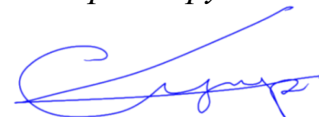


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПЕРВЫЙ МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
И.М.СЕЧЕНОВА МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ (СЕЧЕНОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

На правах рукописи



Суфианов Ринат Альбертович

**Топографо-анатомическое обоснование выбора оптимальной
нейрохирургической технологии при заболеваниях труднодоступной
локализации**

3.3.1. Анатомия и антропология

3.1.10. Нейрохирургия

Диссертация

на соискание ученой степени

доктора медицинских наук

Научные консультанты:

доктор медицинских наук, профессор
Дыдыкин Сергей Сергеевич

доктор медицинских наук
Маматханов Магомед Рамазанович

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 6 |
| ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ..... | 24 |
| 1.1. История развития и современное состояние хирургии глубоких структур головного мозга | 24 |
| 1.1.1. Анатомическое и клиническое понятие глубоких структур в нейрохирургии | 24 |
| 1.1.2. Эволюция методов прижизненной визуализации труднодоступных структур в топографо-анатомических исследованиях..... | 32 |
| 1.2. Опухоли боковых желудочков: эволюция малоинвазивных технологий и проблема анатомического обеспечения | 36 |
| 1.2.1. Микрохирургическая анатомия желудочковой системы..... | 37 |
| 1.2.2. Эволюция хирургических подходов: от традиционной микрохирургии к малоинвазивным технологиям | 42 |
| 1.3. Хирургическое лечение эпилепсии..... | 48 |
| 1.4. Анатомо-морфометрические детерминанты хирургического лечения невралгии тройничного нерва | 55 |
| 1.5. Современное состояние проблемы и перспективы развития фетальной нейрохирургии гидроцефалии..... | 59 |
| 1.6. Заключение..... | 62 |
| ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ..... | 65 |
| 2.1. Анатомические исследования на кадаверном материале | 66 |
| 2.2. Экспериментальная часть работы..... | 77 |
| 2.3. Клинический раздел работы | 82 |
| 2.4. Статистический анализ | 88 |
| ГЛАВА 3. ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНДОЭКЗОСКОПИЧЕСКОЙ МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ ТРЕТЬЕГО И БОКОВЫХ ЖЕЛУДОЧКОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА | 90 |
| 3.1. Макроскопическая кадаверная анатомия..... | 90 |

| | |
|---|------------|
| 3.2. Интраоперационная нейроэндоскопическая анатомия основных внутрижелудочковых ориентиров | 101 |
| 3.3. Технология выполнения эндоскопической малоинвазивной хирургии третьего и боковых желудочков головного мозга..... | 103 |
| 3.4. Технология выполнения экзоскопической малоинвазивной хирургии третьего и боковых желудочков головного мозга с применением тубулярного ретрактора | 105 |
| 3.5. Сравнительная клиническая оценка результатов эндоскопических операций при объемных образованиях внутрижелудочковых локализаций..... | 108 |
| ГЛАВА 4. ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ ЭПИЛЕПСИИ..... | 129 |
| 4.1. Анатомические исследования венозного угла и амигдалогиппокампального комплекса..... | 129 |
| 4.1.1. Изучение анатомии венозного угла на кадаверном материале..... | 129 |
| 4.1.2. Изучение анатомии венозного угла по данным магнитно-резонансной томографии..... | 134 |
| 4.1.3. Изучение анатомии венозного угла и глубоких вен в области отверстия Монро и передних ядер таламуса посредством эндоскопической анатомии <i>in vivo</i> | 142 |
| 4.1.4. Оценка структуры амигдалогиппокампального комплекса по данным кадаверного материала..... | 146 |
| 4.1.5. Интраоперационная анатомия височного рога, гиппокампа..... | 154 |
| 4.1.6. Цифровое анатомическое исследование с использованием FreeSurfer..... | 155 |
| 4.2. Экспериментальное исследование | 158 |
| 4.3. Клиническое исследование..... | 163 |
| 4.3.1. Хирургическая технология выполнения стереоэндоскопической лазерной термодеструкции передних ядер таламуса | 165 |
| 4.3.2. Хирургическая технология выполнения безрамной стереоэндоскопической лазерной амигдалогиппокампотомии и форникотомии..... | 171 |

| | |
|---|-----|
| 4.3.3. Оценка исходов хирургического лечения | 175 |
| ГЛАВА 5. ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНДОЭКСКОПИЧЕСКОЙ МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ МОСТОМОЗЖЕЧКОВОГО УГЛА НА ПРИМЕРЕ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ НЕВРАЛГИИ ТРОЙНИЧНОГО НЕРВА..... | |
| 196 | 196 |
| 5.1. Макроскопическая анатомия мостомозжечкового угла | 196 |
| 5.2. Магнитно-резонансная морфометрия тройничного нерва и устья пещеры Меккеля | 200 |
| 5.2.1. Сравнительный анализ магнитно-резонансной морфометрии тройничного нерва в норме и при тригеминальной невралгии | 204 |
| 5.3. Интраоперационная нейроэндоскопическая анатомия основных ориентиров мостомозжечкового угла..... | 211 |
| 5.4. Возможности интраоперационного непрерывного видеострима в хирургии мостомозжечкового угла..... | 218 |
| 5.5. Технология эндоскопической в малоинвазивной хирургии невралгии тройничного нерва..... | 223 |
| 5.6. Результаты хирургического лечения невралгии тройничного нерва с применением модифицированной методики микроваскулярной декомпрессии . | 228 |
| ГЛАВА 6. ФЕТАЛЬНАЯ ХИРУРГИЯ ПРИ ОККЛЮЗИОННОЙ ГИДРОЦЕФАЛИИ ПЛОДА | |
| 238 | 238 |
| 6.1. Сравнительная эндоскопическая анатомия желудочков мозга при гидроцефалии во внутриутробном периоде и после рождения | 238 |
| 6.2. Экспериментальная работа | 247 |
| 6.3. Клиническая часть | 252 |
| 6.4. Заключение..... | 263 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 266 |
| ВЫВОДЫ | 285 |
| ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ | 289 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ..... | 293 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 296 |

| | |
|--|-----|
| ПРИЛОЖЕНИЕ А – ЦИФРОВАЯ ШКАЛА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ..... | 331 |
|--|-----|

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Термин «труднодоступная локализация» встречается в нейрохирургической литературе с середины 1980-х гг. Отечественные авторы склонны были относить к труднодоступным для хирургического лечения новообразования желудочковой системы, подкорковых узлов, мозолистого тела, продолговатого мозга. К. Г. Айрапетов [1] применяет формулировку «сложная локализация», выделяя ее критерии: расположение в функционально значимой зоне мозга, глубинное расположение, близость к диэнцефальным и стволовым структурам, вовлечение черепно-мозговых нервов и сосудов основания черепа [7]. А. В. Шабунин с соавт. [8] использует термин «глубинная и труднодоступная локализация», относя к таковым опухоли островка височной доли, пинеальной области, мозолистого тела, таламуса, ножки мозга.

В зарубежной литературе аналог термину «труднодоступная локализация» отсутствует, используются термины *deep seated* [72] и *deep brain* [263], близкие, по сути, к отечественному «глубинная локализация». По данным портала PubMed, они фигурируют в 178 работах начиная с 1981 г. Различные авторы упоминают при расшифровке термина такие локализации как: базальные ганглии, таламус и средний мозг [92, 231, 228], внутрижелудочковую [66, 167, 258, 214] петрокливальную [95, 199] локализацию.

Доступ к глубинным образованиям требует прохождения через значительный объем функционально важной мозговой ткани, что исторически ассоциировано с высоким риском повреждения критических анатомических структур и значительным числом осложнений [1, 8, 72, 280]. Традиционные нейрохирургические подходы предполагают обширные краниотомии, широкие кортикотомии, пролонгированную ретракцию мозговой ткани и диссекцию проводящих путей белого вещества, создавая риск паренхиматозного повреждения, ишемии, послеоперационного отека и энцефаломалации [72, 190, 203, 280].

Последние два десятилетия характеризуются устойчивым трендом к минимизации инвазивности при лечении патологии глубинных структур головного мозга. Эндоскопические, экзоскопические, стереотаксические и лазерные технологии заняли определенные позиции в арсенале современной нейрохирургии, ассоциированы со снижением операционной травмы, сокращением реабилитационного периода и улучшением функциональных исходов. [65, 109, 101, 218]. Нейроэндоскопия получила дальнейшее развитие благодаря внедрению HD- и 4K-камер, стереоскопических 3D-эндоскопов, совмещению с интраоперационной МРТ, нейронавигацией и флуоресцентной визуализацией [65, 98, 218]. Разрешение 4K (3840×2160 пикселей) обеспечивает детализацию тончайших анатомических структур [171, 249]. Трехмерные эндоскопы используют стереоскопический принцип, создавая для каждого глаза отдельное изображение, что решает фундаментальную проблему эндоскопической хирургии – ограниченное восприятие глубины [65, 101]. Современные эндоскопические системы обеспечивают панорамную визуализацию с глубиной резкости при работе в узких анатомических пространствах [65, 218]. Цифровые экзоскопы, появившиеся в середине 2010-х как heads-up альтернатива традиционному операционному микроскопу, обеспечивают 4K-3D-визуализацию с увеличенной глубиной резкости и рабочим расстоянием [109, 171, 271, 249]. Тубулярные ретракторы различных форм и диаметров создают цилиндрический коридор через анатомические структуры, стандартизируя парафасцикулярный трансулкальный доступ и обеспечивая равномерное распределение давления на мозговую ткань [267, 72, 167, 263].

Крупные наблюдательные серии и сопоставительные работы демонстрируют сопоставимые показатели радикальности резекции для тубулярных коридоров при приемлемом профиле осложнений [267, 262, 167, 263]. Систематические обзоры 2016–2025 гг. демонстрируют сопоставимость малоинвазивных подходов с традиционной микрохирургией по радикальности резекции при снижении периоперационной морбидности [109, 111, 171, 263]. Гибридизация экзоскопа с эндоскопом (endoscope-under-exoscope) расширяет углы обзора и манёвренность в

труднодоступных зонах при краниобазальных вмешательствах, интравентрикулярных опухолях и аневризмах [245, 264]. Таким образом, техническое обеспечение современных малоинвазивных методов достигло уровня, позволяющего выполнять прецизионные вмешательства в труднодоступных анатомических зонах [109, 171, 101, 264].

Но одновременно технологический прогресс малоинвазивной нейрохирургии выявил фундаментальную проблему, которую можно определить как *анатомический разрыв*: существующее анатомическое обеспечение, созданное для традиционной микроскопической хирургии на основе изучения фиксированного кадаверного материала, не соответствует в полной мере потребностям эндоскопической, экзоскопической и стереотаксической хирургии [240, 253, 91, 215]. Вариабельность вентрикулярных ориентиров в эндоскопической проекции, ограниченная анатомическая точность диффузионной трактографии без валидации субкортикальным картированием, отсутствие консенсуса по деталям строения критических структур (мембрана Лиликвиста, хороидальная щель, область Монро) и недостаточная стандартизация интеграции кадаверной диссекции с прижизненной визуализацией создают методологический разрыв между зрелостью технологий и прикладным анатомическим обеспечением [157, 154, 209, 198].

Степень разработанности темы исследования

Фундаментальным ограничением традиционной анатомической базы является то, что она основана на изучении фиксированного кадаверного материала и не отражает особенностей прижизненной визуализации при малоинвазивных вмешательствах [203, 208, 209, 278]. Существующие анатомические описания не учитывают динамические изменения конфигурации желудочков при гидроцефалии, васкулярную пульсацию сосудистого сплетения, циркуляцию ликвора и другие прижизненные феномены, существенно влияющие на интраоперационную картину [233, 218, 282]. Цветовые характеристики эпендимы,

хориоидального сплетения, венозных структур в условиях эндоскопической иллюминации существенно отличаются от таковых на фиксированных препаратах или при микроскопической визуализации [65, 196, 218]. Систематизированные данные о прижизненной анатомии внутрижелудочковых и глубинных структур в условиях эндоскопической, экзоскопической и стереотаксической визуализации крайне фрагментарны и практически не представлены в современной литературе [231, 228, 279, 200]. Отсутствуют унифицированные описания анатомических ориентиров для различных технологий визуализации, систематизация вариантов строения желудочковой системы и глубинных структур применительно к малоинвазивным доступам, сравнительные данные о визуализации одних и тех же структур при различных технологических подходах. Не разработаны стандартизированные протоколы идентификации критических анатомических структур в условиях эндоскопической и экзоскопической визуализации, отсутствуют количественные данные о безопасных зонах и траекториях доступа для различных анатомических вариантов.

Так, в частности, технологический прогресс малоинвазивной хирургии эпилепсии намного опережает развитие ее анатомического обеспечения. Существующие анатомические атласы и классификации, созданные для традиционной микрохирургии на основе фиксированных кадаверных препаратов, не соответствуют потребностям стереотаксической, эндоскопической и экзоскопической нейрохирургии эпилепсии [34, 238, 155, 209, 124]. Стереотаксическое планирование траекторий доступа требует прецизионной визуализации индивидуальной топографии глубинных структур на томографических изображениях *in vivo*, существенно отличающихся от кадаверной анатомии отсутствием артефактов фиксации, сохранением нормального кровенаполнения венозных коллекторов и физиологической конфигурации желудочковой системы, визуализацией динамических характеристик структур [253, 143, 132, 236].

Фетальная нейрохирургия хотя и стоит особняком в нейрохирургических нозологиях, но представляет, по сути, типичную модель развития малоинвазивных

технологий в хирургии глубоких структур центральной нервной системы (ЦНС). Начиная с 1980-х гг. данное направление прошло путь от открытых гистеротомических доступов к эндоскопическим методикам [56, 64, 115, 104, 103]. Эндоскопические методы лечения гидроцефалии постепенно эволюционировали, демонстрируя технические возможности минимально инвазивных подходов [65, 73]. Первые публикации о нейроэндоскопических операциях при окклюзионной гидроцефалии у плода появились в 2003 г. [114, 115], однако послеоперационные осложнения в виде нарастания гидроцефалии и гибели плода привели к заключению о преждевременности внедрения данного подхода. Экспериментальные работы Peiro J. L. и коллег на 50 моделях гидроцефалии у плода овец продемонстрировали техническую осуществимость эндоскопической вентрикулостомии дна третьего (III) желудочка с общим успехом в 64% случаев, а при исключении случаев, искусственно заблокированных полимером, успешность составила 80% [113]. Современные обзоры указывают, что применение фетальной МРТ, молекулярно-генетической диагностики и усовершенствованных шунтирующих систем может улучшить отбор пациентов и безопасность процедуры [4, 239, 233]. На наш взгляд, условие успеха – так же и в современных анатомических исследованиях, которые должны предварять любую новую малоинвазивную технологию.

Решению проблемы создания специализированного анатомического обеспечения современной малоинвазивной нейрохирургии глубоких структур посвящена настоящая диссертационная работа. Комплексное анатомо-клиническое исследование включает систематизацию прижизненной топографии ключевых глубоких зон головного мозга с позиций эндоскопии, экзоскопии и стереотаксиса, интеграцию данных кадаверной диссекции с методами прижизненной визуализации, разработку стандартизированных протоколов интраоперационной идентификации функционально значимых образований и создание алгоритмов выбора операционного метода на основе персонализированной морфометрии. Реализация данного подхода обеспечит переход от эмпирического освоения новых технологий к их научно обоснованному

применению, что приведет к улучшению безопасности вмешательств, стандартизации хирургических подходов и оптимизации результатов лечения пациентов с патологией глубоких отделов головного мозга.

Цель и задачи исследования

Цель исследования

Разработать эффективные и безопасные нейрохирургические технологии при заболеваниях головного мозга труднодоступной локализации посредством изучения ключевых анатомических особенностей, на основе персонифицированных топографо-анатомических данных, цифровой прижизненной анатомии пациента и 3D-анатомических моделей.

Задачи исследования

1. На основе топографо-анатомических исследований, использования цифровой и 3D-анатомических моделей определить анатомические условия эффективной и безопасной нейрохирургии различной инвазивности в зонах «труднодоступной локализации».

2. Определить сравнительную клиническую эффективность, используя результаты топографо-анатомических исследований, цифровые и 3D-анатомические модели эндоскопических операций, при объемных образованиях внутрижелудочковых локализаций.

3. Определить анатомические и технологические условия успешной и безопасной стереотаксической нейрохирургии при эпилепсии, выявить важные особенности эндоскопической анатомии венозного угла (зона слияния передней перегородочной вены и таламостриарной вены), как ключа безопасности эндоскопической и стереотаксической нейрохирургии таламуса.

4. Провести экспериментальную оценку результатов лазерного воздействия на формирования очага деструкции нервной ткани у крыс.

5. На основе цифровых анатомических исследований определить наиболее вероятностные этиологические анатомические изменения, ведущие к невралгии тройничного нерва.

6. Провести сравнительный анализ результатов разных сочетаний эндоскопических и стереотаксических операций при эпилепсии.

7. Модифицировать с учетом результатов анатомических исследований и найденных закономерностей технологию операции при невралгии тройничного нерва, провести сравнительную оценку ее эффективности.

8. Провести комплексный анализ анатомо-топографических особенностей структур желудочковой системы мозга в пренатальном периоде, а также в эксперименте на животных, на 3D-моделях выявить отработать структуры для предоперационного планирования и определить объем рабочего полостного пространства для внутриутробных эндоскопических операций.

9. Разработать и внедрить в клиническую практику методики внутриутробных дренирующих эндоскопических операций при окклюзионной гидроцефалии плода в зависимости от этиологии, предложить алгоритм действий, оценить клинические результаты таких операций.

Научная новизна

Поставленные цель и задачи определяют научную новизну исследования.

1. Обоснована и внедрена концепция «хирургической прижизненной анатомии» (*in vivo*) как самостоятельного направления нейроанатомических исследований, основанного на развитии технологий интраоперационной визуализации 3D/4К-экзоскопии и 3D/4К-эндоскопии. Установлено кардинальное отличие интраоперационной анатомии глубинных структур (венозный угол, внутрижелудочковые ориентиры, желудочковая система плода) от кадаверной и томографической картины вследствие прижизненных феноменов: васкулярной

пульсации, динамических изменений конфигурации желудочков, циркуляции ликвора, цветовых характеристик тканей. Данное расхождение определяет необходимость систематизации интраоперационных анатомических данных как обязательного условия развития малоинвазивной нейрохирургии.

2. Разработана оригинальная методика экзоэндоскопической интраоперационной визуализации, основанная на интеграции цифрового хирургического эндоскопа 3D/4K и ригидной нейроэндоскопии 3D/4K в единый бесшовный видеопоток с программной коррекцией цветопередачи и синхронизацией параметров изображения. Технология реализует принцип непрерывного визуального контроля («стрим-визуализация»), устраняющий необходимость переключения между различными режимами визуализации и обеспечивающий хирургическую безопасность на всех этапах малоинвазивных вмешательств на глубинных структурах головного мозга.

3. В сравнительном проспективном исследовании 3 хирургических методов (эндоскопический, микрохирургический, доступ с тубулярным ретрактором) определены количественные параметры хирургической травматичности и радикальности при удалении внутрижелудочковых опухолей. Эндоскопический метод обеспечивает тотальное удаление (GTR 100%) при минимальной травматичности, что достоверно отличается от микрохирургического доступа. Доступ с тубулярным ретрактором занимает промежуточное положение (GTR 68,4% для всех образований, 88,9% при диаметре < 30 мм). Предложен алгоритм дифференцированного выбора хирургического метода на основании размера образования, локализации и возраста пациента.

4. Проведена экспериментальная морфологическая оценка результатов высокоэнергетического тулиевого лазерного воздействия (200 Вт) на нервную ткань мозга крыс в динамике. Установлены временные этапы формирования зоны деструкции и репаративных процессов, что обосновывает оптимальные сроки проведения МРТ-диагностики у пациентов после стереотаксической лазерной абляции и специфические требования к параметрам лазерного воздействия в стереотаксической нейрохирургии.

5. Разработана методика стереоэндоскопической лазерной деструкции передних ядер таламуса с интраоперационным видеоэндоскопическим контролем, обеспечивающая достоверно больший объём деструкции по сравнению со стандартной радиочастотной абляцией. Выявлена достоверная корреляционная связь средней силы между объёмом деструкции и благоприятными исходами (74% Engel I–II против 62%; $R=0,522$, $p=0,012$). Применена предоперационная персонифицированная автоматизированная сегментация передних ядер таламуса в программе FreeSurfer для точного таргетирования структур, недоступных для прямой визуализации на стандартной МРТ. Для мезиальной темпоральной эпилепсии показано, что стереотаксическая лазерная деструкция амигдалогиппокампулярного комплекса обеспечивает максимальный объём деструкции с наилучшими клиническими исходами (78% Engel I–II), достоверно коррелирующими с объёмом воздействия.

6. На основании комплексного кадаверного, томографического (МР-венография в режиме TOF) и интраоперационного исследования установлена количественная вариабельность анатомии венозного угла. Создана классификация вариантов его расположения относительно передних ядер таламуса с определением хирургической безопасности каждого варианта при стереотаксических доступах. Выделены 3 варианта: передний (59% случаев, наиболее благоприятный), промежуточный (14%, высокий риск фатального венозного кровотечения), задний (27%, умеренный риск). Кардинальное отличие интраоперационной анатомии венозного угла от кадаверной и нейровизуализационной картины патогенетически обосновывает необходимость обязательного интраоперационного видеоэндоскопического контроля через ригидный нейроэндоскоп 0° для верификации венозных структур и коррекции траектории в режиме реального времени.

7. Выявлена и патогенетически обоснована роль костно-дуральной компрессии на уровне устья полости Меккеля (porus trigeminus) в генезе невралгии тройничного нерва. Определены количественные морфометрические проявления костно-дурального конфликта: уменьшение сагиттального угла нерва на уровне

porus trigeminus в среднем на $8,6 \pm 1,7^\circ$ и редукция площади поперечного сечения на 17,1% в цистернальном сегменте и на 13,4% в зоне porus trigeminus на стороне болевого синдрома. Разработана методика экзоэндоскопической визуализации для интраоперационной верификации анатомических структур в области porus trigeminus. На основании выявленных закономерностей предложена модифицированная техника микроваскулярной декомпрессии.

8. Впервые описана эндоскопическая анатомия желудочковой системы плода *in vivo*, определены безопасные зоны для выполнения манипуляций в области дна III желудочка и прозрачной перегородки. Разработаны, экспериментально отработаны и внедрены в клиническую практику 2 дифференцированные методики фетальных эндоскопических вмешательств: фетоскопическая ВЦС дна III желудочка при окклюзионной гидроцефалии и фетоскопическая септостомия при моноventрикулярной гидроцефалии. Показана 100% эффективность внутриутробных вмешательств с элиминацией необходимости постнатального шунтирования в 75% случаев.

9. Впервые предложена основанная на анатомических особенностях, технологическом оснащении и опыте нейрохирурга, методика прогнозирования риска и управления рисками нейрохирургической операции. Впервые предложен способ влияния на результат операции в зависимости от объективной оценки ее сложности, с возможностью выбора уровня соответствующего нейрохирургического центра, и уровня нейрохирурга.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Создана и апробирована методика экзоэндоскопической интраоперационной визуализации на основе интеграции цифрового хирургического экзоскопа 3D/4K и ригидной нейроэндоскопии 3D/4K в единый бесшовный видеопоток, реализующая принцип непрерывного визуального контроля. Применение технологии стрим-визуализации обеспечило прецизионный непрерывный интраоперационный контроль при доступах к глубинным

структурам головного мозга и повысило хирургическую безопасность, что обосновывает необходимость технологического оснащения нейрохирургических центров современными системами визуализации как обязательного условия развития малоинвазивной нейрохирургии.

