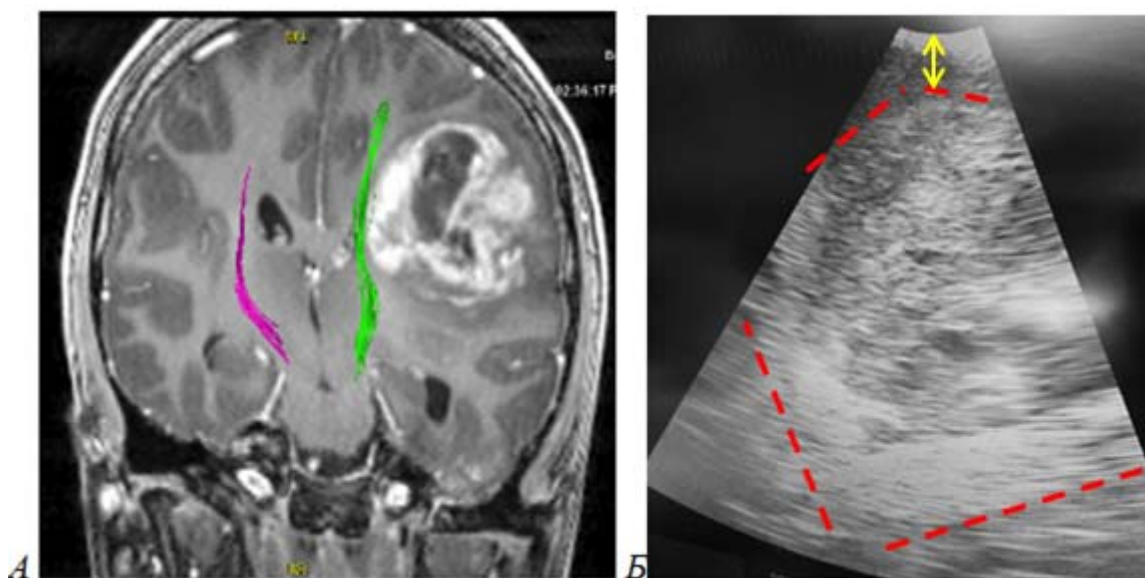


Рисунок 4.2 - Диффузная полушарная глиома, WHO grade 4, области центральных извилин с распространением на лучистый венец справа. А – дооперационная МР-трактография головного мозга, T1—последовательность с контрастным усилением в коронарной проекции. КСТ обозначен зеленым и фиолетовым цветом; Б - интраоперационное УЗ-сканирование. Идентифицированы границы опухоли (выделено красной пунктирной линией) и кратчайшая траектория к ней (указано желтой стрелкой), глубина расположения 0,5 см.

1. Опухоли коркового расположения

А. Опухоли конвекситальных отделов больших полушарий.

При этом типе опухолей кортикотомии предшествует картирование предполагаемой моторной коры для избежания её повреждения. В данной ситуации КСТ смещается по контуру опухоли медиально (Рисунок 4.3).

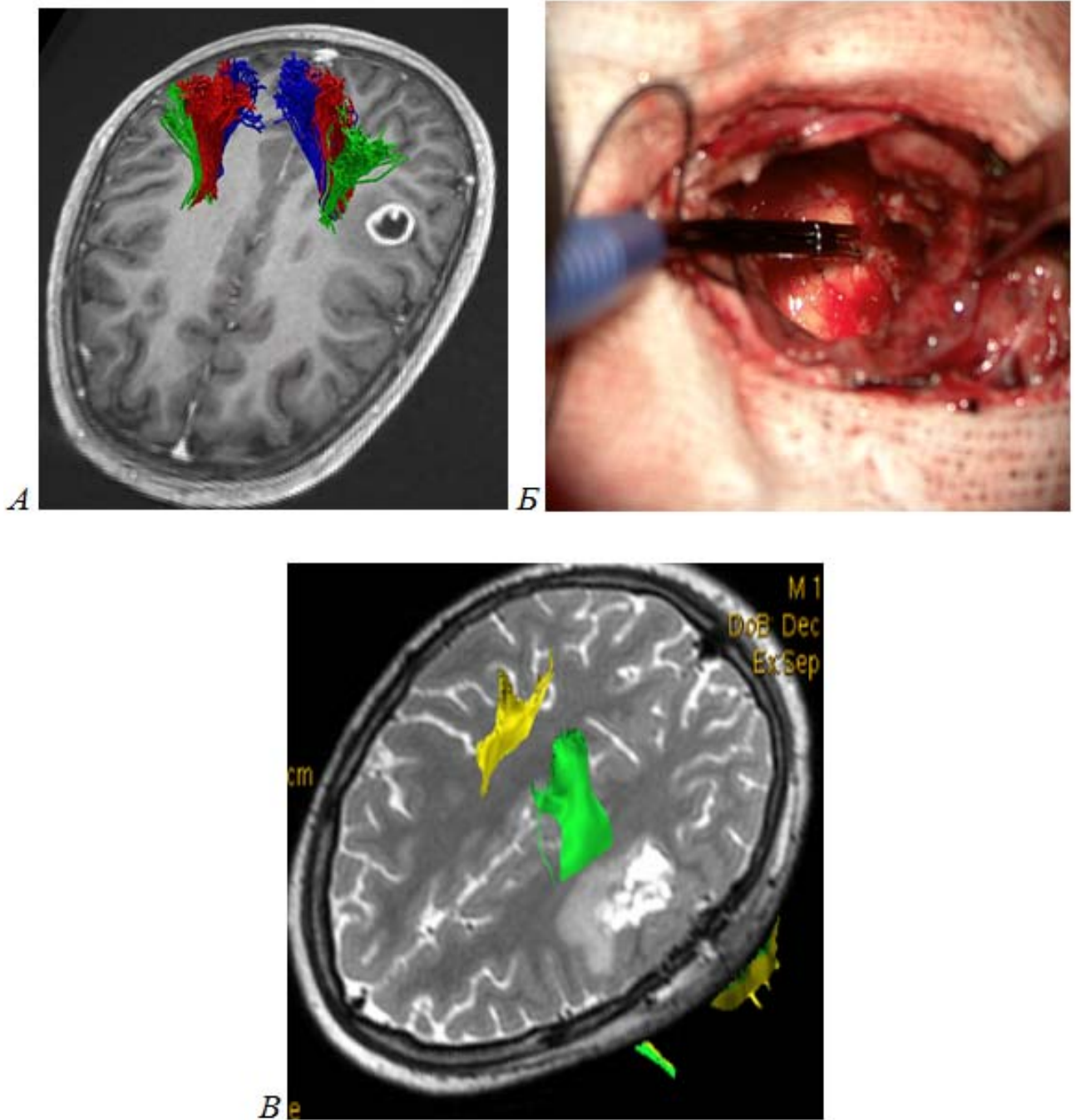


Рисунок 4.3 - Компактная плеоморфная ксантоастроцитома, WHO grade 2, субкортикальных отделов центральных извилин справа

А – дооперационная CSD-HARDI МР-трактография головного мозга, T1— последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции. Опухоль расположена в субкортикальных отделах центральных извилин справа, КСТ по контуру опухоли медиально, разложен на волокна (синий цвет – мышцы ноги, красный – мышцы руки, зеленый – мышцы лица); Б - интраоперационное фото, биполярная прямая стимуляция в глубине раны, на токе 7 мА получены МВП от мышц лица; В – послеоперационная МР-трактография головного мозга, T2-последовательность в аксиальной проекции. Картина тотального удаления опухоли, окруженная зоной перифокального отека, КСТ отмечен зеленым и желтым цветом

Б. Опухоли медиальных отделов больших полушарий

Резекция кортикальных опухолей медиальных отделов производится путем трансцистернального подхода к опухоли, фактически всегда через межполушарный подход вдоль серпа мозга. При этих опухолях, также, в обязательном порядке осуществляется картирование коры перед кортикотомией. КСТ смещается в латеральном направлении (Рисунок 4.4).

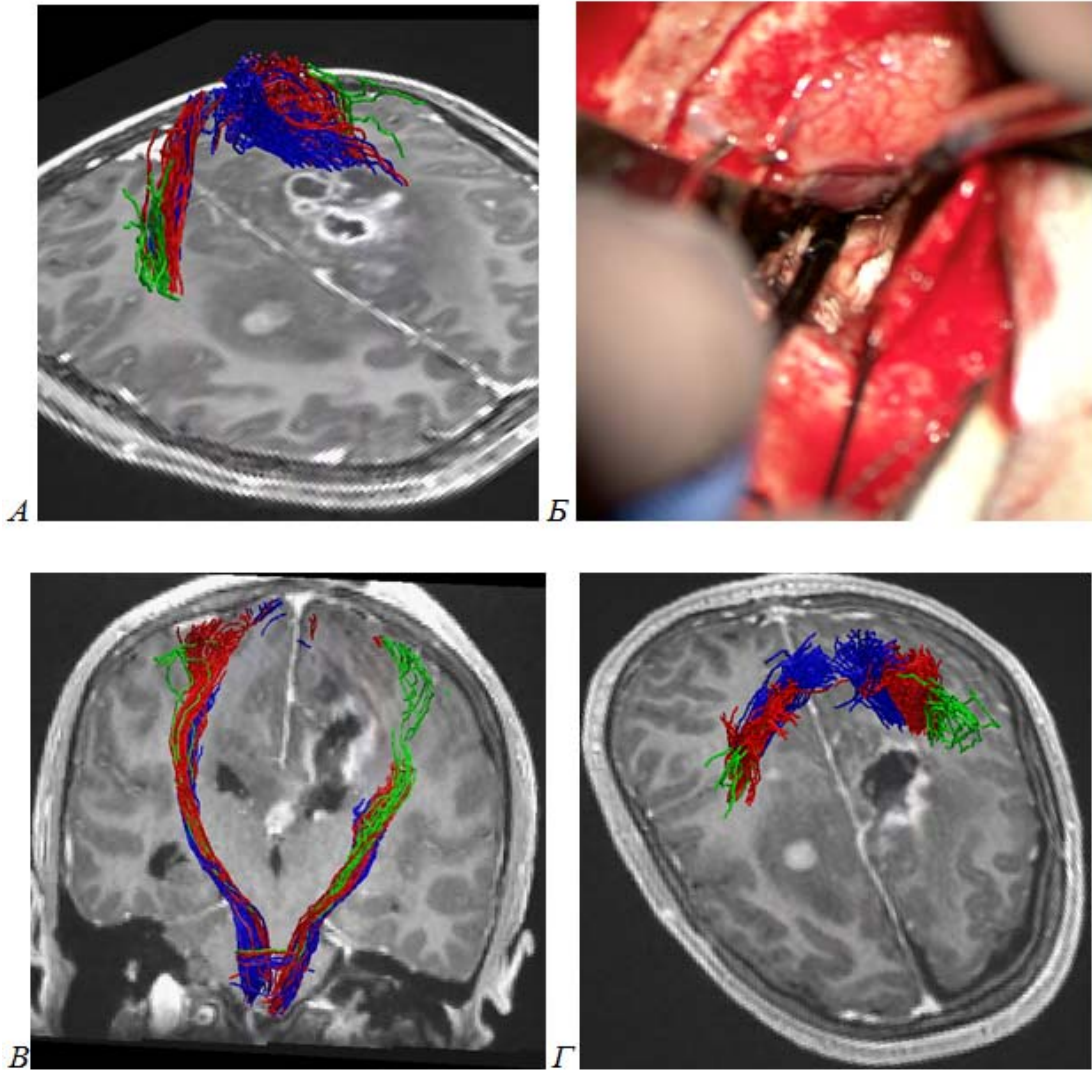


Рисунок 4.4 - Многоочаговая диффузная полушарная глиома, WHO grade 4. Один из очагов расположен в медиальных отделах центральных извилин справа
 А – дооперационная CSD-HARDI МР-трактография головного мозга, T1— последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции. КСТ смещен по латеральному краю опухоли, деформирован; Б - интраоперационное фото, на токе 6 мА получены МВП от мышц ноги в глубине раны; В,Г - послеоперационная CSD-HARDI МР-трактография головного мозга, T1— последовательность с контрастным усилением в коронарной (В) и аксиальной (Г) проекции. Картина околототального удаления очага. Волокна КСТ (А,В,Г) обозначены синим, красным и зеленым цветом

2. Опухоли лучистого венца

Хирургические подходы при данной локализации опухоли имеют схожие черты с доступами к опухолям глубинных структур, основная идея – кортикотомия и подход в обход функциональных зон мозга (Рисунок 4.5).

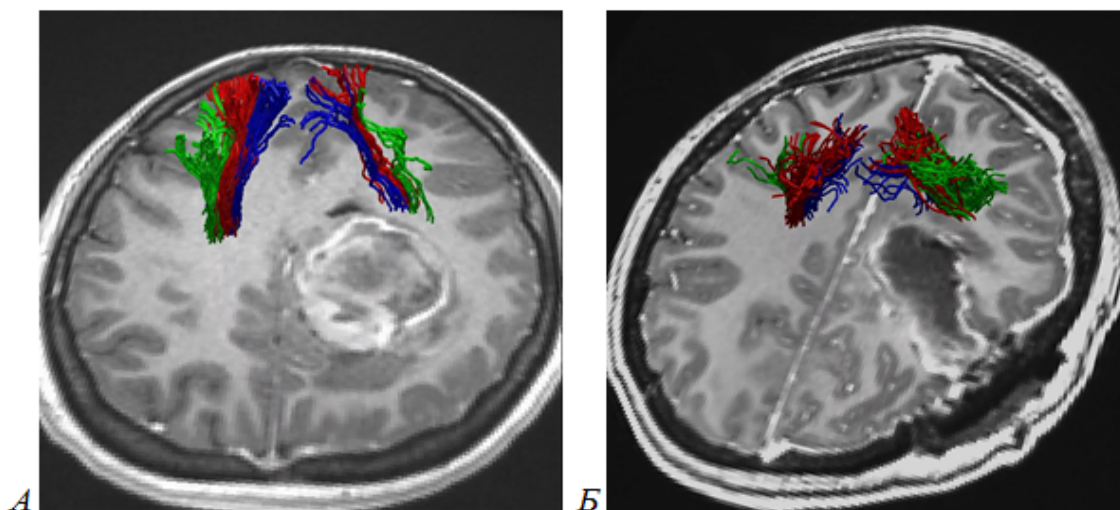


Рисунок 4.5 - Диффузная полушарная глиома, WHO grade 4, области лучистого венца слева

А,Б – CSD-HARDI МР-трактография головного мозга, T1—последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции до (А) и после (Б) операции. КСТ (синий, красный, зеленый цвет) смещен кпереди. Картина околототального удаления опухоли, хирургический доступ выполнен через кортикотомию в области верхней теменной доли

Все гигантские опухоли распространяются на область лучистого венца. Корректное планирование подхода позволило уменьшить величину разрезов мягких тканей и краниотомию (Рисунок 4.6).

Выбор краниотомии в данной группе опухолей зависит от направления смещения КСТ: при смещении КСТ кзади трепанация производится в префронтальной области, при смещении кпереди - в теменно-затылочной области (Рисунок 4.7).

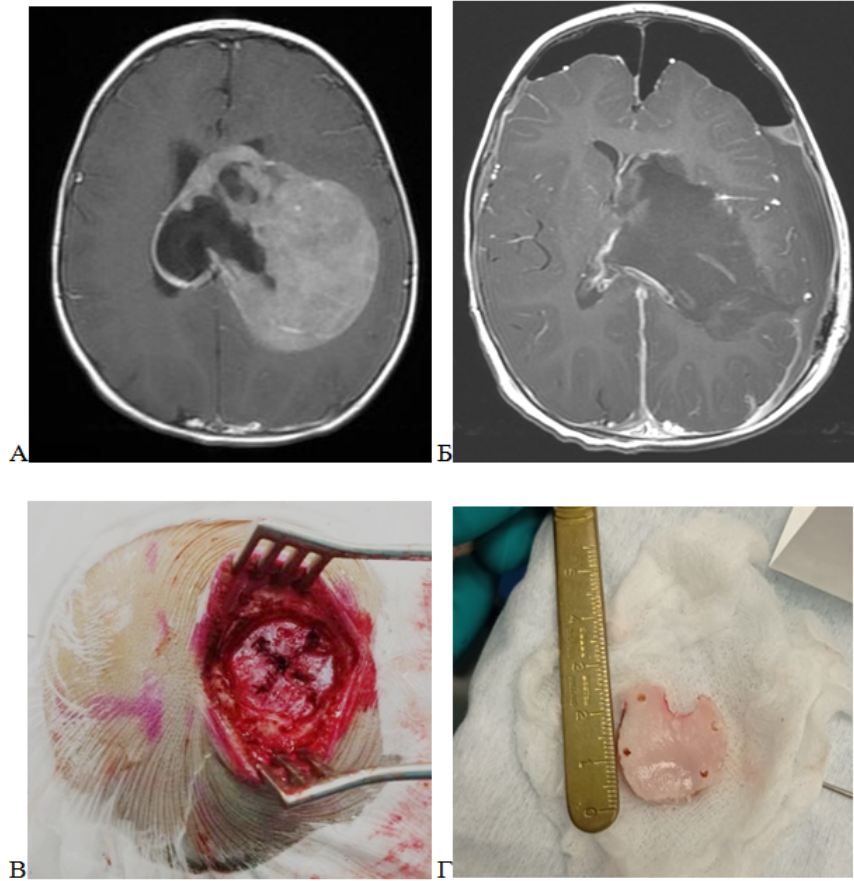


Рисунок 4.6 - Гигантская анапластическая плеоморфная ксантоастроцитома, WHO grade 3, области лучистого венца слева с ростом за среднюю линию
 А,Б – МРТ головного мозга, T1—последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции до (А) и после (Б) операции. Околототальное удаление опухоли; В,Г – интраоперационное фото, краниотомия в области верхней теменной доли, размер краниотомии 2х2 см.

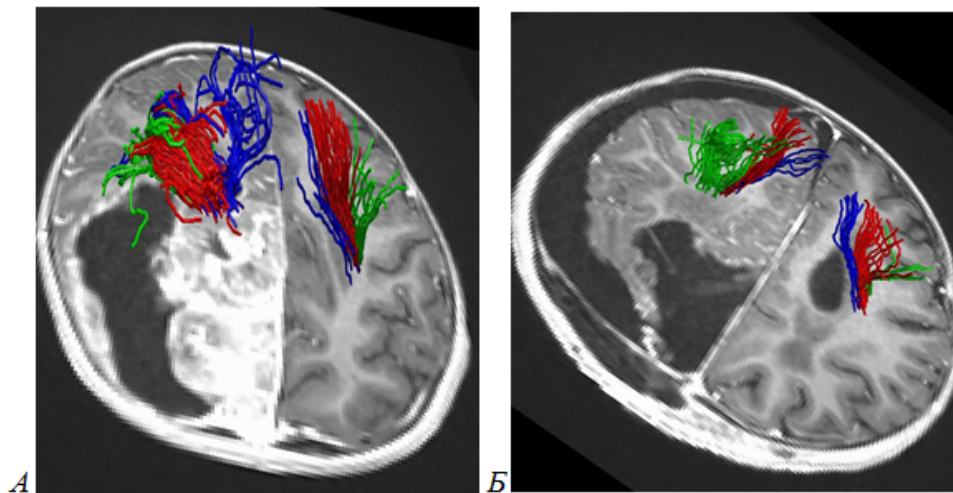


Рисунок 4.7 - Гигантская анапластическая эпендимомма, ZFTA-RELA положительная, WHO grade 4, теменной и затылочной доли
 А,Б – CSD-HARDI МР-трактография головного мозга, T1—последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции до(А) и после (Б) операции. КСТ смещен кпереди (синий, красный, зеленый цвет). Околототальное удаление опухоли затылочным доступом

4.2 Планирование удаления опухолей глубинных структур головного мозга

При глубинных опухолях главной задачей в выборе краниотомии является определение наименее травматичной траектории подхода без рассечения мозга (транцистернальные подходы), либо с рассечением его на небольшом протяжении в «немой» зоне (транскортикальные подходы). В таких ситуациях размер краниотомии «экономный» и определяется размером, достаточным для использования мозговых ретракторов под разными углами. Протяженность кортикотомии в большинстве случаев составляет 1,0-1,5 см. При удалении глубинных опухолей использовались следующие доступы: транскортикальные трансвентрикулярные доступы (височный (n=29), теменной (n=19), лобный (n=2)), транскаллезный (n=14), затылочный межполушарный (n=13), субтенториальный супрасеребеллярный (n=2), доступ через Сильвиеву щель (птериональный (n=1)), субвисочный (n=1). В таблице 4.1 приведена частота применения хирургических доступов к глубинным опухолям различных топографо-анатомических вариантов.

Таблица 4.1 - Хирургические доступы в зависимости от топографии глубинной опухоли

| Хирургический доступ | Количество | | Топография | | | | | |
|-------------------------------------|------------------|------|------------|----|----|----|-----|------|
| | Абсолютное число | % | ПТ | ЗТ | МТ | ТП | ЗрТ | РОПУ |
| Трансвентрикулярные | 50 | 61,7 | | | | | | |
| - Височный | 29 | 35,8 | - | 1 | - | 10 | 16 | 2 |
| - Теменной | 19 | 23,4 | - | 12 | - | - | 2 | 5 |
| - Лобный | 2 | 2,4 | - | - | - | - | - | 2 |
| Транскаллезный | 14 | 17,2 | 8 | 3 | 3 | - | - | - |
| Затылочный межполушарный | 13 | 16 | - | 13 | - | - | - | - |
| Субтенториальный супрасеребеллярный | 2 | 2,4 | - | 1 | 1 | - | - | - |
| Птериональный | 1 | 1,2 | - | - | - | - | 1 | - |
| Субвисочный | 1 | 1,2 | - | - | - | 1 | - | - |

ПТ – передний таламус, ЗТ – задний таламус, МТ – медиальный таламус, ТП – таламопедункулярная область, ЗрТ – зрительный тракт, РОПУ – распространенные опухоли подкорковых узлов

А. Опухоли таламуса (n=42)

- Опухоли передних отделов таламуса (n=8): в связи с ростом опухоли в область отверстия Монро, дислокацией КСТ дорсолатерально, предпочтительным является транкаллезный ипси-/контралатеральный доступ (использовался в 100% случаев) (Рисунок 4.8).

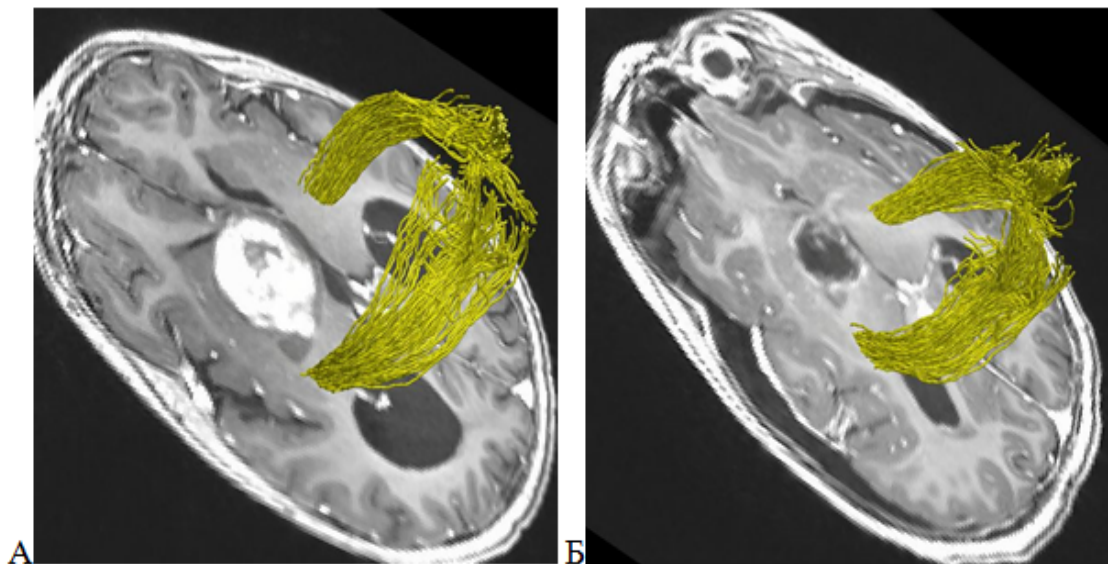


Рисунок 4.8 - Пилоидная астроцитома, WHO grade 1, передних отделов таламуса справа. А,Б – CSD-HARDI МР-трактография, T1—последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции до (А) и после операции (Б). Пример тотального удаления контралатеральным транкаллезным доступом. КСТ смещен дорсолатерально, выделен желтым цветом

- Опухоли медиальных отделов таламуса (n=4): КСТ расположен латерально/антелатерально относительно опухоли. Хирургический доступ зависит от расположения опухоли в полости III желудочка: при росте в передние отделы используется транкаллезный доступ (75%), при росте в задние отделы возможно удаление субтенториальным супрацеребеллярным доступом (25%) (Рисунок 4.9).

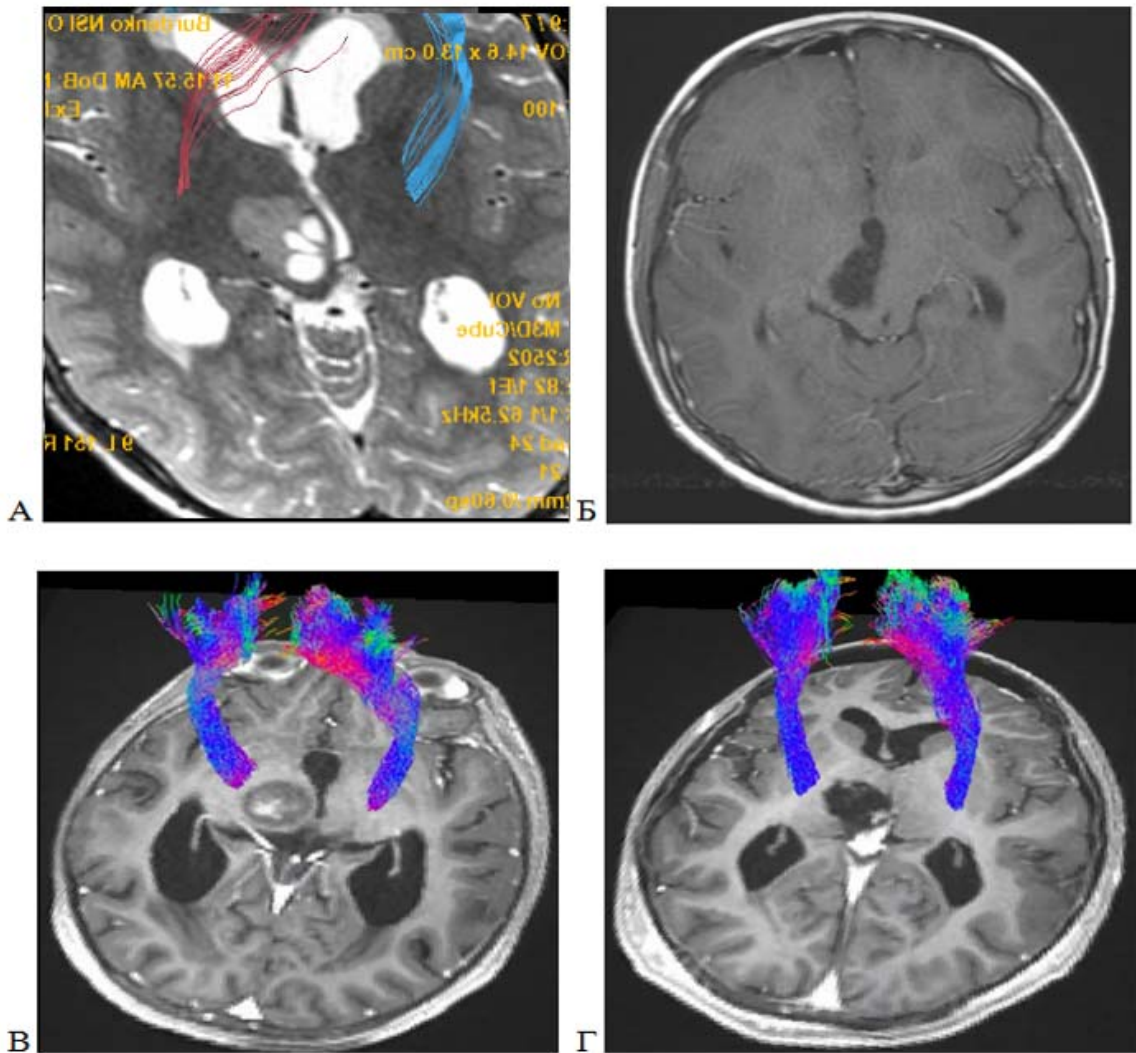


Рисунок 4.9 - Пилоидная астроцитома, WHO grade 1, медиальных отделов таламуса справа. А – стандартная МР-трактография, T2 последовательность в аксиальной проекции. КСТ смещен антелатерально, обозначен красным и синим цветом; Б – послеоперационное МРТ головного мозга, T1 последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции. Тотальное удаление опухоли транскаллезным субхороидальным доступом; В, Г - CSD-HARDI МР-трактография, T1 последовательность с контрастным усилением до (В) и после (Г) операции в аксиальной проекции, КСТ отмечен синим цветом, смещен антелатерально. Тотальное удаление опухоли субтенториальным супрацереbellярным доступом

- Опухоли задних отделов таламуса (n=30) могут расти в область треугольника бокового желудочка или охватывающую цистерну и смещают КСТ антелатерально. В этих случаях основными доступами являются затылочный межполушарный (43,3%) и теменной трансвентрикулярный (40%) (Рисунок 4.10).