2. Предложен и валидирован на клиническом материале практический алгоритм дифференцированного выбора хирургического метода при внутрижелудочковых опухолях III и боковых желудочков, учитывающий размер образования, локализацию и возраст пациента. Установлены количественные критерии выбора метода: эндоскопическое удаление показано при медианных образованиях диаметром до 30 мм с обеспечением минимальной травматичности при сохранении тотальной радикальности (GTR 100%); микрохирургическое удаление показано при латеральных опухолях и образованиях более 30 мм; доступ с тубулярным ретрактором оптимален при образованиях 20–30 мм с ликвородинамическими нарушениями. Применение данного алгоритма обеспечило обоснованный выбор хирургической тактики с оптимизацией баланса между радикальностью удаления и минимизацией хирургической травмы.

3. Сформулирован комплекс практических рекомендаций по предоперационной оценке безопасности стереотаксических доступов к передним ядрам таламуса, включающий обязательное определение типа строения и варианта расположения венозного угла по данным МР-венографии в режиме TOF. Установлены критерии высокого риска фатального венозного кровотечения при промежуточном варианте расположения венозного угла (14% случаев), что определило показания к модификации траектории доступа. Внедрение обязательного интраоперационного видеоэндоскопического контроля через ригидный нейроэндоскоп 0° для верификации венозных структур и коррекции траектории в режиме реального времени обеспечило элиминацию интраоперационных венозных осложнений и повысило безопасность стереотаксических вмешательств на передних ядрах таламуса.

4. Внедрена в клиническую практику методика стереоэндоскопической лазерной деструкции с предоперационной персонифицированной

автоматизированной сегментацией целевых структур в программе FreeSurfer для точного таргетирования передних ядер таламуса и амигдалогиппокампового комплекса при невозможности их прямой визуализации на стандартной МРТ. Технология непрерывного видеоэндоскопического контроля обеспечила верификацию целевых структур, безопасность траектории и визуальный мониторинг процесса деструкции в режиме реального времени. Применение стереоэндоскопической методики позволило достигать достоверно большего объема деструкции целевых структур по сравнению со стандартной радиочастотной абляцией, что коррелировало с благоприятными клиническими исходами (74–78% Engel I–II).

5. Разработан и валидирован комплекс МР-морфометрических критериев для предоперационной диагностики костно-дуральной компрессии тройничного нерва на уровне *porus trigeminus*, включающий измерение сагиттального угла и площади поперечного сечения нерва, что позволяет объективизировать показания к модифицированной технике микроваскулярной декомпрессии и оптимизировать предоперационное планирование. Внедрение методики экзоэндоскопической визуализации на основе интеграции цифрового хирургического экзоскопа и ригидной нейроэндоскопии в единый видеопоток обеспечивает прецизионную интраоперационную идентификацию области *porus trigeminus*, верификацию костно-дурального конфликта и контроль адекватности установки протектора между нервом и костным краем пирамиды височной кости. Применение модифицированной техники микроваскулярной декомпрессии с дополнительной установкой тефлонового протектора в области *porus trigeminus* обеспечивает достижение благоприятных исходов у всех пациентов, полное купирование болевого синдрома у 80% оперированных и элиминацию рецидивов при среднесрочном наблюдении, что определяет клиническую значимость предложенного подхода.

6. Создан алгоритм организации специализированной медицинской помощи при окклюзионной гидроцефалии плода с прогрессирующей вентрикуломегалией, предусматривающий госпитализацию в перинатальный

центр III уровня для проведения мультидисциплинарного консилиума с определением показаний к фетальному эндоскопическому вмешательству на сроке 22–32 нед. беременности. Определен дифференцированный подход к выбору методики: фетоскопическая вентрикулоцистерностомия дна III желудочка при тривентрикулярной гидроцефалии и фетоскопическая септостомия при моновентрикулярной гидроцефалии. Применение данного алгоритма с последующим структурированным протоколом послеоперационного наблюдения обеспечило эффективность внутриутробных вмешательств (100%), минимизацию потребности в постнатальном шунтировании (75% случаев) и нормальное развитие детей в соответствии с возрастными нормативами.

7. Предложена цифровая шкала прогнозирования риска и управления рисками нейрохирургической операции, основанная на интегральной количественной оценке анатомических особенностей патологии, технологического оснащения нейрохирургического центра и опыта хирурга, что позволило объективно определять численное значение риска операции с выделением факторов, снижающих риск. Внедрение методики обеспечило возможность управления рисками посредством выбора оптимального уровня нейрохирургического центра, технического оснащения и опыта специалиста на этапе предоперационного планирования. Использование разработанной шкалы позволило оптимизировать маршрутизацию пациентов в системе нейрохирургической помощи в зависимости от объективной оценки сложности предстоящего вмешательства и повысило безопасность нейрохирургических операций.

Методология и методы исследования

Диссертационное исследование посвящено анатомическому обоснованию новых, минимально инвазивных, эффективных и максимально безопасных методов нейрохирургического лечения при локализации заболеваний в труднодоступных зонах головного мозга. Применялись методы классической кадаверной анатомии,

различные варианты цифровой анатомии, в том числе «in vivo», интраоперационной, а также детальная сегментация глубоких структур головного мозга при помощи программы FreeSurfer. Применяли способы виртуального и материального моделирования патологических зон. В клиническом разделе работы использовали неврологическое, нейропсихологическое обследование, компьютерную и магнитно-резонансную томографию, электроэнцефалографию, видеоэлектроэнцефалографию, электрокортикографию, электросубкортикографию.

Личный вклад автора

Автор самостоятельно выдвинул научную гипотезу и сформулировал научное направление, в соответствии с которым поставил цель и определил задачи исследования. Автор лично написал литературный обзор, выбрал и определил методологическую основу работы. Автор самостоятельно выполнил подготовку кадаверного материала для анатомического исследования и забор материала, усовершенствовал методику и техническое оснащение, осуществил диссекцию анатомического материала, а также выполнил фотофиксацию и обработку фотоматериалов результатов диссекции. Автор лично выполнил отбор клинических случаев, провел анализ данных из историй болезней, участвовал в предоперационном планировании пациентов и послеоперационном наблюдении, оперировал лично и ассистировал на операциях, осуществлял ведение компьютерной базы данных прооперированных пациентов с диагнозами фармакорезистентная эпилепсия, опухоли третьего и боковых желудочков мозга, невралгия тройничного нерва, гидроцефалия плода, провел статистический анализ полученных результатов с использованием программных пакетов MS Office 2021, Matlab 2023b, Statistica 13.3., интерпретировал и изложил полученные данные, сформулировал выводы и практические рекомендации.

Положения, выносимые на защиту

1. На нейрохирургическую анатомию как основу развития новых методов нейрохирургических операций сегодня все возрастающее влияние оказывают методы «клинической, прижизненной нейрохирургии», и особенно технологическое оснащение самого операционного процесса. Анатомические структуры головного мозга на классических препаратах не всегда могут выглядеть так, как в операционном поле. А интраоперационная визуализация сегодня по своему качеству превышает лабораторные анатомические исследования.

2. Анатомически выверенное сверхточное хирургическое воздействие на глубинные структуры мозга (гипоталамус, гиппокамп) является путем прогресса в лечении важнейших заболеваний (эпилепсия, паркинсонизм). Ключом к успеху и безопасности данных операций является топографо-анатомически обоснованное сочетание стереотаксиса, глубокой сегментации ядер при помощи специальных программ и визуальный непрерывный контроль для безопасности траектории, точной локализации высокоэнергетического лазерного воздействия, а также контроля объема воздействия.

3. Для оценки риска планируемой нейрохирургической операции целесообразно использовать шкальный точный цифровой способ прогнозирования риска и управления рисками нейрохирургической операции, состоящий в возможности определения численного значения как самого риска нейрохирургической операции, а также в возможности определения факторов, которые влияют на риск данной операции, опыт нейрохирурга, выбора оптимального лечебного учреждения и набора оборудования. По мере накопления опыта таких оценок и проверки достоверности каждого фактора система может стать автоматизированным и обязательным инструментом управления лечебным процессом.

4. Разработан и впервые успешно внедрен в клиническую практику фетальный эндоскопический метод септостомии при моноventрикулярной окклюзионной гидроцефалии плода и метод эндоскопической

вентрикулоцистерностомии дна III желудочка при тривентрикулярной гидроцефалии плода, что позволяет проводить лечение гидроцефалии на ранних стадиях, во втором триместре.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационное исследование соответствует Паспорту научной специальности 3.3.1. Анатомия и антропология, а именно: п.3. «Индивидуальная морфологическая изменчивость (вариантная анатомия) органов, частей тела и их структурных компонентов», п. 6 «Изучение строения тела живого человека с помощью клинических, инструментальных методов исследования и компьютерного моделирования», п.9 «Анатомо-топографическое обоснование новых и усовершенствование существующих диагностических и оперативных вмешательств с учетом анатомической изменчивости и компьютерного моделирования» и п. 10 «Разработка многоуровневых виртуальных технологий изучения анатомии органов и систем органов»; Паспорту научной специальности 3.1.10. Нейрохирургия, а именно: п. 3 «Теоретическая, экспериментальная и клиническая разработка методов и технологий лечения нейрохирургических заболеваний и травм, внедрение их в клиническую практику».

Степень достоверности и апробация результатов

Степень достоверности результатов

Достаточный экспериментальный и анатомический материал, большое число клинических наблюдений, использование самых современных средств визуализации и документации анатомического и операционного изображения, использование высокоинформативных и современных методов статистической обработки, современного программного компьютерного обеспечения и профильных высокоточных программ обработки являются свидетельством

высокой достоверности выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе.

Апробация результатов

Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на следующих научных конференциях:

1. Международная научно-практическая конференция «Хирургическое лечение эпилепсии» (31.05.2023-02.06.2023., г. Тюмень, Российская Федерация)
2. Международная научно-практическая конференция «Эндоскопическая трансназальная хирургия основания черепа» (28.11.2023-29.11.2023., г. Тюмень, Российская Федерация)
3. 18-й Всемирный конгресс нейрохирургии WFNS-2023 (4-8 декабря 2023 г., г. Кейптаун, ЮАР)
4. Первый международный научно-практический курс «по экзоскопической нейрохирургии. Практический мастер-класс в 3D кадаверной лаборатории с использованием экзоскопа» (08-09 февраля 2024г., г. Тюмень, Российская Федерация)
5. Международная научно-практическая конференция «Surgical treatment of epilepsy» (22-24 апреля 2024 года г. Астана, Республика Казахстан)
6. IV международный конгресс Кыргызской ассоциации нейрохирургов (6 -7 сентября 2024 года, г. Чолпон-Ата, Кыргызская Республика)
7. Международная научно-практическая конференция «Роль нейрофизиологического мониторинга» (25-28 января 2025 г., г. Бишкек, Кыргызская Республика)
8. IV съезд нейрохирургов «Достижения современной нейрохирургии» (4 -7 сентября 2025 года, г. Хива, Республика Узбекистан)
9. X-й Международный Юбилейный научно-практический курс по 3D эндоскопии и микрохирургии основания черепа» (16-18 октября 2025г., г. Тюмень, Российская Федерация)

10. Международная научно-практическая конференция по стереотаксической хирургии головного мозга (23-26 октября 2025 г., г. Бишкек, Кыргызская Республика)

Публикации по теме диссертации

По результатам исследования автором опубликовано 36 работ, в том числе 2 научные статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий Сеченовского Университета / Перечень ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук; 12 статей в изданиях, индексируемых в международных базах Web of Science, Scopus, PubMed, 15 иных публикаций по результатам исследования, 7 патентов.

Внедрение результатов исследования

Результаты исследования внедрены в клиническую практику ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России (г. Тюмень) и используются в учебном процессе на кафедре оперативной хирургии и топографической анатомии ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет).

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 333 страницах печатного текста и иллюстрирована 150 рисунками и 25 таблицами. Диссертационное исследование состоит из 6 глав, введения, обсуждения результатов, выводов и практических рекомендаций. Библиографический указатель включает 283 источника, из них 53 – отечественные источники и 230 – иностранные.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. История развития и современное состояние хирургии глубинных структур головного мозга

1.1.1. Анатомическое и клиническое понятие глубинных структур в нейрохирургии

Хирургия глубинных отделов головного мозга представляет одну из наиболее сложных и динамично развивающихся областей современной нейрохирургии [72, 169, 190, 166, 203, 280]. Технологический прогресс последних десятилетий обеспечил переход от концепции крайне труднодоступных локализаций к прецизионным малоинвазивным вмешательствам [66, 65, 72, 109, 262, 167, 234, 108, 165, 166, 214, 101, 218, 263], однако одновременно выявил фундаментальное несоответствие между возможностями современных технологий визуализации и доступностью адекватного анатомического обеспечения [240, 93, 253, 250, 254, 91, 215]. Настоящий обзор анализирует историческую эволюцию хирургии глубинных структур, современное состояние малоинвазивных технологий и проблему дефицита специализированных анатомических данных, адаптированных к специфике эндоскопической, экзоскопической и стереотаксической визуализации [157, 230, 62, 110, 154, 244, 209, 156, 195, 251, 275, 198].

Развитие хирургии глубинных отделов головного мозга на протяжении XX и XXI веков характеризуется последовательным переходом от концепции крайне труднодоступных локализаций к современным малоинвазивным технологиям, обеспечивающим прецизионный доступ к ранее недостижимым анатомическим зонам. Патологические очаги, локализованные в подкорковых структурах, желудочковой системе и глубоких отделах белого вещества, продолжают представлять существенную хирургическую проблему, поскольку доступ к ним традиционно требует прохождения через значительный объем функционально

важной мозговой ткани, что исторически ассоциировано с высоким риском повреждения критических анатомических структур и значительной числом осложнений [1, 6, 44, 8, 40, 72, 134, 197, 228, 280, 279].

Термин «труднодоступная локализация» встречается в отечественной нейрохирургической литературе с середины 1980-х гг. Согласно данным А. Ю. Савченко с соавт. [44], отечественные авторы склонны были относить к труднодоступным для хирургического лечения новообразования желудочковой системы, подкорковых узлов, мозолистого тела, продолговатого мозга, а также распространяющиеся на несколько долей или оба полушария головного мозга. К. Г. Айрапетов [1] применяет формулировку «сложная локализация», выделяя ее критерии: расположение в функционально значимой зоне мозга, глубинное расположение, близость к диэнцефальным и стволовым структурам, вовлечение черепно-мозговых нервов и сосудов основания черепа. А. В. Шабунин с соавт. [8] использует термин «глубинной и труднодоступной локализации», относя к таковым опухоли островка височной доли, пинеальной области, мозолистого тела, таламуса, ножки мозга и поражающие несколько долей головного мозга. В зарубежной литературе аналог термину «труднодоступная локализация» отсутствует, используются термины «deep seated» [72] и «deep brain» [263], близкие, по сути, к отечественному «глубинная локализация». По данным портала PubMed, они фигурируют в 178 работах начиная с 1981 г. Различные авторы упоминают при расшифровке термина такие локализации как: базальные ганглии, таламус и средний мозг [92, 231, 228], внутрижелудочковую [66, 167, 258, 214] петрокливальную [95, 199] локализацию. Несколько реже, в 79 работах с 1989 г., по данным портала PubMed, используется термин eloquent, близкий по смыслу к «расположенный в функционально значимой зоне», т. е. близкий к функционально значимым проводящим путям белого вещества [201, 131].

Термин «глубинная локализация» («deep seated») относится к патологическим очагам, расположенным ниже наиболее глубоких борозд полушарий головного мозга (Рисунок 1), однако точные топографо-анатомические границы этой концепции окончательно не установлены [72].

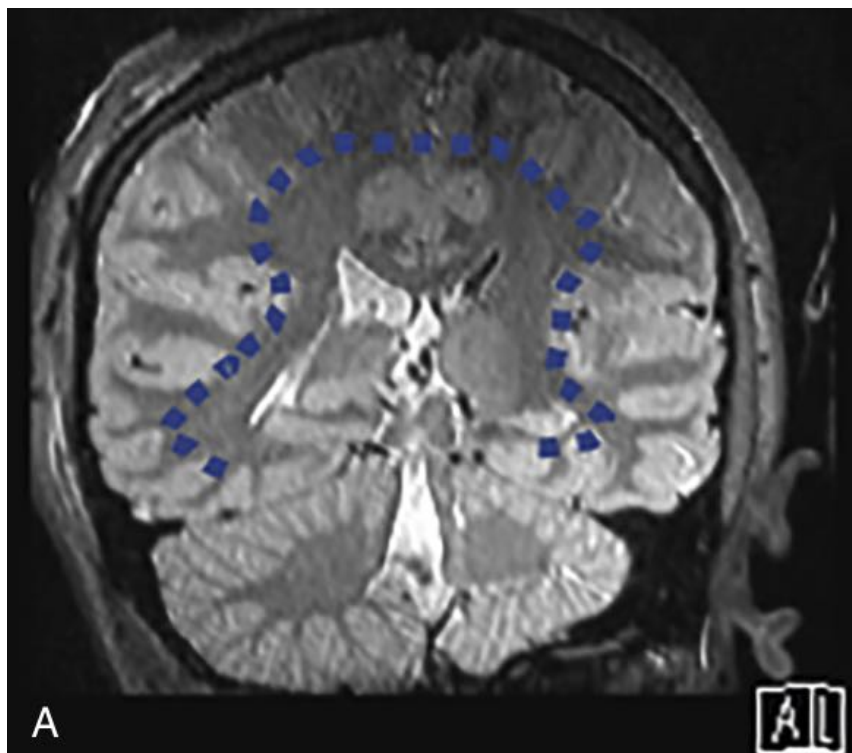


Рисунок 1 – Коронарная МРТ (T2), демонстрирующая поверхностную границу глубинных структур (синяя пунктирная линия); очаги поражения в идеале должны располагаться ниже самой глубокой границы корковой борозды при использовании трубчатых ретракторов (Chaichana K. L. с соавт., 2022 [72])

Таким образом, при некотором несоответствии в используемой терминологии, и отечественные и зарубежные авторы с 80-х гг. прошлого века описывают как труднодоступные для хирургического лечения одни и те же структуры. Проблема труднодоступности той или иной локализации в полости черепа в то же время имеет 3 аспекта: исторический, анатомо-хирургический и клинко-анатомический. Каждый из них определяет критерии этого термина.

Очевидно, что временной период играет немаловажную роль, поскольку современная микронейрохирургия начала формироваться с 70-х под влиянием работ М. G. Yasargil [277, 278, 280]. В более ранний период технические возможности нейрохирургов определяли иные представления о доступности для хирургического удаления патологических очагов в мозге. Нейрохирургия как отдельная специальность выделилась из общей хирургии во многом благодаря работам американского нейрохирурга Harvey Cushing (1869–1939), который ввел в употребление термин «an inaccessible intracranial tumor», определив критерий

доступности или недоступности для удаления опухоли головного мозга и предложив методы паллиативного хирургического лечения таких новообразований – подвисочную декомпрессию и декомпрессию задней черепной ямки [84]. Изначально к таким новообразованиям Cushing относил и опухоли хиазмально-селлярной области [59, 85, 188]. Cushing еще 1920 г. продолжал рекомендовать декомпрессивное вмешательство при опухолях среднего мозга и пинеальной области [84, 148]. Его ученик Walter Dandy (1886–1946) в 1915 г. напротив публикует результаты применения затылочного транстенториального доступа к эпифизу, считая уже эту локализацию достижимой для хирурга [86, 87]. В отечественной литературе 30–40-х гг. звучал термин «пробная трепанация» в отношении ряда локализаций [3]. В 50-х были внедрены в клиническую практику доступы к опухолям внутрижелудочковой локализации, но даже в конце 60-х к опухолям области вырезки намета мозжечка и сфенопетрокливальной локализации доступы не были достаточно разработаны [199, 280, 279]. Известный своим радикализмом и многократно критикуемый за него W. Dandy [86, 87] тем не менее считал глиомы левой височной и теменной долей у правшей и зоны Брока неоперабельными, что уже в конце 50-х гг. было опровергнуто при использовании 2 внепроекционных доступов [203, 216, 280]. В конце 80-х М. G. Yasargil изменил критерии доступности опухолей области базальных ганглиев и островка, описав трансильвиев доступ к ним [280], а применение трансбазальных доступов в 2000-х гг. изменило представления о доступности опухолей ската [169, 283]. Таким образом, критерии хирургической доступности опухолей различных локализаций менялись с течением времени, радикально поменявшись за более чем 120 лет фактического существования нейрохирургической школы. В термине «труднодоступный» уже заложены понятия хирургического доступа и трудности его выполнения для хирурга. Приоритет в разработке методов анатомо-хирургических исследований доступов, в том числе и нейрохирургических, принадлежит отечественному анатому А. Ю. Созон – Ярошевичу (1894–1955). Ключевым понятием, характеризующим хирургический доступ, является угол, образующийся между инструментами – угол операционного действия или, как он

называется в иностранной литературе, угол атаки (angle of attack). Согласно данным А. Ю. Созон – Ярошевича, идеальным для хирургических манипуляций является угол атаки 90° , что актуально только для манипуляций на поверхности кожи. Уменьшение угла до 25° делает манипуляции субъективно трудными для хирурга, а при угле менее 17° малопродуктивными при удалении опухоли [46, 47]. При трансфеноидальном доступе к гипофизу угол атаки в исследованиях автора составил в среднем 14° , а при ретросигмоидном к мостомозжечковому углу (ММУ) без резекции полушария мозжечка – в среднем 17° . Очевидно, что манипуляции выполнялись без операционного микроскопа и байонетных микроинструментов и, по мнению автора, они были «стесненными», что отражало представления и технический уровень оснащения операционной того времени. На сегодняшний день классические представления А. Ю. Созон – Ярошевича во многом совпадают с представлениями зарубежных авторов, не знакомых с его работами. Они создают теоретическую базу для изучения доступов, но в абсолютных цифрах безнадежно устарели после внедрения в практику операционного микроскопа и жесткой эндоскопии. По той же причине значимость глубины раны, как второго по значимости для А. Ю. Созон – Ярошевича анатомо-хирургического параметра доступа, также сильно снизилась. Классические нейрохирургические доступы (птериональный, трансфеноидальный и ретросигмоидный) к локализациям, не считающимся в наши дни труднодоступными, подробно изучены по анатомо-хирургическим характеристикам и могут считаться своеобразным эталоном. Птериональный доступ при подходе к передним отделам виллизиева круга дает угол атаки в горизонтальной плоскости пределах $28\text{--}50^\circ$, в вертикальной – $27\text{--}36^\circ$ [206, 96]. Трансфеноидальный доступ, как в сублабиальном микрохирургическом, так и в эндоназальном эндоскопическом вариантах, при подходе в область турецкого седла дает угол атаки составляет $11\text{--}17^\circ$ [107]. Ретросигмоидный доступ при подходе в область внутреннего слухового прохода дает угол атаки в пределах 27° [199]. Сравнение этих данных с имеющимися сведениями о величинах углов атаки при подходе к петроклиальной области, стволу головного мозга, пинеальной области, таламусу и желудочкам мозга позволяют судить о степени

труднодоступности этих локализаций. Микрохирургический ретросигмоидный доступ при подходе в область канала Дорелло (область ската) и устья передней нижней мозжечковой артерии (боковая поверхность ствола мозга) дает в вертикальной плоскости угол атаки $14\text{--}19^\circ$, в горизонтальной – 10° [199]. Трансбазальный транспетрозальный доступ по Kawase при подходе к тем же локализациям дает примерно те же углы атаки [199, 169]. Супрацеребеллярный инфратенториальный доступ при подходе к пинеальной области в микрохирургическом варианте дает большие значения угла атаки в вертикальной ($10,8\text{--}13,9^\circ$ против $8,7\text{--}11,8^\circ$) и горизонтальной плоскостях ($14,9^\circ$ против $13,3^\circ$) по сравнению с эндоскопическим [164]. Тот же доступ при подходе к задним отделам таламуса дает углы атаки в вертикальной плоскости в пределах $20,6^\circ\text{--}23,5^\circ$, а в горизонтальной от $17,4^\circ$ до $43,7^\circ$ в зависимости от выбора латерального или контрлатерального подхода [62].