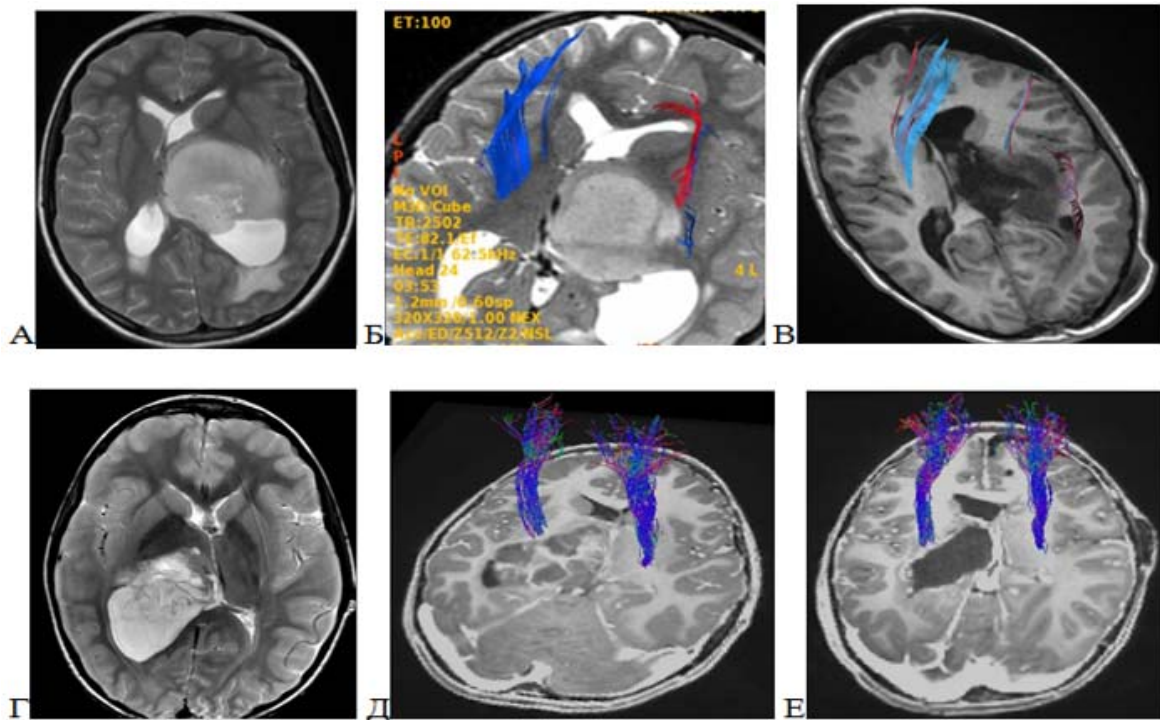


Рисунок 4.10 - Диффузная срединная глиома, WHO grade 4, задних отделов левого (А-В) и правого (Г-Е) таламуса. А - МРТ головного мозга, Т1 последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции; Б - стандартная МР-трактография, Т2 последовательность в аксиальной проекции. КСТ смещен антелатерально; В – послеоперационная стандартная МР-трактография, Т1 последовательность в аксиальной проекции. Реконструкция КСТ красным и синим цветом. Субтотальное удаление опухоли затылочным межполушарным доступом; Г - МРТ головного мозга, Т2 последовательность в аксиальной проекции; Д, Е – CSD-HARDI МР-трактография, Т1 последовательность с контрастным усилением до (Д) и после (Е) операции в аксиальной проекции, КСТ отмечен синим цветом, смещен антелатерально. Околототальное удаление опухоли теменным трансвентрикулярным доступом

Б. Таламопедункулярные опухоли (n=11)

Распространяются в охватывающую цистерну, деформируя медиальные отделы височной доли, иногда прорастая через сосудистую щель в височный рог бокового желудочка, КСТ смещен антелатерально. Наиболее анатомически обоснованным является височный трансвентрикулярный трансхориоидальный доступ [82], использован у большинства пациентов (90,9%). Субвисочным доступом оперирован 1 пациент (9,1%) ввиду большой субтенториальной части опухоли и необходимостью рассечения намета мозжечка (Рисунок 4.11).

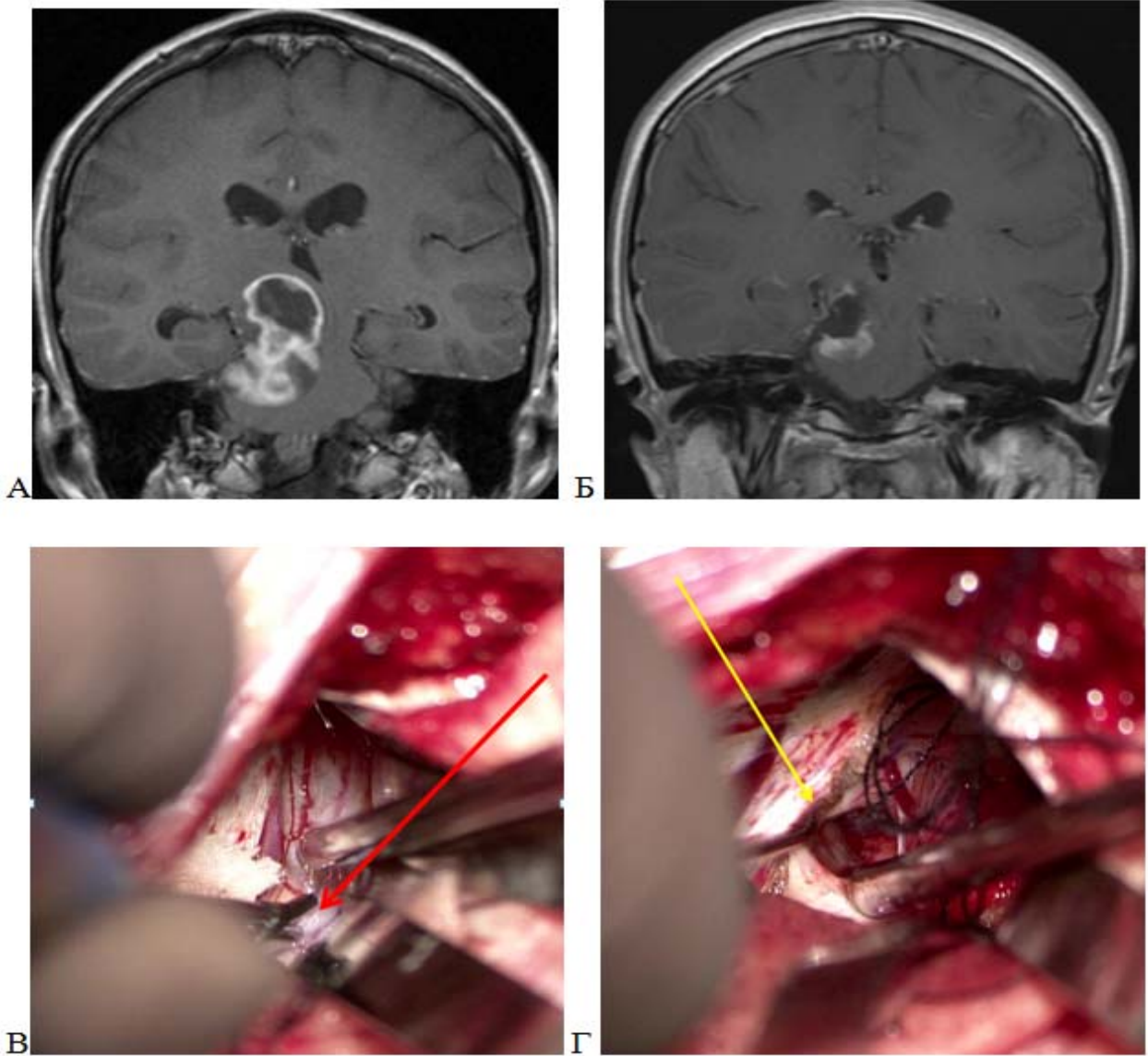


Рисунок 4.11 - Пилоидная астроцитома, WHO grade 1, таламопедункулярной области справа. А,Б – МРТ головного мозга, Т1-последовательность с контрастным усилением в коронарной проекции до (А) и после (Б) операции. Пример субтотального удаления опухоли субвисочным доступом; В - интраоперационное фото, субвисочный доступ справа. Красная стрелка – прямая биполярная стимуляция пирамидного тракта, МВП от всех групп мышц, больше от кисти, на 3 мА, лоцирована ножка мозга с проводящими путями. Сбоку от ножки супратенториальная часть опухоли серого цвета; Г – интраоперационное фото, субвисочный доступ справа. Удаление субтенториальной части (желтый стрелкой отмечен рассеченный намет мозжечка)

В. Опухоли зрительного тракта (n=19) смещают КСТ медиально. В виду этого, основным доступом является височный трансхориоидальный (17 из 19 пациентов, 89,5%) (Рисунок 4.12). В 1 случае использовался теменной трансвентрикулярный доступ при росте опухоли из задних отделов зрительного тракта в область треугольника бокового желудочка, в 1 случае птериональный доступ при опухоли передних отделов зрительного тракта.

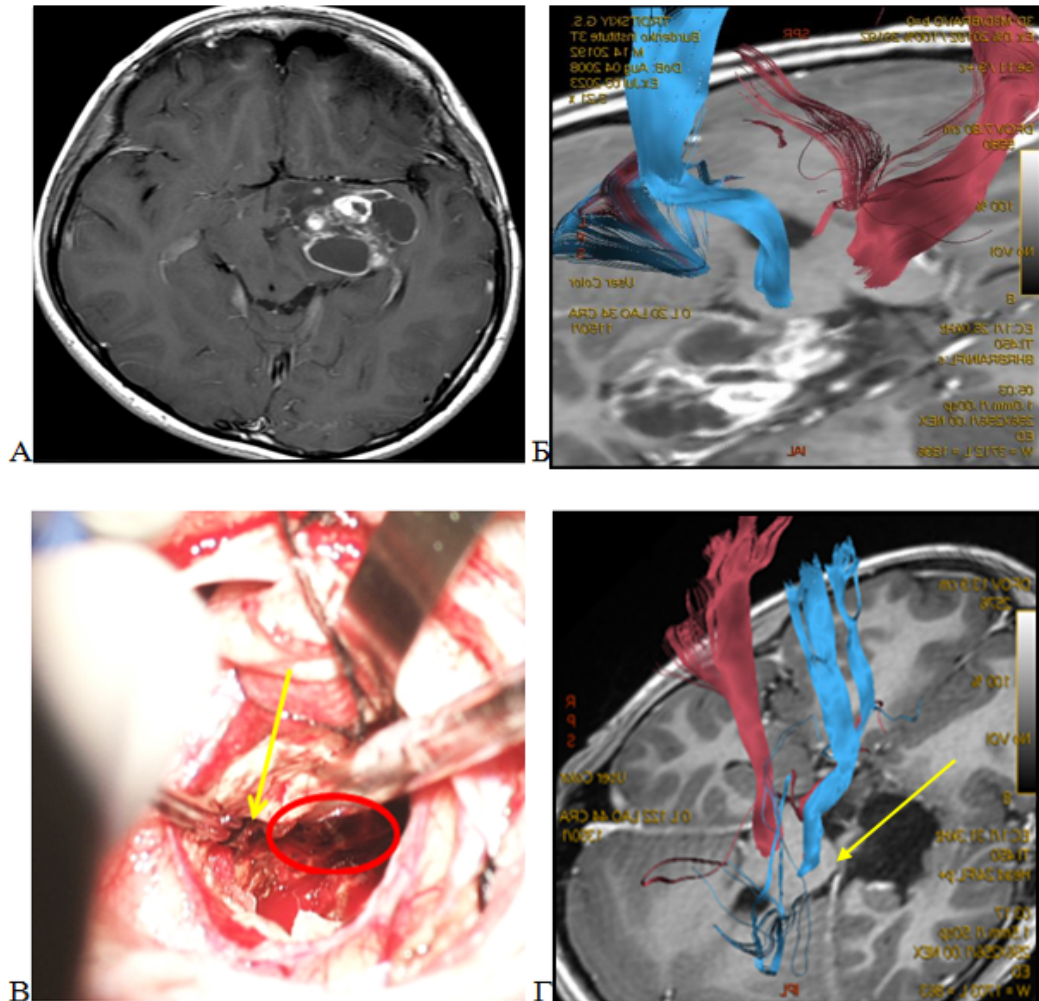


Рисунок 4.12 - Пилоидная астроцитомы, WHO grade 1, зрительного тракта слева
 А - МРТ головного мозга, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции; Б – стандартная MR-трактография, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции до операции. КСТ смещен медиально, выделен синим и красным цветом; В - интраоперационное фото, височный трансвентрикулярный доступ слева. Желтая стрелка – прямая биполярная стимуляция пирамидного тракта, ответ от всех групп мышц на 1 мА, красное выделение – боковая поверхность ствола, область ножки мозга; Г – послеоперационная MR-трактография, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции. Тотальное удаление опухоли, желтой стрелкой указано место получения МВП прямой стимуляцией

Г. Распространенные опухоли подкорковых узлов (РОПУ) (n=9)

Следует учитывать, что наряду с классическими глубинными глиомами с преимущественным характерным ростом, РОПУ растут хаотично, без явных анатомических тенденций роста, что объясняется трудностью определения места исходного роста. Для их удаления, как правило, использовались транскортикальные трансвентрикулярные доступы. Выбор доступа зависел от преимущественного направления роста распространенной опухоли и степени деформации прилежащих отделов мозга (лобной, теменной, височной доли).

При проведении дооперационной МР-трактографии выбор хирургического подхода не составляет трудности. 2 пациентам проведена предоперационная МР-трактография, в одном случае КСТ был включен в строму опухоли, в другом отмечалась дислокация тракта дорсолатерально (Рисунок 4.13).

В случаях без дооперационной МР-трактографии следует учитывать предположительное место исходного роста опухоли. В случаях, когда опухоль поражает «переднюю» группу глубинных структур (головка хвостатого ядра, передние отделы таламуса, хиазма), лобно-островковую зону и передние отделы боковых желудочков следует использовать «передние доступы», в большинстве случаев лобный трансвентрикулярный, ввиду предположительного смещения КСТ дорсолатерально.

При поражении «задней» группы глубинных структур (пинеальная область, задние отделы таламуса, покрышка среднего мозга), задних отделов боковых желудочков, теменно-затылочной области больших полушарий и при включении в опухоль центральных дренирующих вен мозга следует использовать «задние доступы», в основном теменной трансвентрикулярный доступ, учитывая предположительное смещение КСТ антелатерально. В редких случаях детской патологии, когда поражаются латеральные отделы глубинных структур (скорлупа, ограда, латеральные отделы таламуса, изолированное поражение островковой области) используется трансинсулярный доступ в виду смещения КСТ медиально.

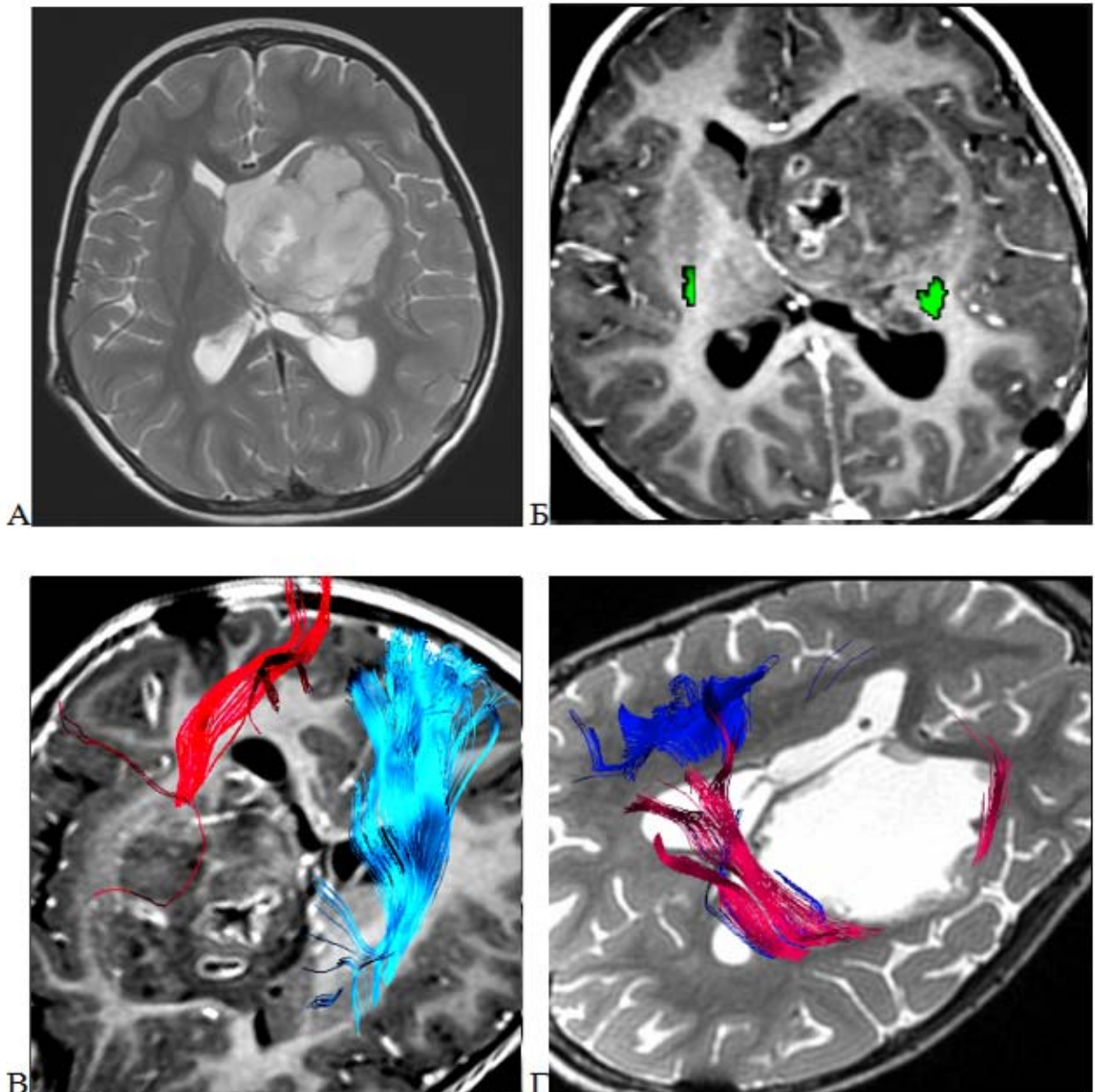


Рисунок 4.13 - Распространенная пилоидная астроцитома, WHO grade 1, подкорковых узлов слева. А – МРТ головного мозга, T2—последовательность в аксиальной проекции. Опухоль имеет крупный размер, занимает область передних отделов таламуса, лентикулярного ядра и головки хвостатого ядра, деформирует прилежащие отделы бокового и III желудочков; Б,В - стандартная МР-трактография, T1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной проекции, 2D (Б, КСТ зеленый цвет) и 3D реконструкция (В, КСТ синий и красный цвет). КСТ смещен дорсолатерально; Г – стандартная МР-трактография, T2-последовательность в аксиальной проекции, тотальное удаление опухоли лобным трансвентрикулярным доступом

4.3 Резюме

При планировании хирургического доступа к опухолям моторных зон больших полушарий и прилежащих отделов лучистого венца следует учитывать:

- 1) глубину распространения опухоли;
- 2) расположение опухоли относительно средней линии;
- 3) расположение КСТ относительно опухоли.

В зависимости от перечисленных факторов мы выделяем 3 хирургических типа опухолей:

1. Коровые (кортикальные) опухоли моторных зон мозга:
 - А. Опухоли медиальных отделов центральных извилин;
 - Б. Опухоли латеральных (конвекситальных) отделов центральных извилин.
2. Опухоли лучистого венца, прилежащие к кортикоспинальному тракту.

Нами освещены варианты взаимоотношения полушарных опухолей с моторными зонами мозга и КСТ. Явных факторов, учитывая которые можно было бы спрогнозировать локализацию КСТ без выполнения МР-трактографии, выявлено не было. Таким образом, предоперационная МР-трактография занимает ведущую роль в планировании хирургического доступа к полушарным опухолям моторных зон мозга у детей. Порядок выбора доступа в зависимости от хирургического типа опухоли и рекомендованный к использованию интраоперационный инструментарий для резекции данных опухолей приведен в таблице 4.2.

Выбор хирургического доступа к глубинным опухолям заключается в определении наименее травматичной траектории подхода к опухоли без рассечения мозга, либо с рассечением его на небольшом протяжении в обход функциональных зон мозга.

Данные МР-трактографии показали типичное направление смещения КСТ при различных топографо-анатомических вариантах глубинной опухоли. Степень дислокации зависела от размеров опухоли.

Таблица 4.2 - Хирургические доступы к полушарной опухоли в зависимости от топографии опухоли и смещения КСТ

| Хирургический тип опухоли | Расположение/ смещение КСТ | Хирургический доступ, кортикотомия | УЗИ навигация | Электромагнитная навигация | Картирование коры мозга |
|---|--------------------------------------|--|---------------|----------------------------|-------------------------|
| 1А. Опухоль медиальных отделов ЦИ | - По контуру - Латерально | Трансцистернальный, вдоль серпа мозга | + | + | + |
| 1Б. Опухоль латеральных отделов центральных извилин | - По контуру - Медиально | Транскортикальный, над опухолью | + | + | + |
| 2. Опухоль лучистого венца | - По контуру - Кпереди - Кзади | Транскортикальный, в «немой» зоне: - лобный - теменной | + | - | - |

Параметры таблицы: «+» использование рекомендовано/необходимо; «-» использование опционально

Выбор хирургического доступа зависел от точной локализации опухоли в пределах глубинных структур, расположения КСТ относительно опухоли. Предпочтение отдавалось малотравматичным трансцистернальным или трансвентрикулярным доступам.

При распространенных инфильтративных опухолях удаление осуществлялось преимущественно через транскортикальные доступы.

В таблице 4.3 приведен порядок выбора доступа в зависимости от топографо-анатомической группы глубинной опухоли и смещения КСТ.

Таблица 4.3 - Хирургические доступы к глубинной опухоли в зависимости от топографо-анатомической группы и смещения КСТ

| Топография опухоли | Расположение/ смещение КСТ | Хирургический доступ |
|--|-------------------------------|--|
| Передний таламус | Дорсолатерально | Транскаллезный ипси- /контралатеральный |
| Медиальный таламус | Латерально/ антелатерально | - Транскаллезный ипси- /контралатеральный - Субтенториальный супрацеребеллярный |
| Задний таламус | Антелатерально | - Затылочный межполушарный - Теменной трансвентрикулярный |
| Таламопедункулярная область | Антелатерально | Височный трансвентрикулярный трансхориоидальный |
| Зрительный тракт | Медиально | Височный трансвентрикулярный трансхориоидальный |
| Распространенные опухоли подкорковых узлов | Любое | В зависимости от расположения КСТ, преимущественно трансовентрикулярные доступы |

ГЛАВА 5 РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ

5.1 Общие данные

Мы проанализировали данные 100 пациентов детского возраста, которым проведено 119 операций в период с 2016 по 2023 год в НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко. В 19 (16%) случаях проведена повторная резекция опухоли, показанием к которой являлся, как правило, продолженный рост доброкачественной опухоли. Повторные операции выполнялись при опухолях таламуса (n=6), зрительного тракта (n=5), распространенных опухолях подкорковых узлов (n=5) и реже в других топографо-анатомических группах.

В группе преобладали WHO grade 1,2 опухоли (53,8%), в основном пилоидные астроцитомы (n=48, 40,3% от общей исследуемой группы), среди злокачественных - диффузная срединная глиома (n=23, 19,3% от общей исследуемой группы) (Рисунок 5.1).

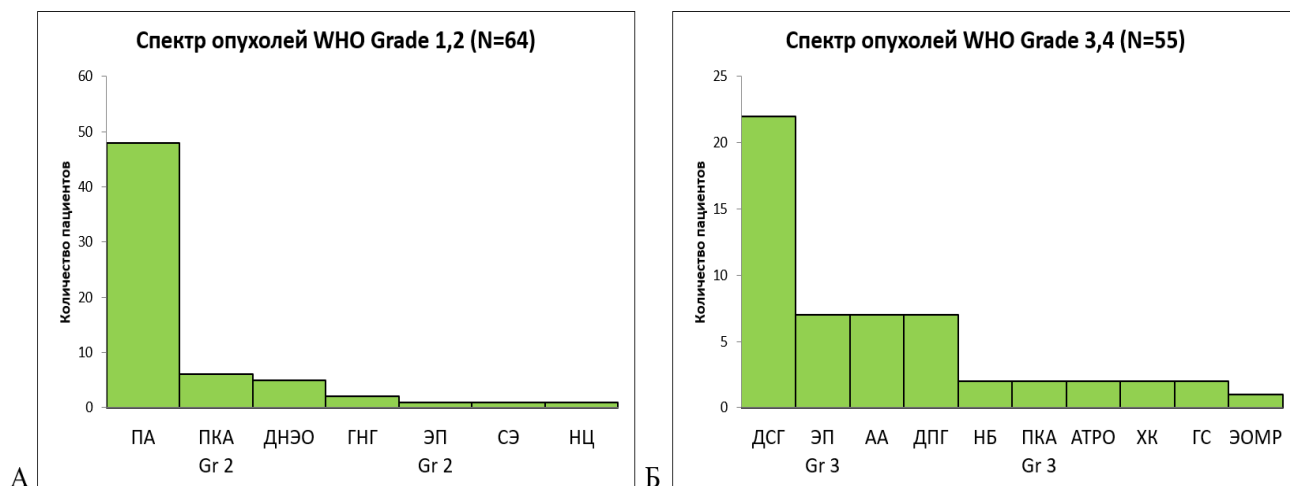


Рисунок 5.1 - А - Спектр доброкачественных опухолей, WHO grade 1,2: ПА - Пилоидная астроцитома, ПКА Gr 2 - Плеоморфная ксантоастроцитома grade 2, ДНЭО (DNT) – Дисэмбриопластическая нейроэпителиальная опухоль, ГНГ – Ганглиоглиома, ЭП Gr 2 – Эпендимома grade 2, СЭ – Субэпендимома, НЦ – Нейроцитома; Б – Спектр злокачественных опухолей, WHO grade 3,4 (абсолютные значения): ДСГ - Диффузная срединная глиома, ЭП Gr 3 – Эпендимома grade 3, АА – Анапластическая астроцитома, ДПГ - Диффузная полушарная глиома, НБ – Нейробластома, ПКА Gr 3 - Плеоморфная ксантоастроцитома grade 3, АТРО - Атипичическая тератоидно-рабдоидная опухоль, ХК – Хориоидкарцинома, ГС – Глиосаркома, ЭОМР (ETMR) – Эмбриональная опухоль с многорядными розетками

Ниже представлена гистология опухолей в различных возрастных группах пациентов (Рисунок 5.2), при различном анатомическом расположении (Рисунок 5.3) и топографо-анатомической группы (Рисунок 5.4).