Полностью эндоскопические трансфронтальный трансфораминальный и межполушарный транскаллезный доступы к дну III желудочка дают углы атаки при использовании эндоскопа $0\text{--}21^\circ$ и 16° соответственно, при использовании эндоскопа $30\text{--}26^\circ$ и 19° соответственно [198]. Таким образом, на основании данных современных исследований с применением микрохирургии и нейроэндоскопии, с анатомо-хирургической точки зрения и достаточной степенью условности, доступные локализации при микрохирургическом доступе характеризуются углами атаки в пределах 30° и более, а труднодоступные локализации – углами атаки в пределах $10\text{--}20^\circ$, сопоставимыми с таковыми при трансназальном трансфеноидальном доступе к турецкому седлу. Помимо сложившихся направлений в нейрохирургии на фоне постоянно совершенствующихся медицинских технологий появляются новые, возможность существования которых ранее даже не обсуждали. Фетальная нейрохирургия – хирургическая коррекция патологий ЦНС плода в утробе матери, включающая на сегодняшний день возможность оперативного лечения таких нозологий как: гидроцефалия, опухоли, затылочное энцефалоцеле и миеломенингоцеле [64, 115, 56, 168, 103]. Данный вид оперативных вмешательств не укладывается в привычные анатомо-хирургические

представления о доступе, поскольку технически операция сочетает в себе и доступ в беременную матку и плодный пузырь, и доступ к патологическому очагу в области головы (или позвоночника) плода в условиях крайне ограниченной визуализации и непривычной для хирурга анатомии. Сочетание перечисленных факторов с уверенностью позволяет отнести такую локализацию патологического процесса к труднодоступной с анатомо-хирургической точки зрения. Особенностью клинической интерпретации чисто механистических представлений о выполнении хирургического подхода к той или иной анатомической структуре является необходимость учета проходящих вблизи операционного коридора анатомических структур, сдавливаемых и даже пересекаемых по ходу выполнения доступа и, что не менее важно, удаления патологического очага (хирургического приема по А. Ю. Созон – Ярошевичу). В первую очередь это касается проводящих путей белого вещества, не являющихся макроскопически определяемой структурой. Из структур на сегодняшний день считающихся хирургически труднодоступными, в связи с необходимостью при планировании доступа к которым следует учитывать ход проводящих путей, в литературе упоминаются таламус [40, 231, 62] и желудочки мозга [40, 40, 157, 244, 190, 219], но в исследованиях, имеющих характер анатомо-хирургических. На сегодняшний день методом объективизации расположения пучков белого вещества (трактографии) является диффузно-взвешенная магнитно-резонансная томография (МРТ). Применение трактографии для предоперационного планирования в клинической практике актуально преимущественно для супратенториальных субкортикальных образований – глиом [254, 147, 215]. В литературе есть пока лишь немногочисленные работы с неубедительными результатами, свидетельствующими о пользе использования трактографии при планировании операций при кавернозных ангиомах ствола мозга [92] и применения результатов трактографии кортикоспинального тракта при использовании нейронавигации при удалении опухолей ствола мозга [179]. Нейрофизиологический интраоперационный контроль дает возможность косвенного выявления близости к опухоли проводящих путей белого вещества при опухолях функционально важных

зон [131] и может применяться в комбинации с результатами трактографии [254, 215]. Ветви мозговых артерий, вен или черепно-мозговые нервы макроскопически определяются в ране и формально визуальный контроль за степенью компрессии или повреждения их со стороны хирурга технически возможен. На практике только визуального контроля недостаточно, тем более что эти структуры нередко вовлекаются в ткань опухоли и хирург сталкивается с необходимостью либо проводить их диссекцию, либо пожертвовать радикальностью вмешательства во имя снижения послеоперационного неврологического дефицита. Классическими примерами являются необходимость отделения капсулы крупной вестибулярной невриномы от ствола головного мозга или удаление менингиом сфенопетроклиивальной локализации с вовлечением сосудов виллизиева круга и черепно-мозговых нервов. Из этого следует, что труднодоступность определяется не только локализацией, но в некоторой степени и размерами, и особенностями роста опухоли. Ведущее значение получает нейрофизиологический мониторинг, актуальный при удалении новообразований парастволовой и стволовой локализации [172]. Таким образом, труднодоступность помимо чисто технических особенностей хирургического подхода определяется и взаимоотношениями патологического очага с проводящими путями и нервно-сосудистыми структурами. Например, даже относительно поверхностная субкортикальная локализация, но в функционально важной зоне, делает новообразование труднодоступным для радикального удаления. Таким образом, критерии труднодоступности для хирурга локализации патологического очага в полости черепа относительны и изменчивы, так как они определяются уровнем технического обеспечения оперативных вмешательств в текущий исторический период и могут изменяться по мере развития медицинских технологий.

1.1.2. Эволюция методов прижизненной визуализации труднодоступных структур в топографо-анатомических исследованиях

Достигнутый технологический прогресс малоинвазивной нейрохирургии одновременно выявил фундаментальную проблему – несоответствие между возможностями современных методов визуализации и доступностью специализированных анатомических данных, адаптированных к специфике узких операционных коридоров и нестандартных визуальных перспектив [7, 14, 101, 96]. Существующее анатомическое обеспечение было создано для традиционной микроскопической хирургии на основе изучения фиксированного кадаверного материала. Фундаментальные работы Rhoton A. L. по микроанатомии головного мозга и исследования Fernandez – Miranda J. C. по трактам белого вещества были систематизированы в парадигме микрохирургической визуализации «сверху вниз» с использованием операционного микроскопа [5, 208, 209, 207, 250]. Несмотря на высокую детализацию и фундаментальное значение этой анатомической базы для микрохирургии, она не отражает специфики восприятия пространственных взаимоотношений при эндоскопии, экзоскопии и стереотаксических вмешательствах [19, 206, 208, 209, 207, 218, 171]. Проблема заключается в том, что каждая технология визуализации создает уникальные условия восприятия анатомии, требующие особого понимания топографических взаимоотношений структур в соответствующем операционном контексте [218, 101, 227, 253, 143]. Эндоскопическая анатомия характеризуется принципиально иной перспективой восприятия «изнутри наружу», панорамным полем зрения и специфическим восприятием глубины, радикально отличающимся от традиционной микроскопической визуализации [51, 218, 65, 196, 198]. Отсутствие консенсуса по деталям эндоскопической анатомии критических вентрикулярных структур и необходимость обновления ориентиров в формате, соответствующем эндоскопической визуализации, признается приоритетной задачей современной нейрохирургии [51, 65, 98, 196, 218, 198]. Аналогичные проблемы характерны и для экзоскопической визуализации через ТР, формирующей цилиндрический

операционный коридор с ограниченным полем обзора, что требует разработки качественно иных анатомических ориентиров по сравнению с традиционной микрохирургией [111, 108, 110, 126, 171, 180, 267, 167, 261, 263, 195]. Стереотаксические вмешательства, основанные на траекторном планировании в виртуальном трехмерном пространстве томографических изображений, в свою очередь, определяют необходимость понимания индивидуальной variability топографии глубинных ядер и проводящих путей в прижизненной анатомии конкретного пациента. Более того, традиционная анатомическая база, основанная на изучении фиксированного кадаверного материала, принципиально не отражает особенностей прижизненной визуализации при малоинвазивных вмешательствах [6, 203, 208, 209, 207, 278]. Существующие анатомические описания не учитывают динамические изменения конфигурации желудочков при гидроцефалии, васкулярную пульсацию сосудистого сплетения, циркуляцию ликвора и другие прижизненные феномены, существенно влияющие на интраоперационную картину [19, 233, 282, 218, 196]. Систематизированные данные о прижизненной анатомии внутрижелудочковых и глубинных структур в условиях эндоскопической, экзоскопической и стереотаксической визуализации крайне фрагментарны [40, 251, 279, 200, 101, 228]. В настоящее время отсутствуют унифицированные описания анатомических ориентиров для различных технологий визуализации, систематизация вариантов строения желудочковой системы и глубинных структур применительно к малоинвазивным доступам, сравнительные данные о визуализации одних и тех же структур при различных технологических подходах, стандартизованные протоколы идентификации критических анатомических структур и количественные данные о безопасных зонах и траекториях доступа для различных анатомических вариантов. Это несоответствие между технологическим прогрессом и анатомическим обеспечением имеет прямые клинические последствия. Когортный анализ Vanden Bergh E. D. и соавт. показал, что при использовании ТР сохраняется зона ограниченной диффузии объемом около 8,35 см³, указывающая на ишемическое повреждение вокруг тракта [267]. Без унифицированных анатомических ориентиров затруднено прогнозирование риска

перфорантного повреждения, ишемии субкортикальных пучков, травмы свода и таламостриарной вены [267, 167, 261, 263, 227]. Следствием этих ограничений является вариабельность исходов и выраженная пролонгированная кривая обучения при освоении малоинвазивных техник [73, 45, 223, 136]. В этом контексте современная нейрохирургия нуждается не только в систематизированной прижизненной анатомии, но и в персонализированном анатомическом обеспечении, основанном на данных компьютерной томографии (КТ), МРТ и других методов нейровизуализации конкретного пациента [240, 96, 122, 253, 143]. Концепция персонализированной цифровой анатомии предполагает создание индивидуальных трехмерных моделей анатомических структур – «цифровых двойников» пациента, позволяющих детально изучить особенности анатомии до операции, спланировать хирургическое вмешательство, смоделировать различные доступы, оценить риски и оптимальные траектории к глубинным мишеням, избегая критически важных структур [96, 240, 122, 247, 248, 184]. Технологической основой этого подхода являются методы автоматизированной сегментации томографических изображений, позволяющие выделять интересующие анатомические структуры и создавать их трехмерные реконструкции [181, 210, 236]. Развитие коннектомики открыло дополнительные перспективы для функционального картирования глубинных структур и персонализированного планирования нейромодуляционных вмешательств [253, 254, 247, 147, 143]. Практическое применение цифровых моделей расширилось благодаря технологиям 3D-печати, позволяющим создавать физические прототипы для симуляционного обучения эндоскопическим вмешательствам, что доказало свою образовательную и практическую ценность [6, 45, 32, 37, 223, 96, 112, 268, 184].

Персонализированное предоперационное планирование сталкивается с существенным ограничением – феноменом смещения мозга (brain shift), возникающим вследствие дренирования цереброспинальной жидкости, резекции опухоли и развития отека, что требует интраоперационного обновления изображений посредством МРТ, КТ или ультразвукового исследования (УЗИ) [130, 129, 128, 266, 127, 265]. Интраоперационная КТ и МРТ повышает частоту полной

резекции глиом при приемлемых рисках [130, 129, 128]. Более доступную альтернативу представляет интраоперационная УЗ-диагностика, обеспечивающая обновление изображения в реальном времени и позволяющая визуализировать границы опухоли, остаточную ткань и размер желудочков [266, 127, 265]. Глубинная локализация злокачественных глиом предъявляет особые требования к интраоперационному контролю. Трехмерная УЗ-навигация позволяет корректировать данные непосредственно в ходе вмешательства, нивелируя тем самым влияние смещения мозговых структур. Применение метода способствует более точному определению границ новообразования и увеличению радикальности резекции. Экономические затраты при этом остаются сравнительно невысокими [266, 127, 265]. Интеграция предоперационного планирования и интраоперационной навигации получила дальнейшее развитие благодаря технологии дополненной реальности, решающей проблему постоянного переключения внимания хирурга между эндоскопическим изображением и экраном навигационной станции путем наложения предоперационных томографических изображений непосредственно на интраоперационное видео в режиме реального времени [76]. Проспективные клинические серии применения AR-навигации при эндоскопических трансфеноидальных вмешательствах демонстрируют улучшение точности идентификации анатомических ориентиров и сокращение времени интраоперационной навигации по сравнению с традиционной безрамочной навигацией [76].

Таким образом, технологическая эволюция хирургии глубинных структур характеризуется последовательным переходом от обширных микрохирургических доступов к малоинвазивным технологиям – эндоскопии, экзоскопии и стереотаксису, обеспечивающим сопоставимую радикальность при сниженной морбидности [280, 279, 157, 230, 65, 196, 81, 267, 167, 108, 110, 261, 263, 109, 111, 126, 171, 82, 134, 253, 143, 130]. Однако технологический прогресс опережает развитие анатомического обеспечения: существующая анатомическая база, созданная для микроскопической хирургии на основе кадаверного материала, не отражает специфики восприятия пространственных взаимоотношений и

прижизненных феноменов при эндоскопической, экзоскопической и стереотаксической визуализации [6, 203, 208, 209, 207, 278, 240, 218, 101]. Это несоответствие ограничивает безопасность вмешательств, затрудняет прогнозирование рисков и препятствует стандартизации подходов [73, 65, 267, 167, 263, 45, 136]. Концепция персонализированной цифровой анатомии и технологии интраоперационной визуализации с дополненной реальностью обеспечивают индивидуальное планирование и актуализацию данных в реальном времени [240, 96, 122, 181, 236, 247, 248, 253, 254, 143, 266, 127, 130, 129, 128,76], однако не компенсируют дефицит систематизированных данных о прижизненной анатомии глубинных структур [231, 251, 279, 200, 215]. Создание специализированного анатомического обеспечения современной малоинвазивной нейрохирургии глубинных структур представляет актуальную научную задачу, требующую комплексного анатомо-клинического исследования прижизненной анатомии с позиций эндоскопии, экзоскопии и стереотаксиса.

1.2. Опухоли боковых желудочков: эволюция малоинвазивных технологий и проблема анатомического обеспечения

Желудочковая система головного мозга представляет собой классический пример глубинной локализации, доступ к которой исторически был сопряжен со значительной хирургической травмой окружающих структур [6, 19, 51]. Внутрижелудочковые опухоли составляют около 1% всех интракраниальных новообразований [190, 219, 221, 279]. Эти новообразования часто достигают значительных размеров до появления клинической симптоматики, что обусловлено их глубоким расположением и окружением критическими нейроваскулярными структурами (Рисунок 2) [259, 190, 232, 251]. За последние три десятилетия в хирургии внутрижелудочковых опухолей произошла парадигмальная трансформация от традиционных транскраниальных/транспаренхиматозных доступов к малоинвазивным техникам, включающим эндоскопию, экзоскопию с применением ТР и комбинированные подходы [66, 65, 109, 167, 227, 108, 110, 214,

101]. При этом суть микрохирургии желудочковой системы развивалась вокруг концепции обхода функционально значимых корковых структур и белого вещества для достижения минимально инвазивного доступа при оптимизации функциональных и когнитивных исходов [157, 250, 80, 162, 215].

1.2.1. Микрохирургическая анатомия желудочковой системы

Фундаментальные микродиссекционные исследования Rhoton и соавт. заложили основу современного понимания микрохирургической анатомии желудочковой системы [154, 208, 209, 207]. Детальное строение стенок боковых и III желудочков, система глубоких вен (внутренние мозговые вены, базальные вены, великая вена мозга), а также их отношение к хороидальной щели (*fissura choroidea*) и крыше III желудочка определяют безопасные хирургические траектории и допустимый объем манипуляций [155, 209, 207, 251, 273].

Боковой желудочек (*ventriculus lateralis*) подразделяется на 5 последовательных отделов: передний рог (*cornu anterius*), центральную часть, или тело (*pars centralis*), атриум, именуемый также треугольником (*atrium/trigonum*), височный рог (*cornu inferius*), направленный книзу, и затылочный рог (*cornu posterius*), ориентированный кзади [6, 99, 140, 209]. Полости боковых желудочков сообщаются с III желудочком посредством межжелудочкового отверстия (*foramen interventriculare*), обозначаемого эпонимом «отверстие Монро». Данная структура представляет собой короткий канал. Переднюю и верхнюю границы отверстия образуют столб и тело свода (*fornix*); задняя стенка сформирована передним бугорком таламуса (*tuberculum anterius thalami*). Медиальная граница представлена сосудистым сплетением (*plexus choroideus*), прикрепляющимся вдоль хороидальной щели к своду (*taenia fornicis*) и таламусу (*taenia thalami*) [19, 154, 209, 207, 257].

Межжелудочковое отверстие (отверстие Монро) топографически соответствует задней границе переднего рога, где столбы свода (*columnae fornicis*) изгибаются книзу, начиная своё нисхождение к мамиллярным телам (*corpora*

mamillaria) [19, 51, 209, 207, 257]. Центральная часть бокового желудочка берет начало от каудального края межжелудочкового отверстия (*foramen interventriculare*, отверстие Монро) и протягивается в каудальном направлении до ростральной границы валика мозолистого тела (*splenium corporis callosi*). Верхнюю стенку данного отдела формирует мозолистое тело (*corpus callosum*), латеральную границу образует тело хвостатого ядра (*corpus nuclei caudati*) [99, 51, 209].

Венозный отток из полости бокового желудочка организован в систему коллекторов, имеющую принципиальное значение для безопасности хирургических манипуляций [242, 155, 200]. По медиальной стенке переднего рога к отверстию Монро направляется передняя вена перегородки (*vena septi pellucidi*, *anterior septal vein*), которая впадает во внутреннюю мозговую вену через промежуточный парус (*velum interpositum*). Латерально располагается передняя вена хвостатого ядра (*vena caudata anterior*), впадающая в таламостриарную вену у области отверстия Монро [51, 242, 155].

Латеральная стенка тела бокового желудочка дренируется преимущественно таламостриарной веной (*vena thalamostriata*), также обозначаемой как терминальная вена, вена терминальной борозды или *vena terminalis*. Данный сосуд занимает борозду между таламусом и хвостатым ядром, следуя вдоль боковой желудочковой стенки к межжелудочковому отверстию. В области отверстия Монро происходит её слияние с передней веной перегородки, результатом которого становится формирование внутренней мозговой вены (*vena cerebri interna*) [43, 51, 242, 155, 200].

Анатомические вариации венозной архитектоники данной зоны имеют существенное клиническое значение. Согласно классическим описаниям, конfluence указанных венозных структур располагается непосредственно у каудального края межжелудочкового отверстия. Вместе с тем морфометрические исследования демонстрируют иную картину почти в половине случаев. В 47,5% наблюдений точка слияния передней вены перегородки (*vena anterior septi pellucidi*) и внутренней мозговой вены (*vena cerebri interna*) смещена каудально в область промежуточного паруса (*velum interpositum*). Дистанция от межжелудочкового

отверстия до места конfluence составляет от 3 до 13 мм при среднем значении порядка 6 мм [51, 242, 260, 200]. Учёт подобной вариабельности представляется необходимым при планировании хирургических вмешательств в данной анатомической области. Высокая частота заднего расположения соединения является значимым фактором, влияющим на успешность операции, и может быть определена на предоперационных нейрорадиологических исследованиях, в частности на МР-венографии, что позволяет заранее определить, какое отверстие Монро подходит для заднего расширения для получения наиболее широкого доступа к III желудочку [260, 200]. Травма таламостриарной вены может вызвать тяжёлые последствия, включая оглушенность, гемиплегию, мутизм, кровоизлияния в базальные ганглии и венозную инфарктизацию глубинных структур [140, 190, 251, 279].

Три части хороидальной щели (*fissura choroidea*) – телесная, атриальная и височная – представляют собой наиболее тонкие участки стенки бокового желудочка (*ventriculus lateralis*). Телесная часть располагается между телом свода (*corpus fornicis*) и таламусом (*thalamus*). Атриальная часть ограничена ножкой свода (*crus fornicis*) и подушкой таламуса (*pulvinar thalami*). Височная часть локализуется между бахромкой гиппокампа (*fimbria hippocampi*) и нижней поверхностью таламуса [230, 154]. Непосредственная близость указанных отделов к базальным цистернам и крыше III желудочка определяет их значимость в качестве анатомических ориентиров при планировании хирургических доступов [157, 230, 273].

Хороидальная щель морфологически представляет узкое щелевидное пространство, расположенное между таламусом и сводом (*fornix*). Идентификация данной структуры возможна при прослеживании хода сосудистого сплетения бокового желудочка (*plexus choroideus ventriculi lateralis*). Топографически щель определяется в зоне соприкосновения хвостатого ядра (*nucleus caudatus*) с таламусом; именно здесь проходит граница между нижнелатеральной стенкой и дном тела желудочка [154, 251, 273].

Кровоснабжение сосудистого сплетения (*plexus choroideus*) бокового желудочка осуществляется из 2 источников. Передняя хороидальная артерия (*arteria choroidea anterior*) проникает в желудочковую систему через передний сегмент височного рога (*cornu inferius*). Задние латеральные хороидальные артерии (*arteriae choroideae posteriores laterales*) входят в непосредственной близости от атриума (*atrium*) [154, 251]. На уровне атриума сосудистое сплетение формирует утолщение треугольной конфигурации – гломус хороидального сплетения (*glomus choroideum*); у взрослых данная структура нередко подвергается обызвествлению [99, 140].

Задняя медиальная хороидальная артерия (*arteria choroidea posterior medialis*) проходит через хороидальную щель (*fissura choroidea*), сопровождая сосудистое сплетение на всём протяжении. Визуализация данного сосуда достигается в полости бокового желудочка (*ventriculus lateralis*) на уровне межжелудочкового отверстия (*foramen interventriculare*) [154, 273].

Рассечение хороидальной щели обеспечивает формирование трансхороидального доступа из полости бокового желудочка. Тщательная оценка венозной анатомии и щадящая мобилизация сосудистого сплетения позволяют минимизировать риск травматизации свода (*fornix*), таламостриарной вены (*vena thalamostriata*) и внутренних мозговых вен (*venae cerebri internaе*) [157, 230, 273].

Зрительная лучистость (*radiatio optica*) проходит латерально и снизу от атриума желудочка, что создает зону повышенного риска при различных доступах, особенно при низком транстемпоральном пути, где передний пучок зрительной лучистости (петля Майера, *Meyer's loop*) может быть поврежден с развитием контралатеральной верхнеквадрантной гемианопсии [231, 269, 244, 270]. Для нейрохирурга, оперирующего в полости бокового желудочка, критически важны ориентиры, позволяющие определить своё местоположение и сторону. Классический приём ориентации основан на оценке взаимного расположения сосудистого сплетения и таламостриарной вены: если таламостриарная вена видна правее от сплетения – инструменты в правом желудочке; если слева от сплетения – в левом желудочке [218, 219]. Столбы свода, проходящие вблизи отверстия

Монро, при повреждении способны вызвать стойкие расстройства памяти вследствие дисфункции гиппокампо-мамиллярных связей [80, 162, 190, 279].

Анализ современной литературы по хирургии внутрижелудочковых опухолей выявляет фундаментальное противоречие между технологическим прогрессом малоинвазивных методов и критическим отставанием в развитии их анатомического обеспечения [140, 259, 165, 190, 279]. Эндоскопические системы высокого разрешения, экзоскопы с расширенными возможностями визуализации, прецизионные навигационные платформы и инновационные инструментальные решения достигли высокого уровня технологической зрелости, позволяющего выполнять сложнейшие вмешательства в глубинных отделах головного мозга [65, 73, 109, 98, 171, 101, 218, 219]. Однако параллельно с этим техническим прогрессом не происходит адекватного развития анатомической базы, специфичной для условий малоинвазивной хирургии [165, 208, 209].