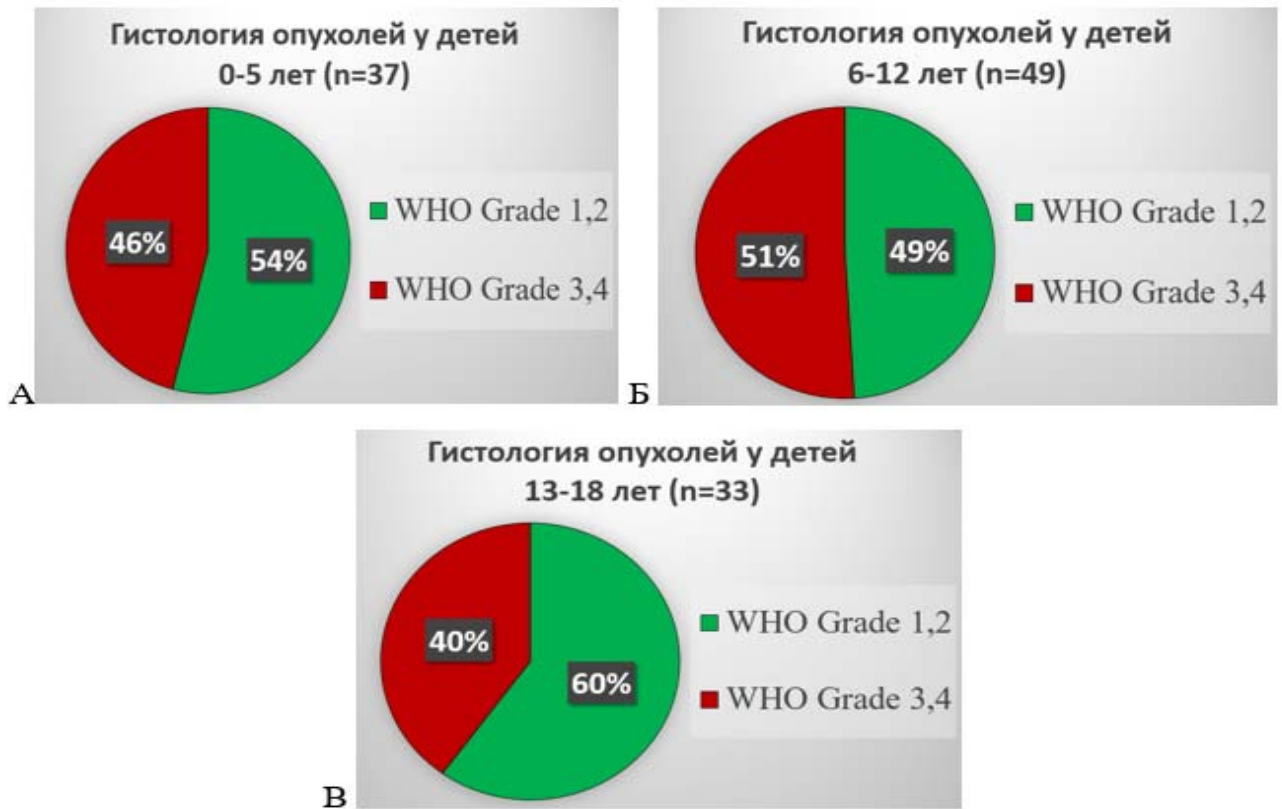


Рисунок 5.2 - Гистология опухолей в возрастных группах (процентное соотношение): у детей 0-5 лет (А), 6-12 лет (Б), 13-18 лет (В)



Рисунок 5.3 - Гистология опухолей в анатомических группах (процентные соотношения): полушарной (А) и глубинной (Б) локализации

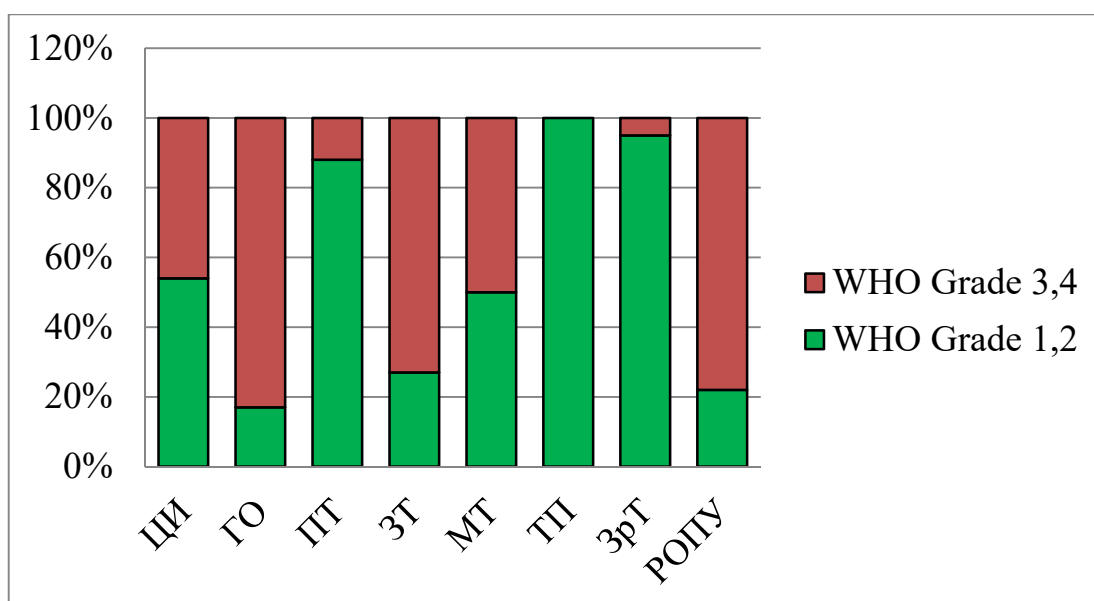


Рисунок 5.4 - Гистология опухолей в топографо-анатомических подгруппах (процентное соотношение). ЦИ - центральных извилин, ГО – гигантские опухоли, ПТ – передние отделы таламуса, ЗТ – задние отделы таламуса, МТ – медиальные отделы таламуса, ТП – таламопедункулярная область, ЗрТ – зрительный тракт, РОПУ – распространенные опухоли подкорковых узлов

Доброкачественные опухоли области центральных извилин это компактные, часто глионейрональные, образования. Злокачественный вариант этой анатомической группы – диффузные полушарные глиомы.

Гигантские опухоли больших полушарий, как правило, имели злокачественную гистологию (83,3%). Эмбриональные опухоли составили 41,6% от всех гигантских опухолей, чаще наблюдались у детей раннего возраста до 5 лет.

Среди опухолей передних отделов таламуса, таламопедункулярной области и опухолях зрительного тракта превалировали пилоидные астроцитомы (88-100%).

Опухоли подушки зрительного бугра и распространенные опухоли подкорковых узлов в большинстве случаев были представлены диффузными срединными глиомами и анапластическими астроцитомами (77% и 78% соответственно).

5.2 Радикальность операций

Произведена оценка радикальности операций в зависимости от гистологии опухоли, их анатомического расположения и объема использованного нейрофизиологического мониторинга.

Радикальное удаление (тотальное и околототальное) достигнуто в большинстве случаев (n=84, 70,5%), субтотальная резекция 24 (20,1%), частичное удаление опухоли выполнено 11 (9,4%) пациентам. Радикальность операций в гистологических группах представлена ниже (Рисунок 5.5).

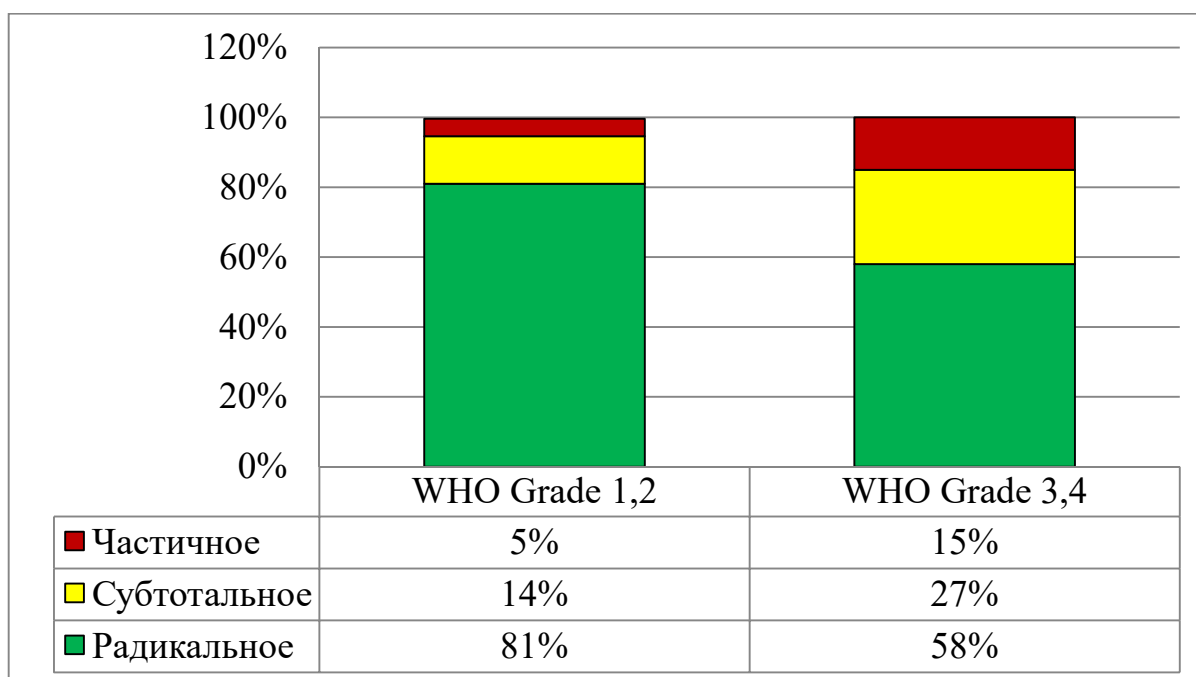


Рисунок 5.5 - Радикальность операций в гистологических группах (в процентном соотношении)

Доброкачественные опухоли удалены преимущественно радикально (n = 52, 81,2%). Радикальное удаление злокачественных опухолей проведено 58,2% детей, расположение злокачественной опухоли в глубинных структурах являлось предиктором не радикальной резекции (точный критерий Фишера, $p < 0,001$). При резекции инфильтративных глубинных опухолей отсутствует плоскость диссекции, при нестабильности показателей ИОМ (редукция ТК МВП, отсутствие МВП от прямой стимуляции в глубине раны) попыток радикального удаления не проводилось.

Большая радикальность достигнута при удалении опухолей полушарного расположения (94,7%) (Рисунок 5.6). Удаление гигантских полушарных опухолей часто сопровождается гемодинамическими нарушениями ввиду массивной кровопотери. Радикальное удаление (83,3%) - основной способ достичь гемостаза. Включение в строму опухоли гемодинамически значимых артерий и вен ограничивала радикальность операций (субтотальное удаление, n=2, 16,7%).

Глубинные опухоли радикально удалены у 59,3% детей. Ввиду этого отдельно проанализирована радикальность операций в этой группе в зависимости от гистологии опухоли.

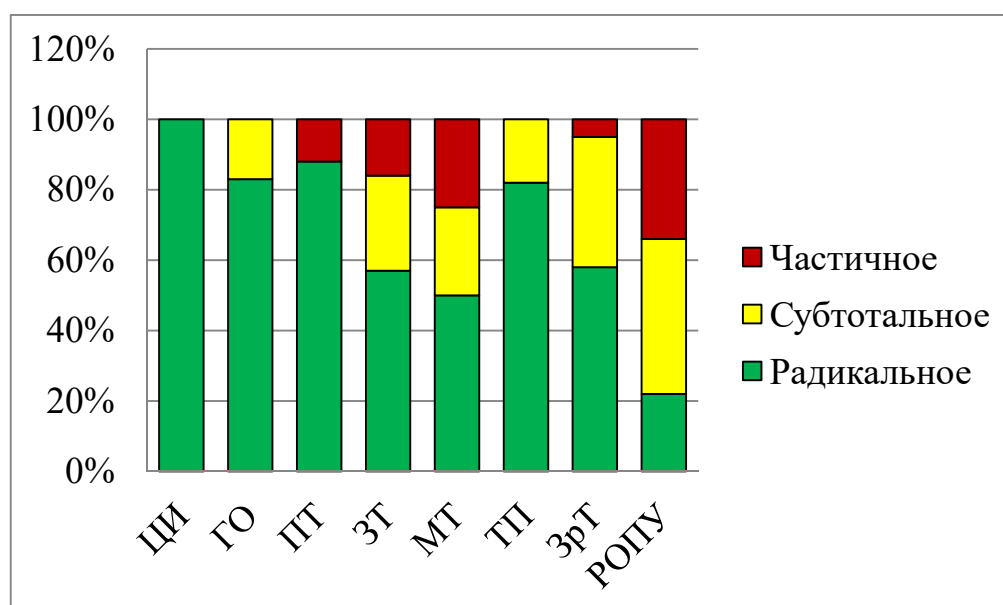


Рисунок 5.6 - Радикальность операций в топографо-анатомических подгруппах (в процентном соотношении). ЦИ - центральных извилин, ГО – гигантские опухоли, ПТ – передние отделы таламуса, ЗТ – задние отделы таламуса, МТ – медиальные отделы таламуса, ТП – таламопедункулярная область, ЗрТ – зрительный тракт, РОПУ – распространенные опухоли подкорковых узлов

Все пилоидные астроцитомы располагались в подкорковой области (n=48), помимо этого верифицированы единичные случаи субэпендимомы и нейроцитомы.

ПА удалены радикально в 72,9% случаев (n=35). Локализовались в области передних отделов таламуса (7 из 8 пациентов ПА, радикальность 87,5%), таламопедункулярной области (все пациенты ПА, радикальность 81,8%) и зрительного тракта (18 из 19 пациентов, радикальность 57,9%).

Причиной меньшей радикальности удаления при опухолях зрительного

тракта является частое распространение опухоли в область хиазмы и гипоталамуса, когда попытка тотального удаления может приводить к негативным зрительным и эндокринологическим последствиям (Рисунок 5.7).



Рисунок 5.7 - Пилоидная астроцитома зрительного тракта. Пример распространения опухоли по зрительным путям (А) и гипоталамической области (Б); А,Б – послеоперационное МРТ головного мозга, Т1-последовательность с контрастным усилением в аксиальной (А) и сагиттальной (Б) проекции

Распространенные ПА подкорковых узлов встречались редко ($n=2$) и в нашем исследовании один ребенок прооперирован радикально.

Злокачественные опухоли в подкорковой области являются диффузными срединными глиомами ($n=22$, 73,3%) и анапластическими астроцитомами ($n=8$, 26,7%). В этой группе околототальное удаление достигнуто в 33,3% случаев ($n=10$, для ДСГ 36%, для АА 25%). Чаще они располагались в подушке таламуса (23 из 30 пациентов, радикальность 56,5%), и в группе распространенных глиом подкорковых узлов (7 из 9 пациентов, радикальность 14,3%). По сравнению с инфильтративными полушарными опухолями, радикальное удаление глубинной злокачественной опухоли сопряжено с риском повреждения основных артерий, вен и ростральных отделов ствола мозга.

При анализе радикальности повторных операций выявлено, что в 12 (63,2%) из 19 случаев рецидивирующая опухоль удалена радикально, в 7 случаях субтотально (36,8%, все случаи злокачественные опухоли). Таким образом,

выявлено, что попытки повторной резекции глубоких злокачественных глиом в большинстве случаев заканчиваются не радикальным удалением опухоли (точный критерий Фишера, $p < 0,05$). Исходя из этого, необходимость повторного удаления злокачественной глиомы должна обсуждаться с онкологами индивидуально.

При сравнении радикальности операции в зависимости от объема ИОМ, частота радикальных удалений была выше при использовании расширенного протокола ИОМ во время операции ($n=67$, 85,1%). В подгруппах удаления опухолей только с использованием ТК МВП и без ИОМ процент радикальных операций был ниже – 46,4% ($n=13$) и 58,3% ($n=14$) соответственно (Рисунок 5.8).

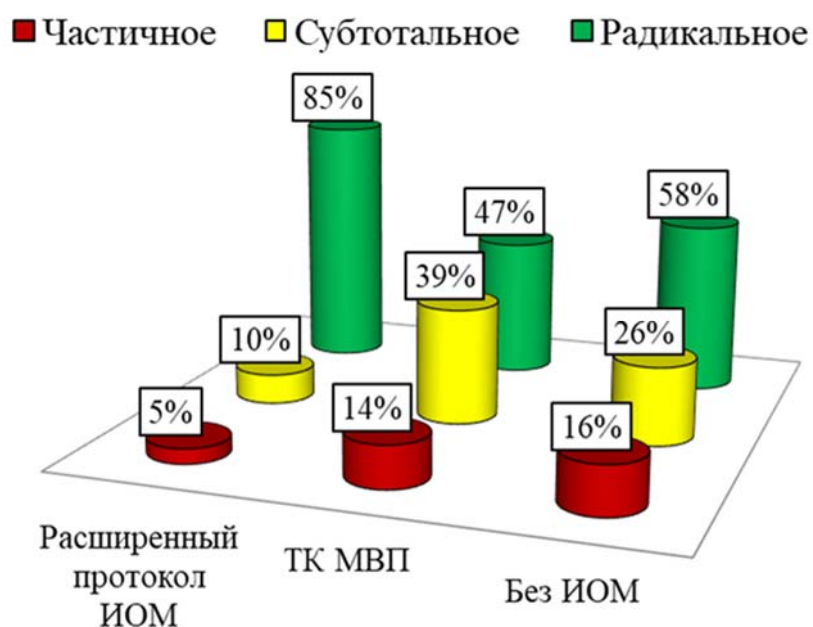


Рисунок 5.8 - Радикальность удаления опухолей в зависимости от объема нейрофизиологического мониторинга

При применении расширенного протокола ИОМ радикальность резекции полушарной и глубокой опухоли, прилегающей к КСТ, значимо выше, чем при применении только ТК МВП или отсутствии ИОМ во время операции (критерий Мак-Немара, $p < 0,05$).

5.3 Ближайшие неврологические исходы

Проанализированы неврологические исходы в раннем послеоперационном периоде и представлены в топографо-анатомических группах в таблице 5.1.

Нарастание нарушения двигательных функций после операции отмечалось у 37 (31,1%) пациентов. Выпадение полей зрения наблюдалось после радикальной резекции опухолей зрительного тракта у 7(36,8%) из 19 пациентов.

Глазодвигательные нарушения возникали после попыток радикального удаления злокачественных опухолей подушки таламуса с инфильтрацией среднего мозга у 3 (10%) из 30 пациентов, афатические нарушения после удаления инфильтративных полушарных опухолей - у 4 (10,5%) из 38 пациентов.

Таблица 5.1 - Неврологический дефицит, возникший в послеоперационном периоде в топографо-анатомических группах (абсолютные значения, процентное соотношение)

| Симптом/синдром | Количество | | Топография | | | | | | | |
|---|------------|------|------------|----|----|----|----|----|-----|------|
| | Абс. число | % | ЦИ | ГО | ПТ | ЗТ | МТ | ТП | ЗрТ | РОПУ |
| Усугубление/развитие двигательного дефицита | 37 | 31,1 | 8 | 1 | 2 | 11 | - | 3 | 7 | 3 |
| Нарушение полей зрения | 9 | 7,5 | - | - | - | 1 | - | - | 7 | 1 |
| Глазодвигательные нарушения | 6 | 5 | - | - | - | 3 | 1 | 1 | - | 1 |
| Афазия | 5 | 4,2 | 3 | 1 | - | - | - | - | - | 1 |
| Эпилептический синдром | 4 | 3,4 | - | 1 | - | 2 | - | - | 1 | - |
| Гипертензионно-гидроцефальный | 4 | 3,4 | - | - | - | 2 | - | - | 1 | 1 |
| Психоэмоциональные нарушения | 3 | 2,5 | - | - | 1 | - | - | - | 2 | - |
| Нарушение поверхностной/глубокой чувствительности | 2 | 1,7 | - | - | - | 1 | - | - | - | 1 |
| Общее число | 119 | 100 | 26 | 12 | 8 | 30 | 4 | 11 | 19 | 9 |

ЦИ - центральных извилин, ГО – гигантские опухоли, ПТ – передние отделы таламуса, ЗТ – задние отделы таламуса, МТ – медиальные отделы таламуса, ТП – таламопедункулярная область, ЗрТ – зрительный тракт, РОПУ – распространенные опухоли подкорковых узлов

Отдельно проанализирована динамика двигательных функций: улучшение мышечной силы отмечалось у 32 (26,8%) пациентов; дооперационный двигательный статус у 41 (34,5%) пациента; временное нарастание дефицита с регрессом нарастших двигательных нарушений ко дню выписки у 9 (7,6%) пациентов; стойкий двигательный дефицит у 37 (31,1%) пациентов при выписке. Положительным исходом операции расценивалось улучшение двигательных функций и двигательный статус равный дооперационному, $n=73$ (61,3%), это обусловлено высоким процентом пациентов без дооперационного пареза (43,6%).

Динамика двигательного дефицита после операции в зависимости от гистологии опухоли показана на рисунке 5.9, от анатомического расположения на рисунке 5.10, от топографо-анатомической подгруппы опухоли на рисунке 5.11.

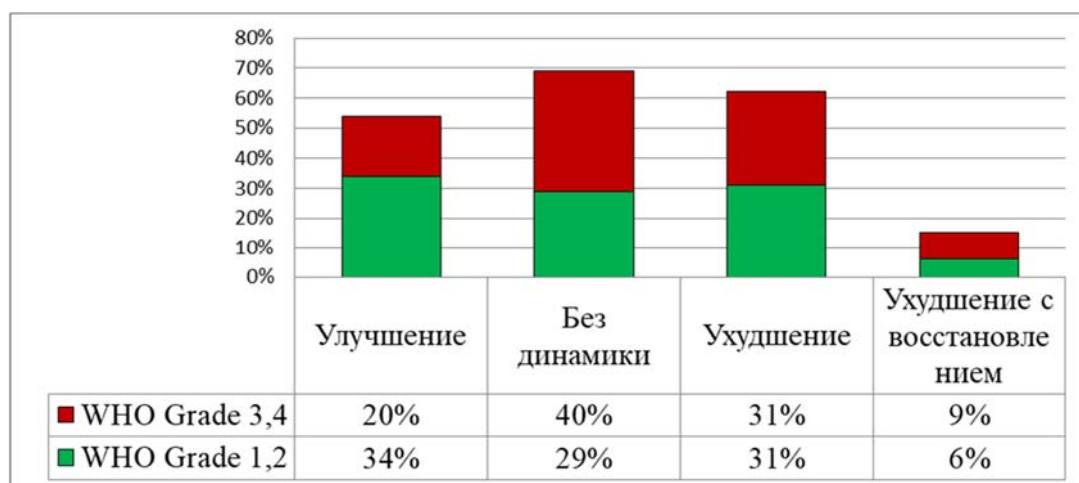


Рисунок 5.9 - Динамика двигательного дефицита в гистологических группах (процентные значения)

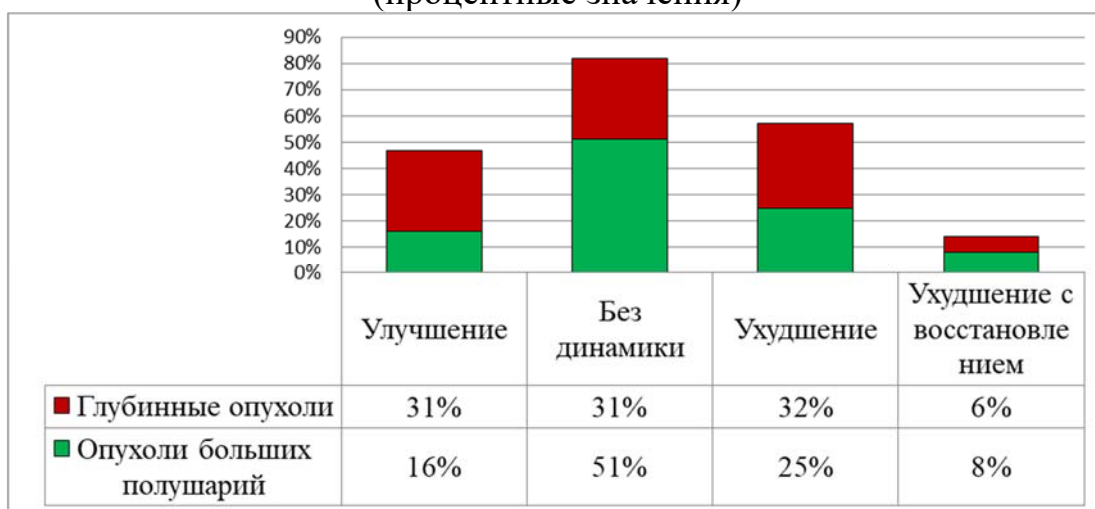


Рисунок 5.10 - Динамика двигательного дефицита в анатомических группах (процентные значения)

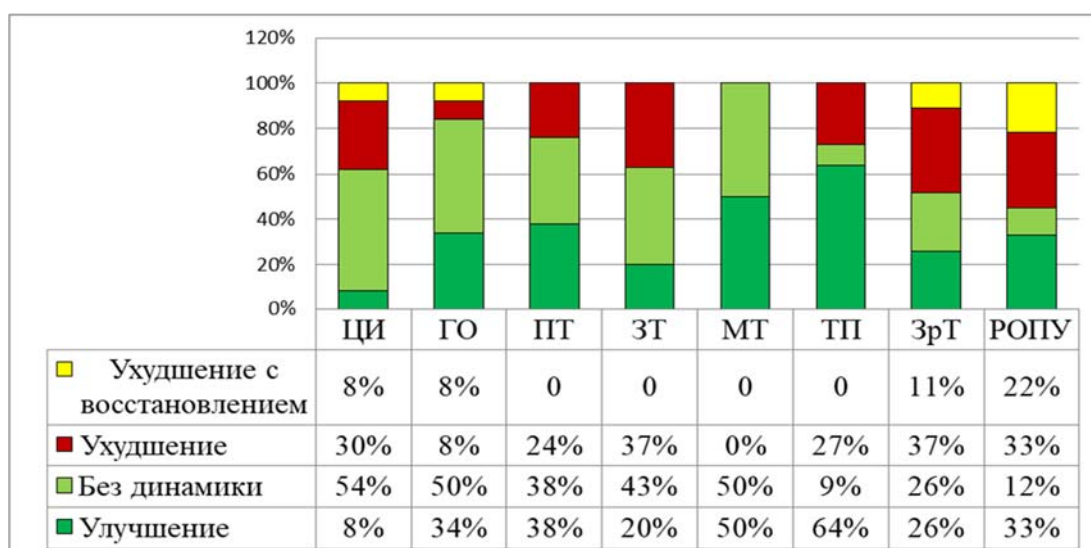


Рисунок 5.11 - Динамика двигательного дефицита в топографо-анатомических подгруппах (процентные значения). ЦИ - центральных извилин, ГО – гигантские опухоли, ПТ – передние отделы таламуса, ЗТ – задние отделы таламуса, МТ – медиальные отделы таламуса, ТП – таламопедункулярная область, ЗрТ – зрительный тракт, РОПУ – распространенные опухоли подкорковых узлов

Процент улучшений в раннем послеоперационном был выше в группе доброкачественных опухолей (34% против 20%). Частота развития стойкого пареза, по результатам статистического анализа, не зависела от гистологии удаленной опухоли (точный критерий Фишера, $p=0,2$).

Улучшение/сохранение двигательных функций в раннем послеоперационном периоде было выше после удаления гигантских опухолей полушарий (84%), глиом передних (76%) и медиальных отделов таламуса (100%), таламопедункулярных опухолей (73%). Меньший процент улучшения двигательных функций после операции отмечен в группе детей с опухолями области центральных извилин, у большинства этих пациентов функциональный статус не изменился (54%). Это объясняется исходно сохранным функциональным статусом этих детей (всего 27% с двигательными нарушениями).

Неблагоприятные по неврологическому исходу были пациенты с опухолями области центральных извилин (30% стойкого дефицита), глиомами задних отделов таламуса и зрительного тракта (по 37% в каждой подгруппе), РОПУ (33%). В задних отделах таламуса и при РОПУ преобладают инфильтративные злокачественные опухоли, плоскость диссекции при них зачастую отсутствует, что

создает риск повреждения КСТ интраоперационно. Глиомы зрительного тракта, напротив, являются преимущественно ПА. Предикторами нарастания двигательного дефицита при их резекции были: удаление рецидива опухоли (3 из 7 пациентов со стойким дефицитом); удаление опухоли без ИОМ или только с использованием ТК МВП (5 из 7 пациентов стойкого дефицита).

По результатам послеоперационного МРТ, в группе с усугублением двигательных функций, у 30 (81,1%) пациентов не отмечено очагов ишемии, у 7 (18,9%) выявлены локальные очаги ишемии в области прохождения КСТ в режиме DWI – у 5 пациентов после резекции полушарной опухоли (38 операций), у 2 после резекции глубинной опухоли (81 операция). Ухудшение двигательных функций после удаления полушарных опухолей часто обусловлено микрососудистыми нарушениями в области моторных зон, что подтверждают патологические изменения в режиме DWI послеоперационного МРТ, в отличие от группы глубинных глиом, что говорит о преимущественном прямом повреждении КСТ интраоперационно в этой топографо-анатомической группе ($p=0,014$, доверительный интервал 10-75%). Пример ишемии области прохождения КСТ после удаления полушарной анапластической плеоморфной ксантоастроцитомы (WHO grade 3) и пилоидной астроцитомы передних отделов таламуса (WHO grade 1) представлен на рисунке 5.12.

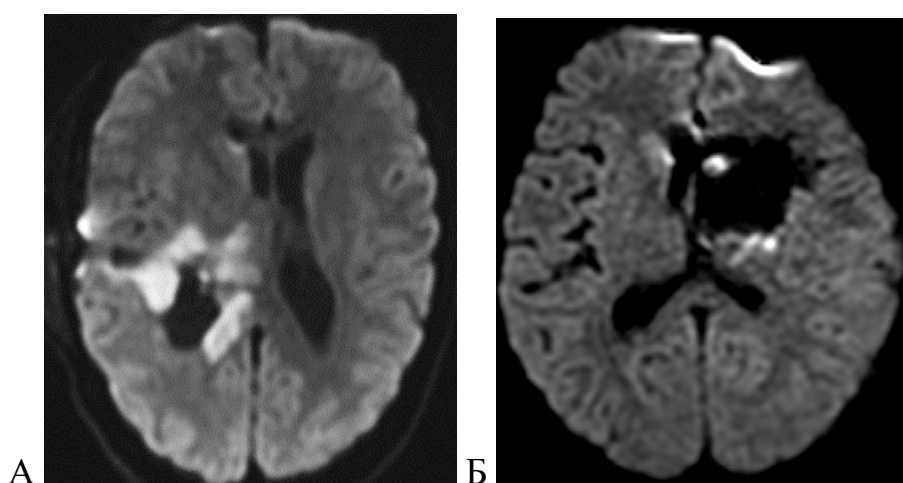


Рисунок 5.12 - А – послеоперационное МРТ головного мозга, DWI-последовательность в аксиальной проекции. Ишемия области прохождения КСТ на уровне лучистого венца; Б - послеоперационное МРТ головного мозга, DWI-последовательность в аксиальной проекции. Ишемия области прохождения КСТ на уровне внутренней капсулы

Проведено соотношение послеоперационного функционального статуса и МР-трактографии. Из 45 пациентов с проведенной МР-трактографией, у 3 пациентов наблюдался стойкий неврологический дефицит после операции, из них только у 1 из 3 пациентов наблюдалось снижение целостности КСТ в режиме фракционной анизотропии по сравнению с результатами дооперационной МР-трактографии.

Были проанализированы неврологические исходы в зависимости от объема использованного ИОМ. В группе без использования ИОМ (n=24) в 58,3% случаев наблюдалось возникновение стойкого послеоперационного двигательного дефицита, при использовании только ТК МВП (n=28) у 39,2%. При использовании всего объема ИОМ (n=67) процент стойкого двигательного дефицита был низким (16,4%) (Рисунок 5.13). Применение расширенного протокола ИОМ сокращает вероятность развития двигательного дефицита и увеличивает процент улучшения функционального статуса после операции, по сравнению с группами использования только ТК МВП и без ИОМ (критерий Мак-Немара, $p < 0,001$).

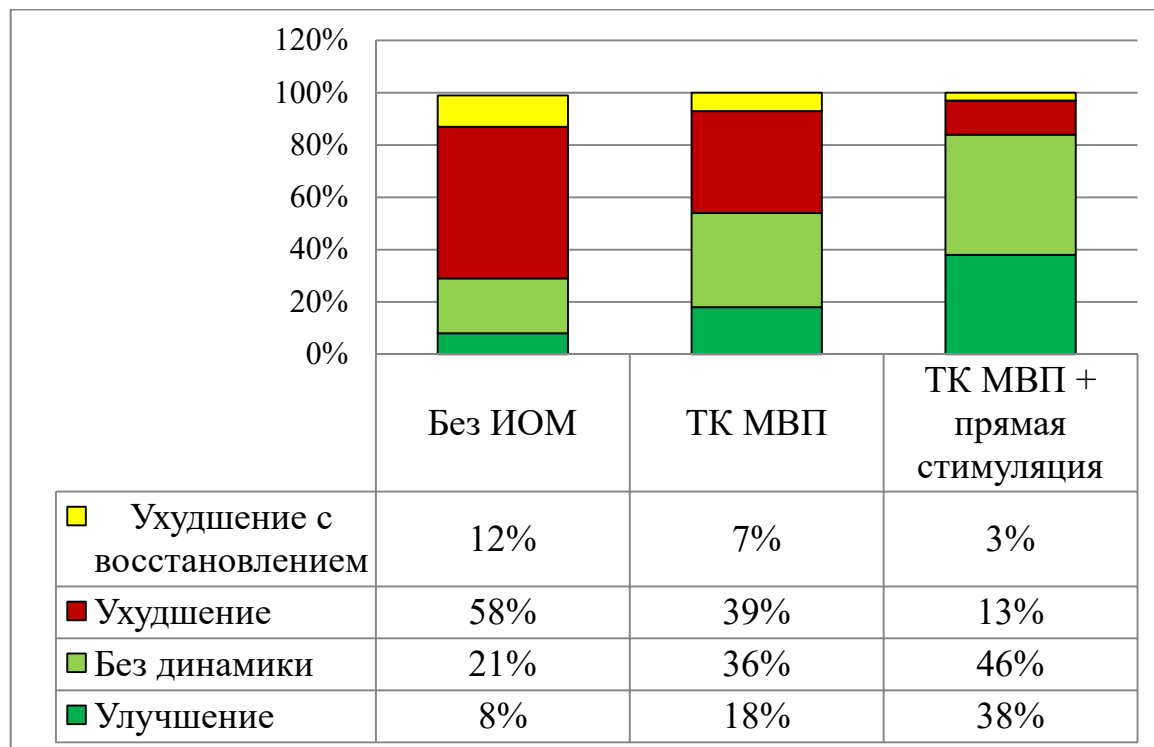


Рисунок 5.13 - Зависимость динамики двигательного дефицита от объема ИОМ (в процентном соотношении)

5.4 Роль комплексного интраоперационного нейрофизиологического мониторинга функционального состояния пирамидного тракта в радикальности резекции и сохранении двигательного статуса у детей

Транскраниальные моторные вызванные потенциалы

В ходе резекции ТК МВП использованы у 95 пациентов. Оцениваемыми параметрами являлись: устойчивость получения ТК МВП на момент начала операции и их амплитуда, воспроизводимость полученных МВП на момент начала операции, устойчивость ТК МВП во время операции, динамика ТК МВП в ходе резекции опухоли и к концу операции. Перечисленные параметры ТК МВП соотнесены путем многофакторного анализа с различными переменными пациентов, основными являлись возраст ребенка, топографическая группа глиом и функциональный статус до и после операции (Таблица 5.2).

Изначальное отсутствие регистрируемых МВП до начала резекции, при сохранном функциональном статусе ребенка, отмечено у 2 пациентов. В обоих случаях это были крупные глубинные опухоли различной степени злокачественности (grade 1 и 4) у пациентов разного возраста (2 и 14 лет). При удалении большей части опухоли в 1 случае ТК МВП частично появились от исследуемых групп мышц.

Произведена оценка зависимости функционального статуса до операции и амплитуды ТК МВП на момент начала операции. У 93 (97,8%) пациентов получены исходные МВП, у 75 (80,6%) пациентов зарегистрирована стандартная амплитуда, у 18 (19,4%) пациентов отмечена низкая амплитуда вызываемых МВП. Стандартная воспроизводимость ТК МВП – получение устойчивых потенциалов от всех групп мышц на стандартной силе тока ТК МВП (40-60 мА), отмечалась у большинства пациентов (n=76, 81,7%). Сниженная воспроизводимость ТК МВП в начале операции отмечена у 17 (18,3%) пациентов, наблюдались такие явления как – разница амплитуды МВП от верхних и нижних конечностей с одной/с двух сторон, от проксимальных и дистальных мышц в пределах одной конечности.

Было выявлено, что топография глиом и их гистология не влияют на стабильность получаемых МВП в начале операции (точный критерий Фишера,

$p > 0,9$, $p = 0,6$, соответственно), а преобладание низкой амплитуды и сниженная воспроизводимость ТК МВП при глубинных опухолях в абсолютных значениях обусловлено общим преобладанием данных опухолей в исследуемой группе.

Наличие пареза любой степени выраженности до операции статистически значимо влияет на получаемые ТК МВП до начала резекции – наблюдается низкая амплитуда МВП (точный критерий Фишера, $p = 0,008$) или же их сниженная воспроизводимость (точный критерий Фишера, критерий согласия Пирсона, $p = 0,028$). При этом выявлено, что возраст ребенка не влияет на амплитуду получаемых МВП, но достоверно чаще сниженная воспроизводимость МВП наблюдается у детей до 5 лет (точный критерий Фишера, критерий согласия Пирсона, $p = 0,026$).

Таблица 5.2 - Зависимость амплитуды исходных ТК МВП и их воспроизводимости от параметров пациента

| Изучаемое явление | | Амплитуда ТК МВП на момент начала операции | | Сниженная воспроизводимость МВП (n(%)) |
|------------------------------|----------------|--|-----------------------|--|
| Дооперационная мышечная сила | | Нормальная (n(%)), n = 75 | Низкая (n(%)), n = 18 | Общее число, n = 17 |
| | Пареза не было | 39 (90,7%) | 4 (9,3%) | |
| | Парез был | 36 (72%) | 14 (28%) | 14 (82,4%) |
| Возраст ребенка | | | | |
| | 0-5 лет | 16 (64%) | 9 (36%) | 9 (52,9%) |
| | 5-12 лет | 34 (85%) | 6 (15%) | 6 (35,3%) |
| | 13-18 лет | 25 (89,2%) | 3 (10,8%) | 2 (11,8%) |
| Топография опухоли | | | | |
| | Полушарная | 21 (80,8%) | 5 (19,2%) | 2 (11,8%) |
| | Глубинная | 54 (80,6%) | 13 (19,4%) | 15 (88,2%) |

Проанализирована динамика изменения полученных ТК МВП в ходе резекции опухоли у 93 пациентов и описана следующим образом:

1. Снижение без восстановления к концу операции: снижение модальности ТК МВП на 10% и более без восстановления к концу операции – 31 (33,3%) пациент;

2. Снижение с исчезновением к концу операции: ТК МВП получены в начале операции, полная редукция во время или к концу резекции опухоли - 12 (12,9%) пациентов;

3. Снижение с восстановлением к концу операции: снижение модальности ТК МВП на 10% и более с полным восстановлением к концу операции - 9 (9,7%) пациентов;

4. Нормальные МВП во время резекции: МВП стабильные за время удаления опухоли – 41 (44,1%) пациент.

Группы 1 и 2 были обозначены как «отрицательные явления по динамике ТК МВП», 3 и 4 группы «положительные явления по динамике ТК МВП».

Функциональные исходы представлены в 3 группах: с увеличением мышечной силы (n=29), без нарастания дефицита (n=44), перманентное нарастание дефицита (n=17). Группа пациентов с временным нарастанием двигательного дефицита, во время операции у которых были использованы ТК МВП, составили 3 пациента, для удобства представления данных были добавлены к группе «без нарастания неврологического дефицита» и общее количество группы составило 47 пациентов.

Динамика изменения ТК МВП в функциональных группах после операции представлена на рисунке 5.14.

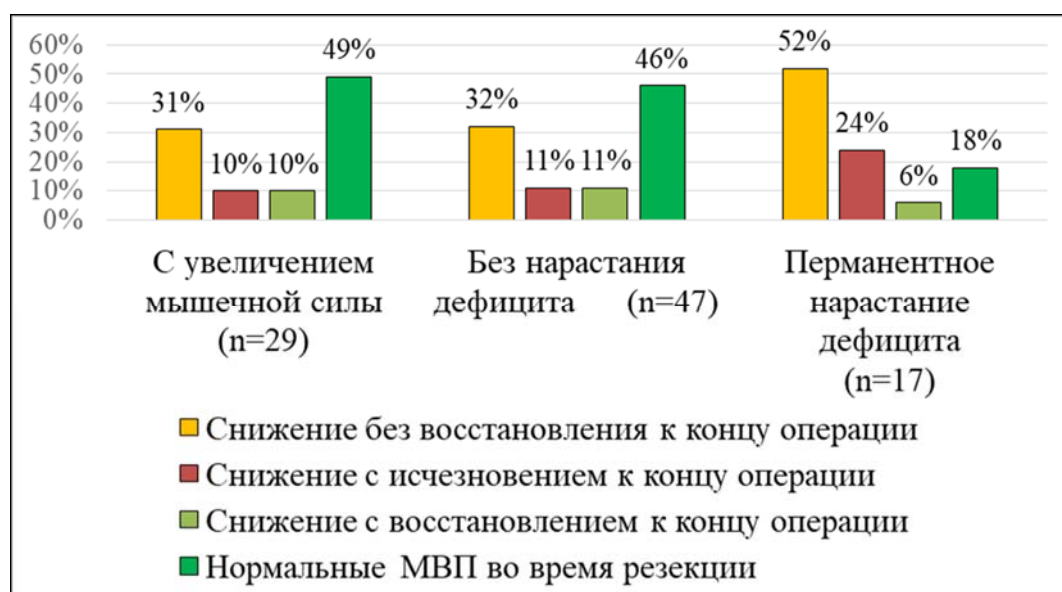


Рисунок 5.14 - Динамика изменения ТК МВП в зависимости от двигательного статуса после операции (процентное соотношение)

Положительная динамика по модальности ТК МВП наблюдалась у 50 (53,8%) пациентов, в большей степени отмечалась в группах со стабильным функциональным статусом (57,4% в группе) и у детей с улучшением мышечной силы после операции (58,6% в группе).

Отрицательная динамика по модальности ТК МВП отмечена у 43 (46,2%) пациентов, чаще наблюдалась в группе с развитием перманентного ухудшения двигательных функций (76,5% в группе).

Перманентный двигательный дефицит развился у 17 пациентов, из них у 13 наблюдалась отрицательная динамика по модальности, у 4 пациентов - положительная.

Таким образом, из 43 пациентов с отрицательной динамикой по модальности, лишь у 13 (30,2%) пациентов реализовался стойкий двигательный дефицит. Часто редукция или снижение амплитуды ТК МВП сопровождалась удалением больших размеров опухоли и западением мозга, что является известным фактором, влияющим на получаемые МВП.

На основании представленных данных было выявлено, что метод ТК МВП обладает 76% чувствительностью, 61% специфичности к развитию стойкого двигательного дефицита, но не имеет достоверной значимости в прогнозировании ближайших неврологических исходов (точный критерий Фишера, $p=0,3$).

Субкортикальная прямая стимуляция

Группа с применением расширенного протокола ИОМ (ТК МВП и прямая стимуляция) составила 67 пациентов, была разделена эмпирически на подгруппы в зависимости от силы тока прямой стимуляции в конце резекции (Рисунок 5.15).

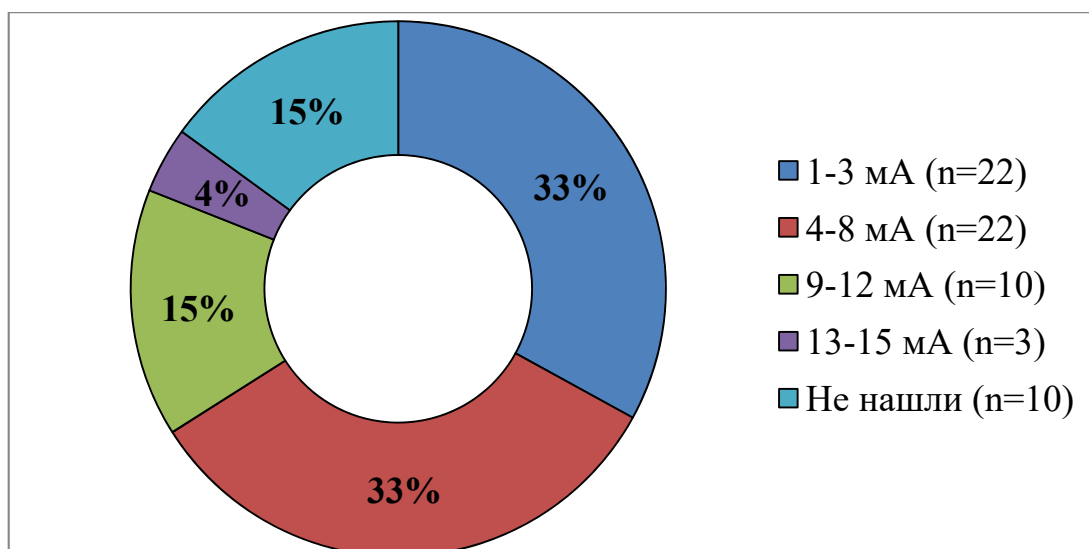


Рисунок 5.15 - Распределение пациентов в зависимости от силы тока прямой стимуляции (процентное соотношение)

Пороговая сила тока (ПСТ) – именно этот показатель оценивался, когда по мнению оперирующего хирурга весь объем опухоли был удален, фиксировался на минимальных значениях мА (методика описана в главе «Материалы и методы»). Значение ПСТ определялось только биполярным зондом прямой стимуляции.

Весь объем ИОМ использован у 25 пациентов с полушарной опухолью (65,8% из всех полушарных) и у 42 пациентов с глубинной опухолью (51,9% из всех глубинных).

При прямой стимуляции в конце удаления опухоли у 54 из 67 (80,5%) пациентов МВП получены на силе тока 1-12 мА. Сила тока в конце резекции в пределах 1-3 мА зафиксирована у 22 (32,8%) пациентов, 4-8 мА у 22 (32,8%) пациентов, на 9-12 мА у 10 (14,9%) пациентов, 13-15 мА у 3 (4,6%) пациентов. В 10 (14,9%) случаях КСТ не был идентифицирован посредством прямой стимуляции. Максимальная сила тока составила 15 мА.

В 10 случаях при монополярной непрерывной стимуляции МВП не получены, но биполярным зондом КСТ лоцирован у всех на токе ниже 5 мА. При монополярной стимуляции ток подается радиально, в виду чего хирургический доступ и угол операционной атаки может влиять на получение МВП в ходе непрерывного картирования КСТ, тогда как при биполярной стимуляции МВП фиксируется между двумя электродами зонда вне зависимости от направления.

Среди 10 пациентов у 8 были глубинные опухоли, которые резецированы транскаллезным доступом. Двое других пациентов были из группы опухолей области центральных извилин. Во всех случаях угол операционной атаки мог повлиять на получение МВП монополярной стимуляцией. Представленные результаты оправдывают обязательное применение обоих методов – моно- и биполярной прямой стимуляции.

Дополнительно исследована зависимость полученных ТК МВП в начале операции и факт нахождения КСТ в глубине раны. Было выявлено, что при стабильных инициальных ТК МВП достоверно чаще пирамидный тракт лоцируется прямой стимуляцией (точный критерий Фишера, $p=0,004$), при этом статистически значимого влияния изменения амплитуды ТК МВП в ходе удаления опухоли на получение МВП прямой стимуляцией выявлено не было (точный критерий Фишера, $p=0,2$).

Проанализирована зависимость полученной пороговой силы тока в конце удаления и факт идентификации КСТ во время операции в зависимости от возраста пациентов (Рисунок 5.16).

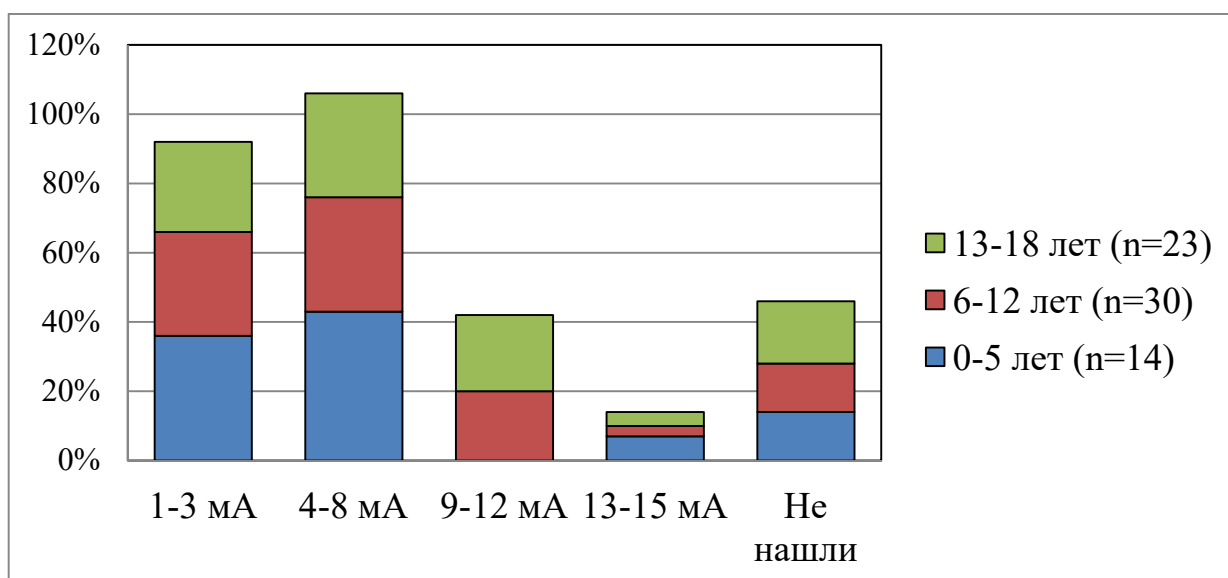


Рисунок 5.16 - Зависимость силы тока прямой биполярной стимуляции от возраста пациента (процентные значения)

Обращает на себя внимание, что у детей до 5 лет преобладала сила тока прямой стимуляции до 8 мА (11 из 14 пациентов, 78,6%), тогда как в других

подгруппах распределение силы тока более равномерно. Это объясняется превалированием у детей до 5 лет гигантских опухолей полушарий (n=9, 75% от всех гигантских, 24% в группе) и РОПУ (n=7, 77,8% от всех РОПУ, 19% в группе). МВП при прямой стимуляции не получены в 10 случаях – у детей до 5 лет в 14%, с 6 до 12 лет в 14% и у детей с 13 по 18 лет в 18% в возрастной группе. Таким образом, возраст детей не влиял на получение МВП прямой стимуляцией в глубине раны.

Проведено соотношение стороны смещения КСТ по результатам МР-трактографии и области получения МВП прямой стимуляцией. В 44 из 45 случаев МВП от двигательного пути во время операции получены из области, соответствовавшим данным МР-трактографии. В 1 случае дооперационная стандартная МР-трактография не выстроила ход волокон, ТК МВП не регистрировались с начала операции и прямое картирование двигательных проводников не локализовало КСТ в глубине раны.

Проанализирована зависимость радикальности операции от силы тока прямой биполярной стимуляции в конце резекции опухоли (Рисунок 5.17).

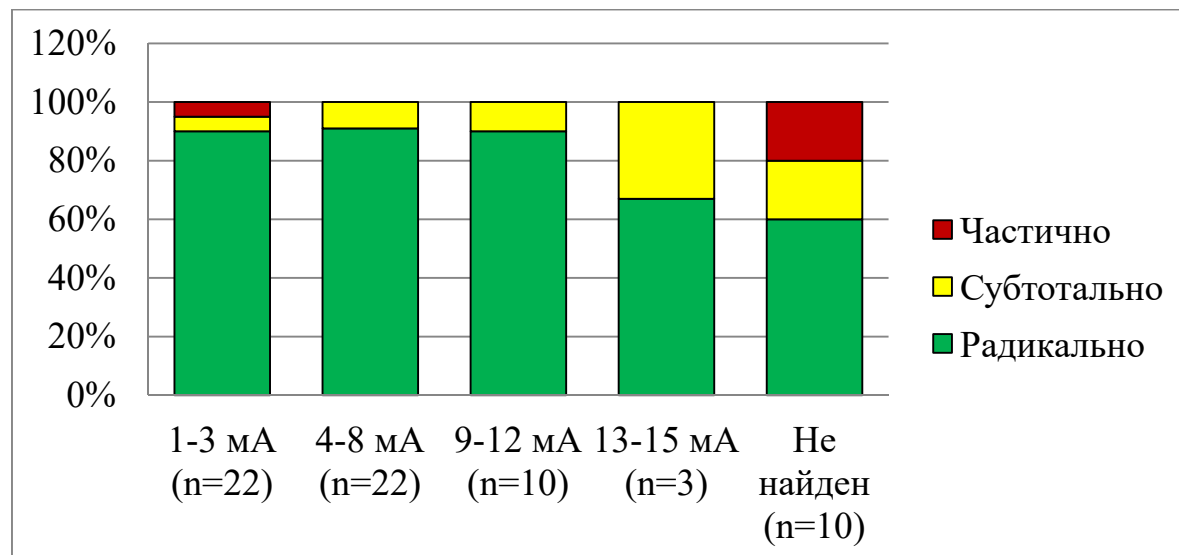


Рисунок 5.17 - Радикальность удаления опухолей в зависимости от силы тока прямой биполярной стимуляции

При радикальной резекции сила тока прямой биполярной стимуляции в конце резекции составляла ниже 3 мА: при удалении глиом зрительного тракта (78% в группе), таламопедункулярной области (100%), в большинстве случаев

гигантских опухолей полушарий (67%) и при крупных опухолях таламуса (30%). В одном наблюдении инфильтративной РОПУ, операция ограничилась субтотальным удалением при получении МВП на токе 3 мА. 1 частичное удаление распространенной пилоидной астроцитомы подкорковых узлов, где проведен один из двух запланированных этапов резекции.

Сила тока от 4 до 8 мА зафиксирована при радикальном удалении опухолей области центральных извилин (44%), которые смещали КСТ по контуру опухоли; у пациентов с опухолями таламуса, деформирующими прилежащие мозговые структуры (39%) и гигантскими полушарными опухолями (33%). 2 случая субтотального удаления – злокачественные опухоли таламуса;

Регистрация тока от 9 до 12 мА наблюдается при радикальном удалении опухолей области центральных извилин, исходным местом роста которых были соседние доли мозга и смещали КСТ кпереди или кзади (50%). Одна субтотальная резекция таламопедункулярной опухоли.

Сила тока от 13 до 15 мА фиксирована при радикальной резекции компактных опухолей таламуса (31%) без деформации прилежащих мозговых структур. 1 случай субтотального удаления диффузной опухоли подушки зрительного бугра.

Пирамидный тракт не был лоцирован у 10 детей (8 – глубинные опухоли, 2 – области центральных извилин). В 6 случаях опухоль удалена радикально (60%), 2 субтотально (20%) и 2 частично (20%).

Отсутствие МВП от пирамидного тракта в глубине раны в исследуемой группе являлось предиктором не радикального удаления опухолей (точный критерий Фишера, $p=0,02$). Чаще это были пациенты с инфильтративными глубинными опухолями. В этих случаях, для сохранения функционального статуса, попытки радикального удаления опухоли не проводились.

Полученные данные были проанализированы отдельно в зависимости от топографо-анатомической подгруппы опухолей (Рисунок 5.18).

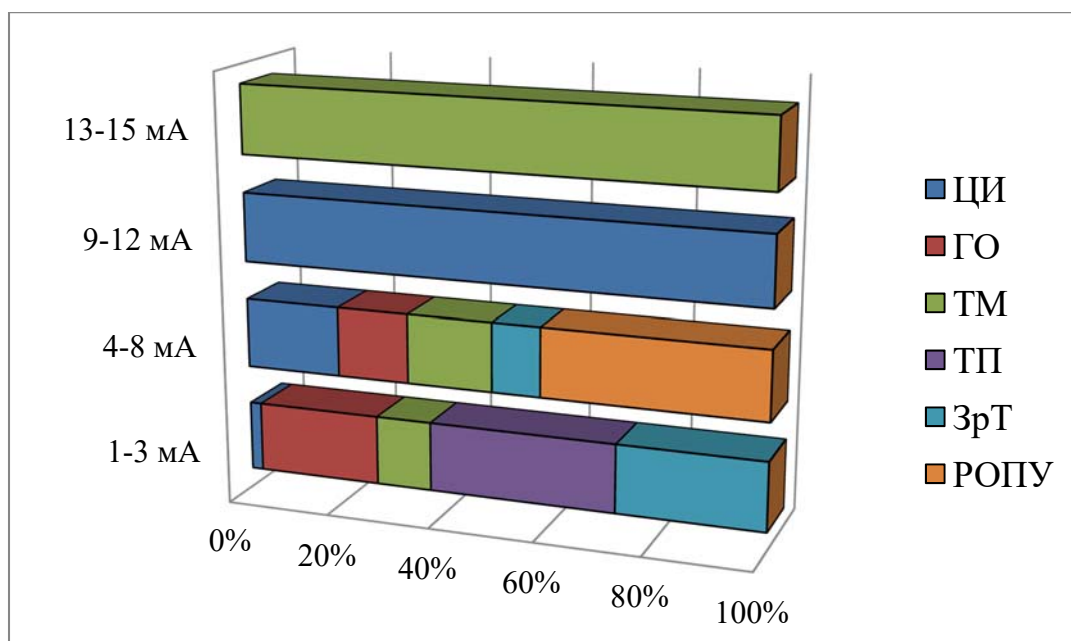


Рисунок 5.18 - Пороговая сила тока биполярной стимуляции в топографо-анатомических группах опухолей. ЦИ - центральных извилин, ГО – гигантские опухоли, ТП – передние отделы таламуса, ЗТ – задние отделы таламуса, МТ – медиальные отделы таламуса, ТП – таламопедункулярная область, ЗрТ – зрительный тракт, РОПУ – распространенные опухоли подкорковых узлов

До анализа результатов стоит обратить внимание, что только опухоли таламопедункулярной области (ТП) и зрительного тракта (ЗрТ) занимают преимущественно один «нейрофизиологический коридор», тогда как остальные топографо-анатомические группы по два, а глиомы таламуса - три коридора.

Все полушарные опухоли удалены радикально. Пороговая сила тока отличалась в зависимости от места исходного роста и размеров опухоли, не зависела от гистологии глиом. В группе опухолей области центральных извилин, при смещении пирамидного тракта по контуру опухоли, МВП регистрировались на силе тока от 4 до 8 мА (44%), в одном случае ниже 3 мА (6%). При смещении КСТ кпереди/кзади МВП получены на токе 9-12 мА (50%). При гигантских опухолях у 67% МВП получены на токе менее 3 мА, у 33% на токе от 4 до 8 мА.