Систематизированные данные о прижизненной анатомии внутрижелудочковых структур, учитывающие особенности эндоскопической, экзоскопической и комбинированной визуализации, остаются крайне фрагментарными, что создаёт объективные ограничения для безопасного и эффективного применения малоинвазивных технологий [65, 73, 109, 98, 171, 218, 219]. Существующие анатомические описания основаны на кадаверном материале, не учитывающем динамические изменения конфигурации желудочков при гидроцефалии, васкулярную пульсацию хороидального сплетения, циркуляцию ликвора и другие прижизненные феномены, существенно влияющие на интраоперационную картину [154, 155, 208, 209, 207].

Эта проблема наиболее отчётливо проявляется при анализе венозной архитектоники бокового желудочка, визуализация которой радикально различается в зависимости от используемой технологии [242, 155, 260, 179]. Эндоскопическая анатомия венозных коллекторов характеризуется уникальной перспективой «изнутри наружу», принципиально отличающейся от традиционной микроскопической визуализации «сверху вниз» [65, 196, 153, 218, 219]. В частности, таламостриарная вена, которая при транскаллёзном

микрохирургическом доступе предстаёт как поверхностная линейная структура, проходящая по дну желудочка, при эндоскопическом осмотре визуализируется как объёмное образование, проецирующееся на латеральную стенку в таламостриарной борозде (*sulcus terminalis*), с характерными пульсациями и динамическими изменениями калибра в зависимости от фазы сердечного цикла [65, 153, 218, 219].

Таким образом, современная хирургия внутрижелудочковых опухолей характеризуется выраженной диссоциацией между высоким уровнем технологической зрелости малоинвазивных методов и фрагментарностью анатомического обеспечения этих технологий. Систематизация прижизненной эндоскопической и экзоскопической анатомии желудочковой системы с учётом динамических васкулярных феноменов, вариабельности венозной архитектоники и физиологических пульсаций интравентрикулярных структур представляет критически важную задачу для безопасного расширения применения малоинвазивных подходов. Существующие анатомические описания, основанные на статичных кадаверных препаратах и традиционной микроскопической перспективе, не отражают специфику интраоперационной картины при эндоскопической визуализации, что создаёт объективные ограничения для прогнозирования технической сложности вмешательств и минимизации ятрогенных повреждений критических нейроваскулярных структур.

1.2.2. Эволюция хирургических подходов: от традиционной микрохирургии к малоинвазивным технологиям

Традиционно для резекции внутрижелудочковых опухолей использовались 2 основных подхода: транскортикальный и транскаллозный (Рисунок 2) [157, 140, 258, 190, 279]. Выбор хирургического доступа определяется множественными факторами, включая размер желудочков и опухоли, локализацию артериального кровоснабжения, патологические особенности новообразования и опыт хирурга [157, 140, 258, 150, 162, 190, 279]. Выбор конкретного операционного коридора

фундаментально зависит от локализации опухоли, её происхождения и развития, а также от опыта и предпочтений хирурга [157, 140, 190, 279].

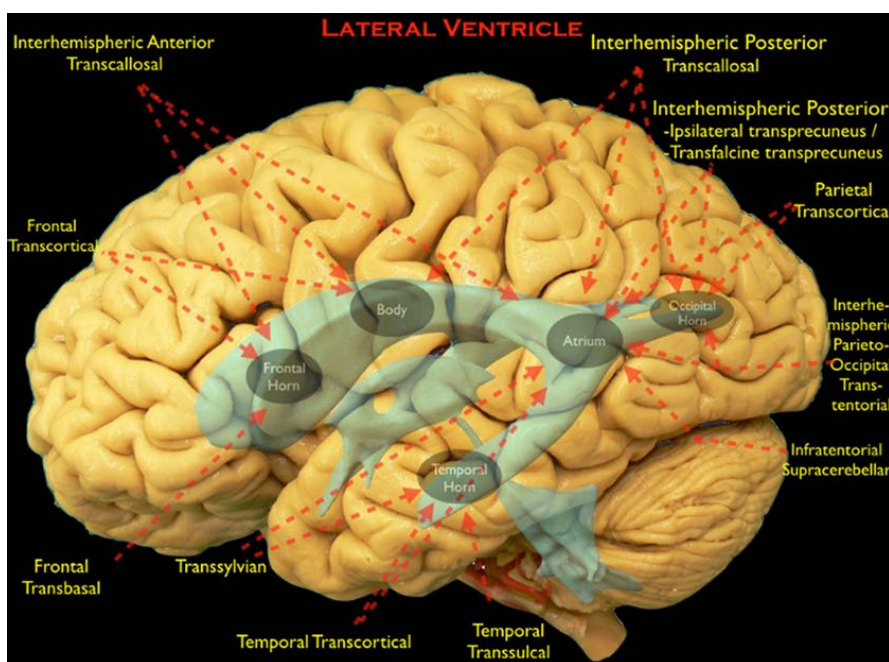


Рисунок 2 – Хирургические доступы к боковому желудочку (LV) показаны на латеральном виде анатомического препарата головного мозга. Боковой желудочек (LV) и III желудочек (TV) обозначены синим цветом. Анатомические отделы бокового желудочка выделены серыми эллипсами. Красные стрелки указывают направление хирургических доступов и те участки бокового желудочка, которые могут быть достигнуты каждым из этих доступов (Cikla U. с соавт., 2016) [157]

Для опухолей с трансэпендимальным ростом или больших первичных и вторичных интравентрикулярных опухолях более предпочтительным является транскортикальный доступ, который осуществляется через кортикальный разрез, при этом разрез проводится по ходу борозды для минимизации повреждения функционально значимой коры [157, 140, 258, 150, 190, 279]. Передний транспариетальный доступ использует верхнюю лобную борозду (sulcus frontalis superior) для достижения переднего рога и тела желудочка, задний транссулькальный доступ проводится через верхнюю теменную дольку вдоль межтеменной борозды (sulcus intraparietalis) для доступа к атриуму [140, 244, 190, 232, 251]. Для опухолей височного рога применяется трансильвиев доступ или расширенная птериональная краниотомия с кортикотомией в височной доле [140,

190, 232, 251, 279]. Транстемпоральный доступ, особенно низкий транстемпоральный путь между средней и нижней извилинами височной доли, показан для удаления опухолей, локализованных в височном роге и/или атриуме, позволяя минимизировать послеоперационные зрительные и физические дефициты при тщательном планировании траектории с учётом хода зрительной лучистости и языковых зон [140, 269, 77, 232, 251]. Базальный транстемпоральный доступ особенно показан для удаления опухолей височного рога и атриума, обеспечивая оптимальное соотношение экспозиции и минимизации функциональных рисков [140, 77, 232, 251]. Транскаллёзный межполушарный доступ обеспечивает прямую срединную ориентацию с симметричным доступом к обоим боковым желудочкам [80, 132, 142, 162, 190, 151, 251, 279]. Транскаллёзно-трансфораминальный доступ является безопасным маршрутом и наиболее прямым путем для удаления коллоидных кист III желудочка, не зависящим от наличия гидроцефалии [36, 98, 156, 151, 257, 260]. Контралатеральный транскаллёзный доступ представляет модификацию стандартной ипсилатеральной техники и включает позиционирование головы со срединной линией, ориентированной горизонтально, размещение стороны с очагом поражения вверх и выполнение краниотомии с межполушарной диссекцией на контралатеральной стороне [237, 142, 162].

Трансхороидальный доступ через хороидальную щель представляет естественный маршрут к III желудочку [48, 230, 154, 209, 207, 251, 273]. Открытие прикрепительной полоски свода (*taenia fornicis*) хороидальной щели в теле бокового желудочка и подход к III желудочку между 2 внутренними мозговыми венами позволяет осуществить дальнейшее заднее расширение отверстия Монро без повреждения нейрональных структур; при необходимости после оценки варианта венозного соединения передней вены перегородки и внутренней мозговой вены (в том числе заднего расположения узла слияния на 3–13 мм кзади от отверстия Монро, выявляемого в 47,5% полушарий) возможно пересечение передней вены перегородки для заднего расширения с обязательной интраоперационной оценкой венозного оттока и рисков [155, 209, 207, 156, 251, 260, 273]. В отличие от трансфораминального, субхороидального,

субфорникального и интерфорникального доступов к III желудочку, которые жертвуют некоторыми нейрональными или сосудистыми структурами, трансхороидальный доступ является анатомически обоснованным коридором при условии тщательной венозной анатомической оценки (варианты соединения передней вены перегородки и внутренней мозговой вены, хороидальные вены) и щадящей мобилизации сосудистого сплетения [230, 154, 155, 209, 207, 156, 251, 260, 273].

Таким образом, традиционные микрохирургические доступы к внутрижелудочковым опухолям включают транскортикальный (передний транспариетальный, задний транссулькальный, транстемпоральный) и транскаллёмный (межполушарный, контралатеральный, трансхороидальный через хороидальную щель) варианты, выбор между которыми определяется локализацией опухоли, размером желудочков, васкуляризацией образования и необходимостью минимизации повреждения функционально значимых структур [157, 140, 258, 237, 80, 142, 150, 162, 77, 155, 244, 190, 209, 207, 232, 156, 151, 251, 260, 273, 279].

Развитие нейроэндоскопии открыло новую эру в лечении внутрижелудочковых опухолей, предлагая менее инвазивную альтернативу традиционным микрохирургическим подходам [66, 65, 73, 98, 196, 218, 219, 225, 110, 195]. Нейроэндоскопия представляет безопасную и эффективную модальность лечения различных интракраниальных заболеваний, и её знание, показания и ограничения являются фундаментальными для арсенала современного нейрохирурга [66, 65, 73, 218, 219, 225]. Факторы, влияющие на возможность полной эндоскопической резекции солидных опухолей, включают размер опухоли, её состав и васкуляризацию, процедура требует тщательного отбора пациентов, использования усовершенствованной эндоскопической инструментации и дисциплинированной хирургической техники [33, 66, 65, 196, 225]. Классификация эндоскопических техник включает 3 основные группы: эндоскопическую нейрохирургию («канальная» эндоскопия), эндоскоп-контролируемую микронейрохирургию и эндоскоп-ассистированную микронейрохирургию [65, 73,

218, 219]. Можно выделить еще один вариант эндоскопической техники – стереотаксически управляемая эндоскопическая хирургия, которая позволяет минимизировать риск осложнений при проведении традиционных стереотаксических вмешательств в функциональной нейрохирургии [48, 227, 153]. Дополнительные технологические решения, включают флуоресцеин-ассистированную эндоскопическую транстубулярную хирургию и эндоскоп-ассистированные гибридные техники, расширяют арсенал малоинвазивной нейрохирургии [245, 78, 205, 217, 54, 264].

Новым направлением хирургии глубинных структур головного мозга является экзоскопия, которая представляет собой новую технологию визуализации операционного поля [109, 108, 110, 149, 150, 171, 180, 182, 271, 101, 249]. Экзоскоп обеспечивает увеличенное изображение с большой глубиной резкости, однако передача тонких цветовых характеристик тканей, текстуры эпендимы и оттенков васкуляризации может отличаться от микроскопической визуализации вследствие особенностей цифровой обработки изображения и характеристик матрицы камеры [109, 108, 110, 149, 150, 171, 180, 271, 101, 249].

Стремление снизить травматичность доступов к глубоким структурам головного мозга привело к активному применению ТР [267, 262, 167, 166, 261, 214, 263, 226]. Применение ТР приводит к распределению силы ретракции на большую площадь поверхности по сравнению с традиционными лопастными ретракторами, что снижает риск компрессионных ишемических осложнений [267, 262, 167, 166, 261, 263, 226]. Систематические обзоры, включающие случаи резекции глубоко расположенных интракраниальных образований с использованием ТР, демонстрируют снижение частоты осложнений хирургических вмешательств, безопасность и эффективность данной технологии [267, 262, 167, 234, 166, 261, 214, 263]. При введении ТР через транскортикальный доступ к телу бокового желудочка хирург визуализирует цилиндрический фрагмент полости желудочка, границы и содержимое, которого жёстко определяются диаметром ретрактора и траекторией его введения [262, 167, 227, 166, 261, 214, 263]. Латеральная стенка желудочка с хвостатым ядром и проходящей по нему таламостриарной веной может полностью

находиться вне поля зрения при центральном положении тубуса, тогда как медиальная стенка с сосудистым сплетением обычно хорошо визуализируется, создавая ложное впечатление полноты обзора желудочковой полости [267, 262, 167, 166, 261, 209, 214, 263, 251]. Передний и задний края операционного коридора, соответствующие проксимальному и дистальному концам тубуса, формируют зоны ограниченной видимости, где ориентация затруднена из-за эффекта «тоннельного зрения» и отсутствия периферического обзора [267, 262, 167, 166, 261, 214, 263]. Глубина операционного коридора при использовании тубулярных систем обычно составляет 4–6 см от корковой поверхности, что создаёт специфические условия освещения и восприятия глубины, отличные как от поверхностной микрохирургии, так и от эндоскопической визуализации [262, 167, 78, 166, 261, 214, 263]. Необходимо отметить, что в настоящее время отсутствует систематизация анатомических структур, визуализируемых в цилиндрическом коридоре при различных траекториях введения ретрактора – фронтальной, париетальной, височной, что затрудняет предоперационное планирование оптимальной точки входа и направления доступа с учётом индивидуальных анатомических особенностей пациента [267, 262, 167, 227, 234, 166, 261, 214, 263].

Таким образом, проведенный анализ литературы демонстрирует, что хирургия внутрижелудочковых опухолей боковых желудочков находится на переломном этапе развития. Технологический прогресс малоинвазивных методов достиг уровня, позволяющего выполнять прецизионные вмешательства в глубинных структурах головного мозга с минимизацией хирургической травмы [66, 65, 73, 262, 98, 167, 227, 234, 150, 171, 166, 261, 214, 101, 218, 219, 263, 225, 195, 197]. Современная тактика лечения опухолей боковых желудочков балансирует между классической микронейрохирургией (транскортикальные и транскаллозные доступы), транцистернальными/трансхороидальными вариациями и малоинвазивными техниками (эндоскопия, транстубулярная хирургия с использованием портовых систем) [66, 65, 157, 230, 140, 262, 98, 167, 258, 227, 237, 80, 108, 110, 142, 150, 162, 154, 155, 244, 190, 166, 209, 207, 214, 232, 218, 219, 263, 225, 195, 197, 251, 260, 273, 279]. Выбор хирургического доступа для резекции

интравентрикулярных опухолей должен основываться на анатомических соображениях, обеспечивающих наилучший и безопасный доступ к образованию [99, 157, 140, 244, 190, 209, 232, 251, 279]. В тоже время, наблюдается устойчивое отставание в области прикладной клинической анатомии глубинных структур создает объективные препятствия для дальнейшего прогресса [14, 13, 46, 99, 154, 155, 208, 209, 207, 251, 275]. Существующие анатомические руководства и атласы, созданные для традиционной микрохирургии на основе изучения кадаверного материала, не отвечают специфическим потребностям малоинвазивной нейрохирургии внутрижелудочковых структур [206, 51, 154, 203, 208, 209, 207, 216, 251, 275, 278]. Необходима систематизация интраоперационной нейроэндоскопической и экзоскопической анатомии основных внутрижелудочковых ориентиров, венозных притоков и их пространственных взаимоотношений в условиях различных траекторий доступа [6, 19, 206, 66, 99, 51, 65, 73, 157, 74, 230, 109, 98, 167, 227, 178, 171, 154, 155, 208, 209, 207, 101, 218, 219, 225, 251, 260, 273, 275]. Такое исследование должно обеспечить переход от эмпирического освоения малоинвазивных технологий к их научно обоснованному применению, базирующемуся на детальном понимании прижизненной анатомии глубинных структур головного мозга в условиях, специфичных для каждого из малоинвазивных подходов. Систематизация интраоперационных анатомических данных, полученных в условиях эндоскопической и экзоскопической визуализации, создаст базу для стандартизации хирургических подходов и, в конечном итоге, улучшения результатов лечения пациентов с внутрижелудочковыми опухолями [66, 109, 227, 171, 101, 251].

1.3. Хирургическое лечение эпилепсии

Эпилепсия, поражающая более 70 миллионов человек во всём мире, представляет одно из наиболее распространённых серьёзных неврологических заболеваний с бимодальным распределением заболеваемости [67, 106]. Несмотря на расширение спектра противосудорожных средств, 20–40% пациентов не

достигают полной редукции приступной активности при оптимальной фармакологической терапии [89, 106]. Именно в контексте хирургического лечения фармакорезистентных форм эпилепсии (ФРЭ) наиболее ярко проявляется фундаментальная проблема современной нейрохирургии глубинных локализаций [48, 243, 94, 211, 57] связанная с критическим разрывом между технологическим прогрессом и анатомическим обеспечением малоинвазивных методов хирургического лечения. Существующие анатомические атласы и классификации, созданные для традиционной микрохирургии на основе фиксированных кадаверных препаратов, не соответствуют потребностям стереотаксической, эндоскопической и экзоскопической нейрохирургии [155, 209, 251, 275, 279]. Стереотаксическое планирование траекторий доступа требует прецизионной визуализации индивидуальной топографии глубинных структур на томографических изображениях *in vivo*, существенно отличающихся от кадаверной анатомии отсутствием артефактов фиксации, сохранением нормального кровенаполнения венозных коллекторов и физиологической конфигурации желудочковой системы, визуализацией динамических характеристик структур [253, 143, 236]. В частности, при планировании стереотаксических вмешательств на передних ядрах таламуса хирург вынужден опираться на классификации венозного угла, созданные на основе микрохирургической кадаверной диссекции или КТ-ангиографии, не отражающие вариабельность прижизненной топографии венозных структур в условиях МРТ-визуализации – стандарта предоперационного планирования при эпилепсии [53, 242, 155, 260, 200]. Необходимость работы в непосредственной близости от внутренней вены мозга, повреждение которой приводит к катастрофическим последствиям, требует детального знания конкретных топографических характеристик венозной системы данного пациента в том виде, в котором они визуализируются на предоперационных томограммах [53, 155, 260, 200].

Таким образом, хирургия эпилепсии иллюстрирует фундаментальный разрыв между технологическим прогрессом малоинвазивной нейрохирургии глубинных структур и ее анатомическим обеспечением, что ограничивает

безопасность стереотаксических вмешательств, затрудняет прогнозирование рисков повреждения критических структур, препятствует стандартизации хирургических подходов и широкому внедрению инновационных методик в клиническую практику [243, 94, 211, 57].

Резекционные вмешательства представляют золотой стандарт оперативного лечения фокальных форм эпилепсии и включают темпоральные лобэктомии, селективную резекцию амигдалы и гиппокампа, экстратемпоральные резекции, лезионэктомию, гемисферэктомию [102, 268, 243, 94, 192, 211]. Эффективность и долгосрочные исходы резекционных операций была убедительно продемонстрирована во многих крупных когортных исследованиях и составляет от 50 до 80% [243, 105, 235, 57]. Мезиальный темпоральный склероз, выявляясь у значительной части пациентов с височной ФРЭ, представляет наиболее частый морфологический субстрат эпилептогенной активности и характеризуется специфическим паттерном потери нейронов и глиоза в СА1, СА3 и СА4 зонах гиппокампа с относительным сохранением СА2 зоны [238, 124, 106]. Пациенты с мезиальным темпоральным склерозом характеризуются благоприятным хирургическим прогнозом, демонстрируя достижение свободы от приступов в 70–80% случаев после темпоральной лобэктомии [243, 105, 235, 57]. Несмотря на высокую эффективность резекционной хирургии, данный подход характеризуется существенными ограничениями, обусловленными необходимостью обширной краниотомии и прохождения через функционально значимые отделы мозга для достижения глубоко расположенных эпилептогенных структур. Высокая частота послеоперационных осложнений при резекционной хирургии височной эпилепсии стимулировала поиск альтернативных, менее травматичных методов лечения, что привело к развитию малоинвазивных стереотаксических технологий [243, 94, 211].

Паллиативные разобщающие процедуры – каллозотомия и множественные субпиальные транссекции – применяются у пациентов, для которых резекционные вмешательства невозможны или нецелесообразны: при расположении эпилептогенной зоны в функционально критических областях, значительной протяженности эпилептогенной зоны, билатеральной или мультифокальной

локализации, определенных формах генерализованной эпилепсии с доминированием тонических и атонических пароксизмов [5, 34, 83, 102, 118, 110, 146, 211, 174].

Нейромодуляционные методы, представленные стимуляцией блуждающего нерва, глубинной стимуляцией головного мозга и адаптивной нейростимуляцией, применяются преимущественно у пациентов, для которых резекционные или разобщающие операции оказались неэффективными [55, 192, 211, 144]. Перспективной альтернативой глубинной мозговой стимуляции рассматривается деструкция передних ядер таламуса – радиочастотная абляция или лазерная термодеструкция, теоретически позволяющая избежать необходимости имплантации устройства и связанных с этим материальных затрат и обременений для пациента [34, 231, 192, 82, 144]. Одним из факторов, ограничивающим распространение как нейромодуляционных, так и деструктивных методов воздействия на передние ядра таламуса, являются анатомические особенности этой области и необходимость работы в непосредственной близости с венозными структурами желудочковой системы, при этом деструктивные методы характеризуются более высоким профилем риска вследствие необратимого характера вмешательства и малоизученности прижизненной анатомии области передних ядер таламуса в условиях МРТ-визуализации, используемой для стереотаксического планирования [231, 253, 155, 236, 200].

Внутренняя венозная система мозга служит критическим хирургическим ориентиром при стереотаксических доступах к передним ядрам таламуса, поскольку передние ядра таламуса располагаются в непосредственной близости от стенки III желудочка, а стереотаксическая траектория имплантации электрода глубокой мозговой стимуляции или лазерного зонда для термодеструкции проходит через боковой желудочек, при этом венозные структуры – таламостриарная вена, передняя септальная вена и внутренняя вена мозга – определяют безопасность доступа [192, 155, 209, 260, 200]. Внутренняя вена мозга образуется в результате слияния таламостриарной вены и передней септальной вены, при этом точка их схождения была впервые определена как венозный угол в

1953 г. Krayenbühl и Richter и имеет критическое значение с хирургической точки зрения, поскольку часто располагается в непосредственной близости от отверстия Монро [155, 260, 200]. Согласно литературным данным, в 25–30% случаев венозный угол образуется на некотором расстоянии от заднего края отверстия Монро, так называемый «ложный венозный угол», что при стереотаксических процедурах требует модификации траектории для избежания венозных структур [260, 200]. Клиническая значимость детального знания топографии венозных структур определяется тем, что внутренняя вена мозга собирает кровь из глубоких структур головного мозга – базальных ганглиев, таламуса, гиппокампа – и повреждение этого сосуда приводит к катастрофическим последствиям: сонливости, гемиплегии, мутизму, геморрагическому инфаркту базальных ганглиев или летальному исходу [155, 190, 251].

Попытки систематизации вариабельной анатомии венозного угла были предприняты несколькими исследовательскими группами на основе различных методологических подходов. Türe U. и соавт. (1997) разработали классификацию венозного угла относительно отверстия Монро на основе микрохирургической диссекции 40 полушарий кадаверных препаратов, продемонстрировав, что в 52,5% полушарий соединение передней септальной вены – внутренней вены мозга располагалось в венозном углу, прилегающем к заднему краю отверстия Монро (тип IA) [260].

Наиболее современный подход к систематизации венозной анатомии III желудочка представлен научным трудом Zaczkowski K. и соавт. (2025), разработавших детализированную классификацию внутренней венозной системы головного мозга, основанную на анализе 119 SWI-MPT-сканов, разделенную на 5 основных групп с множественными подтипами, учитывающими формирование венозного угла относительно отверстия Монро и особенности хода таламостриарной и передней септальной вен [200] (Рисунок 3). Эта классификация, будучи основанной на SWI-MPT-визуализации, наиболее приближена к условиям клинической практики, однако и она не учитывает динамические характеристики венозных структур – пульсацию, изменения калибра в зависимости от фазы

сердечного цикла, цветовые характеристики в условиях различных типов освещения [200].