В группе опухолей таламуса пороговая сила тока значительно отличалась от размеров глиом. В 69% случаев фиксировалась ПСТ до 8 мА и наблюдалась при крупных глиомах таламуса с деформацией мозговых структур мозга. При

компактных опухолях таламуса, без деформации прилежащих структур, отмечена сила тока от 12 мА (31%).

При радикальном удалении опухолей таламопедункулярной области статистически значимо пороговый ток получения МВП составляет ниже 3 мА (100%), так же, как и при глиомах зрительного тракта (n=7, 78%).

В одном случае доброкачественная РОПУ была удалена радикально, в конце резекции фиксирована сила тока до 8 мА. В 2 случаях злокачественная РОПУ удалена субтотально, в обоих случаях отсутствовала четкая плоскость диссекции и резекция остановлена на силе тока 3 и 6 мА.

Топографо-анатомическое расположение глиом значительно влияет на пороговую силу прямой стимуляции. Стабильность ТК МВП до и во время резекции не влияла на пороговую силу тока прямой стимуляции (точный критерий Фишера, $p=0.2$) и, как уже было отмечено ранее, влияла лишь на нахождение КСТ прямой стимуляцией.

Попытки соотношения расстояния КСТ от «края опухоли» по данным МР-трактографии с пороговой силой тока прямой стимуляции не могут быть систематизированы. Было выявлено, что в большинстве случаев полушарных опухолей по данным МР-трактографии КСТ располагался по контуру опухоли. При опухолях таламуса, реже наблюдается расположение КСТ по контуру опухоли ввиду расположения смежных проводящих путей внутренней капсулы, тогда как при опухолях таламопедункулярной области, зрительного тракта и РОПУ пирамидный тракт всегда пролегает по контуру опухоли. При этом, если провести соотношение порогового тока – при глубоких опухолях со смещением КСТ по контуру опухоли наблюдается минимальные значения тока (до 3 мА), тогда как при смещении КСТ по контуру полушарной опухоли ПСТ составляет преимущественно 4-8 мА. Таким образом, можно говорить о пороговом токе лишь с учетом анатомической области КСТ – моторная кора, пирамидный тракт на уровне субкортикальной области, лучистого венца и внутренней капсулы может быть локализован путем получения МВП на токе 4-8 мА (Рисунок 5.19,5.21), тогда как на уровне ножки мозга пороговый ток составляет до 3 мА (Рисунок 5.20).

Ниже представлены клинические примеры получения пороговой силы тока прямой биполярной стимуляцией в различной анатомической области пирамидного тракта (Рисунок 5.19-5.21).

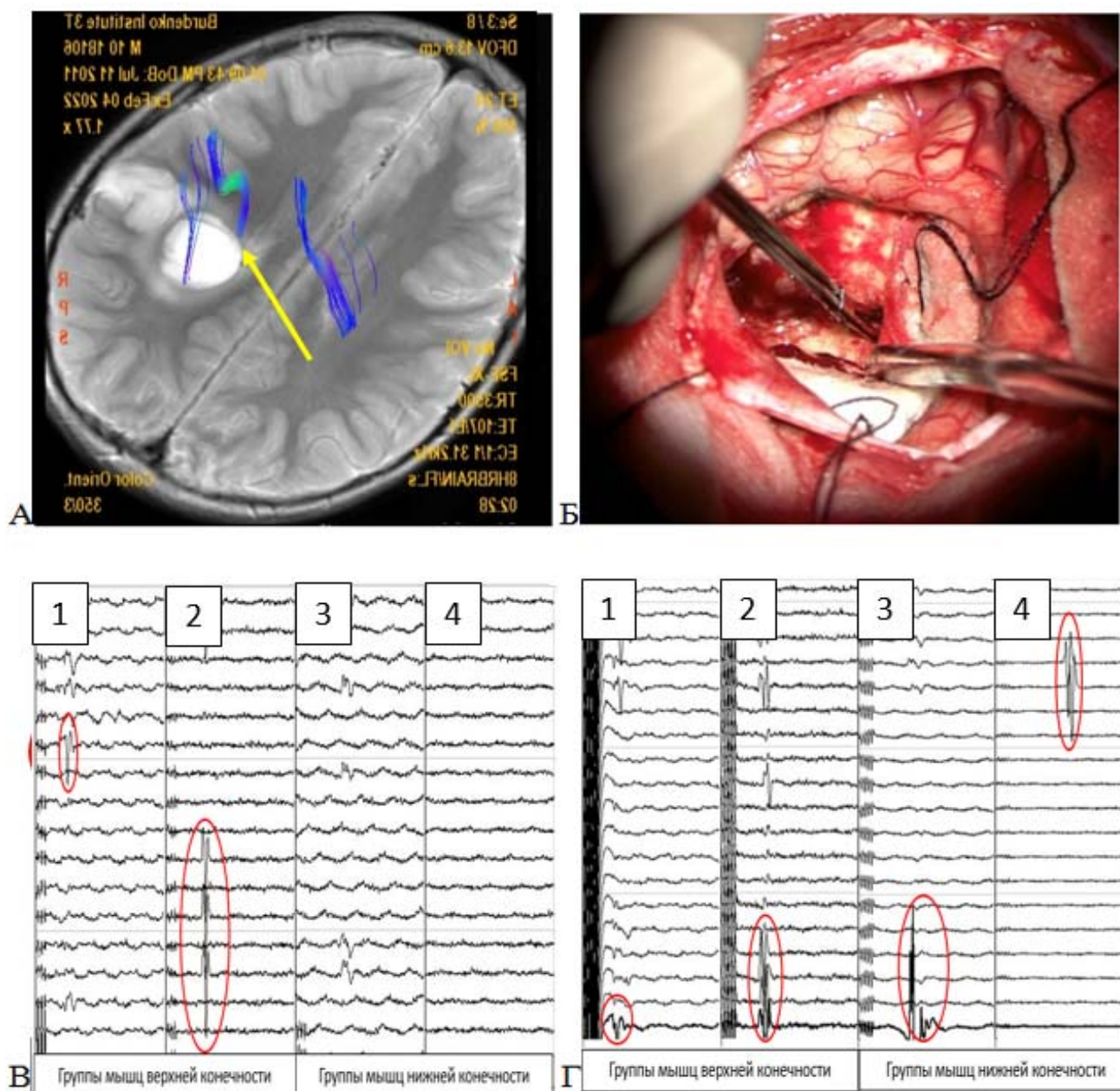


Рисунок 5.19 - Дизэмбриопластическая нейроэпителиальная опухоль, комплексная форма, WHO grade 1, области центральных извилин справа. Смещает КСТ по контуру опухоли (А, КСТ отмечен синим и красным цветом, стрелкой указано место получения МВП), при этом МВП от прямой стимуляции получены на токе 7 мА (Б, транскортикальный доступ) В – прямая биполярная стимуляция, МВП (выделено красным) от мышц руки слева на токе 7 мА; Г - транскраниальные моторные вызванные потенциалы, МВП (выделено красным) от всех групп мышц левых конечностей в конце операции. 1 канал – m.biceps brahii, 2 канал – m. tenar, 3 канал – m. tib. anterior, 4 канал – m. add. hallucis

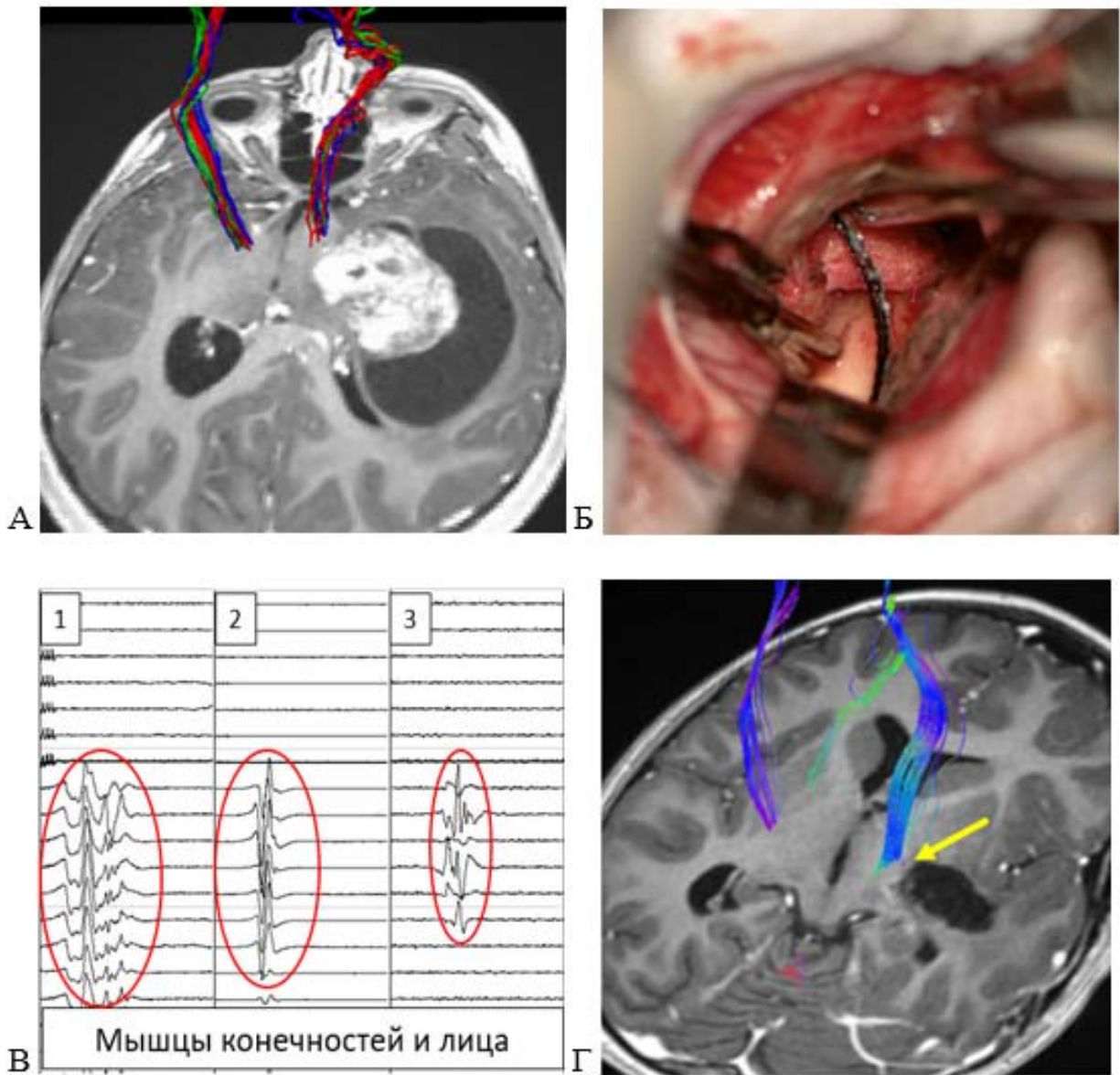


Рисунок 5.20 - Пилоидная астроцитома задних отделов зрительного тракта слева, WHO grade 1. КСТ (красный, зеленый, синий цвет) смещен медиально и кпереди, по контуру опухоли. МВП от прямой стимуляции получены на токе 1 мА (Б, височный трансхориоидальный доступ) от всех групп мышц;
 В – прямая биполярная стимуляция, МВП (выделено красным) от всех групп мышц справа на токе 1 мА. 1 канал – m. orbicularis oris, 2 канал – m. biceps brahii, 3 канал – m. biceps femoris; Г - послеоперационная CSD-HARDI МР-трактография в аксиальной проекции, T1-последовательность с контрастным усилением. Тотальное удаление опухоли, место получения МВП отмечено стрелкой

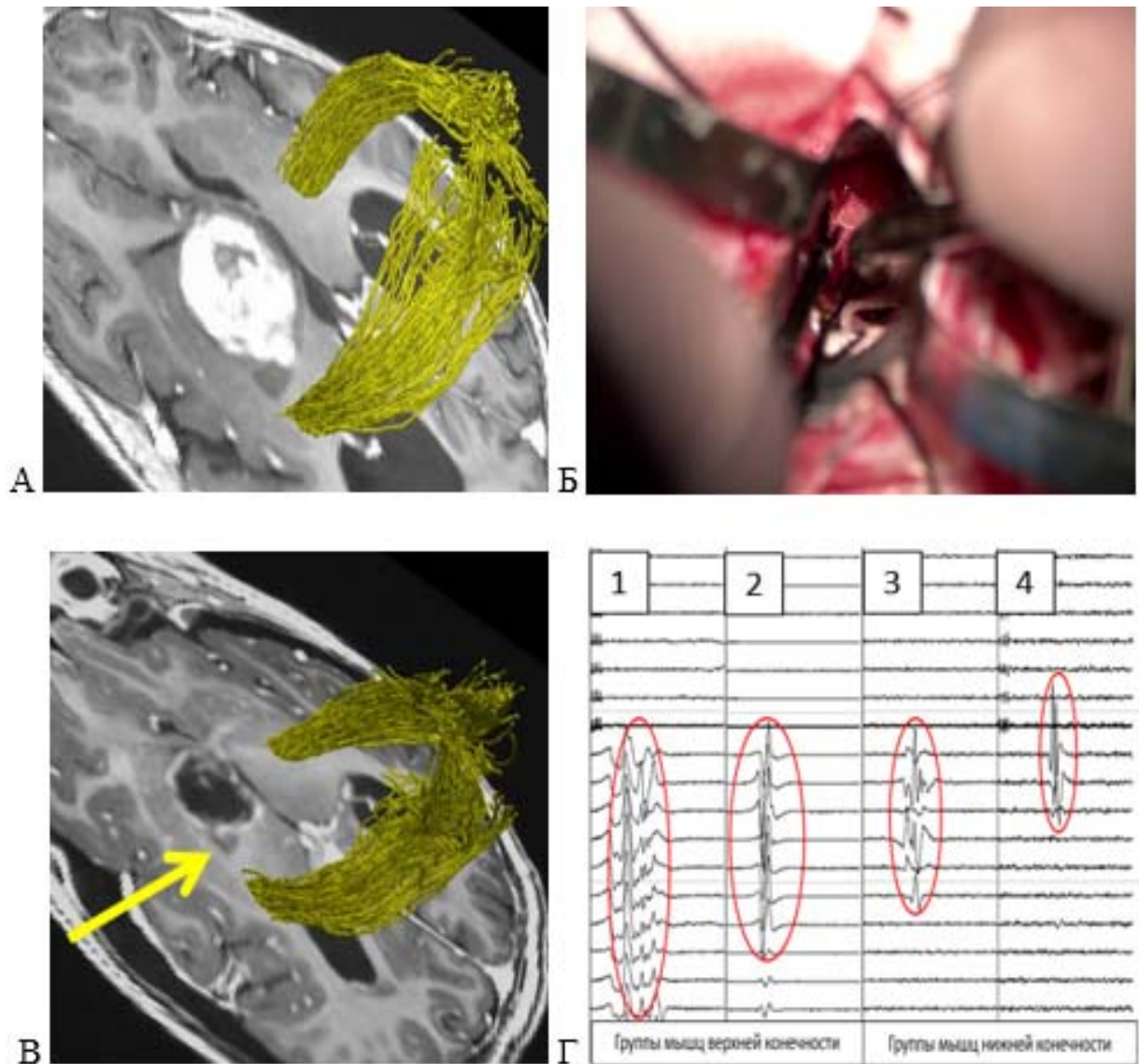


Рисунок 5.21 - Пилоидная астроцитома передних отделов таламуса слева, WHO grade 1. КСТ смещен дорсолатерально (А, КСТ отмечен желтым цветом), обращает на себя внимание достаточное расстояние от края опухоли до КСТ, наличие «мозговой полоски» между ними. При этом МВП от прямой стимуляции получены на токе 7 мА (Б, транскаллезный доступ);
 В - послеоперационная CSD-HARDI МР-трактография в аксиальной проекции, T1-последовательность с контрастным усилением. Тотальное удаление опухоли, место получения МВП отмечено стрелкой;
 Г – прямая биполярная стимуляция, МВП (выделено красным) от мышц руки и ноги справа на токе 7 мА. 1 канал – m.biceps brahii, 2 канал – m. tenar, 3 канал – m. tib. anterior, 4 канал – m. add. Halluces

Ниже представлены данные пороговой силы тока прямой стимуляции и сопровождаемый ей функциональный статус (Рисунок 5.22).

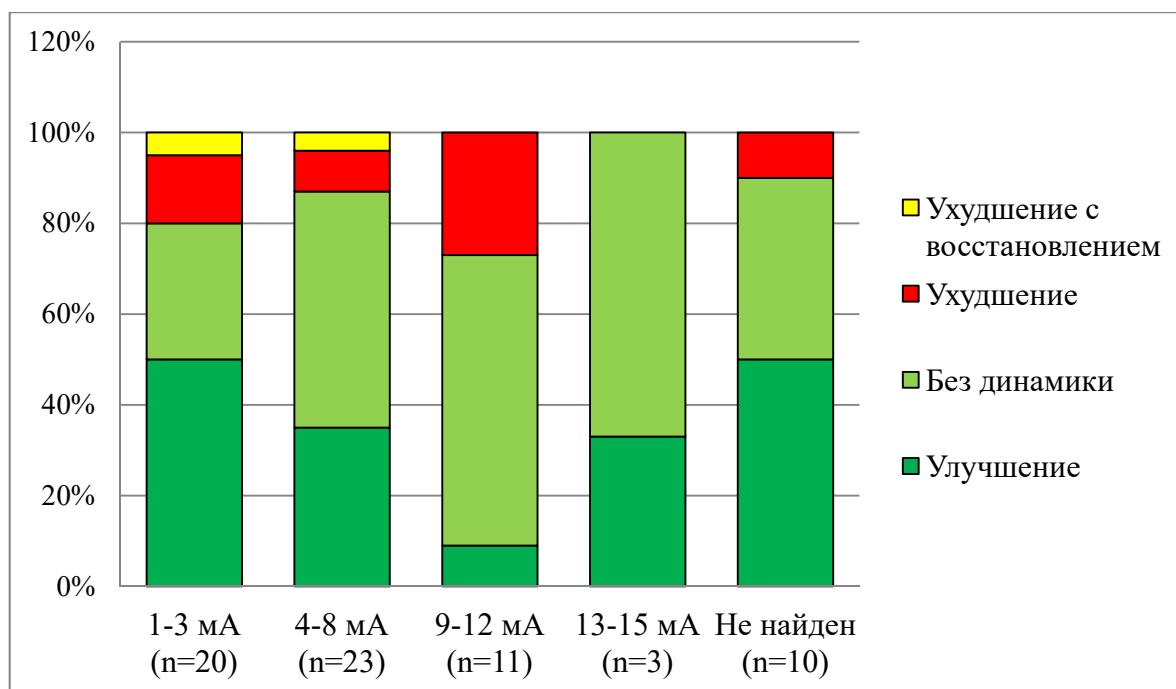


Рисунок 5.22 - Функциональный статус в группах пороговой силы тока прямой стимуляции (процентные значения)

Пациенты с ухудшением двигательных функций отмечены одинаково часто в различных группах ПСТ. Сила тока – это параметр, отображающий близость к КСТ во время операции - является показателем «электрофизиологического приближения». Он зависит от топографии опухоли, массы опухолевой ткани в глубине раны, направлении электродов зонда прямой стимуляции.

Идентификация КСТ прямой стимуляцией не говорит о сохранности функционального статуса. Данный тезис подтверждает 13,4% пациентов с развитием стойкого двигательного дефицита. Стойкий парез отмечался у 3 пациентов на силе тока до 3 мА – два удаления продолженного роста ПА зрительного тракта и злокачественной РОПУ; у 2 пациентов на токе от 4 до 8 мА – резекция РОПУ и опухоли области центральных извилин; у 3 пациентов на токе от 9 до 12 мА - в 2 случаях при удалении опухолей области центральных извилин и один пациент с крупной злокачественной глиомой таламуса. Важно отметить, что непрерывная прямая стимуляция КСТ позволяет локализовать функциональные зоны мозга и избежать повреждения пирамидного тракта даже при МВП на токе 1 мА.

5.5 Осложнения хирургического лечения

Специфические

Нами проанализированы причины усугубления двигательного дефицита и не радикального удаления опухолей при использовании МР-трактографии и комплексного протокола ИОМ.

Выполнение МР-трактографии и использование комплексного протокола ИОМ состояния пирамидного тракта (ТК МВП, прямая стимуляция КСТ) во время резекции опухолей, прилегающих к пирамидному тракту у детей, является максимальным объемом протекции пирамидного тракта. Ввиду этого проанализированы данные пациентов, которым резекция опухолей выполнена с использованием расширенного протокола ИОМ, но при этом наблюдалось ухудшение функционального статуса или не радикальное удаление опухоли.

В группе, с использованием комплексного протокола ИОМ (n=67), стойкое ухудшение двигательных функций наблюдалось у 9 (13,4%) пациентов. предоперационная МР-трактография была выполнена 4 пациентам. За основу взяты факторы, представленные в таблице (Таблица 5.3).

Таблица 5.3 - Параметры пациентов со стойким ухудшением двигательных функций, с использованием расширенного протокола ИОМ при удалении опухолей

| Пациент | Возраст, лет | ПУ | АР | Гистология | СТ | СИ КСТ | РО |
|---------|--------------|-----------|------|------------|----------|---------|----|
| 1 | 15 | Первичный | ЦИ | grade 4 | 12 мА | Не было | + |
| 2 | 10 | Рецидив | ЦИ | grade 2 | 12 мА | Не было | + |
| 3 | 11 | Первичный | ЦИ | grade 1 | 7 мА | - | + |
| 4 | 15 | Первичный | ЦИ | grade 1 | Не нашли | Не было | + |
| 5 | 11 | Первичный | РОПУ | grade 4 | 7 мА | Не было | - |
| 6 | 5 | Рецидив | РОПУ | grade 4 | 3 мА | Не было | - |
| 7 | 17 | Рецидив | ЗрТ | grade 1 | 1 мА | - | + |
| 8 | 11 | Первичный | ЗТ | grade 4 | 9 мА | + | - |
| 9 | 14 | Рецидив | ЗрТ | grade 1 | 0,5 мА | + | + |

Оцениваемые параметры: первичное удаление опухоли или удаление рецидива (ПУ), анатомическое расположение (АР), сила тока прямой биполярной стимуляции (СТ), степень истончения КСТ по данным предоперационной МР-трактографии (СИ КСТ, «+» если истончен, «-» не истончен, «не было» МР-трактография не выполнялась), радикальность операции (РО, «+» радикальное, «-» не радикальное удаление). ЦИ - центральных извилин, ГО – гигантские опухоли, ПТ – передние отделы таламуса, ЗТ – задние отделы таламуса, МТ – медиальные отделы таламуса, ТП – таламопедункулярная область, ЗрТ – зрительный тракт, РОПУ – распространенные опухоли подкорковых узлов

Значимых предикторов ухудшения двигательных функций не выявлено. 88,9% детей в группе с усугублением дефицита были старше 5 лет. На данный показатель, возможно, влияет общее преобладание в исследуемой группе детей старшего возраста (в основном 6-12 лет).

Так же исследованы причины не радикальной резекции. В группе с использованием всего объема ИОМ (n=67) не радикальное удаление опухоли выполнено 10 (14,9%) пациентам, дооперационная МР-трактографии выполнена пятерым из них (Таблица 5.4).

Таблица 5.4 - Параметры пациентов с не радикально удаленной опухолью, с использованием всего объема ИОМ при удалении опухолей

| Пациент | Возраст | ПУ | АР | Гистология | СТ | СИ КСТ | ФС |
|---------|---------|-----------|------|------------|-------------|---------|----|
| 1 | 5 | Рецидив | РОПУ | grade 4 | 3МА | Не было | - |
| 2 | 5 | Первичный | РОПУ | grade 1 | 2МА | + | + |
| 3 | 8 | Рецидив | ЗТ | grade 4 | 4МА | + | + |
| 4 | 5 | Первичный | ЗТ | grade 4 | 5МА | + | + |
| 5 | 11 | Первичный | ТП | grade 1 | 9МА | + | + |
| 6 | 3 | Первичный | ЗТ | grade 4 | 14МА | - | + |
| 7 | 9 | Первичный | МТ | grade 4 | Не нашли | Не было | + |
| 8 | 2 | Первичный | ЗрТ | grade 1 | Не нашли | Не было | + |
| 9 | 6 | Первичный | ЗТ | grade 4 | Не нашли | Не было | + |
| 10 | 8 | Первичный | ЗТ | grade 4 | Не нашли | Не было | + |

Оцениваемые параметры: первичное удаление опухоли или удаление рецидива (ПУ), анатомическое расположение (АР), сила тока прямой биполярной стимуляции (СТ), степень истончения КСТ по данным предоперационной МР-трактографии (СИ КСТ, «+» если истончен, «-» не истончен, «не было» МР-трактография не выполнялась), функциональный статус (ФС, «+» без ухудшения/улучшение двигательных функций, «-» ухудшение двигательных функций). ЦИ - центральных извилин, ГО – гигантские опухоли, ПТ – передние отделы таламуса, ЗТ – задние отделы таламуса, МТ – медиальные отделы таламуса, ТП – таламопедункулярная область, ЗрТ – зрительный тракт, РОПУ – распространенные опухоли подкорковых узлов

Проведено 7 субтотальных и 3 частичных резекций глубинных, в большинстве случаев инфильтративных (70%) опухолей, при этом функциональный статус не ухудшился/стал лучше (n=9, 90%). Сила тока прямой стимуляции является важным интраоперационным показателем, на который можно ориентироваться при резекции глубинной опухоли. Достоверной причиной

нерадикального удаления глубинной опухоли является гистология опухоли (злокачественные глиомы), даже при наличии предоперационной МР-трактографии и комплексного ИОМ ($p < 0.001$).

При резекции РОПУ с получением МВП в глубине раны только в одном случае отмечена радикальная резекция опухоли с улучшением двигательных функций (25%) – пилоидная астроцитома с предоперационной МР-трактографией. В 2 случаях удаления инфильтративной РОПУ отмечается не радикальная резекция с усугублением двигательного дефицита, в 1 случае распространенная пилоидная астроцитома удалена не радикально с улучшением двигательных функций. Ввиду этого следует воздержаться от попыток радикального удаления инфильтративной опухоли при получении МВП в глубине раны.

Неспецифические

После резекции глубинной опухоли ($n=81$) гидроцефалия персистировала в 4 (4,9%) случаях, и явилась причиной имплантации вентрикулоперитонеального шунта.

Гематома в ложе остатков РОПУ обнаружена на проведенной КТ головного мозга после операции в 1 (11,1% от всех резекций) случае, в связи с чем выполнена ревизия операционной раны.

Интраоперационно, при картировании коры головного мозга на силе тока 20 мА., развился эпилептический приступ в 1 (4%) из 25 случаев картирования области моторных зон.

5.6 Отдаленные неврологические исходы

Отдаленные неврологические исходы оценивались у пациентов со стойким двигательным дефицитом на момент выписки из стационара ($n=37$ пациентов). Контрольный осмотр проводился через 3 и 6 месяцев от дня выписки.

Катамнезу были доступны 24 пациента (64,8%), из них 16 (66%) пациентов с доброкачественной опухолью, 8 (34%) пациентов со злокачественной.

В 6 случаях опухоль прогрессировала, спровоцировала нарастание

двигательного дефицита, они были исключены из исследования. 7 пациентов были недоступны для оценки катамнеза.

В отдаленном периоде, у всех пациентов после операции наблюдалось улучшение двигательных функций. Дети разделены на группы в зависимости от функционального статуса через 6 месяцев от операции: частичное восстановление (<5 баллов) и полное восстановление двигательных функций (5 баллов).

Через 6 месяцев частичное восстановление двигательных функций наблюдалось у 13 (54,2%) пациентов, полное восстановление у 11 (45,8%) пациентов. Полное восстановление движений достоверно чаще наблюдалось у детей после резекции доброкачественных опухолей (n=10, 62,5% в группе), чем после резекции злокачественных (n=1, 12,5%) (точный критерий Фишера, p=0,033) (Рисунок 5.23).

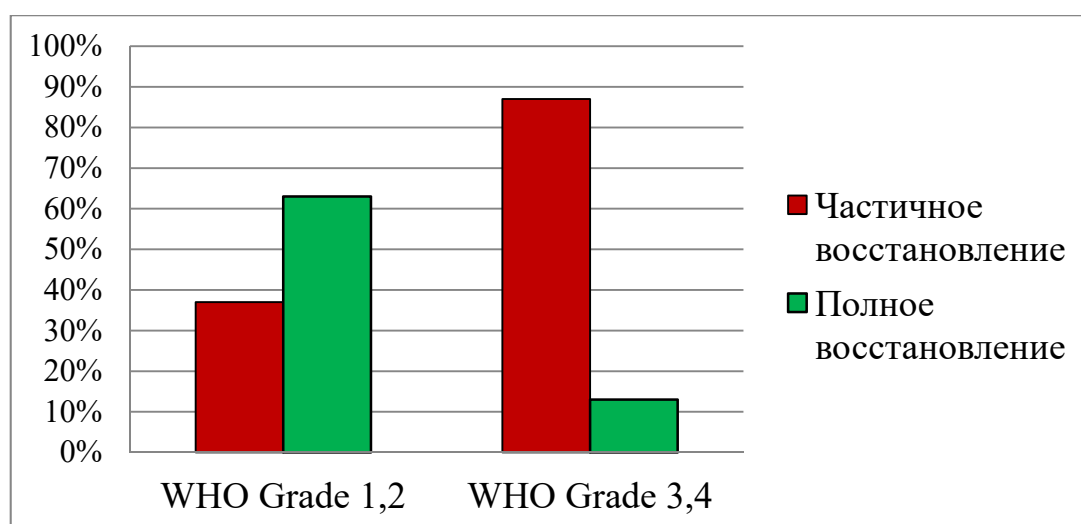


Рисунок 5.23 - Регресс двигательного дефицита в гистологических группах (процентное соотношение)

Дети, прооперированные по поводу опухолей глубинной локализации, составили большой процент катамнестических пациентов (17 пациентов, 70,8% соответственно). 35,3% этих пациентов восстановились полностью, у 64,7% двигательные функции восстановились частично.

Пациенты с опухолями больших полушарий, а именно области центральных извилин, восстановились полностью в 71,4% случаев, и преимущественно в пределах 1-2 месяцев после выписки (Рисунок 5.24, 5.25).

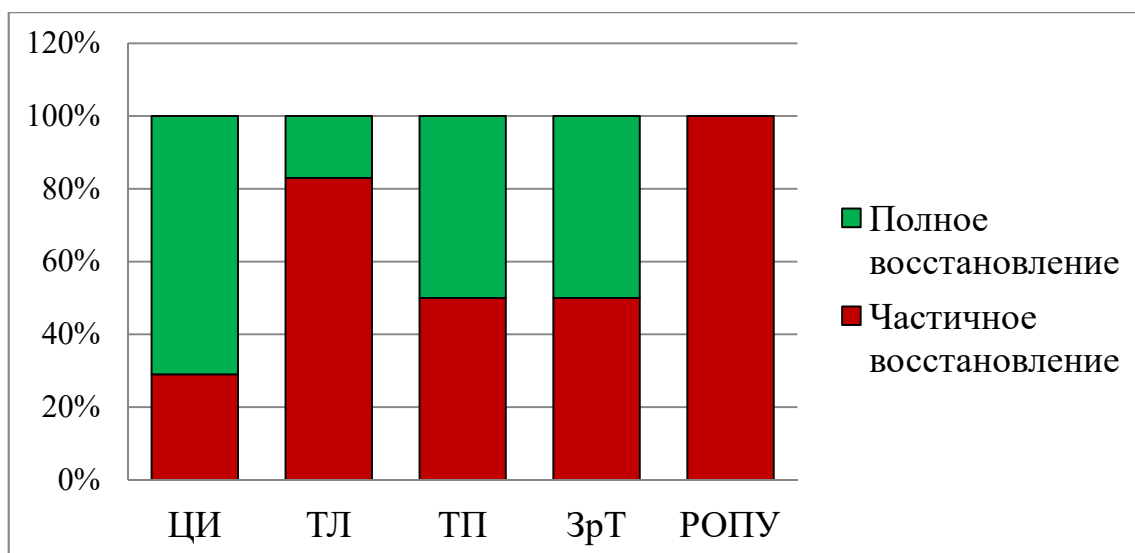


Рисунок 5.24 - Регресс двигательного дефицита в топографо-анатомических подгруппах (процентное соотношение). ЦИ-центральных извилин, ТЛ - таламус, ТП – талампедункулярная область, ЗрТ – зрительный тракт, РОПУ – распространенные опухоли подкорковых узлов

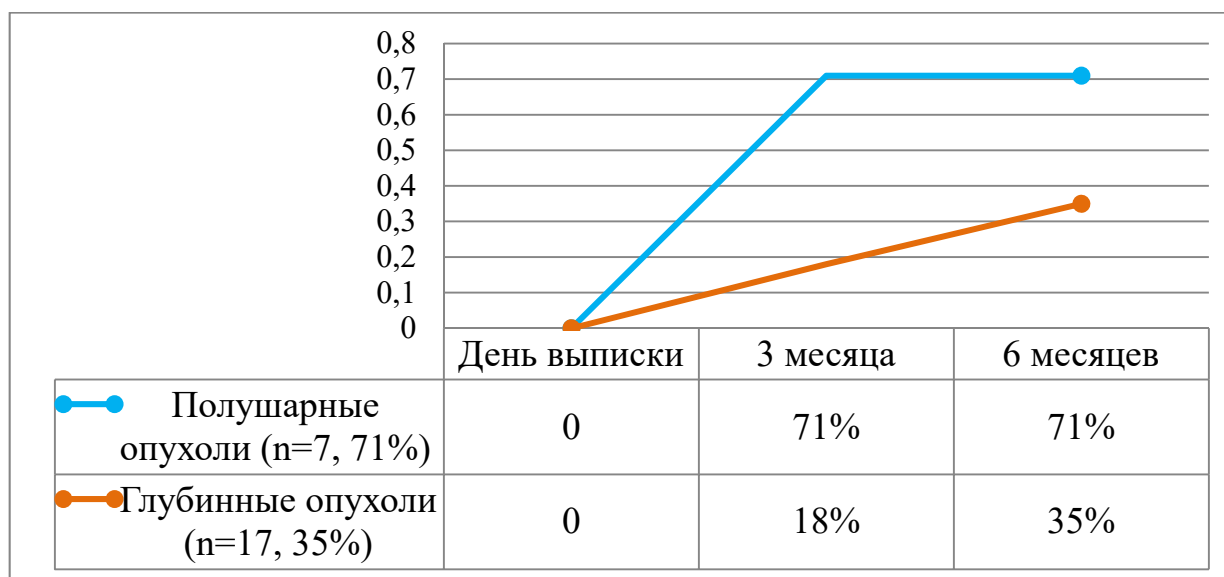


Рисунок 5.25 - Динамика регресса двигательного дефицита в анатомических группах (процентное соотношение). За точку «0» взят день выписки, указан процент полностью восстановившихся пациентов в группах

Значимого влияния возраста ребенка на отдаленные неврологические исходы выявлено не было (Рисунок 5.26).

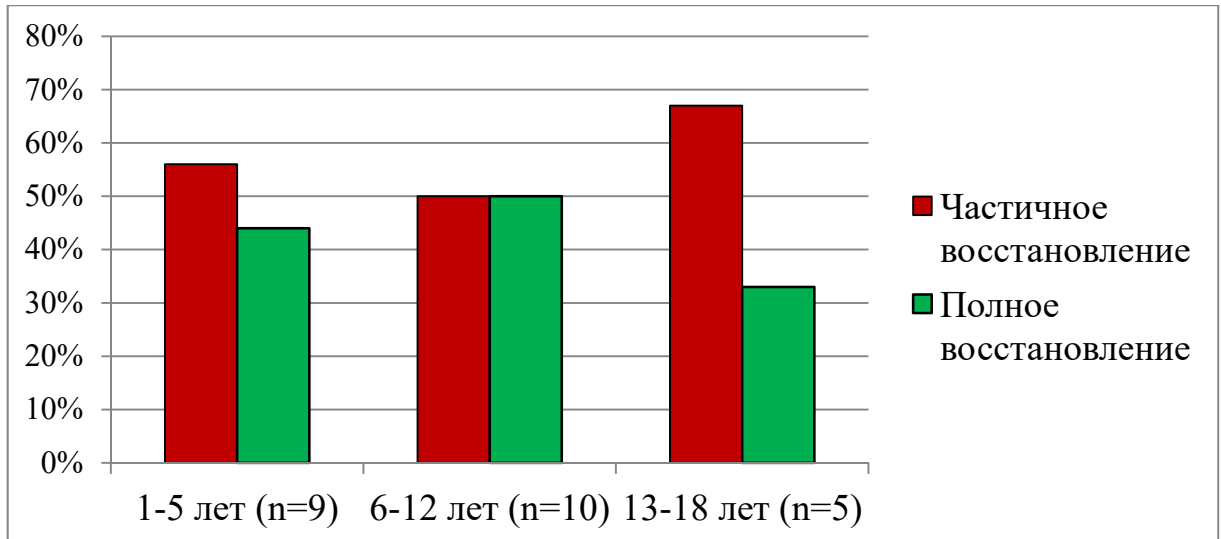


Рисунок 5.26 - Регресс двигательного дефицита в возрастных группах (процентное соотношение)

Дополнительно изучена динамика изменения показателей ТК МВП и возможная её прогностическая значимость в восстановлении двигательного статуса пациентов.

Амплитуда вызываемых ТК МВП на момент начала операции не влияла на отдаленные неврологические исходы (точный критерий Фишера, $p=0,3$). Было выявлено, что в группе детей с частичным восстановлением двигательного статуса чаще наблюдалась отрицательная динамика по ТК МВП – редукция (30%) без восстановления или полное исчезновение МВП без восстановления к концу операции (60%).

Важно отметить, что полная редукция МВП не была выявлена ни у одного пациента с полным восстановлением движений в катамнестической группе.

Таким образом, при развитии стойкого двигательного дефицита сразу после операции, прогностически неблагоприятным фактором для полного восстановления двигательных функций является частичная или полная редукция ТК МВП во время операции (точный критерий Фишера, $p<0,006$).

5.7 Резюме

Таким образом, неблагоприятные по неврологическому исходу и степени радикальной резекции были опухоли задних отделов таламуса, глиомы зрительного тракта и распространенные опухоли подкорковых узлов.

При этом выявлено, что при применении комплексного интраоперационного нейрофизиологического мониторинга возрастает радикальность резекции ($p < 0,05$) опухолей, прилегающих к пирамидному тракту, и сокращается вероятность развития двигательного дефицита ($p < 0,001$), чем при применении только ТК МВП или отсутствии интраоперационного мониторинга во время операции.

Двигательный дефицит до операции является ведущим физиологическим фактором, влияющим на информативность модальности транскраниальных моторных вызванных потенциалов - характерна низкая амплитуда ($p = 0,008$) или же сниженная воспроизводимость вызываемых моторных потенциалов ($p = 0,028$). Возраст ребенка не влияет на амплитуду получаемых МВП, но сниженная их воспроизводимость наблюдается у детей до 5 лет ($p = 0,026$). Топография и гистология глиом не влияли на стабильность получаемых МВП в начале операции ($p > 0,9$, $p = 0,6$, соответственно).

Метод ТК МВП обладает 76% чувствительностью, 61% специфичности к развитию стойкого двигательного дефицита, но не имеет достоверной значимости в прогнозировании ближайших неврологических исходов ($p = 0,3$). При оценке роли ТК МВП в прогнозировании отдаленных неврологических исходов выявлено, что при развитии стойкого двигательного дефицита сразу после операции, прогностически неблагоприятным фактором для полного восстановления двигательных функций является частичная или полная редукция ТК МВП во время операции ($p < 0,006$).

В нашей серии выявлено, что пороговый ток при радикальной резекции опухоли зависит от множества факторов. Идентификация КСТ прямой стимуляцией не говорит о сохранности функционального статуса. Но важно, что удаление опухоли на минимальном токе получаемых МВП прямой стимуляцией является безопасным и зависит от топографического расположения опухоли.

Несмотря на большое количество факторов, которые могут влиять на силу тока при резекции данных опухолей, были выявлены тенденции в топографо-анатомических группах:

- При опухолях полушарного расположения пороговая сила тока не может быть определена в виду большого количества параметров опухоли, от которых может зависеть сила тока. Мы выделяем отличия в зависимости от размеров опухолей и характера смещения КСТ: при радикальном удалении гигантских полушарных опухолей фиксируется сила тока до 8 мА, тогда как при компактных опухолях области центральных извилин от 4 до 12 мА и зависит от вида смещения КСТ по результатам МР-трактографии;

- При тотальном удалении таламопедункулярных опухолей и глиом зрительного тракта МВП определяется на токе от 1 до 3 мА;

- При радикальном удалении опухолей таламуса различной локализации с деформацией окружающих мозговых структур МВП фиксируется на токе 8 мА; при отграниченных глиомах без деформации окружающих мозговых структур КСТ интактен, сила тока фиксируется от 12 мА;

- Объем резекции распространённых опухолей подкорковых узлов (РОПУ) зависит от гистологии опухоли и её распространения. При резекции инфильтративных глиом подкорковых узлов, после получения МВП прямой стимуляцией, рекомендовано остановить резекцию в месте получения МВП в виду отсутствия четкой плоскости диссекции и высокого риска нарастания двигательных нарушений на силе тока до 10 мА. Доброкачественные РОПУ могут быть удалены радикально, в некоторых случаях двухэтапно, пороговая сила тока в этом случае зависит от места хирургических манипуляций и получения МВП по аналогии с другими топографическими группами (таламус, ножка мозга);

- Стабильные инициальные ТК МВП позволяют лоцировать пирамидный тракт прямой стимуляцией ($p=0,004$). Отсутствие локализации пирамидного тракта в глубине раны является предиктором не радикального удаления опухолей ($p=0,02$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы является определение необходимого объёма нейровизуализации и нейрофизиологического мониторинга для радикального удаления опухолей, прилегающих к пирамидному тракту, с сохранением функционального статуса у детей.

На основании данных МРТ были выделены топографо-анатомические группы опухолей, прилегающих к пирамидному тракту:

1. Опухоли больших полушарий моторной коры и субкортикальной локализации головного мозга:

- опухоли области центральных извилин (ЦИ): расположенные в области прецентральной и постцентральной извилин, прилежащих отделов лучистого венца;

- гигантские опухоли больших полушарий (ГО): опухоли, поражающие более чем одну долю, расположенные в области моторных зон;

2. Опухоли подкорковых структур (глубинные опухоли):

- опухоли таламуса: передних (ПТ), медиальных (МТ) и задних отделов таламуса (ЗТ);

- опухоли таламопедункулярной области (ТП);

- опухоли зрительного тракта (ЗрТ);

- распространенные опухоли подкорковых узлов (РОПУ).

Разделение глубинных опухолей на представленные топографо-анатомические варианты происходило в соответствии с классификацией, разработанной в Центре [7].

Мы проанализировали данные 100 пациентов детского возраста, которым проведено 119 резекций опухолей различной степени злокачественности (grade 1-4 WHO) больших полушарий и глубинных структур, прилежащих к кортикоспинальному тракту в период с 2016 по 2023 годы на базе 1 нейрохирургического отделения (детская нейрохирургия) НМИЦ нейрохирургии

им. ак. Н.Н. Бурденко.

У 34 (34%) пациентов диагностированы полушарные опухоли в области моторной коры (опухоль области центральных извилин (ЦИ) и гигантские опухоли (ГО)), у 66 (66%) пациентов – глубинные опухоли (опухоль таламуса (ПТ,МТ,ЗТ)), таламопедункулярные опухоли (ТП), опухоли зрительного тракта (ЗрТ), распространенные опухоли подкорковой узлов (РОПУ).

В нашей серии преобладали доброкачественные опухоли (53,8%), в основном пилоидные астроцитомы (n=48, 40,3% от общей исследуемой группы), среди злокачественных - диффузная срединная глиома (n=23, 19,3% от общей исследуемой группы). В 19 (16%) случаях проведена повторная резекция опухоли. Показанием к повторным операциям являлся, как правило, продолженный рост доброкачественной опухоли. Повторные операции выполнялись при опухолях таламуса (n=6), зрительного тракта (n=5), распространенных опухолях подкорковых узлов (n=5) и реже в других топографо-анатомических группах.

Доброкачественные опухоли области центральных извилин это компактные, часто глионейрональные, образования. Злокачественный вариант опухолей этой анатомической группы – диффузные полушарные глиомы. Гигантские опухоли больших полушарий, как правило, имели злокачественную гистологию (83,3%). Эмбриональные опухоли составили 41,6% от всех гигантских опухолей, чаще наблюдались у детей раннего возраста до 5 лет. Среди опухолей передних отделов таламуса, таламопедункулярной области и опухолях зрительного тракта преобладали пилоидные астроцитомы (88-100%). Опухоли подушки зрительного бугра и распространенные опухоли подкорковых узлов в большинстве случаев были представлены диффузными срединными глиомами и анапластическими астроцитомами (77% и 78% соответственно). Крупные серии [24,28,38,46,81,87,122], описывающие опыт лечения детей с глубинными опухолями, включают только опухоли таламуса и таламопедункулярной зоны, другие анатомические области остаются не освещенными. В доступной мировой литературе не освещены данные о гистологических особенностях глубинных глиом [18,24,84,100,102]. Лишь несколько авторов [28,38] указывают, что

талампедункулярные опухоли всегда доброкачественные глиомы, преимущественно ПА, что соотносится с нашими результатами.

Публикации, освещающие результаты применения МР-трактографии при опухолях, прилежащих к пирамидному тракту у детей, и её роль в планировании хирургического доступа, базируются на пациентах с глубинными опухолями. Jun-Ное Kim и соавт. [72] описывают выбор хирургического доступа на основании смещения КСТ по результатам МР-трактографии, освещены варианты смещения КСТ. При удалении опухолей таламуса Giuseppe Cinalli и соавторы [38] используют преимущественно трансцистернальные доступы, лишь при резекции глиом талампедункулярной области наиболее часто применяли височный трансвентрикулярный доступ. В исследуемой группе, чаще наблюдалось антелатеральное смещение КСТ. В серии Abdulelah A.Alluhybi [21] при удалении опухолей таламуса использованы транскортикальные доступы, к сожалению обоснования выбора доступа, в зависимости от результатов трактографии, не приведено. В работе Christian Dorfer [46] резекция диффузных срединных глиом таламуса проведена преимущественно транскаллезным межполушарным доступом. Применение МР-трактографии при опухолях больших полушарий и глубинных структур у детей описано в серии Anna Lorenzen [81], объем исследуемых составил 26 пациентов, освещена методика исследования и основные проблемы выполнения трактографии.

В нашей серии 45 из 100 пациентов была выполнена предоперационная МР-трактография, в одном случае (2,4%) пирамидный тракт не был построен путем стандартной МР-трактографии в виду больших размеров опухоли и её глубинного расположения, в этом случае построение КСТ выполнено с помощью CSD-HARDI МР-трактографии. Трудностей, которые влияли бы на реконструкцию КСТ выявлено не было. Самый младший возраст ребенка с проведенной МР-трактографией – 1 год 1 месяц. При наличии гемипареза, у 97,4% (37 из 38 детей) наблюдалось уменьшение волокон пирамидного тракта со стороны опухоли, независимо от топографической или гистологической группы, в сравнении с противоположным КСТ по результатам МР-трактографии. При статистическом

анализе выявлено, что наличие двигательных нарушений у ребенка сопровождается истончением реконструированного КСТ по результатам МР-трактографии ($p < 0,01$), чувствительность метода составила 95,2% тогда как специфичность (70,8%) была невысокой.

При глиомах области центральных извилин (ЦИ) и прилежащих отделов лучистого венца вариантами смещения КСТ были: по контуру опухоли ($n=6$, 46,2%); кпереди (46,2%); кзади ($n=1$, 7,6%). При гигантских опухолях больших полушарий (ГО), в большинстве случаев наблюдалось смещение пирамидного тракта по медиальному/латеральному краю опухоли ($n=5$, 83,3%), в одном случае местом исходного роста была затылочно-теменная область – пирамидный тракт смещен кпереди (16,7%). Важно учесть, что явных факторов, на основании которых можно было бы спрогнозировать локализацию КСТ при полушарной опухоли без выполнения МР-трактографии, выявлено не было. Таким образом, в нашем исследовании, часто полушарные опухоли ($n=19$) смещали пирамидный тракт по контуру опухоли (57,8%), реже в переднем (36,8%) и заднем (5,2%) направлении.

Все опухоли больших полушарий удалены транскортикальным доступом, планирование трепанации выполнялось с учетом глубины распространения опухоли, отношения её к средней линии и расположения КСТ относительно опухоли. Серии, освещающие планирование хирургического подхода к этим опухолям, включают взрослый контингент [10,27,35,43,103,111,114,135]. Планирование удаления полушарных опухолей моторных зон у детей фактически не освещено. Для определения хирургического подхода к таким опухолям, в большинстве случаев, необходимо использовать соответствующий интраоперационный инструментарий (УЗ-/электромагнитная навигация) и картирование места кортикотомии. Утверждения справедливы для компактных кортикальных опухолей без распространения на лучистый венец. В планировании удаления компактных опухолей лучистого венца, используются те же принципы, что и в планировании удаления глубинных опухолей – определение наименее травматичной траектории с рассечением мозга на небольшом протяжении в

«немой» зоне. В этих случаях, используется только УЗ-навигация. Таким образом, предоперационная МР-трактография занимала ведущую роль в планировании хирургического доступа к полушарным опухолям моторных зон мозга у детей.

Среди глубинных опухолей, глиомы передних отделов таламуса смещали КСТ дорсолатерально; медиальных и задних отделов таламуса, таламопедункулярные опухоли – антелатерально; глиомы зрительного тракта смещали КСТ медиально. При удалении глубинных опухолей использовались следующие доступы: транскортикальные трансвентрикулярные доступы - височный (29), теменной (19), лобный (2), транскаллезный (14), затылочный межполушарный (13), субтенториальный супрацеребеллярный (2), доступ через Сильвиеву щель (птериональный) (1), субвисочный (1). При удалении опухолей передних и медиальных отделов таламуса использовался транскаллезный ипси-/контралатеральный доступ, при глиомах задних отделов таламуса затылочный межполушарный и теменной трансвентрикулярный доступы; резекция глиом таламопедункулярной области и зрительного тракта проводилась через височный трансхориоидальный доступ; при распространенных инфильтративных опухолях удаление осуществлялось преимущественно через транскортикальные доступы. Данные МР-трактографии показали типичное направление смещения КСТ при различных топографо-анатомических вариантах глубинной опухоли. Выбор хирургического доступа зависел от точной локализации опухоли в пределах глубинных структур, расположения КСТ относительно опухоли. Предпочтение отдавалось малотравматичным трансцистернальным или трансвентрикулярным доступам. Результаты МР-трактографии оказали влияние лишь на планирование хирургического доступа к РОПУ. В остальных случаях, после реконструкции КСТ, выбор хирургического доступа не изменился.

Применение ИОМ при удалении супратенториальных опухолей, прилежащих к пирамидному тракту у детей в мировой литературе описано скудно [21,25,31,38,46,47,51,72,73,90,122], в отличие от взрослой популяции [4-6,10,27,33,43,49,50,74,75,78,92,94,103,111,114,135]. J. Roth и S. Constantini [109] в 2020 году опубликовали исследование, освещающее применение всего объема

ИОМ у детей. Серия состоит из 57 детей с «поверхностными» и «глубинными» образованиями, 40 из которых опухоли. У 30 пациентов во время операции использовалась прямая стимуляция КСТ, ТК МВП у 26 детей. Важным выводом статьи является различие результатов применения техники прямой стимуляции Penfield и Taniguchi у детей. К тому же доказано, что локализация опухоли, возраст ребенка и степень двигательных нарушений до операции не являются ограничениями в использовании ИОМ у детей.

В нашей серии пациенты были разделены на 3 группы в зависимости от объема использованного мониторинга: удаление опухолей без использования ИОМ проведено 24 (20,1%) пациентам; применение только ТК МВП у 28 (23,5%) пациентов; использован расширенный протокол ИОМ (ТК МВП и прямая стимуляция) у 67 (56,3%) пациентов.

В ходе резекции ТК МВП использованы у 95 пациентов. У 93 (97,8%) пациентов получены исходные МВП, у 75 (80,6%) пациентов зарегистрирована стандартная амплитуда, у 18 (19,4%) пациентов отмечена низкая амплитуда вызываемых МВП. Сниженная воспроизводимость ТК МВП в начале операции отмечена у 17 (18,3%) пациентов, наблюдались такие явления как – разница амплитуды МВП от верхних и нижних конечностей с одной/с двух сторон, от проксимальных и дистальных мышц в пределах одной конечности.

Проанализирована динамика изменения полученных ТК МВП в ходе резекции опухоли у 93 пациентов и описана следующим образом: 1. Снижение без восстановления к концу операции: снижение модальности ТК МВП на 10% и более без восстановления к концу операции - 31 (33,3%) пациент; 2. Снижение с исчезновением к концу операции: ТК МВП получены в начале операции, полная редукция во время или к концу резекции опухоли - 12 (12,9%) пациентов; 3. Снижение с восстановлением к концу операции: снижение модальности ТК МВП на 10% и более с полным восстановлением к концу операции - 9 (9,7%) пациентов; 4. Нормальные МВП во время резекции: МВП стабильные за время удаления опухоли - 41 (44,1%) пациент. Группы 1 и 2 были обозначены как «отрицательные явления по динамике ТК МВП», 3 и 4 группы «положительные явления по

динамике ТК МВП».

При анализе применения ТК МВП в нашем исследовании, по аналогии с J. Roth и S. Constantini [109], мы не отметили значимого влияния топографии глиом на стабильность получаемых МВП в начале операции ($p > 0,9$), как и их гистологии ($p = 0,6$). Достоверно чаще сниженная воспроизводимость ТК МВП наблюдалась у детей до 5 лет ($p = 0,026$). По нашим данным парез любой степени выраженности до операции статистически значимо влиял на получаемые ТК МВП до начала резекции, наблюдалась низкая амплитуда МВП ($p = 0,008$) или же их сниженная воспроизводимость ($p = 0,028$). Отличие наших данных от J. Roth и S. Constantini, по всей видимости обусловлены разделением пациентов на уровень двигательного дефицита – в нашей группе мы разделяли пациентов по факту пареза, даже легкий парез на уровне 4 баллов интерпретировался в соответствующую группу, тогда как авторы в своём исследовании проводили разделение пациентов на группы с низким уровнем мышечной силы (от 0 до 3 баллов) и с высоким уровнем (от 4 до 5 баллов). По нашему мнению, следует учитывать любые двигательные отклонения, но данный вопрос является дискуссионным.

Группа с применением расширенного протокола ИОМ (ТК МВП и прямая стимуляция) составила 67 пациентов, была разделена эмпирически на подгруппы в зависимости от силы тока прямой стимуляции в конце резекции. Пороговая сила тока прямой стимуляции у 22 (32,8%) пациентов зафиксирована в пределах 1-3 мА, 4-8 мА у 22 (32,8%) пациентов, на 9-12 мА у 10 (14,9%) пациентов, 13-15 мА у 3 (4,6%) пациентов, в 10 (14,9%) случаях КСТ не был идентифицирован. Возраст детей не влиял на получение МВП прямой стимуляцией в глубине раны.

В 10 случаях при монополярной непрерывной стимуляции МВП не получены, но биполярным зондом КСТ лоцирован у всех на токе ниже 5 мА. Во всех этих случаях угол операционной атаки мог повлиять на получение МВП монополярной стимуляцией.

Дополнительно исследована зависимость полученных ТК МВП в начале операции и факт нахождения КСТ в глубине раны. Было выявлено, что при стабильных инициальных ТК МВП достоверно чаще пирамидный тракт

лоцируется прямой стимуляцией ($p=0,004$), при этом статистически значимого влияния изменения амплитуды ТК МВП в ходе удаления опухоли на получение МВП прямой стимуляцией выявлено не было ($p=0,2$).

Радикальность операций

Радикальное удаление (тотальное и околототальное) достигнуто в большинстве случаев ($n=84$, 70,5%), субтотальная резекция у 24 (20,1%), частичное удаление опухоли выполнено 11 пациентам (9,4%). Радикальность операций при доброкачественных опухолях составила 81,2%, субтотальное удаление у 14,1% и в 4,7% частичное удаление. Радикальное (околототальное) удаление злокачественных опухолей проведено 58,2% пациентам, субтотальное 27,3% и частичное в 14,5%. По анатомическому расположению, большая радикальность отмечена при полушарных опухолях (94,7%). Глубинные опухоли радикально удалены в 59,3% случаев.

Все пилоидные астроцитомы располагались в подкорковой области ($n=48$), удалены преимущественно радикально ($n=35$, 72,9%), чаще они располагались в области передних отделов таламуса (радикальность 87,5%), таламопедункулярной области (радикальность 81,8%) и зрительного тракта (радикальность 57,9%). Субтотальное и частичное удаление чаще отмечалось при резекции ПА зрительного тракта (42,1%). По данным литературы, не было выявлено ни одного исследования с описанием результатов хирургической резекции глиом зрительного тракта, что обусловлено преимущественно детской патологией и сложностью дифференциальной диагностики, зачастую их анализируют как глиомы подкорковых узлов.

Радикальность удаления была выше в группе пациентов с использованием комплексного ИОМ ($n=67$, 85,1%). В подгруппах пациентов только с ТК МВП ($n=28$) и без мониторинга ($n=24$) отличий в объеме радикальности удалений не отмечено (46,4% и 58,3% соответственно). Было выявлено, что при применении расширенного протокола ИОМ резко возрастает радикальность резекции полушарной и глубинной опухоли, прилегающей к КСТ, чем применение только

ТК МВП или отсутствие ИОМ во время операции ($p < 0,05$).

Пороговая сила тока в топографо-анатомических группах отличалась в зависимости от места исходного роста глиом и их размеров, но получаемая ПСТ зависела от множества факторов даже внутри одной топографо-анатомической группы. Важно, что удаление опухоли даже на минимальном токе получаемых МВП прямой стимуляцией является безопасным, зависит от топографического расположения опухоли. Выявлено, что отсутствие локализации пирамидного тракта в глубине раны в нашей исследуемой группе являлось предиктором не радикального удаления опухолей ($p = 0,02$).