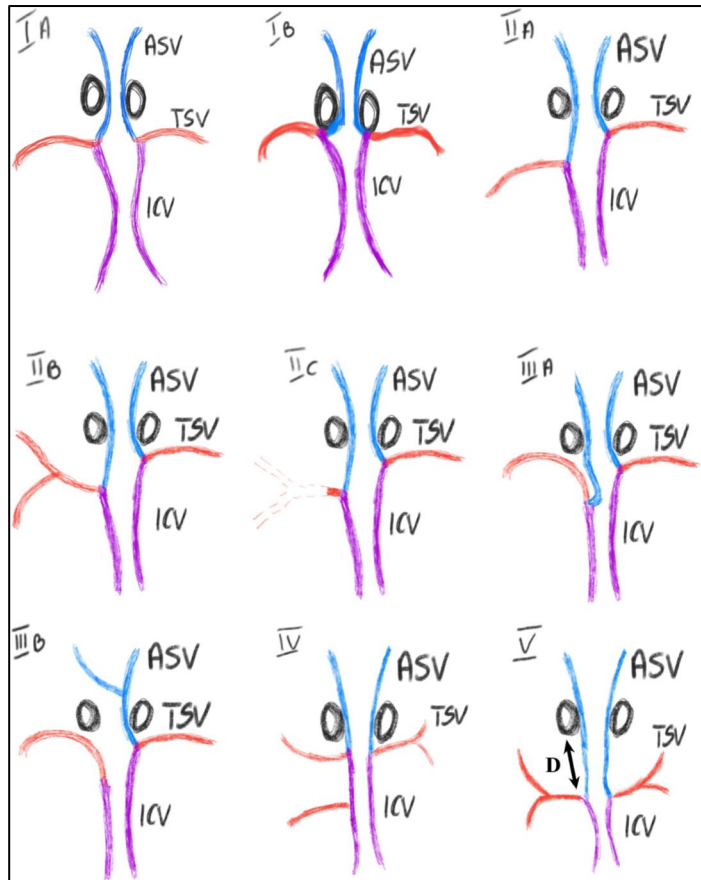


Рисунок 3 – Схематическое изображение венозного угла, по данным К. Zaczkowski и соавт. (2025). Представлены различные варианты формирования и расположения венозного угла по отношению к отверстию Монро [200]. Классификация основана на анализе 119 SWI-MPT-сканов, что отражает прижизненную анатомию венозной системы в условиях МРТ-визуализации. На материале МСКТ-ангиографии 250 пациентов К. Brzegowy и соавт. (2019) разработали классификацию, включающую 5 типов соединений передней септальной вены и внутренней вены мозга. Наиболее распространённым оказался тип IA, выявленный в 57,2% наблюдений и характеризующийся прилеганием венозного угла к отверстию Монро [242]

Критической проблемой существующих классификаций является то, что ни одна из них не отражает особенностей восприятия венозной анатомии в условиях различных технологий визуализации, используемых при хирургии эпилепсии. При эндоскопическом осмотре желудочковой системы через трансфораминальный доступ таламостриарная вена визуализируется не как линейная поверхностная структура традиционного микрохирургического транскаллезного доступа,

описанного в классификации Türe, а как объемное пульсирующее образование с динамически изменяющимся калибром, специфическими цветовыми характеристиками в условиях эндоскопического освещения и характерным рельефом поверхности. Напротив, при стереотаксическом планировании имплантации электродов глубокой мозговой стимуляции на аксиальных срезах МРТ венозные структуры визуализируются как округлые или овальные гипоинтенсивные образования на T2-взвешенных изображениях или гиперинтенсивные на SWI-последовательностях, при этом их пространственные взаимоотношения с отверстием Монро и передними ядрами таламуса существенно варьируют индивидуально [155, 200].

Отсутствие систематизированных данных о прижизненной анатомии венозной системы III желудочка в условиях МРТ-визуализации, учитывающих индивидуальную вариабельность топографии венозных структур и их визуализационные характеристики на различных последовательностях, ограничивает точность предоперационного планирования стереотаксических вмешательств при эпилепсии и повышает риск интраоперационных осложнений. Использование классификаций, созданных на основе кадаверных препаратов или КТ-ангиографии, при планировании МРТ-навигируемых стереотаксических процедур затруднено, поскольку они не учитывают специфику МРТ-визуализации венозных структур и не предоставляют количественных данных о безопасных расстояниях от венозных коллекторов при различных анатомических вариантах [242, 155, 260, 200]. Это обстоятельство, наряду с умеренной эффективностью метода и высокими рисками деструктивных вмешательств, обуславливает ограниченное распространение как нейромодуляционных, так и деструктивных методов воздействия на передние ядра таламуса при эпилепсии [192, 211, 144].

Таким образом, хирургия эпилепсии как клиническая модель демонстрирует критический разрыв между технологическим прогрессом малоинвазивных вмешательств и их анатомическим обеспечением, что ограничивает безопасность стереотаксических процедур, затрудняет стандартизацию подходов и обуславливает вариабельность исходов в различных центрах [238, 243, 211, 124,

106]. Создание специализированного анатомического обеспечения, основанного на прижизненной визуализации и адаптированного к специфике современных технологий, представляет необходимое условие реализации потенциала малоинвазивной нейрохирургии для улучшения исходов лечения пациентов с эпилепсией и другими заболеваниями, требующими вмешательств на глубинных структурах головного мозга [231, 253, 248, 236].

1.4. Анатомо-морфометрические детерминанты хирургического лечения невралгии тройничного нерва

Невралгия тройничного нерва может рассматриваться как модельная патология для изучения проблемы анатомического обеспечения малоинвазивной хирургии глубинных структур: хирургическая мишень локализована в мостомозжечковой цистерне на глубине 4–6 см от поверхности черепа, что требует прецизионного доступа через узкий ретросигмовидный коридор к корешковой зоне входа тройничного нерва, где субмиллиметровые морфометрические параметры определяют патогенез заболевания и исход вмешательства [32, 206, 60, 139]. Патогенетическая ценность этой модели заключается в возможности изучения взаимодействия структурной уязвимости черепных нервов в зоне перехода центрального миелина в периферический и микромеханики нейроваскулярных и сосудисто-дурально-костных контактов в условиях глубокой локализации хирургической мишени [25, 60, 139, 222].

Исторически каузальный хирургический подход был сформулирован в двух основополагающих работах 1967 г., определивших стратегию хирургии глубинных структур задней черепной ямки на полвека вперед: Jannetta P. описал устранение артериальной компрессии корешка в мостомозжечковой цистерне, положив начало МВД как этиотропной операции [133], Malis L. акцентировал механическую роль петрозального гребня и области входа в пещеру Меккеля, где острый костный край способен создавать самостоятельную точку компрессии [149]. Этот дуализм концепции «сосуд-кость и твёрдая мозговая оболочка» предвосхитил дальнейшее

развитие как хирургической техники, так и лучевой морфометрии, а также сформулировал критическую необходимость прецизионной анатомической характеристики глубинных структур для планирования малоинвазивных вмешательств [37, 38, 105, 133, 139, 149].

Последующее полувековое развитие нейрохирургии сделало метод Jannetta доминирующей стратегией лечения классической невралгии, однако проблема хирургического доступа к глубинным структурам ММУ через узкий ретросигмовидный коридор остаётся актуальной. В настоящее время МВД остаётся патогенетически обоснованным методом хирургического лечения классической НТН [60, 139, 281]. Процедура заключается в ретросигмовидном доступе к мостомозжечковой цистерне с последующим разделением нейроваскулярного контакта и установкой изолирующего материала между сосудом и нервом. Эффективность МВД подтверждена многолетним хирургическим опытом, данными крупных проспективных когортных исследований и систематических обзоров с метаанализами, охватывающих тысячи пациентов. Непосредственная эффективность операции варьирует от 78,9 до 96% [145, 105, 160, 158], долгосрочная эффективность через 1–20 лет составляет 70–97% по различным критериям оценки и срокам наблюдения [145, 160, 158]. При чисто венозной компрессии непосредственная эффективность достигает 75,6%, однако частота рецидивов значительно выше и составляет 23,1% [243].

Особенности анатомии цистернального сегмента тройничного нерва позволяют предположить, что одним из механизмов невралгии может быть костно-дуральная компрессия нерва в зоне изгиба при входе в полость тройничного нерва. В 1967 г. Malis L. описал феномен «петрозальной компрессии» и предложил его хирургическую коррекцию [149]. Современные морфологические исследования и обзорные работы подтверждают, что корешок после выхода из моста огибает верхушку пирамиды и пересекает острый край у *porus trigeminus*; неблагоприятная геометрия острых углов петрозального гребня, костные шпоры и оссификация могут поддерживать клинику при минимальном сосудистом конфликте и требуют адресной хирургической коррекции [70, 252, 161, 173]. Кадаверные исследования

показали, что средняя ширина устья тригеминальной полости составляет 7,3–7,6 мм, высота 2,2–4,2 мм [252]. Banerjee S. с соавт. обнаружили полностью оссифицированную крышу устья с вдавлением тройничного нерва, что подчёркивает возможность оссификации как причины невралгии [61]. Kimball D. с соавт. продемонстрировали, что у приблизительно 20% взрослых задняя петроклиновидная дуральная складка полностью оссифицирована, что способно суживать forus trigeminus и создавать потенциальную компрессию [185]. Неблагоприятная геометрия тройничного нерва при его невралгии также подтверждается МР-морфометрией: Zhong H. с соавт. показали, что у пациентов с невралгией угол гребня пирамиды височной кости и угол тройничного нерва меньше, чем в контроле, что имеет умеренную диагностическую ценность [173]. Ögüt E. с соавт. описали 3 формы устья – эллиптическую, овальную и щелевидную, при этом овальный тип обеспечивает большую свободу манипуляций; горизонтальный диаметр варьирует от 8,0 до 9,2 мм, вертикальный от 2 до 3 мм [183]. Tubbs R. S. с соавт. отметили, что в 6,67% случаев между чувствительными и двигательными корешками на уровне forus trigeminus существуют нейральные анастомозы диаметром 0,5 мм и длиной 2,2–3,2 мм, что важно учитывать при вмешательствах [177].

Помимо анатомических данных, МР-морфометрия цистернального сегмента и задней черепной ямки аналогично демонстрирует значимые изменения у пациентов с невралгией, которые могут служить основой для предоперационного планирования малоинвазивных вмешательств на глубинных структурах. Obata Y. с соавт. показали, что индекс девиации мостомозжечковой цистерны ассоциирован с уменьшением объёма цистерны на поражённой стороне и предсказывает риск рецидива после МВД [194]. Cheng J. с соавт. установили, что объём поражённого тройничного нерва значимо снижен по сравнению с непоражённой стороной и контролем, составляя $65,8 \pm 21,1$ мм³ против $77,9 \pm 19,3$ мм³ и $74,7 \pm 16,5$ мм³, тригемино-понтинный угол на поражённой стороне был значимо меньше и составлял $42,4 \pm 8,7^\circ$ против $47,6 \pm 9,2^\circ$ на непоражённой стороне и $46,0 \pm 7,2^\circ$ в контроле [176]. Hardaway F. A. с соавт. показали, что меньший объём задней

черепной ямы характерен для пациентов без нейроваскулярной компрессии; средняя длина предмостовой цистерны составила 5,3 мм у пациентов против 6,5 мм в контроле, длина симптомного нерва 8,7 мм против 9,7 мм [220].

Угловые параметры по МР-морфометрии демонстрируют статистически значимые отличия у пациентов с НТН. На S. M. с соавт. в case-control исследовании 30 пациентов и 30 контролей продемонстрировали значимо меньший тригеминопонтинный угол на поражённой стороне, составивший $40,17^\circ$ против $48,91^\circ$ на непоражённой стороне и $52,02^\circ$ в контроле [189]. Zhong H. с соавт. установили, что угол гребня пирамиды височной кости на симптоматической стороне составляет $98,40 \pm 19,75^\circ$ против $105,59 \pm 22,45^\circ$ на асимптоматической стороне и $108,44 \pm 15,98^\circ$ в контроле, а угол тройничного нерва составляет $144,41 \pm 8,92^\circ$ против $149,67 \pm 8,09^\circ$ на асимптоматической стороне и $150,45 \pm 8,48^\circ$ в контроле [173]. Эти количественные параметры демонстрируют возможность объективной морфометрической характеристики глубинных структур методами прижизненной визуализации, однако их интеграция в единую систему координат для планирования малоинвазивных вмешательств остаётся нереализованной.

Таким образом, современные представления о НТН основаны на мультифакториальной патогенетической концепции, в которой нейроваскулярный конфликт (НВК) остаётся доминирующим, но не единственным этиологическим фактором. Приведенные анатомические и МР-морфометрические данные убедительно демонстрируют, что костно-дуральная механика тройничного нерва у входа в *porus trigeminus* может выступать в качестве независимого или сопутствующего патогенетического механизма [60, 139, 222, 194, 173].

Клиническое значение костно-дуральных факторов проявляется на нескольких уровнях. Во-первых, острый рельеф петрозального гребня и неблагоприятная геометрия траектории нерва способны объяснять случаи невралгии при отсутствии явной нейроваскулярной компрессии, составляющие 3–17% интраоперационных наблюдений. Во-вторых, эти факторы могут обуславливать часть рецидивов после адекватно выполненной МВД, когда повторная ревизия не выявляет сосудистого конфликта. В-третьих, выделение

подгруппы пациентов с гиперострым сагиттальным углом тройничного нерва менее 150° на уровне входа в пещеру, составляющей приблизительно 17% от всех случаев классической невралгии и ассоциированной с 3-7-кратным увеличением риска неудачи МВД, указывает на необходимость пересмотра стандартного хирургического подхода у этой категории пациентов. Перспективным направлением является выявление предикторов компрессии тройничного нерва в области костно-дуральных структур и интеграция морфометрических данных в алгоритмы хирургического принятия решений [25, 38, 68, 79, 90, 70, 176, 189, 268].

1.5. Современное состояние проблемы и перспективы развития фетальной нейрохирургии гидроцефалии

Фетальная нейрохирургия представляет модель развития малоинвазивных технологий в хирургии глубинных структур ЦНС. Начиная с 1980-х гг. данное направление прошло путь от открытых гистеротомических доступов к эндоскопическим методикам [4, 22, 27, 35, 39, 43, 64, 114, 115, 104]. УЗИ и МРТ плода обеспечили возможность ранней диагностики широкого спектра фетальных заболеваний, включая неврологическую патологию. Совершенствование данных визуализационных методов создало предпосылки для проведения нейрохирургических вмешательств в пренатальном периоде [116, 282]. Этот переход отражает общую тенденцию современной нейрохирургии к минимизации операционной травмы при сохранении клинических результатов [35, 36, 39].

Гидроцефалия является одной из наиболее частых аномалий развития головного мозга, диагностируемых внутриутробно, и характеризуется нарушением ликвороциркуляции и расширением боковых желудочков более 10 мм [239, 282]. Распространённость вентрикуломегалии составляет 0,3–1,5 на 1000 родов, пренатальное УЗИ может идентифицировать патологию уже на сроке 14–20 нед. гестации [116, 282]. Несмотря на существенную сложность и риски фетальной хирургии, с целью лечения гидроцефалии внутриутробное вентрикулоамниотическое шунтирование применяется с 1980-х гг. Cavalheiro S. с

соавт. сообщили о серии из 39 случаев плодов с гидроцефалией в сроке от 24 до 32 нед. гестации в период с января 1986 по январь 2001 г., где этиология включала стеноз акведука в 18 случаях, внутрижелудочковое кровоизлияние в 8 случаях, мальформацию Денди – Уокера в 4 случаях, мальформацию Киари II типа в 4 случаях [114]. 20 плодам было выполнено повторное цефалоцентезирование, 18 получили вентрикулоамниотический шунт и в одном случае была выполнена эндоскопическая третья вентрикулостомия. Из 39 пациентов 26 были признаны нормальными с коэффициентом интеллекта выше 70, 6 имели легкие или умеренные нарушения и 7 были тяжело инвалидизированы [114]. Систематический обзор Murray C. и соавт., опубликованный в 2025 г., оценил опыт хирургических вмешательств при фетальной гидроцефалии, идентифицировав 12 исследований с данными о 172 участниках [233]. 29 подверглись цефалоцентезу, 131 получили вентрикулоамниотический шунт, и 14 подверглись попытке эндоскопической третьей вентрикулостомии, из которых 11 процедур были успешными. Гидроцефалия считалась изолированной антенатально в 160 случаях (93%), но у 18 из них (11,3%) была обнаружена дополнительная аномалия постнатально. Не было перинатальных осложнений процедур цефалоцентеза или эндоскопической третьей вентрикулостомии, тогда как у 131 плода с установленными вентрикулоамниотическими шунтами перинатальные осложнения наблюдались в 6,9% случаев в неонатальном периоде, включая 4 внутриутробные смерти плода и 3 преждевременных рождения в течение 48 ч. после процедуры с последующей смертью. Отказ вентрикулоамниотического шунта произошел в 32,1% случаев [233]. Развивающий исход был сообщен у 137 участников, из которых 46% младенцев имели нормальный развивающий исход, 8,8% имели легкие развивающие аномалии, и 45,3% имели умеренные или тяжелые развивающие трудности. Из 113 участников с истинно изолированной гидроцефалией 55,8% сообщили о нормальном развитии, 7,1% имели легкие развивающие трудности, и 37,2% имели умеренные или тяжелые развивающие трудности [233]. Долгосрочные результаты фетального лечения гидроцефалии противоречивы, при сочетании гидроцефалии с иными аномалиями нормальное развитие не

зарегистрировано ни у одного ребенка. Сравнительные контролируемые исследования эффективности фетального и постнатального лечения гидроцефалии не проводились [233]. Первые публикации о нейроэндоскопических операциях при окклюзионной гидроцефалии у плода появились в 2003 г. [114], однако послеоперационные осложнения в виде нарастания гидроцефалии и гибели плода привели к заключению о преждевременности внедрения данного подхода [22]. Попытки эндоскопического восстановления ликворотока были предприняты у 14 плодов, технически успешное выполнение достигнуто у 11, прямых осложнений не зарегистрировано, однако фетальная эндоскопическая вентрикулостомия дна III желудочка не исключает необходимость шунтирования после рождения в большинстве случаев [31, 233]. Экспериментальные работы Reiro J. L. и коллег на 50 моделях гидроцефалии у плода овец продемонстрировали техническую осуществимость эндоскопической вентрикулостомии дна III желудочка с общим успехом в 64% случаев, а при исключении случаев, искусственно заблокированных полимером, успешность составила 80% [113]. Современные обзоры указывают, что применение фетальной МРТ, молекулярно-генетической диагностики и усовершенствованных шунтирующих систем может улучшить отбор пациентов и безопасность данной процедуры [4, 239, 233].

Несмотря на технологический прогресс, в настоящее время существует проблема практически полного отсутствия прикладных анатомических данных, специфичных для малоинвазивных внутриутробных вмешательств. Традиционная нейроанатомия создавалась для микрохирургических подходов на фиксированных кадаверных препаратах и не отражает особенностей прижизненной визуализации при эндоскопических, стереотаксических и интервенционных вмешательствах у плода. Эндоскопическая вентрикулостомия дна III желудочка у плода предполагает навигацию в желудочковой системе развивающегося мозга с использованием эндоскопа минимального диаметра, однако отсутствует систематизация анатомических ориентиров дна III желудочка плода при эндоскопическом осмотре, не описаны варианты строения и пространственных взаимоотношений структур в условиях различной степени вентрикуломегалии и различных типов окклюзии

ликворных путей [27, 31, 52, 53, 114, 239, 113]. Установка вентрикулоамниотических шунтов требует определения траектории введения катетера в желудочек плода, избегая повреждения сосудистых сплетений и корковых структур, однако анатомические руководства по безопасным траекториям доступа к желудочкам плода различных гестационных сроков отсутствуют, не систематизированы анатомические особенности желудочковой системы в зависимости от типа и степени гидроцефалии [114, 239, 282].

Таким образом, в настоящее время фетальная нейрохирургия демонстрирует значительный прогресс в применении малоинвазивных технологий при лечении гидроцефалии [4, 64, 115, 239, 233]. Дальнейшее развитие фетальной нейрохирургии требует решения ключевых задач: систематизации прикладной клинической анатомии глубинных структур мозга плода, адаптированной для малоинвазивных технологий; оптимизации хирургических техник и снижения частоты преждевременных родов; улучшения селекции пациентов на основе генетических и морфологических критериев; стандартизации анатомических ориентиров для обучения специалистов и воспроизводимости методик; обеспечения тщательного баланса между материнскими рисками и фетальными преимуществами с полным информированным согласием в специализированных центрах.

1.6. Заключение

Современная нейрохирургия глубинных структур головного мозга характеризуется переходом от традиционных микрохирургических доступов к эндоскопическим, экзоскопическим, стереотаксическим и интервенционным методикам [4, 33, 171, 101, 218, 263]. Систематические обзоры убедительно подтверждают клиническую эффективность этих подходов, что обуславливает их все более широкое внедрение в различных областях нейрохирургии. Вместе с тем, технологический прогресс сопровождается фундаментальным разрывом между возможностями современных методов хирургии и доступностью

специализированного анатомического обеспечения [96, 208, 209]. Данное противоречие объясняется тем, что существующая анатомическая база создавалась для традиционной микроскопической хирургии на основе фиксированных кадаверных препаратов и не учитывает специфику работы с новыми технологиями [208, 209]. Проблема усугубляется тем, что каждый метод визуализации формирует уникальные условия восприятия топографии, требующие специализированной систематизации. Так, эндоскопия обеспечивает панорамное поле зрения с перспективой «изнутри наружу» [196, 218], в то время как работа через ТР создает цилиндрический операционный коридор с ограниченным обзором, а стереотаксическое планирование требует прецизионной оценки индивидуальной топографии на томографических изображениях *in vivo*.

Наиболее существенным ограничением традиционной анатомии является отсутствие учета прижизненных феноменов, оказывающих значительное влияние на интраоперационную картину: васкулярной пульсации, динамических изменений конфигурации желудочков, циркуляции ликвора, цветовых характеристик тканей [206, 208, 209]. Это расхождение между анатомическими описаниями и реальной операционной картиной приводит к тому, что недостаток систематизированных данных о прижизненной топографии венозной системы III желудочка существенно ограничивает точность предоперационного планирования стереотаксических вмешательств [242, 155, 200]. Клинические последствия выявленного дефицита анатомического обеспечения проявляются в затруднении прогнозирования интраоперационных рисков, необходимости длительного периода обучения специалистов и вариабельности хирургических исходов между различными центрами. Вместе с тем, современные морфометрические исследования демонстрируют, что количественные параметры глубинных структур обладают прогностической значимостью и могут служить основой для предоперационной стратификации рисков [176, 189, 194, 175]. Учитывая выраженную индивидуальную вариабельность топографии, это определяет необходимость перехода от универсальных анатомических описаний к персонализированному

подходу, основанному на создании трехмерных моделей с субмиллиметровым разрешением и прецизионном планировании траекторий доступа [96, 122].

Решению обозначенной проблемы создания специализированного анатомического обеспечения современной малоинвазивной нейрохирургии глубинных структур посвящена настоящая диссертационная работа. Комплексное анатомо-клиническое исследование включает систематизацию прижизненной топографии ключевых глубинных зон с позиций эндоскопии, экзоскопии и стереотаксиса, интеграцию данных кадаверной диссекции с методами прижизненной визуализации, разработку стандартизированных протоколов интраоперационной идентификации функционально значимых образований, а также создание алгоритмов выбора операционного метода на основе персонализированной морфометрии. Ожидается, что реализация данного подхода обеспечит переход от эмпирического освоения новых технологий к их научно обоснованному применению, что в свою очередь приведет к улучшению безопасности вмешательств, стандартизации хирургических подходов и оптимизации результатов лечения пациентов с патологией глубинных отделов головного мозга.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С целью более логичного изложения и удобства наиболее специфические технические и методологические моменты представлены в начале соответствующих глав.

Этапность и содержание анатомо-клинических исследований:

I этап. Макроскопически, эндоскопически, экзоскопически изучали анатомию желудочков головного мозга, передних ядер таламуса, венозного угла, амигдалогиппокампального комплекса, ММУ на кадаверных препаратах.

II этап. Разрабатывали и изучали персонифицированную цифровую анатомию, а также проводили количественно-качественную верификацию структуры передних ядер таламуса и амигдалогиппокампального комплекса путем сегментации с использованием программы FreeSurfer.

III этап. Проводили экспериментальные исследования по изучению воздействия 2010 нм тулиевого волоконного лазера на подкорковые ткани головного мозга крысы путём нейровизуализационного и гистологического методов.

IV этап. Разрабатывали хирургические методики, которые имели топографо-анатомическое обоснование с целью выполнения эндоскопической стереотаксической деструкции передних таламических ядер (*nuclei anteriores thalami*), эндоскопической лазерной амигдалогиппокампотомии, комбинированной экзоэндоскопической малоинвазивной хирургии желудочковой системы головного мозга (III и латеральных желудочков), а также хирургического лечения (*neuralgia nervi trigemini*) НТН.

V этап. Пятый этап предполагал внедрение в клиническую практику разработанных малоинвазивных технологий. К ним относятся: эндостереотаксическая деструкция передних ядер таламуса (*nuclei anteriores thalami*), эндоскопическая лазерная амигдалогиппокампотомия, экзоэндоскопические вмешательства на III и боковых желудочках головного мозга, а также хирургическое лечение НТН.

VI этап. Проводили экспериментальные исследования, направленные на разработку и совершенствование методик эндоскопических внутриутробных вмешательств.

2.1. Анатомические исследования на кадаверном материале

Исследование проводили на базе Тюменского областного бюро судебно-медицинской экспертизы (согласно действующему официальному договору). Для изучения анатомических вариантов венозного угла на секционном материале сонная и позвоночная артерии, а также яремные вены были промыты физиологическим раствором с последующей инъекцией красного и синего полимеризующего силикона у 32 лиц (64 полушария) в возрасте от 35 до 85 лет, не страдавших патологией ЦНС. Среди них было 25 мужчин и 7 женщины. Заполнение сосудов проводили не позднее 1 сут. после смерти. Все образцы были помещены в 10%-ный раствор формалина не менее чем на 3 нед.

Ниже подробно описаны все этапы заполнения силиконом кадаверного материала:

1. Укладка трупа на диссекционный стол;
2. Диссекция магистральных сосудов шеи;
3. Канюлирование магистральных сосудов шеи;
4. Промывание магистральных сосудов водой;
5. Промывание магистральных сосудов раствором формалина;
6. Заполнение магистральных сосудов силиконом;
7. Период полимеризации продолжительностью 3 часа;
8. Скальпирование черепа;
9. Циркулярная трепанация черепа с предварительным проведением менингиолиза;
10. Удаление костного лоскута;
11. Диссекция твердой мозговой оболочки, нервов и сосудов в области основания черепа;

12. Извлечение головного мозга;
13. Укладка костного лоскута и ушивание наглухо в обратном порядке;
14. Удаление силиконовых трубок и ушивание раны на шее наглухо в обратном порядке.

С целью канюляции каждый сосуд разрезали под углом 45 градусов в краниальном направлении, длина разреза до 5 мм. После чего подготавливали катетер (конец катетера разрезан под 45 градусов, острые края отсечены).

Внутреннюю сонную артерию канюлировали с зоны общей сонной артерии (Рисунок 4). На общей сонной артерии осуществляли разрез под 45° длиной 5 мм. Далее вводили катетер, при достижении бифуркации анатомическим пинцетом зажимали просвет наружной сонной артерии и катетер направляли в сторону внутренней сонной артерии до упора (тактильное ощущение сопротивления возникает при вхождении внутренней сонной артерии в область наружного отверстия сонного канала основания черепа).

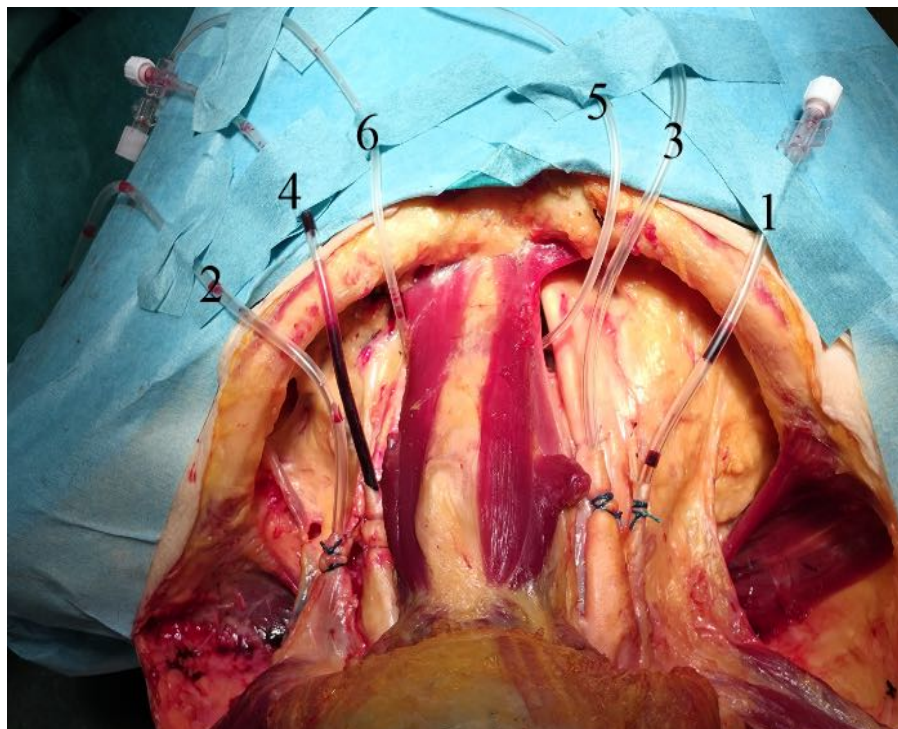


Рисунок 4 – Канюлирование магистральных сосудов. Обозначения: 1 – правая внутренняя яремная вена (*v. jugularis interna dextra*); 2 – левая внутренняя яремная вена (*v. jugularis interna sinistra*); 3 – правая общая сонная артерия (*a. carotis communis dextra*); 4 – левая общая сонная артерия (*a. carotis communis sinistra*); 5 – правая позвоночная артерия (*a. vertebralis dextra*); 6 – левая позвоночная артерия (*a. vertebralis sinistra*)

Критически важным этапом являлось промывание сосудов артериальной и венозной систем водой. Данный этап позволял избавиться от тромботических масс в просвете сосудов, а также идентифицировать индивидуальные анатомические особенности сосудистого русла.

После промывания проточной водой важным этапом являлось промывание сосудов головного мозга раствором 10% формалина в количестве 500 мл. Использовался 10% формалин, забуференный HistoSafe для промывания сосудов.

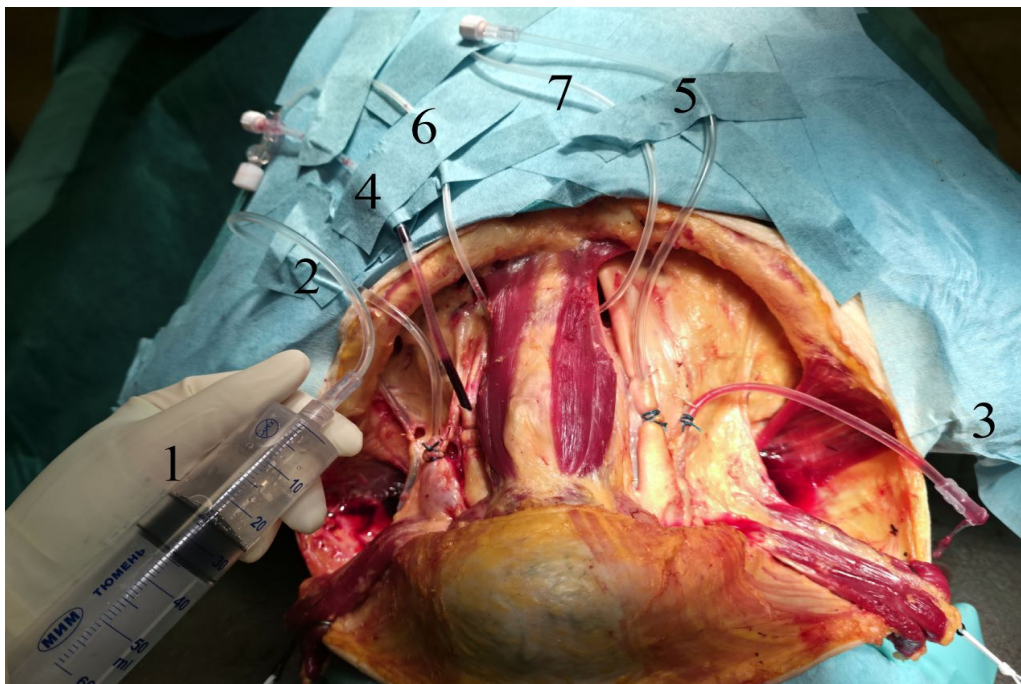


Рисунок 5 – Промывание сосудистого русла водой и формалином. Обозначения: 1 – шприц для воды и формалина; 2 – левая внутренняя яремная вена (*v. jugularis interna sinistra*); 3 – промывные воды из правой внутренней яремной вены (*v. jugularis interna dextra*); 4 – левая общая сонная артерия (*a. carotis communis sinistra*); 5 – правая общая сонная артерия (*a. carotis communis dextra*); 6 – левая позвоночная артерия (*a. vertebralis sinistra*); 7 – правая позвоночная артерия (*a. vertebralis dextra*)

Для качественного заполнения силиконом кадаверного материала (мозга) использовали следующее оборудование: модернизированный пистолет для герметика, силикон на основе платины Platset 10, колеры для силикона, шприцы, перчатки виниловые, весы, капельницы с коннектором Луер-Лок (Рисунок 7).

Данная модернизация существенно улучшала контроль создаваемого давления силикона в капельнице-магистрале, что способствовало корректному

завершению процесса заполнения артерий и вен кадаверного материала силиконом.

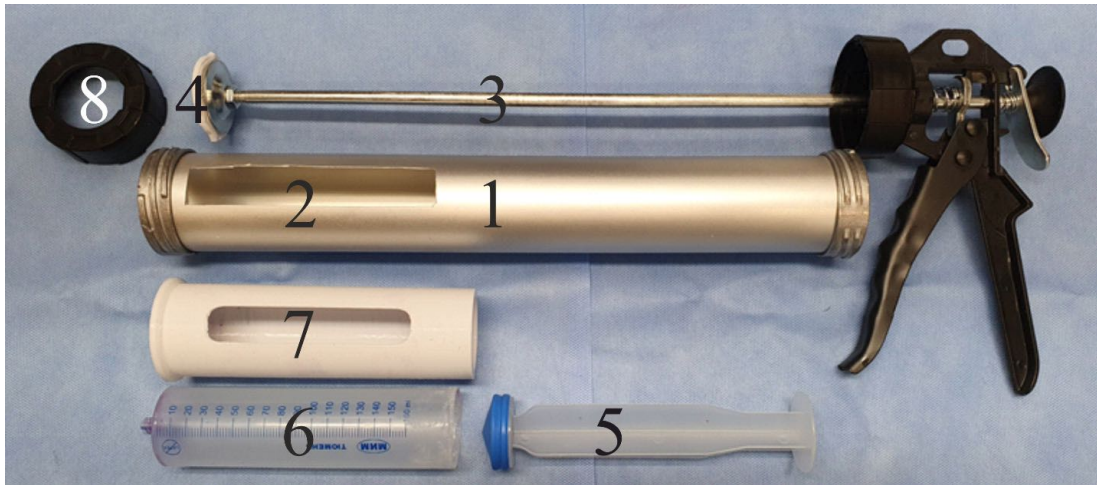


Рисунок 6 – Модернизированный строительный пистолет для герметика закрытого типа в металлическом исполнении на 600 мл от фирмы Yoko. Металлический цилиндрический корпус (1), смотровое окно (2), механизм зажима (3), напечатанный на 3D-принтере разъем (4), шток шприца (5), корпус шприца (6), напечатанный на 3D-принтере пластиковый переходник (7), пластиковая гайка (8)

С целью заполнения сосудистого русла использовали силиконовую систему марки Platset 10, которая имеет: малую вязкость после смешивания, что позволяет залить систему в сосуды с минимальными усилиями и обеспечивает равномерное распределение силикона по артериям, венам; полупрозрачный цвет, который позволяет получать различные оттенки с помощью добавления колеров. Для получения массы синего и красного цвета использовали колеры, совместимые с силиконовой системой на платине, марки SilcPig или POLYMER0.

Красный колер инъецировали во внутреннюю сонную артерию, позвоночные артерии билатерально. Синий колер вводили во внутренние яремные вены (Рисунок 8).

Этапы диссекции основания черепа (Рисунок 10):

1. Рассечение ветвей обонятельного нерва в проекции решетчатой пластинки (Lamina cribrosa) решетчатой кости.

2. Рассечение зрительных нервов в проекции зрительного канала клиновидной кости (canalis opticus).

3. Диссекция твердой мозговой оболочки селлярного региона после предварительного выламывания долотом клиновидной площадки (*planum sphenoidale*) клиновидной кости с передними наклоненными отростками.
4. Рассечение менингопериорбитальной связки (*meningo-orbital band*).
5. Пересечение глазодвигательного (*n. oculomotorius*, III), блокового (*n. trochlearis*, IV), глазного (*n. ophthalmicus*, V1) и отводящего (*n. abducens*, VI) нервов на уровне верхней глазничной щели (*fissura orbitalis superior*).
6. Пересечение верхнечелюстного нерва (*n. maxillaris*, V2) в области круглого отверстия (*foramen rotundum*).
7. Пересечение нижнечелюстного нерва (*n. mandibularis*, V3) в проекции овального отверстия (*foramen ovale*). Рассечение менингеальной артерии и вены в проекции остистого отверстия (*foramen spinosum*).
8. Рассечение малого каменистого нерва в проекции борозды малого каменистого нерва (*sulcus nervi petrosi minoris*).
9. Рассечение большого каменистого нерва в проекции борозды большого каменистого нерва (*sulcus nervi petrosi majoris*).
10. Рассечение каменистого отдела внутренней сонной артерии в проекции выхода сонного канала (*canalis caroticus*).
11. Рассечение каудальной группы нервов и луковицы внутренней яремной вены.
12. (VII, VIII) в проекции внутреннего слухового прохода (*meatus auditorius internus*).
13. IX–XI и луковица внутренней яремной вены в проекции яремного отверстия (*foramen jugulare*).
14. XII в проекции подъязычного канала (*canalis nervi hypoglossi*).
15. Рассечение ствола головного мозга (*truncus encephali*) на уровне большого затылочного отверстия (*foramen magnum*).
16. Извлечение головного мозга (*encephalon*).

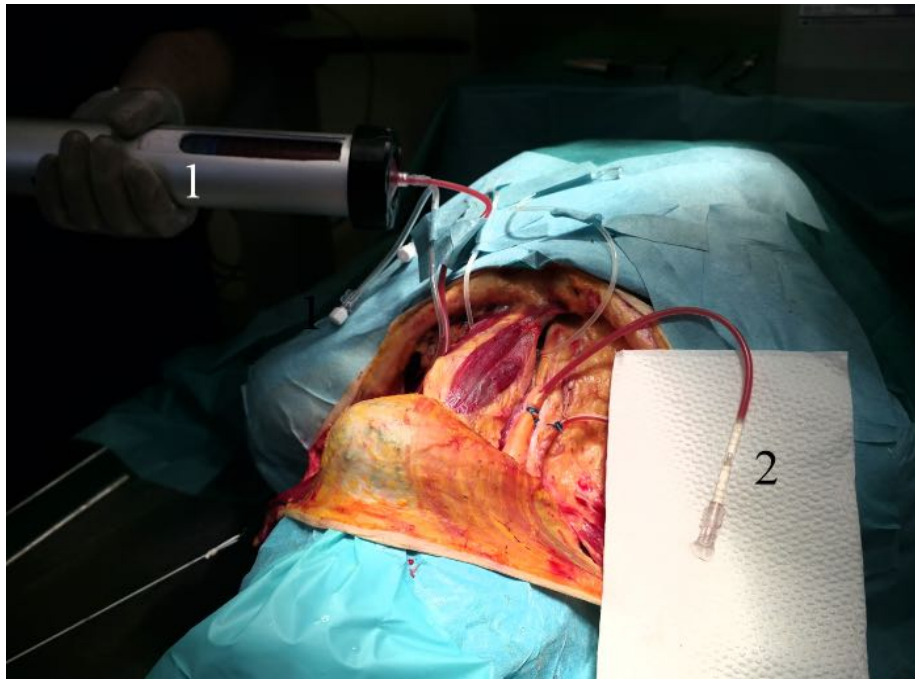


Рисунок 7 – Заполнение магистральных сосудов силиконом: 1 – шприц для инъекций; 2 – появление силикона в левой внутренней сонной артерии (a. carotis interna sinistra)



Рисунок 8 – Кадаверный препарат с силиконовой инъекцией магистральных сосудов (макроскопическая картина): 1 – правая внутренняя яремная вена (v. jugularis interna dextra); 2 – левая внутренняя яремная вена (v. jugularis interna sinistra); 3 – правая общая сонная артерия (a. carotis communis dextra); 4 – левая общая сонная артерия (a. carotis communis sinistra); 5 – правая позвоночная артерия (a. vertebralis dextra); 6 – левая позвоночная артерия (a. vertebralis sinistra)

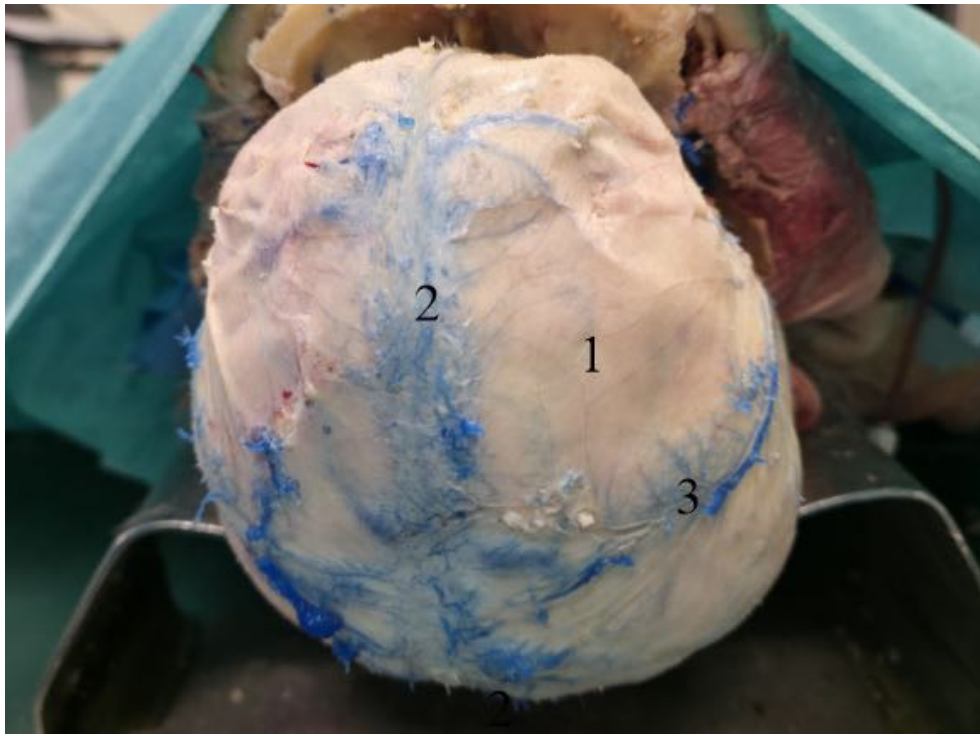


Рисунок 9 – Удаление костного лоскута; обнажение твердой мозговой оболочки: 1 – твердая мозговая оболочка; 2 – верхний сагиттальный синус; 3 – вена



Рисунок 10 – Диссекция твёрдой мозговой оболочки (*dura mater*), нервов и сосудов в области основания черепа (*basis cranii*) и извлечение головного мозга (*encephalon*)

Нашей целью было изучение анатомических структур венозного угла и его притоков, расположение относительно межжелудочкового отверстия Монро и ядер

таламуса, выявление возможных вариантов формирования венозного угла и сравнение их с описанными в литературе вариантами, измерение диаметра вен, впадающих в венозный угол.

Для получения хорошего обзора удаляли верхние отделы полушарий головного мозга и крышу боковых желудочков. Таким образом, были обнажены оба латеральных желудочка, а также оба отверстия Монро. Особое внимание было уделено анатомическому строению и вариациям субэпендимальных вен в области отверстия Монро. Изучали ход передней перегородочной вены, таламостриарной вены и внутренней вены мозга, а также дополнительных притоков, например, вены сосудистого сплетения. В инъецированных образцах измеряли диаметр передней септальной, таламостриарной и внутренней вены мозга. Внутренняя мозговая вена проходит на крыше III желудочка. Чтобы определить расстояние между внутренней мозговой веной и центральной точкой отверстия Монро и проанализировать структуру сосудов, мы выполняли микродиссекцию сосудистого сплетения. Измерения были выполнены 3 раза для получения среднего арифметического значения. Чтобы сделать наши измерения более точными, мы сфотографировали каждый образец в масштабе 10 мм и использовали компьютерную программу для подтверждения результатов исследования.

Для создания качественной макрофотографии препарата мы использовали следующее оборудование:

1. Фотоаппарат Nikon Z7II беззеркальный с КРОП-фактором 1, 45.7 Мп.
2. Карта памяти Netac CF2000 CFexpress PCIe Gen 3x2 Type B cards 256GB.
3. Объектив af-s micro NIKKOR 60 mm 1:2.8G ED с автофокусом и фиксированным фокусным расстоянием 60 мм.
4. Переходник с байонет Nikon F на байонет Nikon Z.
5. Осветитель светодиодный Godox Ring72 кольцевой для макросъемки.
6. Микроскоп Carl Zeiss OPMI 1-FC (используется как направляющий штатив для фотоаппарата).
7. Переходник на микроскоп, напечатанный на 3D-принтере.
8. Осветители RayLab LHD-B628.

9. Монитор для трансляции live-изображения фотоаппарата.

10. Фокус-шаблон.

Нами было разработано специальное устройство для фиксирования анатомического материала, которое представляет из себя систему крепления, напечатанную на 3D-принтере (патент РФ RU 213757 U1). Материал печати – PETG-пластик. Устройство состоит из пластикового кольца с 24 стойками-фиксаторами лески и таким же количеством креплений для выносных вертикальных стоек-фиксаторов. Быстросъемные крепления вертикальных стоек позволяют распределить направления фиксирования. Также данные фиксаторы позволяют закрепить леску в большом диапазоне углов и направлений для более точного позиционирования анатомического материала.