Несмотря на большое количество факторов, которые могут влиять на силу тока при резекции данных опухолей, были выявлены тенденции в топографо-анатомических группах:

- опухоли ножки мозга: радикальная резекция таламопедункулярных опухолей и глиом зрительного тракта достигается на токе от 1 до 3 мА;

- при опухолях полушарного расположения пороговая сила тока не может быть определена в виду большого количества параметров опухоли, от которых может зависеть сила тока. Мы выделяем отличия от размеров опухолей и характера смещения КСТ: при радикальном удалении гигантских полушарных опухолях фиксируется сила тока до 8 мА, тогда как при компактных опухолях области центральных извилин от 4 до 12 мА и зависит от вида смещения КСТ по результатам МР-трактографии;

- вне зависимости от места исходного роста при крупных глиомах таламуса с деформацией окружающих мозговых структур радикальная резекция фиксируется на токе до 8 мА; при отграниченных глиомах без деформации окружающих мозговых структур КСТ интактен, сила тока фиксируется от 12 мА. По нашему мнению, при резекции таких глиом, объем используемого ИОМ может составлять лишь ТК МВП, в виду низкого риска повреждения КСТ и известного расположения тракта относительно опухоли;

- объем резекции распространённых опухолей подкорковых узлов (РОПУ) зависит от гистологии опухоли и её распространения. При резекции

инфильтративных глиом подкорковых узлов, после получения МВП прямой стимуляцией, рекомендовано остановить резекцию в месте получения МВП в виду отсутствия четкой плоскости диссекции и высокого риска нарастания двигательных нарушений на силе тока до 10 мА. Доброкачественные РОПУ могут быть удалены радикально, в некоторых случаях двухэтапно, пороговая сила тока в этом случае зависит от места хирургических манипуляций и получения МВП по аналогии с другими топографическими группами (таламус, ножка мозга).

Ближайшие и отдаленные неврологические исходы

Неврологические исходы в раннем послеоперационном периоде были следующими: улучшение мышечной силы у 32 пациентов (26,8%); дооперационный двигательный статус у 41 пациента (34,5%); временное нарастание дефицита с регрессом нарастших двигательных нарушений ко дню выписки у 9 пациентов (7,6%); стойкий двигательный дефицит у 37 пациентов при выписке (31,1%). Положительным исходом операции расценивались пациенты с улучшением двигательных функций, так и с двигательным статусом равным дооперационному, $n=73$ (61,3%). Процент улучшений в раннем послеоперационном был выше в группе доброкачественных опухолей (34% против 20%). Частота развития стойкого пареза, по результатам статистического анализа, не зависела от гистологии удаленной опухоли (точный критерий Фишера, $p=0,2$).

Улучшение/сохранение двигательных функций в раннем послеоперационном периоде было выше после удаления гигантских опухолей полушарий (84%), глиом передних (76%) и медиальных отделов таламуса (100%), таламопедункулярных опухолей (73%). Меньший процент улучшения двигательных функций после операции отмечен в группе детей с опухолями области центральных извилин, у большинства этих пациентов функциональный статус не изменился (54%). Это объясняется исходно сохранным функциональным статусом этих детей (всего 27% с двигательными нарушениями).

Неблагоприятные по неврологическому исходу были пациенты с опухолями области центральных извилин (30% стойкого дефицита), глиомами задних отделов

таламуса и зрительного тракта (по 37% в каждой подгруппе), РОПУ (33%). В подушке таламуса и при РОПУ преобладают инфильтративные злокачественные опухоли, плоскость диссекции при них зачастую отсутствует, что создает риск повреждения КСТ интраоперационно. Глиомами зрительного тракта, напротив, являются преимущественно пилоидные астроцитомы. Предикторами нарастания двигательного дефицита при их резекции были: повторные удаления опухоли (3 из 7 пациентов со стойким дефицитом); удаление опухоли без ИОМ или только с использованием ТК МВП (5 из 7 пациентов стойкого дефицита).

По данным литературы, в сериях пациентов с глубинными опухолями, радикальность резекции колеблется от 27% [46,73,122] до 60% [38]. При этом, в группах с «щадящим» подходом, усугубление двигательных функций в раннем послеоперационном периоде отмечено у 10-50% пациентов [46,73,122], а в серии с «агрессивным» подходом [38] у 32% наблюдался стойкий двигательный дефицит и 2 детей погибли в раннем послеоперационном периоде после резекции инфильтративных глиом таламуса. При включении в исследование и опухолей больших полушарий и глубинных структур [81,109] общая радикальность резекции составила 71-75%, но стоит отметить, что в серии преобладали опухоли больших полушарий, в одной серии [81] все глубинные опухоли удалены не радикально. Нарастание двигательных нарушений зафиксировано в 19-25% случаях.

Дополнительно нами проанализированы неврологические исходы в зависимости от объема использованного ИОМ. В группе без использования ИОМ (n=24) в 58,3% случаев наблюдалось возникновение стойкого послеоперационного двигательного дефицита, при использовании только ТК МВП (n=28) у 39,2%. При использовании комплексного ИОМ (n=67) процент стойкого двигательного дефицита был низким (16,4%). Было выявлено, что применение расширенного протокола ИОМ сокращает вероятность развития двигательного дефицита и увеличивает процент улучшения функционального статуса после операции, по сравнению с группами использования только ТК МВП и без ИОМ (p<0,001).

Проанализирована зависимость динамики изменения модальности ТК МВП и двигательного статуса пациентов. Положительная динамика по модальности ТК

МВП наблюдалась у 50 пациентов (53,8%), в большей степени отмечалась в группах со стабильным функциональным статусом (57,4% в группе) и у детей с улучшением мышечной силы после операции (58,6% в группе). Отрицательная динамика по модальности ТК МВП отмечена у 43 пациентов (46,2%), чаще наблюдалась в группе с развитием перманентного ухудшения двигательных функций (76,5% в группе).

На основании полученных данных было выявлено, что метод ТК МВП обладает 76% чувствительностью, 61% специфичности к развитию стойкого двигательного дефицита, но не имеет достоверной значимости в прогнозировании ближайших неврологических исходов ($p=0,3$). В серии J. Roth и S. Constantini [109] чувствительность метода ТК МВП составила 66%, а специфичность 100%. Отличие наших данных от J. Roth и S. Constantini, по всей видимости обусловлены разделением пациентов на уровень двигательного дефицита – в нашей группе мы разделяли пациентов по факту пареза, даже легкий парез на уровне 4 баллов интерпретировался в соответствующую группу, тогда как авторы в своём исследовании проводили деление пациентов на группы с низким уровнем мышечной силы (от 0 до 3 баллов) и с высоким уровнем (от 4 до 5 баллов). По нашему мнению, следует учитывать любые двигательные отклонения, но данный вопрос является дискуссионным.

Пациенты с ухудшением двигательных функций ровно распределялись в различных группах пороговой силы тока (от 1 до 12 мА) и нами не было отмечено определенной закономерности, что расходится с результатами J. Roth и S. Constantini [109] – в их исследовании выявлено что ПСТ ниже 6 мА чаще приводит к развитию моторного дефицита. В серии Венец [28], приводятся данные прямой стимуляции при удалении опухолей таламуса и таламопедункулярной области. Пороговая сила тока в конце резекции часто регистрировалась до 5 мА, к сожалению, данных в какой именно топографо-анатомической группе нет, как и соотношения силы тока с неврологическими исходами.

Отдаленные неврологические исходы оценивались у пациентов со стойким двигательным дефицитом на момент выписки из стационара. Катамнезу были

доступны 24 (64,8%) пациента, из них 16 (66,7%) пациентов с доброкачественными опухолями, 8 (33,3%) пациентов со злокачественными. Срок катамнеза – 6 месяцев. В отдаленном периоде, у всех пациентов этой группы, после операции наблюдалось улучшение двигательных функций, что соответствует данным литературы [28,38,46,81,109,122]. Дети дополнительно разделены на группы в зависимости от функционального статуса через 6 месяцев после операции: частичное восстановление (<5 баллов) наблюдалось у 13 (54,2%) пациентов, полное восстановление (5 баллов) у 11 (45,8%) пациентов. Полное восстановление функционального статуса наблюдалось чаще у детей после резекции доброкачественных опухолей (n=10, 62,5% в группе), чем после резекции злокачественных (n=1, 12,5%). Пациенты с опухолями больших полушарий восстановились полностью в 71,4% случаев, и преимущественно в пределах 1-2 месяцев после выписки, дети с глубинными опухолями в 35,3%. Значимого влияния возраста ребенка на отдаленные неврологические исходы выявлено не было. При этом важно отметить, что в группе с использованием всего объема ИОМ и ухудшением двигательного дефицита сразу после операции (n=9) дети до 5 лет составили 11,1% (n=1). Таким образом, можно предположить, что дети раннего возраста «переносят» резекцию опухолей, прилегающих к пирамидному тракту лучше, но при развитии стойкого двигательного дефицита он регрессирует так же, как и у детей в других возрастных группах.

Изучена динамика показателей ТК МВП и её прогностическая значимость в отдаленных неврологических исходах. Амплитуда вызываемых МВП на момент начала операции не влияла на отдаленные неврологические исходы (p=0,3). Выявлено, что в группе детей с частичным восстановлением двигательного статуса чаще наблюдалась отрицательная динамика по ТК МВП – редукция (30%) или полное исчезновение МВП без восстановления к концу операции (60%). Важно отметить, что ни у одного пациента с полным восстановлением движений через 6 месяцев не наблюдалось полной редукции МВП во время операции. Таким образом, при развитии стойкого двигательного дефицита сразу после операции, прогностически неблагоприятным фактором для полного восстановления

двигательных функций является частичная или полная редукция ТК МВП во время операции ($p < 0,006$).

В работе НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко [10] освещен опыт лечения взрослых пациентов с супратенториальными опухолями вблизи КСТ. Проведено сравнение результатов с данными мировой литературы. Отмечается, что подавляющий мировой опыт – взрослые пациенты с опухолями больших полушарий [3,10,27,35,43,49,50,111,114,135], что является отличительным признаком нашей работы и невозможностью соотношения наших данных с опытом лечения взрослых пациентов.

Важно отметить, что мы не столкнулись с явными ограничениями применения МР-трактографии и ИОМ у детей в любом возрасте. В заключении стоит отметить, что сила тока при прямой стимуляции КСТ является показателем «нейрофизиологического приближения» к пирамидному тракту, но мы не придерживаемся концепции 1 мА=1 мм до пирамидного тракта [118]. По нашему мнению, попытки соотношения расстояния КСТ от «края опухоли» по данным МР-трактографии с пороговой силой тока прямой стимуляции не могут быть систематизированы. Было выявлено, что в большинстве случаев полушарных опухолей по данным МР-трактографии КСТ располагался по контуру опухоли. При опухолях таламуса, реже наблюдается расположение КСТ по контуру опухоли ввиду расположения смежных проводящих путей внутренней капсулы, тогда как при опухолях таламопедункулярной области, зрительного тракта и РОПУ пирамидный тракт всегда пролегает по контуру опухоли. При этом, если провести соотношение порогового тока – при глубоких опухолях со смещением КСТ по контуру опухоли наблюдается минимальные значения тока (до 3 мА), тогда как при смещении КСТ по контуру полушарной опухоли ПСТ составляет преимущественно 4-8 мА. Таким образом, можно говорить о пороговом токе лишь с учетом анатомической области КСТ – моторная кора, пирамидный тракт на уровне субкортикальной области, лучистого венца и внутренней капсулы может быть локализован путем получения МВП на токе 4-8 мА, тогда как на уровне ножки мозга пороговый ток составляет до 3 мА. «Электрофизиологическое расстояние»

может варьировать в каждом конкретном случае из-за различной электрической активности мозговых структур в зоне хирургической резекции, проводимого анестезиологического пособия, физиологических условий (скорость кровотока, локальная температура тканей и др.) что не может нивелироваться даже при использовании новых интраоперационных технологий (навигационные системы, интраоперационная МР-трактография) [135]. Это оправдывает распределение пациентов в зависимости от силы тока прямой стимуляции не конкретными числами, а «нейрофизиологическими» коридорами (1-3 мА, 4-8 мА и др.), что определяет тенденции пороговой силы тока в разных топографо-анатомических группах пациентов.

В нашей работе на большом клиническом материале представлены результаты применения МР-трактографии и ИОМ при резекции супратенториальных опухолей, прилегающих к пирамидному тракту у детей. Доказана информативность МР-трактографии, эффективность использования ТК МВП и прямой стимуляции для радикальной резекции данных опухолей с сохранением функционального статуса детей.

ВЫВОДЫ

1. При полушарных опухолях, прилегающих к пирамидному тракту, отсутствует закономерность смещения пирамидного тракта, ввиду различного места исходного роста опухоли. Часто, опухоли области центральных извилин и гигантские опухоли больших полушарий, смещают пирамидный тракт по контуру опухоли (57,8%), реже в переднем (36,8%) и заднем (5,2%) направлении. Смещение пирамидного тракта при классических глубинных опухолях зависит от точной топографии: при глиомах передних отделов таламуса – дорсолатерально; медиальных и задних отделов таламуса, таламопедункулярных опухолях – антелатерально; глиомах зрительного тракта - КСТ медиально;

2. Планирование хирургического доступа и вмешательства при полушарных опухолях, прилегающих к пирамидному тракту и распространенных опухолях подкорковых узлов должно включать МР-трактографию, ввиду отсутствия закономерности смещения пирамидного тракта. При остальных топографических вариантах глубинной опухоли, таких как опухоли таламуса, таламопедункулярных глиомах и опухолях зрительного тракта сторона смещения кортикоспинального тракта стандартная и проведение МР-трактографии не обязательно;

3. При применении комплексного интраоперационного нейрофизиологического мониторинга возрастает радикальность резекции ($p < 0,05$) опухолей, прилегающих к пирамидному тракту, и сокращается вероятность развития двигательного дефицита ($p < 0.001$), чем при применении только транскраниальных моторных вызванных потенциалов или отсутствии интраоперационного мониторинга во время операции;

4. Ведущим физиологическим фактором, влияющим на информативность модальности транскраниальных моторных вызванных потенциалов, является наличие двигательного дефицита у пациента до операции, для которого характерна низкая амплитуда ($p = 0,008$) или сниженная воспроизводимость вызываемых

моторных потенциалов ($p=0,028$). Возраст ребенка не влияет на амплитуду получаемых моторных потенциалов, но сниженная их воспроизводимость наблюдается у детей до 5 лет ($p=0,026$). Основным физиологическим фактором, влияющим на пороговую силу тока моторных потенциалов, получаемых прямой стимуляцией, является анатомический отдел пирамидного тракта где были получены моторные потенциалы и составляет от 4 до 8 мА на уровне моторной коры, лучистого венца и внутренней капсулы и от 1 до 3 мА на уровне ножки мозга;

5. Динамика транскраниальных моторных вызванных потенциалов не имеет достоверной значимости в прогнозировании ближайших неврологических исходов ($p=0,3$), но позволяет спрогнозировать уровень восстановления двигательных функций при отдаленных исходах ($p<0,006$). Прогностически неблагоприятным фактором для полного восстановления является стойкая частичная или полная редукция моторных потенциалов во время операции.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Проведение МР-трактографии у детей рекомендовано во всех случаях опухолей области центральных извилин, гигантских опухолях моторных зон и при распространенных опухолях подкорковых узлов при стабильном клиническом состоянии пациентов. Планирование хирургического доступа и объема хирургического вмешательства при глубинных опухолях зависит от точной топографии опухоли, проведение МР-трактографии не принципиально;

2. ИОМ в объеме ТК МВП и прямой стимуляции (моно- и биполярная стимуляция) рекомендовано применять при резекции опухолей больших полушарий области моторной коры головного мозга, глубинных опухолях – крупных глиомах таламуса, которые деформируют прилежащие мозговые структуры, таламопедункулярной области, зрительного тракта и при распространенных опухолях подкорковых узлов. Компактные опухоли таламуса, не деформирующие прилежащие мозговые структуры, могут быть удалены ранее описанными хирургическими доступами в зависимости от места исходного роста, с использованием только ТК МВП;

3. При наличии технических возможностей, во время резекции опухолей, прилежащих к пирамидному тракту, рекомендовано использовать моно- и биполярный зонд для проведения прямой стимуляции для более точной локализации пирамидного тракта;

4. Целью операции при доброкачественных отграниченных опухолях является радикальное удаление опухоли. Идентификация двигательного пути в глубине раны даже на низком токе (до 3 мА) не является показанием для остановки операции при стабильных ТК МВП;

5. При удалении инфильтративной глубинной опухоли, прилежащей к кортикоспинальному тракту, место получения моторного ответа должно маркироваться и хирургические манипуляции в этой области необходимо прекратить независимо от силы тока прямой стимуляции. Для большей

радикальности операции в месте получения моторного ответа и наличия в этой области слоя опухолей ткани, резекцию можно продолжить до переходной с мозгом зоной при условии стабильных ТК МВП и титрованием силы тока в сторону уменьшения.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

BTRUS - The Central Brain Tumor Registry of the United States

WHO - Всемирная организация здравоохранения

АТРО - атипичная тератоидно-рабдоидная опухоль

ВАК - высшая аттестационная комиссия

ВСА – внутренняя сонная артерия

ВОЗ - Всемирная организация здравоохранения

ГО - гигантская опухоль

ЗТ - задние отделы таламуса

ЗрТ - зрительный тракт

ЗСА - задняя соединительная артерия

ЗМА – задняя мозговая артерия

ЗмВА – задняя медиальная ворсинчатая артерия

ЗлВА – задняя латеральная ворсинчатая артерия

ИОМ - интраоперационный нейрофизиологический мониторинг

КСТ – кортикоспинальный тракт

МВП – моторные вызванные потенциалы

МТ - медиальные отделы таламуса

МР-трактография – магнитно-резонансная трактография

ПА - пилоидная астроцитома

ПВА - передняя ворсинчатая артерия

ПМА - передняя мозговая артерия

ПСТ – пороговая сила тока

ПТ - передние отделы таламуса

РОПУ - распространенные опухоли подкорковых узлов

СМА - средняя мозговая артерия

ТК МВП – транскраниальные моторные вызванные потенциалы

ТП - таламопедункулярная область

ЦНС – центральная нервная система

ЦИ - опухоль центральных извилин

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баталов А.И. Роль трактографии в хирургии опухолей головного мозга / А.И. Баталов А.И., Р.М. Афандиев, Н.Е. Захарова, А.В. Косырькова, С.А. Горяйнов, А.А. Баев, И.Н. Пронин //Анатомические исследования в хирургии головы и шеи. Труды третьей научно-практической конференции. Москва.: ЗАО «Эдем». – 2022. – с.38-44.
2. Дациева А.А. Хирургическое лечение гигантских опухолей больших полушарий головного мозга у детей / А.А. Дациева, Ш.У. Кадыров, А.Ю. Лубнин // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2022 - №11. – с.24-28.
3. Димерцев А.В. Хирургическое лечение опухолей моторных зон головного мозга: дис. на соискание ученой степени к-та мед. наук: 3.1.10. / Димерцев Алексей Владимирович. – М., 2023. – 129 с.
4. Жуков В.Ю. Диффузионно-тензорная трактография и интраоперационный нейрофизиологический мониторинг в хирургии внутримозговых опухолей / Жуков В.Ю., Горяйнов С.А., Огурцова А.А., Агеев И.С., Процкий С.В., Пронин И.Н., Тоноян А.С., Кобяков Г.Л., Ненашев Е.А., Смирнов А.С., Баталов А.И., Потапов А.А. // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. – 2016. - №80. – с.5-18.
5. Зрелов А.А. Обновленная классификация первичных опухолей центральной нервной системы как основа персонализированного подхода к терапии пациентов / А.А. Зрелов, А.С. Нечаева, Н.Е. Воинов // Российский журнал персонализированной медицины. – 2022. - №2. – с.6-13.
6. Кадыров Ш.У. Хирургическое лечение опухолей зрительного бугра: дис. на соискание ученой степени к-та мед. наук: 14.00.28. / Кадыров Шавкат Умидович. – М., 2007. – 190 с.
7. Кадыров Ш.У. Глиомы глубинных структур мозга : дис. на соискание ученой степени д-ра мед. наук : 3.1.10 / Кадыров Шавкат Умидович. – М., 2023. – 277 с.

8. Кобяков Г.Л. Практические рекомендации по лекарственному лечению первичных опухолей центральной нервной системы [Электронный ресурс] / Г.Л. Кобяков, А.Х. Бекашев, А.В. Голанов, А.Н. Коновалов, Д.Р. Насхлеташвили, А.А. Потапов, Д.А. Рзаев, М.В. Рыжова, А.В. Смолин, Ю.Ю. Трунин, А.Ю. Улитин // Злокачественные опухоли. – 2016. – № 4. – с.64–84.
9. Корсакова М.Б. Методические особенности сенсомоторного картирования у детей в возрасте до 4 лет при нейрохирургических вмешательствах / М.Б. Корсакова, А.Б. Козлова, А.А. Огурцова, А.Г. Меликян, Ю.В. Кушель, Ш.У. Кадыров, А.Н. Воробьев, Е.М. Трошина // Материалы XII Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология – 2018». - 2018. – с. 111.
10. Косырькова А.В. Предоперационное планирование и интраоперационная идентификация пирамидных трактов в хирургии супратенториальных опухолей головного мозга : дис. на соискание ученой степени канд. мед. наук : 3.1.10 / Косырькова Александра Вячеславовна. – М., 2021. – 192 с.
11. Коновалов А.Н. Височный трансхориоидальный доступ при опухолях среднего мозга и зрительного бугра / А.Н. Коновалов, Ш.У. Кадыров // Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко. – 2013. - №77. – с.16-25.
12. Коновалов А.Н. Нейрорентгенология детского возраста / А.Н. Коновалов, В.Н. Корниенко, В.И. Озерова, И.Н. Пронин - Москва.: Антидор, 2001. – 456 с.
13. Крылов В.В. Хирургия аневризм головного мозга. Том I. / В.В. Крылов. - Москва, 2011. — с. 432.
14. Петер Дуус. Топический диагноз в неврологии. Анатомия. Физиология. Клиника. Под научной редакцией проф. Л. Лихтермана / П. Дуус. - Москва, 1997. – с. 400.
15. Пронин И.Н. Диффузионная тензорная магнитно-резонансная томография и трактография / И.Н. Пронин, Л.М. Фадеева, Н.Е. Захарова, М.Б. Долгушин, А.Е. Подопригора, В.Н. Корниенко // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. – 2008. - №1. – с. 32-40.

16. Трунин Ю. Ю. Стереотаксическая радиотерапия и радиохирurgia в лечении больных с пилоидными астроцитомами головного мозга глубинной локализации / Ю.Ю. Трунин, А.В. Голанов, А.Н. Коновалов, Л.В. Шишкина, Г.Е. Горлачев, С.К. Горельшев, И.Н. Пронин, Е.А. Хухлаева, Н.К. Серова, А.Г. Коршунов, А.Г. Меликян, М.В. Рыжова, Ш.У. Кадыров, В.С. Сорокин, Н.А. Мазеркина, С.А. Маряшев, С.Р. Ильялов, В.В. Костюченко // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. - 2012 - №1 – с. 64-78.
17. Alan R.C. Pediatric Neurosurgery: Tricks of the Trade / R.C Alan – Germany: Thieme Medical Publisher, 2016. – 912 p.
18. Albright A.L. Feasibility and advisability of resections of thalamic tumors in pediatric patients / A.L. Albright // Journal of Neurosurgery. – 2004. – Vol. 100. – P.468-472.
19. Albright A.L. Principles and Practice of Pediatric Neurosurgery / A.L. Albright, I.F. Pollack, P.D.A. Giordano - New York.: Thieme, 2015. - 1110p.
20. Alcaraz G.G. Feasibility of awake craniotomy in the pediatric population / G.G. Alcaraz, G. Echániz, S. Strantzas, I. Jalloh, J. Rutka, J. Drake, T. Der // Pediatric Anesthesia. – 2020. – Vol. 30. – P.480-489.
21. Alluhaybi A.A. Thalamic Tumors in a Pediatric Population: Surgical Outcomes and Utilization of High-Definition Fiber Tractography and the Fiber Tracking Technique / A.A. Alluhaybi, K.S. Altuhaini, L. Soualmi, F. Alotaibi, A.A. Banyan, M. Ahmad // Cureus. Journal of Medical Science. – 2022. – Vol. 29. – P.1-10.
22. Altman N.R. Pediatric applications of fMRI / N.R. Altman, B. Bernal // Functional Neuroradiology. New York: Springer Science. – 2023. – P.1085-1119.
23. Balogun J.A. Pediatric awake craniotomy and intra-operative stimulation mapping / J.A. Balogun, O.H. Khan, M. Taylor, P. Dirks, T. Der, O. Carter Snead Iii, S. Weiss, A. Ochi, J. Drake, J.T. Rutka // Journal of Clinical Neuroscience. – 2014. – Vol. 21. – P.1891-1894.
24. Baroncini M. Surgical resection of thalamic tumors in children: approaches and clinical results / M. Baroncini, M. Vinchon, J.F. Mineo, F. Pichon, J.P. Francke, P. Dhellemmes // Journal of Child Neurology. – 2007. – Vol. 23. – P.753–760.

25. Barras C.D. Functional magnetic resonance imaging in clinical practice: state of the art and science / C.D. Barras, H. Asadi, T. Baldeweg, L. Mancini, T.A. Yousry, S. Bisdas // *Australian Family Physician*. – 2016. – Vol. 45. – P.798–803.
26. Bartos R. Validity of primary motor area localization with fMRI versus electric cortical stimulation: a comparative study / R. Bartos, R. Jech, J. Vymazal, P. Petrovický, P. Vachata, A. Hejcl, A. Zolal, M. Sames // *Acta Neurochirurgica*. – 2009. – Vol. 151. – P.1071-1080.
27. Bello L. Intraoperative use of diffusion tensor imaging fiber tractography and subcortical mapping for resection of gliomas: technical considerations / L. Bello, A. Castellano, E. Fava, G. Casaceli, M. Riva, G. Scotti, S.M. Gaini, A. Falini // *Neurosurgical Focus*. – 2010. – Vol. 28.
28. Beneš V. 3rd. Survival and functional outcomes in paediatric thalamic and thalamopeduncular low grade gliomas / V. Beneš 3rd., M. Zápotocký, P. Libý, J. Táborský, J. Blažková Jr., J.Sr. Blažková, D. Sumerauer, A. Mišove, I. Perníková, M. Kynčl, L. Krsková, M. Koblížek, J. Zámečník, O. Bradáč, M. Tichý // *Acta Neurochirurgica*. – 2022. – Vol. 164. – P.1459-1472.
29. Berger M.S. Brain mapping techniques to maximize resection, safety, and seizure control in children with brain tumors / M.S. Berger, J. Kincaid, G.A. Ojemann, E. Lettich // *Neurosurgery*. – 1989. – Vol. 25. – P.786–792.
30. Berger M.S. Neurophysiological monitoring during astrocytoma surgery / M.S. Berger, G.A. Ojemann, E. Lettich // *Neurosurgery Clinics of North America*. – 1990. – Vol. 1. – P.65–80.
31. Broadway S.J. Surgical management of tumors producing the thalamopeduncular syndrome of childhood / S.J. Broadway, R.J. Ogg, M.A. Scoggins, R. Sanford, Z. Patay, F.A. Boop // *Journal of Neurosurgery*. – 2011. – Vol. 7. – P.589-595.
32. Brown T.J. Association of the Extent of Resection With Survival in Glioblastoma: A Systematic Review and Meta-analysis / T.J. Brown, M.C. Brennan, M. Li, E.W. Church, N.J. Brandmeir, K.L. Rakszawski, A.S. Patel, E.B. Rizk, D. Suki, R. Sawaya, M. Glantz // *JAMA Oncology*. – 2016. – Vol. 2. – P.1460-1469.
33. Budka H. Pathology of midline brain tumors / H. Budka // *Acta*

Neurochirurgica. – 1985. – Vol. 35. – P.23-30.

34. Byars A.W. Practical aspects of conducting large-scale functional magnetic resonance imaging studies in children / A.W. Byars, S.K. Holland, R.H. Strawsburg, W. Bommer, R.S. Dunn, V.J. Schmithorst, E. Plante // *Journal of Child Neurology*. – 2002. – Vol. 12. – P.885–890.

35. Caverzasi E. Identifying preoperative language tracts and predicting postoperative functional recovery using HARDI q-ball fiber tractography in patients with gliomas / E. Caverzasi, S.L. Hervey-Jumper, K.M. Jordan, I.V. Lobach, J. Li, V. Panara, C.A. Racine, V. Sankaranarayanan, B. Amirbekian, N. Papinutto, M.S. Berger, R.G. Henry // *Journal of Neurosurgery*. – 2016. – Vol. 125. – P.33-45.

36. Celtikci E. High-Definition Fiber Tractography in Evaluation and Surgical Planning of Thalamopeduncular Pilocytic Astrocytomas in Pediatric Population: Case Series and Review of Literature / E. Celtikci, P. Celtikci, D.T. Fernandes-Cabral, M. Ucar, J.C. Fernandez-Miranda, A.O. Borcek // *World Neurosurgery*. – 2017. – Vol. 98. – P.463-469.