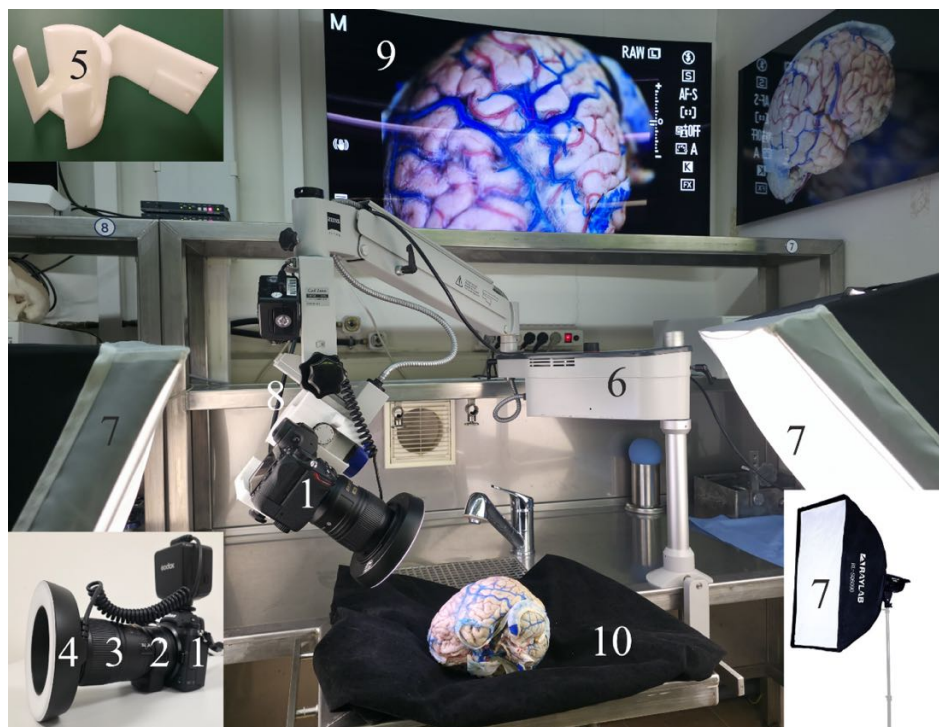


Рисунок 11 – Оснащение рабочего места кадаверной фотолаборатории: 1 – фотоаппарат, 2 – переходник, 3 – объектив, 4 – кольцевой осветитель, 5 - адаптер, распечатанный на 3D-принтере, 6, 8 – микроскоп, который служит регулируемым во всех плоскостях кронштейном, 7 – осветители, 9 – монитор с трансляцией, 10 – фокус-шаблон; данная сборка позволяет подготавливать и строить кадр во множестве положений, обеспечивая наилучший вид

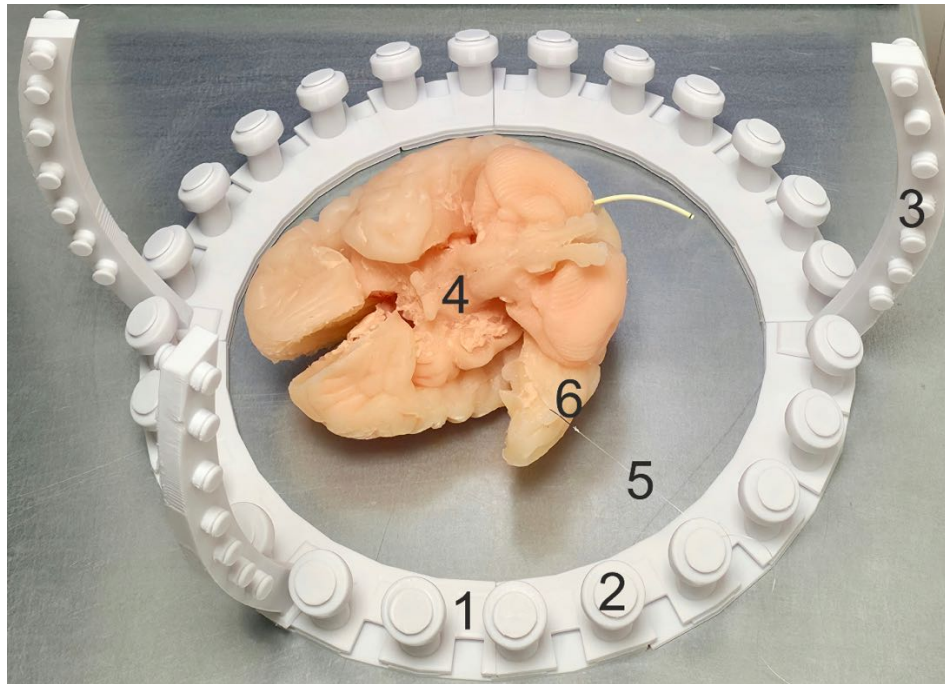


Рисунок 12 – Пример фиксации модели мозга: 1 – пластиковое кольцо, 2 – стойка-фиксатор, 3 – вертикальная стойка-фиксатор, 4 – объект позиционирования, 5 – линейка, 6 – крючок

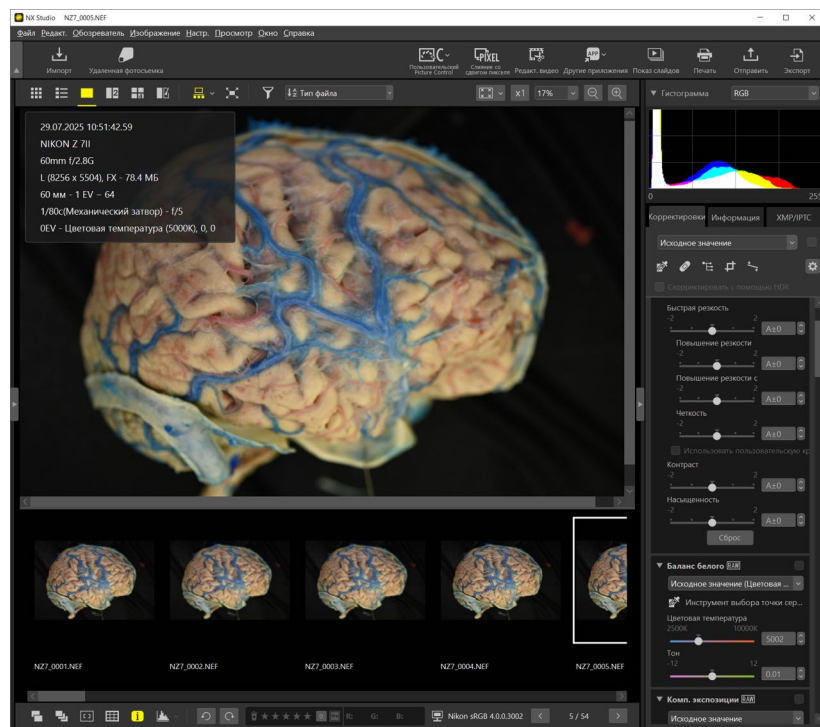


Рисунок 13 – Общий вид программы NX Studio

Цифровая обработка фотоматериала производилась в программе NX Studio, где корректируются ключевые параметры (Рисунок 13). Полученные

отредактированные TIFF-файлы в последующем обрабатывали в программе Zerene Stacker (Рисунок 14).

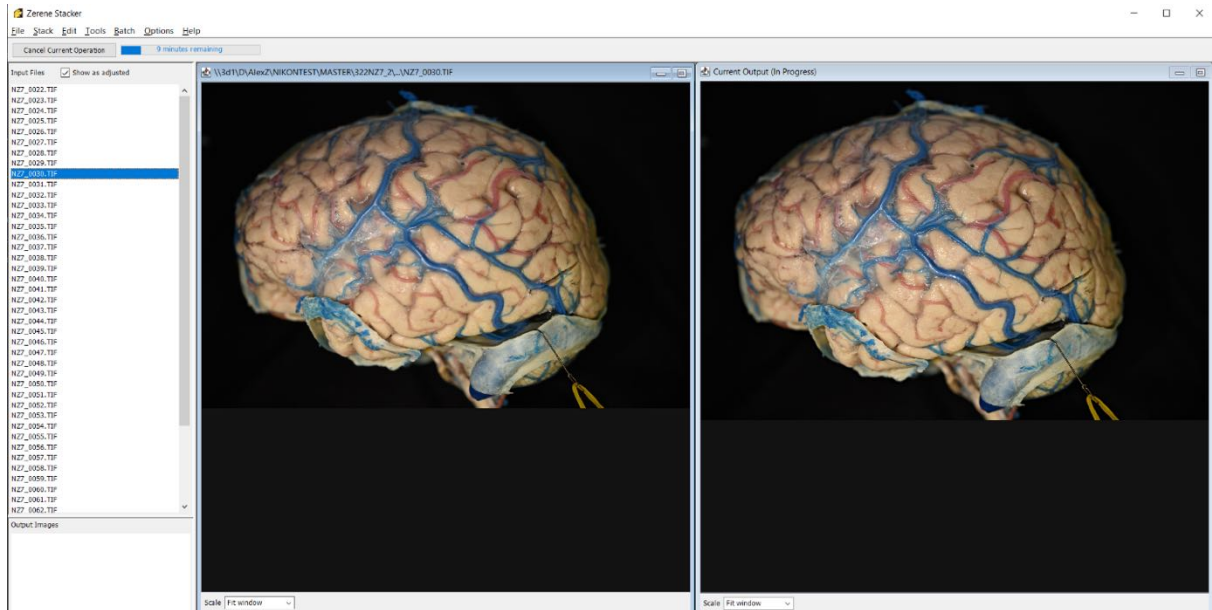


Рисунок 14 – Общий вид программы Zerene Stacker



Рисунок 15 – 1 – операционный микроскоп Carl Zeiss Ormi Vario; 2 – фотоаппараты Sony Alpha ILCE-6300 (2 шт.); 3 – переходное кольцо T2 NEX (2 шт.); 4 – планшеты Samsung Galaxy Tab A9 (2 шт.); 5 – резервный источник питания (powerbank)

В методике проведения 3D-фото и видеосъемки хирургической операции через микроскоп Carl Zeiss Ormi Vario использовали: фотоаппараты Sony Alpha ILCE-6300 (2 шт.) с матрицей APS-C 24.2 Мп, быстрой гибридной

автофокусировкой, поддерживаемой wi-fi и NFC, планшеты Samsung Galaxy Tab A9 8.7" 128 ГБ (2 шт.), предназначенные для дистанционного управления камерами и мониторинга изображения в реальном времени с программой Imaging Edge Mobile (Sony), подключенных к резервному источнику питания (Рисунок 15). Создание 3D-фотографий осуществляли с помощью программы StereoPhoto Maker, 3D-видео – с использованием видеоредактора VCDC.

Строгое соблюдение данной методики позволяло получать высококачественные стереоскопические материалы, максимально точно передающие объемную картину. Данные материалы являются ценным инструментом для изучения 3D-анатомии, анализа и документирования.



Рисунок 16 – Оснащение рабочего места кадаверной секционной лаборатории; операционный микроскоп Carl Zeiss Opmi Vario 88; фотоаппараты Sony Alpha ILCE-6300 (2 шт.)

2.2. Экспериментальная часть работы

Целью являлось изучение в динамике воздействия 2010 нм тулиевого волоконного лазера на подкорковые ткани головного мозга крысы путём гистологического и нейровизуализационного методов исследования для

обоснования оптимальных сроков проведения МРТ-диагностики у пациентов после стереотаксической лазерной абляции.

Исследование было проведено на 20 беспородных крысах массой 180–200 г.

В соответствии с положениями статьи 5 Европейской Конвенции о защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных и иных научных целях (Страсбург, 18 марта 1986 г.), для лабораторных животных были обеспечены оптимальные условия содержания (выписка из протокола № 10-25 очередного заседания Локального этического Комитета от 24.04.2025г.). Наркотизация лабораторных животных проводилась путём сочетанного введения препаратов: 1 единица «Золетил®100» (7,5 мг/кг, внутривенно) и 10 единиц «Ксила» [15].

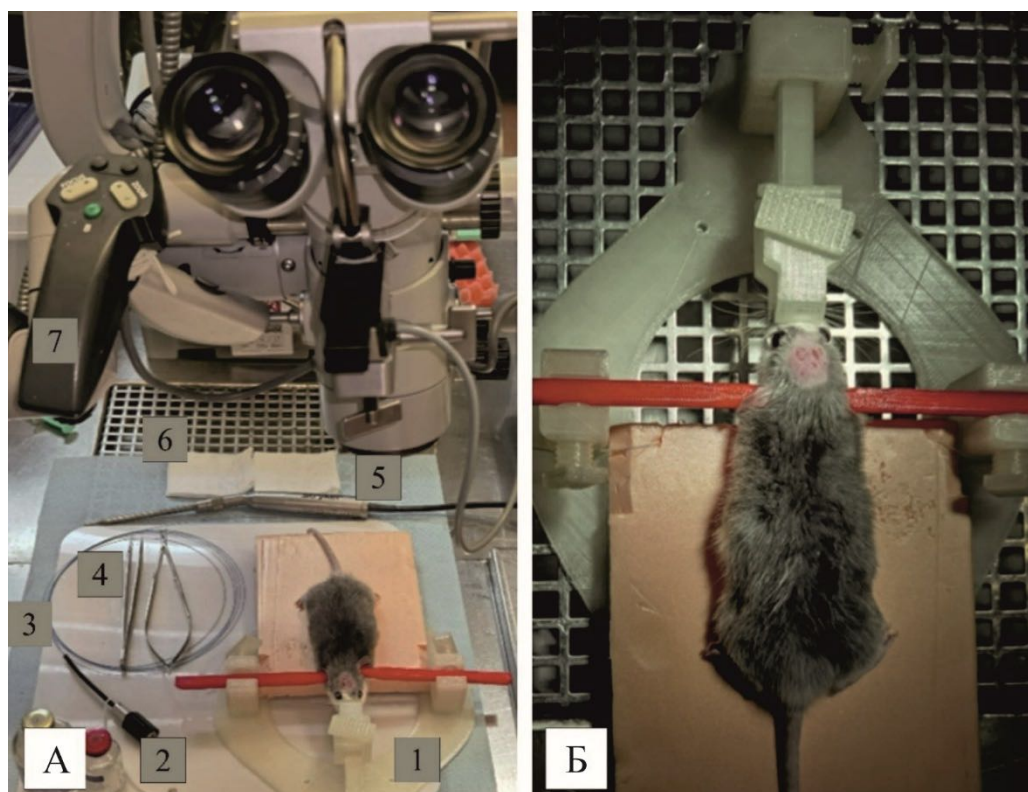


Рисунок 17 – Общий вид рабочего места для проведения эксперимента (А) и фиксация крысы в стереотаксической раме (Б): 1 – расположение крысы на экспериментальном столе, 2 – препараты для наркотизации лабораторных животных (Золетил 100, Ксила), 3 – лазерный зонд Optical Fiber Single Use 272 μm , 4 – микроинструменты (микропинцет и микроножницы), 5 – высокоскоростной бор, 6 – марлевая салфетка, 7 – операционный микроскоп

Все подопытные животные были случайным образом распределены на 4 подгруппы по 5 крыс в каждой, в соответствии с периодом их исключения из эксперимента. В I подгруппу вошли крысы, исключённые сразу после стереотаксической лазерной абляции, а во II, III и IV – особи, выведенные из исследования через 3, 7, 30 суток.

Экспериментальные животные позиционировались в спроектированную и распечатанную на 3D-принтере стереотаксическую дугу для крыс. Конструкция обеспечивала надёжную фиксацию головы животного посредством билатеральных держателей в области наружных слуховых проходов и зубной планки для фиксации передних зубов (Рисунок 16).

Используемые для печати материалы были МР-негативные, что позволило проводить МРТ без сопутствующих артефактов. После подготовки операционного поля, под микроскопом производили линейный разрез кожи и подлежащих тканей длиной 2 см. Кожно-апоневротический лоскут подшивали колющей иглой 6.0 и отодвигали с целью визуализации операционного поля. Трефинационное отверстие выполняли высокоскоростным бором на 2 мм латеральнее и на 4 мм дорсальнее брегмы в проекции теменной доли головного мозга. Стереотаксическую лазерную абляцию проводили с помощью хирургической тулиевой лазерной системы YAG, CyberTM мощностью до 200 Вт (Quanta System, Italy). В ходе предварительного скринингового исследования были выявлены оптимальные параметры лазерного излучения, которые приводили к минимальной летальности лабораторных животных. Унилатеральное лазерное воздействие осуществляли в правой половине полушария в проекции теменной доли головного мозга, мощностью 5 Вт, энергией 10 джоулей. Лазерный зонд был проведён на глубину 3,0 мм от поверхности твёрдой мозговой оболочки. После воздействия лазера оптоволокну выдерживали в течение 3 минут в области поражения с целью охлаждения (Рисунок 17, 18).

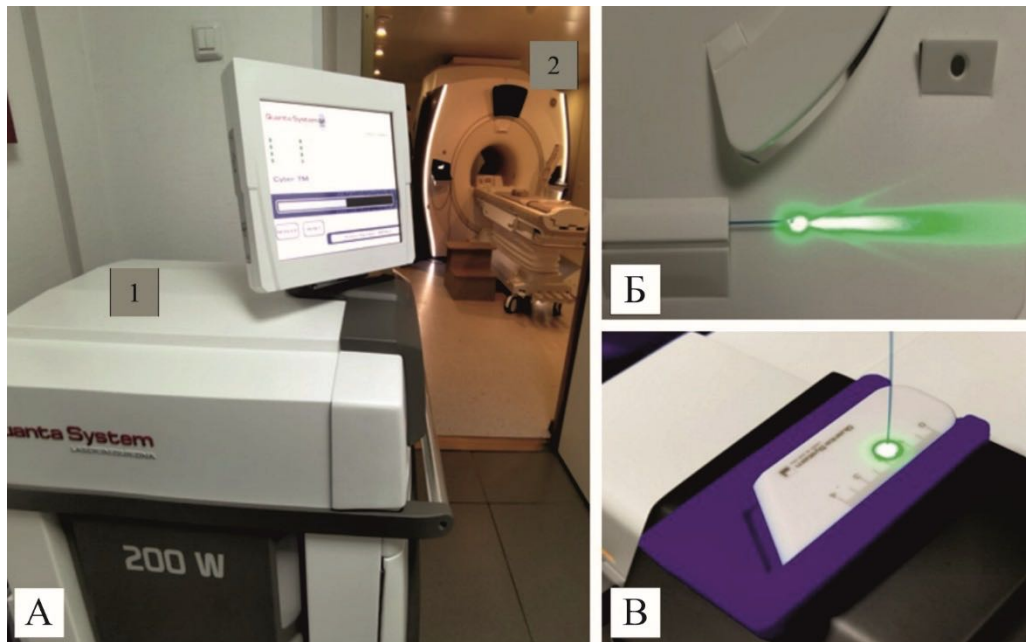


Рисунок 18 – Общий вид МРТ-кабинета и оборудования (А): 1 – тулиевый лазер системы Cyber TM мощностью 200 Вт (Quanta System, Italy); (Б) – линейная длина светового пучка тулиевого лазера; (В) – радиальная длина светового пучка тулиевого лазера

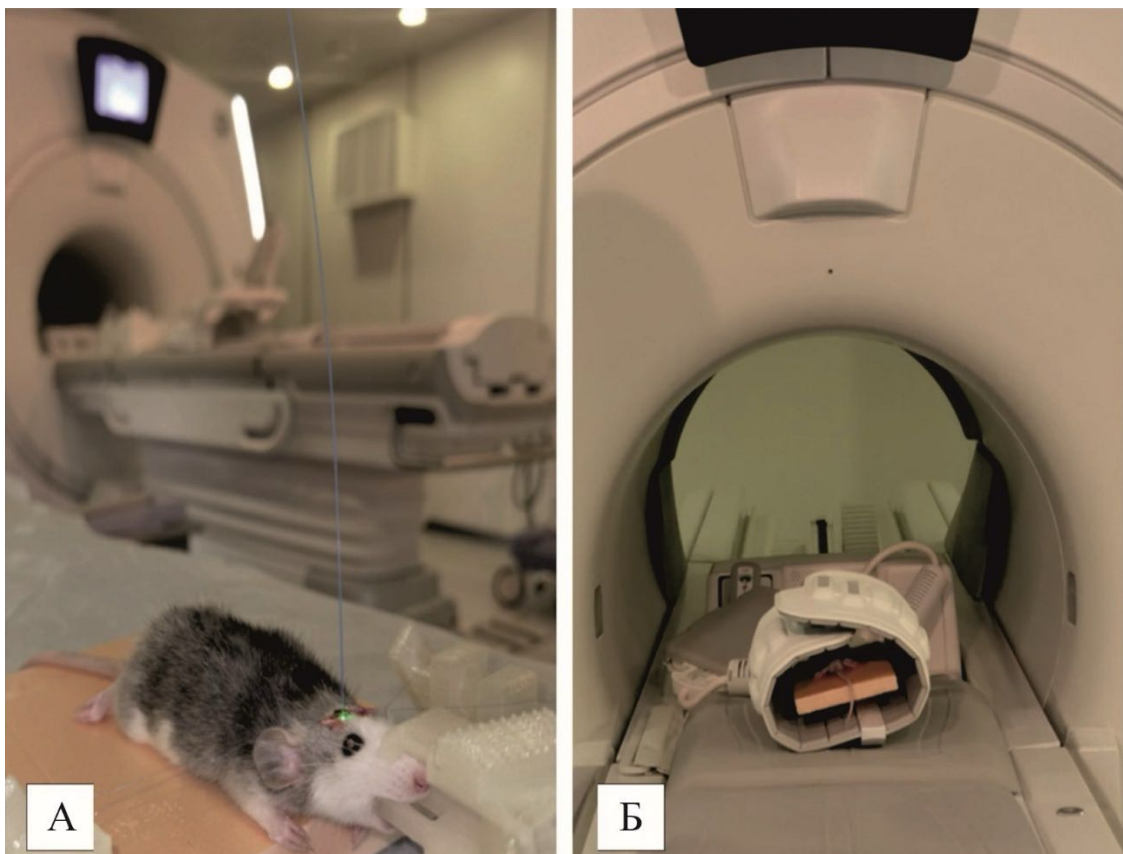


Рисунок 19 – Общий вид МРТ-операционной: А – выполнение стереотаксической лазерной абляции; Б – проведение МРТ на аппарате Discovery MR750w 3,0 Тл

Для оценки выраженности лазерного повреждения во всех экспериментальных группах проводили гистологическое исследование, дополнительно у крыс IV группы (выведенных из эксперимента на 30 сут.) под вышеуказанной седацией выполняли динамический нейровизуализационный мониторинг с помощью МРТ в T2-PROPELLER-режиме в аксиальной проекции (Discovery MR750w 3,0 Тл) сразу после операции, на 1, 3, 7 и 30 сутки с расположением среза на уровне кончика лазерного зонда (Рисунок 19). Измерение интенсивности МР сигнала и площади размера очага абляции проводили с использованием стандартных измерительных инструментов (closed polygon) программы RadiAnt DICOM Viewer (ver. 2021.2). Результаты измерения представлены в мм². Вычисляли относительную плотность МР сигнала в сравнении с плотностью в контрлатеральном полушарии. Результаты были представлены в относительных безразмерных единицах. С целью проведения гистологического исследования животных подвергали выведению из эксперимента путем наркотизации животных с помощью комбинированного введения растворов (1 единица «Золетил®100» (7,5 мг/кг, внутривенно) и 10 единиц «Ксила») с последующей клинической оценкой глубины наркоза, и с последующей пункцией левого желудочка и введением введения летальной дозы 10% раствора формальдегида.

После чего выполняли декапитацию и извлечение головного мозга животного с последующим помещением препарата в 10% нейтральный забуференный раствор формалина при 18°C на 24–48 ч. При вырезке полученного материала проводили анатомическую ориентировку с выполнением анатомических срезов в аксиальной проекции с шагом в 2 мм. Образцы тканей последовательно промывали водой и обезвоживали, применяя изопропиловый спирт (IsoPrep, БиоВитрум, Россия) с постепенным увеличением концентрации. Процесс проводили на карусельном гистопроцессоре Leica TP1020 при температуре +60°C. После этого материал заливали тугоплавким парафином (БиоВитрум, Россия) с использованием заливочной станции Leica EG1150H (Германия).