37. Chitoku S. Extraoperative cortical stimulation of motor function in children / S. Chitoku, H. Otsubo, Y. Harada, V. Jay, J.T. Rutka, S.K. Weiss, M. Abdoll, O.C. Snead // *Pediatric Neurology*. – 2001. – Vol. 24. – P.344–350.

38. Cinalli G. Surgical treatment of thalamic tumors in children / G. Cinalli, D.T. Aguirre, G. Mirone, C. Ruggiero, D. Cascone, L. Quaglietta, F. Aliberti, S.D. Santi, M.C. Buonocore, A. Nastro, P. Spennato // *Journal of Neurosurgery*. – 2018. – Vol. 21. – P.247-257.

39. Cohen M.E. Brain tumors in children / M.E. Cohen, P.K. Duffner - New York.: Raven Press, 1994. – 513p.

40. Cramer S.C. Recovery recapitulates ontogeny / S.C. Cramer, M. Chopp // *Trends in Neurosciences*. – 2000. – Vol. 23. – P.265-271.

41. Dancause N. Vicarious function of remote cortex following stroke: recent evidence from human and animal studies / N. Dancause // *Neuroscientist*. – 2006. – Vol.12. – P.489-499.

42. De Tiege X. Influence of motor functional magnetic resonance imaging on

the surgical management of children and adolescents with symptomatic focal epilepsy / X. De Tiede, A. Connelly, F. Liegeois, W. Harkness, C.A. Clark, W.K. Chong, D.G. Gadian, J.H. Cross // *Neurosurgery*. – 2009. – Vol. 64. – P.856-864.

43. De Witt Hamer P.C. Impact of intraoperative stimulation brain mapping on glioma surgery outcome: a meta-analysis / P.C. De Witt Hamer, S.G. Robles, A.H. Zwinderman, H. Duffau, M.S. Berger // *Journal of Clinical Oncology*. – 2012. – Vol. 30. – P.2559-2565.

44. Dodge H.W. Jr. Gliomas of the optic nerves / H.W. Dodge Jr., J.G. Love, W.M. Craig, M.B. Dockerty, T.P. Kearns, C.B. Holman, A.B. Hayles // *AMA Archives of neurology psychiatry*. – 1958. – Vol.79. – P.607-621.

45. Donoghue M.J. Molecular gradients and compartments in the embryonic primate cerebral cortex / Donoghue M.J., P. Rakic // *Cerebral Cortex*. – 1999. – Vol.9. – P.586-600.

46. Dorfer C. Infiltrative gliomas of the thalamus in children: the role of surgery in the era of H3 K27M mutant midline gliomas / C. Dorfer, T. Czech, J. Gojo, A. Hosmann, A. Peyrl, A.A. Azizi, G. Kasprian, K. Dieckmann, M.G. Filbin, C. Haberler, K. Roessler, I. Slave // *Acta Neurochirurgica*. – 2021. – Vol. 163. – P.2025-2035.

47. Douis H. Bilateral thalamic glioma / H. Douis, M. Jafri, K. Sherlala // *Archives of Neurology*. – 2008. – Vol. 65. – P.1666-1667.

48. Duchowny M., P. Jayakar. Functional cortical mapping in children / M. Duchowny, P. Jayakar // *Advanced Neurology*. – 1993. – Vol. 63. – P.149–154.

49. Duffau H. Higher-Order Surgical Questions for Diffuse Low-Grade Gliomas: Supramaximal Resection, Neuroplasticity, and Screening / H. Duffau // *Neurosurgery Clinics of North America*. – 2019. Vol. 30. – P.119-128.

50. Duffau H. Diffuse low-grade glioma, oncological outcome and quality of life: a surgical perspective / H. Duffau // *Current Opinion in Oncology*. – 2018. – Vol. 30. – P.383-389.

51. Forsyth P.A. Supratentorial pilocytic astrocytomas. A clinicopathologic, prognostic, and flow cytometric study of 51 patients. / P.A. Forsyth, E.G. Shaw, B.W. Scheithauer, J.R. O'Fallon, D.D. Layton Jr., J.A. Katzmann // *The Cancer Journal*. – 1993.

– Vol. 72. – P.1335-1342.

52. Fransini A. Low-grade glial tumors in basal ganglia and thalamus: natural history and biological reappraisal / A. Fransini, F. Leocato, L. Cajola, D. Servello, A. Allegranza, G. Broggi // *Neurosurgery*. – 1994. – Vol. 35. – P.817-821.

53. Fried I. Optic pathway gliomas: a review / I. Fried, U. Tabori, T. Tihan, A. Reginald, E. Bouffet // *CNS Oncology*. – 2013. – Vol. 2. – P.143-159.

54. Fu W. Pediatric basal ganglia region tumors: clinical and radiological features correlated with histopathological findings / W. Fu, Y. Ju, S. Zhang, Ch. You // *World Neurosurgery*. – 2017. – Vol. 103. – P.504-516.

55. Gras-Combe G. Intraoperative subcortical electrical mapping of optic radiations in awake surgery for glioma involving visual pathways / G. Gras-Combe, S. Moritz-Gasser, G. Herbet, H. Duffau // *Journal of Neurosurgery*. – 2012. – Vol. 117. – P.466–473.

56. Habas P.A. Atlas-based segmentation of developing tissues in the human brain with quantitative validation in young fetuses / P.A. Habas, K. Kim, F. Rousseau, O.A. Glenn, A.J. Barkovich, C. Studholme // *Human Brain Mapping*. – 2010. – Vol. 31. – P.1348-1358.

57. Hebb D.O. The effect of early and late brain injury upon test scores, and the nature of normal adult intelligence / D.O. Hebb // *Proceedings of the American Philosophical Society*. – 1942. – Vol. 85. – P.275-292.

58. Hejrati N. Conscious Experience and Psychological Consequences of Awake Craniotomy / N. Hejrati, D. Spieler, R. Samuel, L. Regli, A. Weyerbrock, W. Surbeck // *World Neurosurgery*. – 2019. – Vol. 129. – P.381-386.

59. Hejrati N. Conscious Experience and Psychological Consequences of Awake Craniotomy / N. Hejrati, D. Spieler, R. Samuel, L. Regli, A. Weyerbrock, W. Surbeck // *World Neurosurgery*. – 2019. – Vol.129. – P.381-386.

60. Hill C.S. A systematic review of ongoing clinical trials in optic pathway gliomas / C.S. Hill, S.C. Devesa, W. Ince, A. Borg, K. Aquilina // *Child's Nervous System*. – 2020. – Vol. 9. – P.1869-1886.

61. Holland S.K. Normal fMRI brain activation patterns in children performing

a verb generation task / S.K. Holland, E. Plante, W.A. Byars, R.H. Strawsburg, V.J. Schmithorst, W.S. Ball Jr. // *NeuroImage*. – 2001. – Vol. 14. – P.837–843.

62. Huang H. Anatomical characterization of human fetal brain development with diffusion tensor magnetic resonance imaging / H. Huang, R. Xue, J. Zhang, T. Ren, L.J. Richards, P. Yarowsky, M.I. Miller, S. Mori // *Journal of Neuroscience*. – 2009. – Vol. 29. – P.4263-4273.

63. Huguet L. Psychological aspects of awake brain surgery in children-interests and risks / L. Huguet, L.N. Lohkamp, P.A. Beuriat, M. Desmurget, L. Bapteste, A. Szathmari, C. Mottolese, F. Di Rocco // *Child's Nervous System*. – 2020. – Vol. 36. – P.273-279.

64. Inskip P.D. New malignancies following childhood cancer in the United States, 1973-2002 / P.D. Inskip, R.E. Curtis // *International Journal of Cancer*. – 2007. – Vol. 121. – P. 2233–2240.

65. Ismail F.Y. Cerebral plasticity: Windows of opportunity in the developing brain / F.Y. Ismail, A. Fatemi, M.V. Johnston // *European Journal of Paediatric Neurology*. – 2017. – Vol. 21. – P.23-48.

66. Jain P. (2018) Intra-operative cortical motor mapping using subdural grid electrodes in children undergoing epilepsy surgery evaluation and comparison with the conventional extra-operative motor mapping / P. Jain, R. Whitney, S. Strantzas, B. McCoy, A. Ochi, H. Otsubo, O.C. Snead 3rd, S. Weiss, E. Donner, E. Pang, R. Sharma, A. Viljoen, A. Keller, J.M. Drake, J.T. Rutka, C. Go // *Clinical Neurophysiology*. – 2018. – Vol. 129. – P. 2642–2649.

67. Karan P. Bridging the gap between constrained spherical deconvolution and diffusional variance decomposition via tensor-valued diffusion MRI / P. Karan, A. Reymbaut, G. Gilbert, M. Descoteaux // *Medical Image Analysis*. – 2022. – Vol.79.

68. Kayama T. Guidelines committee of the Japan awake surgery conference. The guidelines for awake craniotomy guidelines committee of the Japan awake surgery conference / T. Kayama // *Neurologica medico-chirurgica*. 2012. – Vol.52. – P.119-141.

69. Keating R.F. Tumors of the Pediatric Central Nervous System / R.F. Keating, J.T. Goodrich, R.J. Packer - New York: Thieme, 2013. - 576 p.

70. Kennard M.A. Age and other factors in motor recovery from precentral lesions in monkeys / M.A. Kennard // *American Journal of Physiology*. – 1936. – Vol.115. – P.138-146.
71. Khan S. Fetal brain growth portrayed by a spatiotemporal diffusion tensor MRI atlas computed from in utero images / S. Khan, L. Vasung, B. Marami, C.K. Rollins, O. Afacan, C.M. Ortinau, E. Yang, S.K. Warfield, A. Gholipour // *Neuroimage*. – 2019. – Vol. 15. – P.593-608.
72. Kim J.H. Surgical Outcomes of Thalamic Tumors in Children: The Importance of Diffusion Tensor Imaging, Neuro-Navigation and Intraoperative Neurophysiological Monitoring / J.H. Kim, J.H. Phi, J.Y. Lee, K.H. Kim, S.H. Park, Y.H. Choi, B.K. Cho, S.K. Kim // *Brain Tumor Research and Treatment*. – 2018. – Vol. 6. – P.60-67.
73. Kis D. The role of probabilistic tractography in the surgical treatment of thalamic gliomas / D. Kis, A. Mate, Z.T. Kincses, E. Vörös, P. Barzo // *Journal of Neurosurgery*. – 2014. – Vol. 10. – P.262–272.
74. Kombos T. Impact of intraoperative neurophysiological monitoring on surgery of high-grade gliomas / T. Kombos, T. Picht, A. Derdilopoulos, O. Suess // *Journal of Clinical Neurophysiology*. – 2009. – Vol. 26. – P.422-425.
75. Kombos T. Monitoring of intraoperative motor evoked potentials to increase the safety of surgery in and around the motor cortex / T. Kombos, O. Suess, O. Ciklatekerlio, M. Brock // *Journal of Neurosurgery*. – 2001. – Vol. 95. – P.608-614.
76. Konkell L. The Brain before Birth: Using fMRI to Explore the Secrets of Fetal Neurodevelopment / L. Konkell // *Environmental Health Perspectives*. – 2018. – Vol. 126. – P.1120011 - 1120015.
77. Krägeloh-Mann I. Plasticity during Early Brain Development Is Determined by Ontogenetic Potential / I. Krägeloh-Mann, K. Lidzba, M.A. Pavlova, M. Wilke, M. Staudt // *Neuropediatrics*. – 2017. – Vol. 48. – P.66-71.
78. Küpper H. Predicting hand function after hemidisconnection / H. Küpper, M. Kudernatsch, T. Pieper, S. Groeschel, J.D. Tournier, D. Raffelt, P. Winkler, H. Holthausen, M. Staudt // *Brain, a journal of neurology*. – 2016. – Vol.139. – P.2456-2468.

79. Lidzba K. Predicting language outcome after left hemispherotomy: a systematic literature review / K. Lidzba, S.E. Bürki, M. Staudt // *Neurology: Clinical Practice*. – 2021. – T. 11. – №. 2. – C. 158-166.
80. Liegeois F. Role of fMRI in the decision-making process: epilepsy surgery for children / F. Liegeois, J.H. Cross, D.G. Gadian, A. Connelly // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. – 2006. – Vol. 23. – P.933–940.
81. Lorenzen A. Role of presurgical functional MRI and diffusion MR tractography in pediatric low-grade brain tumor surgery: a single-center study / A. Lorenzen, S. Groeschel, U. Ernemann, M. Wilke, M.U. Schuhmann // *Childs Nervous System*. – 2018. – Vol. 34. – P.2241-2248.
82. Lotze M. The role of multiple contralesional motor areas for complex hand movements after internal capsular lesion / M. Lotze, J. Markert, P. Sauseng, J. Hoppe, C. Plewnia, C. Gerloff // *Journal of Neuroscience*. – 2006. – Vol. 26. – P.6096-6102.
83. Luo Y. Clinical utility and limitations of intraoperative monitoring of visual evoked potentials / Y. Luo, L. Regli, O. Bozinov, J. Sarnthein // *Public library of science one*. – 2015. – Vol. 10. – P.1-15.
84. Malone L.A. Pediatric Stroke: Unique Implications of the Immature Brain on Injury and Recovery / L.A. Malone, R.J. Felling // *Pediatric Neurology*. – 2020. – Vol. 102. – P.3-9.
85. Mancall E.L. Gray's clinical neuroanatomy: the anatomic basis for clinical neuroscience / E.L. Mancall, D. G. Brock – Philadelphia: Elsevier, 2011. – 445 p.
86. Martínez Santos J.L. Microsurgical anatomy and approaches to thalamic gliomas. Part 1: A cartography guide for navigating to the thalamus. Integrating 3D model rendering with anatomical dissections / J.L. Martínez Santos, Z. Aljuboori, A.M. Richardson, S. Hanalioglu, H.O. Peker, I. Aydin, Z.F. Al-Sharshahi, O. Tunc, D. Karatas, E. Avci, M.K. Baskaya // *Journal Neurosurgery*. – 2024. – Vol. 141. – P. 1457–1471.
87. Martínez Santos J.L. Microsurgical anatomy and approaches to thalamic gliomas. Part 2: Maximal safe resection of thalamic gliomas improves outcomes. A single-center experience / J.L. Martínez Santos, Z. Aljuboori, A.M. Richardson, S. Hanalioglu, H.O. Peker, B. Sahin, Z.F. Al-Sharshahi, O.S. Sahin, H. Kina, S.G.

Ammanuel, B.J. Iskandar, M.K. Baskaya // *Journal Neurosurgery*. – 2024. – Vol. 141. – P. 1472–1483.

88. Mishra N. Preoperative simulation as part of psychological preparation for successful awake craniotomy in children / N. Mishra, R. Satpathy, S. Jaidev, R.N. Sahu // *Journal of Clinical Anesthesia*. – 2022. – Vol. 79. – P.110670.

89. Müller K. Ontogeny of ipsilateral corticospinal projections: a developmental study with transcranial magnetic stimulation / K. Müller, F. Kass-Iliyya, M. Reitz // *Annals of Neurology*. – 1997. – Vol. 42. – P.705-711.

90. Moshel Y.A. Role of diffusion tensor imaging in resection of thalamic juvenile pilocytic astrocytoma / Y.A. Moshel Y.A., R.E. Elliott, D.J. Monoky, J.H. Wisoff // *Journal of Neurosurgery*. – 2009. – Vol. 4. – P.495-505.

91. Nespeca M. EEG recording and functional localization studies with subdural electrodes in infants and young children / M. Nespeca, E. Wyllie, H. Luders // *Journal of Epilepsy*. – 1990. – Vol. 3. – P. 107–124.

92. Neuloh G. Motor evoked potential monitoring with supratentorial surgery / G. Neuloh, U. Pechstein, C. Cedzich, J. Schramm // *Neurosurgery*. – 2004. – Vol. 54. – P.1061-1072.

93. Neuloh G. What the surgeon wins, and what the surgeon loses from intraoperative neurophysiologic monitoring? / G. Neuloh, J. Schramm // *Acta Neurochirurgica*. – 2005. – Vol.147. – P.811-813.

94. Nossek E. Intraoperative mapping and monitoring of the corticospinal tracts with neurophysiological assessment and 3-dimensional ultrasonography-based navigation / E. Nossek, A. Korn, T. Shahar, A.A. Kanner, H. Yaffe, D. Marcovici, C. Ben-Harosh, H. Ben Ami, M. Weinstein, I. Shapira-Lichter, S. Constantini, T. Hendler, Z. Ram // *Journal of Neurosurgery*. – 2011. – Vol. 114. – P.738-46.

95. O'Leary K.D. How often do awake craniotomies in children and adolescents lead to panic and worry? / K.D. O'Leary, A.J. Philippopoulos, A. Koslofsky, Y. Ahmed // *Child's Nervous System*. - 2024. – Vol. 40. – P.359-370.

96. Ostrom Q.T. Alex's Lemonade Stand Foundation Infant and Childhood Primary Brain and Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in

2007–2011 / Q.T. Ostrom, P.M. de Blank, C. Kruchko, C.M. Petersen, P. Liao, J.L. Finlay, D.S. Stearns, J.E. Wolff, Y. Wolinsky, J.J. Letterio, J.S. Barnholtz-Sloan // *Neuro-Oncology*. – 2015. – Vol. 16. - P1–P36.

97. Ostrom Q.T. CBTRUS Statistical Report: Primary brain and other central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2010-2014 / Q.T. Ostrom, H. Gittleman, P. Liao, T. Vecchione-Koval, Y. Wolinsky, C. Kruchko, J.S. Barnholtz-Sloan // *Neuro-Oncology*. – 2017. – Vol. 19. – P.1-88.

98. Ostrom, Q.T. CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2015–2019 / Q.T. Ostrom, M. Price, C. Neff, G. Cioffi, K.A. Waite, C. Kruchko, S.B. Jill // *Neuro-Oncology*. – 2022. – Vol. 24. – P. 1 – 95.

99. Ostrom, Q.T. CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2016-2020 / Q.T. Ostrom, M. Price, C. Neff, G. Cioffi, K.A. Waite, C. Kruchko, S.B. Jill // *Neuro-Oncology*. – 2023. – Vol. 25. – P. 1 - 99.

100. Ozek M.M. Surgical approach to thalamic tumors / M.M. Ozek, U. Ture // *Child's Nervous System*. – 2002. – Vol. 18. – P.450-456.

101. Penfield W. Combined regional and general anesthesia for craniotomy and cortical exploration. Part I. Neurosurgical considerations / W. Penfield // *Current researches in anesthesia and analgesia*. – 1954. – Vol. 33. – P. 145–155.

102. Puget S. Thalamic tumors in children: a reappraisal / S. Puget, D.W. Crimmins, M.R. Garnett, J. Grill, R. Oliveira, N. Boddaert, A. Wray, A. Lelouch-Tubiana, T. Roujeau, F. Di Rocco, M. Zerah, C. Sainte-Rose // *Journal of Neurosurgery*. – 2007. – Vol. 106. – P.354–362.

103. Raabe A. Continuous dynamic mapping of the corticospinal tract during surgery of motor eloquent brain tumors: evaluation of a new method / A. Raabe, J. Beck, P. Schucht, K. Seidel // *Journal of Neurosurgery*. – 2014. – Vol. 120. – P.1015-1024.

104. Rakic P. Developmental and evolutionary adaptations of cortical radial glia / P. Rakic // *Cerebral Cortex*. – 2003. – Vol. 13. – P. 541-549.

105. Renedo D. Thalamic tumors in children: case series from our institution and

literature review / D. Renedo, F. Ferraro, A.R. Johnson, R. Argañaraz, S. Giovannini, J.P. Zabala, E. Zemma, B. Mantese // *Child's Nervous System*. – 2021. – Vol. 37. - P.457–463.

106. Ressel V. Increases in language lateralization in normal children as observed using magnetoencephalography / V. Ressel, M. Wilke, K. Lidzba, W. Lutzenberger, I. Krägeloh-Mann // *Brain and Language*. – 2008. – Vol. 106. – P.167–176.

107. Rhoton A.L. Jr. The supratentorial arteries / A.L. Rhoton Jr. // *Neurosurgery*. – 2002. – Vol. 51. – P.53-120.

108. Ries L.A.G. Cancer Incidence and Survival among Children and Adolescents: United States SEER Program 1975–1995 / L.A.G. Ries, M.A. Smith, J.G. Gurney, M. Linet, T. Tamra, J.L. Young, G.R. Bunin – USA, Bethesda: National Cancer Institute, SEER Program. – 1999. – 182 p.

109. Roth J. Intraoperative neurophysiology in pediatric supratentorial surgery: experience with 57 cases / J. Roth, A. Korn, F. Sala, H. Benvenisti, M. Jubran, Y. Bitan-Talmor, M. Ekstein, S. Constantini // *Child's Nervous System*. – 2020. – Vol. 36. – P. 315–324.

110. Sala F. Penfield's stimulation for direct cortical motor mapping: an outdated technique? / F. Sala // *Clinical Neurophysiology*. – 2018. – Vol. 129. – P. 2635–2637.

111. Sanai N. Intraoperative stimulation techniques for functional pathway preservation and glioma resection / N. Sanai, M.S. Berger // *Neurosurgical Focus*. – 2010. – Vol. 28.

112. Santos M.M. Pediatric central nervous system tumors: review of a single Portuguese institution / Santos M.M., C.C. Faria, J. Miguéns // *Child's Nervous System*. – 2016. – Vol. 32. – P.1227-1236.

113. Schucht P. A review of monopolar motor mapping and a comprehensive guide to continuous dynamic motor mapping for resection of motor eloquent brain tumors / P. Schucht, K. Seidel, A. Jilch, J. Beck, A. Raabe // *Neurochirurgie*. – 2017. – Vol. 63. – P.175-180.

114. Seidel K. The warning-sign hierarchy between quantitative subcortical motor mapping and continuous motor evoked potential monitoring during resection of

supratentorial brain tumors / K. Seidel, J. Beck, L. Stieglitz, P. Schucht, A. Raabe // *Journal of Neurosurgery*. – 2013. – Vol. 118. – P.287–296.

115. Seidel K. Continuous Dynamic Mapping to Identify the Corticospinal Tract in Motor Eloquent Brain Tumors: An Update / K. Seidel, P. Schucht, J. Beck, A. Raabe // *Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery*. – 2020. – Vol. 81. – P.105-110.

116. Seitz R.J. Role of the premotor cortex in recovery from middle cerebral artery infarction / R.J. Seitz, P. Höflich, F. Binkofski, L. Tellmann, H. Herzog, H.J. Freund // *Archives of neurology*. – 1998. – Vol.55. – P.1081-1088.

117. Sharaf A.F. Bilateral thalamic and right fronto-temporo-parietal gliomas in a 4 years old child diagnosed by magnetic resonance imaging / A.F. Sharaf, E.S. Hamouda, J.G. Teo // *Journal of Radiology Case Repots*. – 2016. – Vol. 10. – P.1–13.

118. Shiban E. Intraoperative subcortical motor evoked potential stimulation: how close is the corticospinal tract? / E. Shiban, S.M. Krieg, B. Haller, N. Buchmann, T. Obermueller, T. Boeckh-Behrens, M. Wostrack, B. Meyer, F. Ringel // *Journal of Neurosurgery*. – 2015. - Vol. 123. – P.711-720.

119. Signorelli F. Intraoperative electrical stimulation mapping as an aid for surgery of intracranial lesions involving motor areas in children / F. Signorelli, J. Guyotat, C. Mottolese, F. Schneider, G. D'Acunzi, J. Isnard // *Child's Nervous System*. – 2004. – Vol. 20. – P.420–426.

120. Staudt M. Functional MRI in a 6-year-old boy with unilateral cortical malformation: concordant representation of both hands in the unaffected hemisphere / M. Staudt, T. Pieper, W. Grodd, P. Winkler, H. Holthausen, I. Krägeloh-Mann // *Neuropediatrics*. – 2001. – Vol. 32. – P.159–161.

121. Staudt M. Searching for motor functions in dysgenic cortex: a clinical transcranial magnetic stimulation and functional magnetic resonance imaging study / M. Staudt, I. Krägeloh-Mann, H. Holthausen, C. Gerloff, W. Grodd // *Journal of Neurosurgery*. – 2004. – Vol. 101. – P.69–77.

122. Steinbok P. Pediatric thalamic tumors in the MRI era: a Canadian perspective / P. Steinbok, C.V. Gopalakrishnan, A.R. Hengel, A.M. Vitali, K. Poskitt, C. Hawkins, J.

Drake, M. Lamberti-Pasculli, O. Ajani, W. Hader, V. Mehta, P.D. McNeely, P.J. McDonald, A. Ranger, M. Vassilyadi, J. Atkinson, S. Ryall, D.D. Eisenstat, J. Hukin // *Child's Nervous System*. – 2016. – Vol. 32. – P.269–280.

123. Stokland T. A multivariate analysis of factors determining tumor progression in childhood low-grade glioma: a population-based cohort study (CCLG CNS9702) / T. Stokland, J.F. Liu, J.W. Ironside, D.W. Ellison, R. Taylor, K.J. Robinson, S.V. Picton, D.A. Walker // *Journal of Neuro-Oncology*. – 2010. – Vol. 12. – P.1257-1268.

124. Szaflarski J.P. FMRI study of language lateralization in children and adults / J.P. Szaflarski, S.K. Holland, V.J Schmithorst, A.W. Byars // *Human Brain Mapping*. – 2006. – Vol. 27. – P.202–212.

125. Taniguchi M, Cedzich C, Taniguchi M, Cedzich C, Schramm J (1993) Modification of cortical stimulation for motor evoked potentials under general anesthesia. *Neurosurgery* 32(2):219–226.

126. Tanriover N. Microsurgical anatomy of the cisternal anterior choroidal artery with special emphasis on the preoptic and postoptic subdivisions / N. Tanriover, B. Kucukyuruk, M.O. Ulu, C. Isler, B.Sam, B. Abuzayed, M. Uzan, H. Ak, S. Tuzgen // *Journal of Neurosurgery*. – 2014. – Vol. 120. – P.1217-1228.

127. Thompson E.M. The clinical importance of medulloblastoma extent of resection: a systematic review / E.M. Thompson, A. Bramall, J.E. Herndon, M.D. Taylor, V. Ramaswamy // *Journal of Neuro-Oncology*. – 2018. – Vol. 139. – P.523-539.

128. Vasung L. Ex vivo fetal brain MRI: Recent advances, challenges, and future directions / L. Vasung, C.J. Charvet, T. Shiohama, B. Gagoski, J. Levman, E. Takahashi // *Neuroimage*. – 2019. – Vol. 15. – P.23-37.

129. Walker D.A. Brain and spinal tumors of childhood / D.A. Walker., G. Perilongo, J. Punt, E.R. Taylor // *Neuro-Oncology*. – 2004. – Vol. 9. – P.231–233.

130. Walter A.W. Secondary brain tumors in children treated for acute lymphoblastic leukemia at St. Jude Children's Research Hospital / A.W. Walter, M.L. Hancock, C.H. Pui, M.M. Hudson, J.S. Ochs, G.K. Rivera, C.B. Pratt, J.M. Boyett, L.E. Kun // *Journal Clinical Oncology*. – 1998. – Vol.16. – P. 3761–3767.

131. WHO Classification of Tumours, 5th edition: Central Nervous System

Tumours. International Agency for Research on Cancer. – 2021. - Vol. 6.

132. Wilke M. Functional magnetic resonance imaging in pediatrics / M. Wilke, S.K. Holland, J.S. Myseros, V.J. Schmithorst, W.S. Ball // *Neuropediatrics*. – 2003. – Vol. 34. – P.225–233.

133. Wilke M. Clinical application of advanced MR methods in children: points to consider / M. Wilke, S. Groeschel, A. Lorenzen, S. Rona, M.U. Schuhmann, U. Ernemann, I. Krägeloh-Mann // *Annals of Clinical and Translational Neurology*. – 2018. – Vol.5. – P.1434-1455.

134. Wisoff J.H. Primary neurosurgery for pediatric low-grade gliomas: a prospective multi-institutional study from the Children’s Oncology Group / J.H. Wisoff, R.A. Sanford, L.A. Heier, et al. R. Sposto, P.C. Burger, A.J. Yates, E.J. Holmes, L.E. Kun // *Neurosurgery*. – 2011. Vol. 68(6). – P. 1548–1555.

135. Yamaguchi F. An intraoperative motor tract positioning method in brain tumor surgery: technical note / F. Yamaguchi, H. Ten, T. Higuchi, T. Omura, T. Kojima, K. Adachi, T. Kitamura, S. Kobayashi, H. Takahashi, A. Teramoto, A. Morita // *Journal of Neurosurgery*. – 2018. – Vol. 129. – P.576-582.

136. Yerys B.E. The fMRI success rate of children and adolescents: typical development, epilepsy, attention deficit/hyperactivity disorder, and autism spectrum disorders / B.E. Yerys, K.F. Jankowski, D. Shook, L.R. Rosenberger, K.A. Barnes, M.M. Berl, E.K. Ritzl, J. Vanmeter, C.J. Vaidya, W.D. Gaillard // *Human Brain Mapping*. – 2009. – Vol. 30. – P.3426–3435.