Срезы толщиной 3–4 мкм получали на ротационном микротоме Leica RM2125RT. Срезы собирали в дистиллированную воду (температура 36–37°C) и переносили на предметные стёкла, предварительно очищенные и обезжиренные. После этого образцы высушивали в течение 1 часа, затем проводили депарафинизацию. Регидратация срезов производилась последовательными погружениями в ксилол, этанол и дистиллированную воду. Серийные срезы из фиксированного формалином и залитого в парафин материала окрашивали с использованием стандартных методик гематоксилином Майера в течение 5 минут и в спиртовом растворе эозина в течение 3 секунд (БиоВитрум, Россия). Завершающее покрытие срезов в оптически прозрачные среды осуществляли ручным методом с использованием канадского бальзама.

Полученные гистологические стеклопрепараты сканировали с применением сканирующего микроскопа Leica APERIO AT2 с программным обеспечением APERIO ScanScope Console. Полученные файлы в формате ScanScope Virtual Slide оценивал качественно и количественно врач-патологоанатом, специализирующийся в нейроморфологии.

2.3. Клинический раздел работы

Клинический материал основан на результатах обследования 2 групп пациентов. Данные пациентов первой группы использовали для изучения топографо-анатомических особенностей и ориентиров труднодоступных зон головного мозга. Вторая группа основывается на изучении результатов обследования и хирургического лечения пациентов с патологиями труднодоступных зон головного мозга в период с 2011 по 2025 гг. на базе ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России (г. Тюмень).

Распределение больных первой группы для изучения анатомических ориентиров представлены в таблице 1.

Для интраоперационного анатомического исследования (**анатомия In vivo**) изучены интраоперационные видеоданные 180 пациентов, перенесших

эндоскопическое внутрижелудочковое оперативное вмешательство. Осуществляли прицельный анатомический анализ основных внутрижелудочковых ориентиров и сосудистой сети.

Таблица 1 – Общая характеристика больных, у которых изучалась анатомия труднодоступных зон

| Вид анатомического исследования | Всего |
|--|-------|
| анатомия in vivo | 180 |
| Цифровая 3D-анатомия с использованием FreeSurfer | 70 |
| 3D-анатомия, по данным МСКТ и МРТ пациентов и плодов | 110 |
| Итого | 360 |

Цифровое анатомическое исследование с использованием программы FreeSurfer

Сегментацию структур головного мозга выполняли с использованием программного обеспечения FreeSurfer версии 8.1 (Laboratory for Computational Neuroimaging, Martinos Center, Harvard Medical School, США).

Исходные данные представляли собой T1-взвешенные МРТ-изображения (последовательность MPRAGE) в формате DICOM, которые были предварительно конвертированы в формат NIFTI с помощью утилиты `mri_convert` из пакета FreeSurfer. Все вычисления проводили на рабочей станции под управлением операционной системы macOS Sequoia 15.5.

Для анализа использовали данные 2 групп пациентов. Первую группу составили 35 пациентов (6–53 г.; средний возраст $24,3 \pm 12$ лет), для которых была выполнена детальная сегментация таламуса и его передних ядер. Вторую группу составили 35 пациентов (6–51 г.; средний возраст $23,5 \pm 12,1$ г.) с сегментацией гиппокампа и миндалевидного тела (амигдалы) (Рисунок 21).

Сегментацию проводили на персональном компьютере MAC M3 Ultra с версией операционной системы MacOS sequioya 15.5. MAC M3 Ultra включал вдвоенный 32-ядерный процессор M3 max и 80-ядерную видеокарту, построенную на архитектуре ARM и имевшую 512 гигабайт унифицированной памяти.

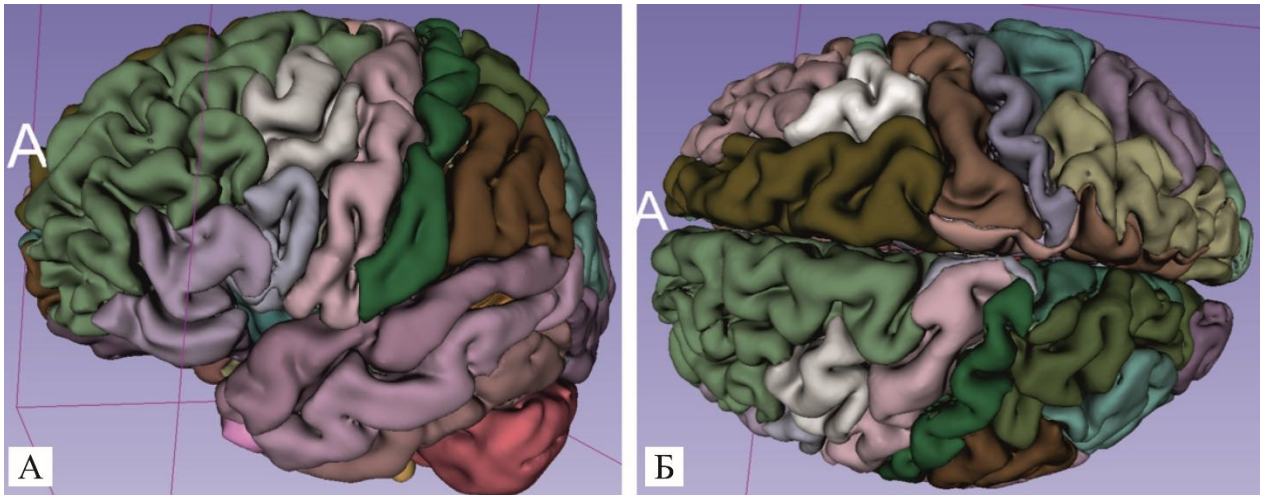


Рисунок 20 – Общий вид поверхности головного мозга в программе 3D Slicer, сегментированном в программе FreeSurfer: А – вид сбоку, Б – вид сверху

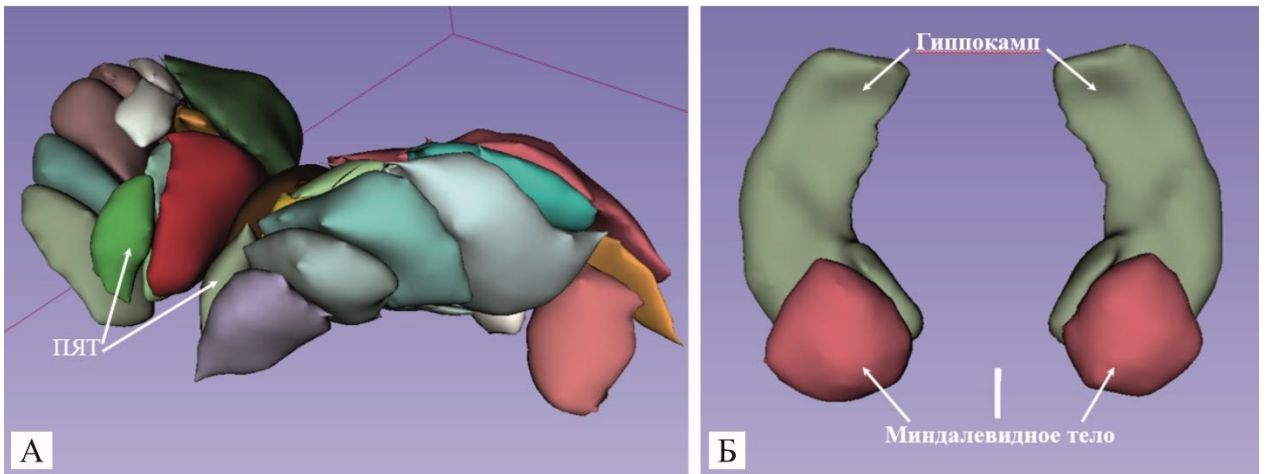


Рисунок 21 – Детальное изучение ядер таламуса и амигдало-гиппокампального комплекса в программе 3D Slicer с сегментацией в программе FreeSurfer: А – ПЯТ – передние ядра таламуса, Б – миндалевидное тело и гиппокамп

Изучение 3D-нейровизуализационной цифровой анатомии по данным мультиспиральной компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии пациентов и плодов, в том числе с использованием 3D-моделей

Для проведения нейровизуализации и анализа данных в нашем исследовании было задействовано соответствующее оборудование, которое перечисляем ниже.

МРТ-сканер: GE Healthcare Discovery 750 (GE Healthcare, США), напряжённость магнитного поля 3,0 Тл.

Использованные последовательности МРТ:

- T1-взвешенные изображения (T1 – FSPGR Bravo 2 SNR) до и после введения парамагнитного контрастного вещества (на основе гадолиния) с толщиной среза в 1 мм.

- T2-взвешенные изображения (T2 – WI ax с толщиной среза в 3 мм).

- T2-FLAIR (Fluid-Attenuated Inversion Recovery) для подавления сигнала от ликвора с толщиной среза в 3 мм.

- PD AX и Cor 3 мм для визуализации базальных ганглиев.

- SWAN с толщиной среза 1 мм для визуализации внутримозговых вен.

- Диффузионно-взвешенные изображения (DWI).

КТ-сканер: Canon Aquilion One 640 (Canon Medical Systems, Япония), 640-срезовый.

Протоколы КТ-исследования: нативная КТ головного мозга с шагом среза в 0,5 мм (с использованием навигационной рамки).

Нейронавигационные станции: Brainlab Curve (Brainlab AG, Германия) и Medtronic (Medtronic plc, США) – использовали для предоперационного планирования и интраоперационной навигации.

Программное обеспечение для обработки и анализа данных МРТ/КТ: Brainlab Elements (Brainlab AG, Германия) – применяли для сегментации объёмов образований, построения трёхмерных моделей, трактографии и воксельного анализа.

Рабочая станция для анализа: высокопроизводительная рабочая станция на базе ОС Windows 10 с выделенной видеокартой.

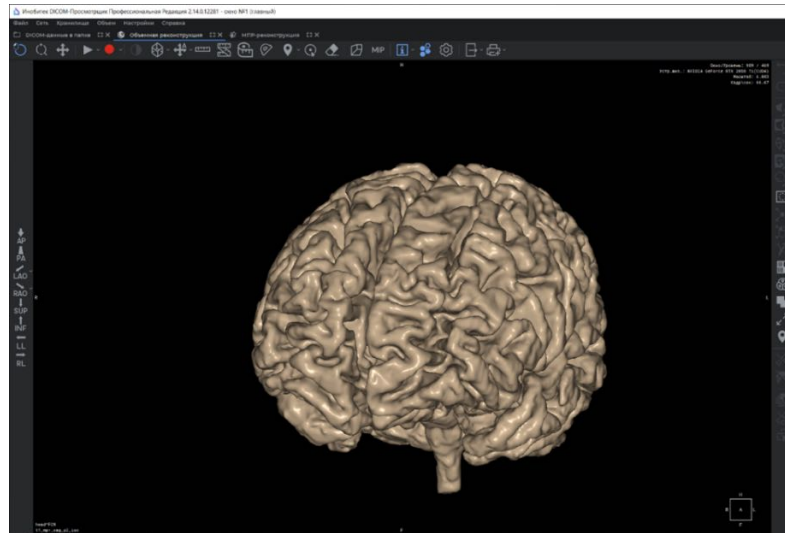


Рисунок 22 – Моделирование позитивной модели в ПО «Инобитек»

Печать моделей осуществляли на 3D-принтере Bambulab P1S. Позитивную модель мозга печатали с помощью ABS-пластика (Рисунок 23).

Создание 3D-модели мозга начинали с поиска исходных медицинских данных, пригодных для построения высокдетализированной 3D-модели мозга. Подходящими данными являлись МРТ-снимки на T1 и/или T2-режимах сканирования. Используя программу «Инобитек» (Россия), проводили сегментацию, в ходе которой выделяются структуры головного мозга (полушария, мозжечок, ствол), а также их объемы. Программой автоматически строили 3D-модель мозга и при необходимости вручную корректировали поверхность (Рисунок 22).

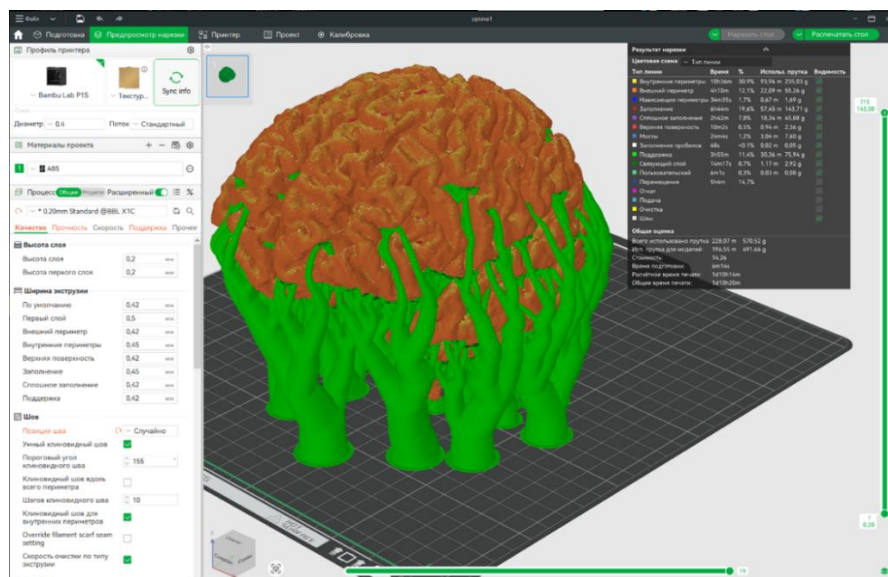


Рисунок 23 – Печать модели мозга, ABS-пластик

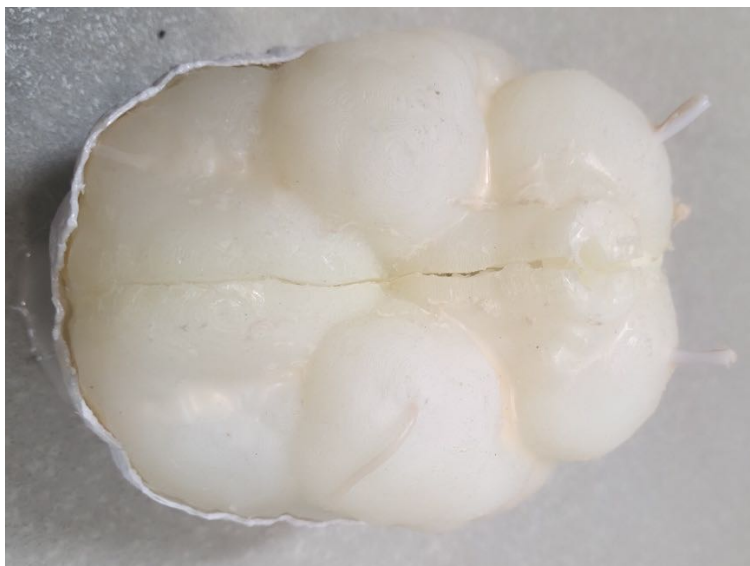


Рисунок 24 – Пример готовой формы 3D-модели головного мозга плода на 22–24 нед., подготовленной для последующего анатомического исследования

Материалом исследования послужили данные 9 беременных женщин; срок гестации составлял от 23 до 32 нед. Трёхмерные реконструкции формировались с использованием программного обеспечения RadiAnt DICOM Viewer (Medixant, Польша), Horos (Horos Project, США), OsiriX (Pixmeo SARL, Швейцария) и 3D Slicer (Brigham and Women's Hospital, Harvard Medical School, США). Для печати трёхмерных моделей использовали 3D-принтер Anet A8 (Рисунок 24).

Изучение результатов обследования и хирургического лечения пациентов с патологиями труднодоступных зон головного мозга

Таблица 2 – Распределение оперированных больных по нозологическим формам

| Нозологическая форма | Пол | | Всего |
|----------------------------------|-----|-----|-------|
| | М | Ж | |
| Эпилепсия | 42 | 40 | 82 |
| Опухоли III и боковых желудочков | 27 | 22 | 49 |
| Невралгия тройничного нерва | 18 | 66 | 84 |
| Фетальная хирургия | 2 | 2 | 4 |
| Всего | 89 | 130 | 219 |

Более подробное описание клинического материала, а также характеристика пациентов всех групп подробно освещены в соответствующих главах диссертации.

В клинике также использовали следующие методы исследования: неврологическое, нейропсихологическое обследование. Компьютерная томография, МРТ, диффузионно-тензорная МРТ, МР-спектроскопия, нейросонография, транскраниальная доплерография, электроэнцефалография, видеоэлектроэнцефалография, электрокортикография, электросубкортикография.

2.4. Статистический анализ

Статистическая обработка данных выполняли с использованием программных пакетов MS Office 2021, Matlab 2023b, Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc., USA). Для количественных переменных с нормальным распределением указывались среднее значение и стандартная ошибка среднего ($M \pm SEM$). При распределении, отличающемся от нормального, данные представлялись в виде медианы и интерквартильного размаха (Q1; Q3). Нормальность распределения проверяли с помощью критерия Шапиро – Уилка при размере выборки менее 50. Гомогенность дисперсий оценивалась с помощью F-критерия Фишера для 2 групп и критерия Левена для 3 и более групп.

Для сравнения количественных переменных между 2 независимыми группами использовали t-критерий Стьюдента для независимых выборок при нормальном распределении и гомогенных дисперсиях, t-критерий Уэлча при нормальном распределении и негомогенных дисперсиях, или U-критерий Манна – Уитни при распределении, отличном от нормального. Для сравнения парных количественных переменных применяли парный t-критерий Стьюдента при нормальном распределении разностей или критерий Уилкоксона для связанных выборок при распределении разностей, отличном от нормального. Для сравнения 3 и более независимых групп использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) при нормальном распределении и гомогенных дисперсиях с последующими попарными сравнениями с использованием критерия Тьюки, или критерий Краскела – Уоллиса при распределении, отличном от нормального, с

последующими попарными сравнениями по критерию Данна с поправкой Бонферрони на множественные сравнения.

Для сравнения категориальных переменных использовали критерий χ^2 Пирсона при ожидаемых частотах более 5 во всех ячейках таблицы сопряженности или точный критерий Фишера при наличии ячеек с ожидаемой частотой менее 5.

Корреляционный анализ проводили с расчетом коэффициента корреляции Пирсона (r) при нормальном распределении обеих переменных или коэффициента корреляции Спирмена (ρ) при распределении хотя бы одной из переменных, отличном от нормального. Сила корреляционной связи интерпретировалась следующим образом: $|r| < 0,3$ – слабая, $0,3 \leq |r| < 0,7$ – умеренная, $|r| \geq 0,7$ – сильная.

Логистическую регрессию применяли для анализа факторов риска рецидива и осложнений. Результаты представлены в виде отношения шансов (OR) с 95% доверительными интервалами, рассчитанными методом профиля правдоподобия.

Для оценки диагностической ценности морфометрических параметров в выявлении компрессии тройничного нерва проводился ROC-анализ с расчетом площади под ROC-кривой (AUC) и 95% доверительного интервала методом DeLong. Оптимальная точка разделения определялась по критерию максимизации индекса Юдена (чувствительность + специфичность – 1).

Для оценки величины эффекта при сравнении групп рассчитывали коэффициент d Коэна для непрерывных переменных, интерпретируемый как малый эффект при $d=0,2$, средний при $d=0,5$ и большой при $d=0,8$. Для категориальных переменных рассчитывали ϕ -коэффициент или V -коэффициент Крамера при таблицах сопряженности размером более 2×2 . Различия и связи считали статистически значимыми при двустороннем уровне значимости $p < 0,05$. Для множественных сравнений применяли поправку на множественность по методу Бонферрони или Холма в зависимости от числа сравнений и их независимости. Все статистические тесты были двусторонними. Данные анализировали в соответствии с принципом intention-to-treat.

ГЛАВА 3. ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНДОЭКЗОСКОПИЧЕСКОЙ МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ ТРЕТЬЕГО И БОКОВЫХ ЖЕЛУДОЧКОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

3.1. Макроскопическая кадаверная анатомия

В структуре бокового желудочка выделяют 5 основных компонентов: центральную часть, преддверие, а также 3 рога – передний, задний и нижний, которые образуют характерную С-образную архитектуру [6, 19, 43, 51].

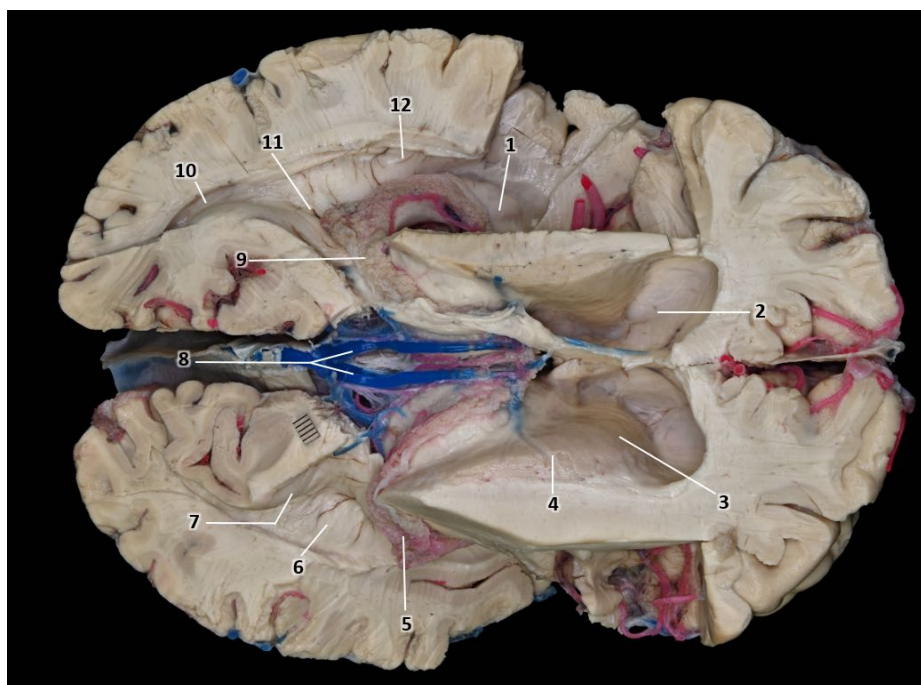


Рисунок 25 – Макропрепарат головного мозга с препарированными боковыми желудочками, верхняя стенка удалена: 1 – головка гиппокампа (*caput hippocampi*); 2 – передний рог бокового желудочка (*cornu anterius ventriculi lateralis*); 3 – головка хвостатого ядра (*caput nuclei caudati*); 4 – хвостатое ядро (*nucleus caudatus*); 5 – клубок сосудистого сплетения (*glomus plexus choroidei*); 6 – атриум (*atrium ventriculi lateralis*); 7 – птичья шпора (*calcar avis*); 8 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 9 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*); 10 – затылочный рог (*cornu posterius*); 11 – коллатеральный треугольник (*trigonum collaterale*); 12 – височный рог (*cornu inferius*)

Анатомическое строение каждого компонента определяется комплексом ограничивающих поверхностей, включающих латеральную и медиальную стенки,

верхнюю и нижнюю границы; передний и нижний рога дополнительно имеют переднюю стенку. Согласно полученным собственным данным, формирование желудочковых границ обеспечивается совокупностью анатомических образований: таламической областью, *septum pellucidum*, субкортикальным белым веществом полушарий большого мозга, структурами мозолистого тела, а также двумя дугообразными образованиями – *nucleus caudatus* и *fornix*, которые окружают таламус по периметру (Рисунок 25).

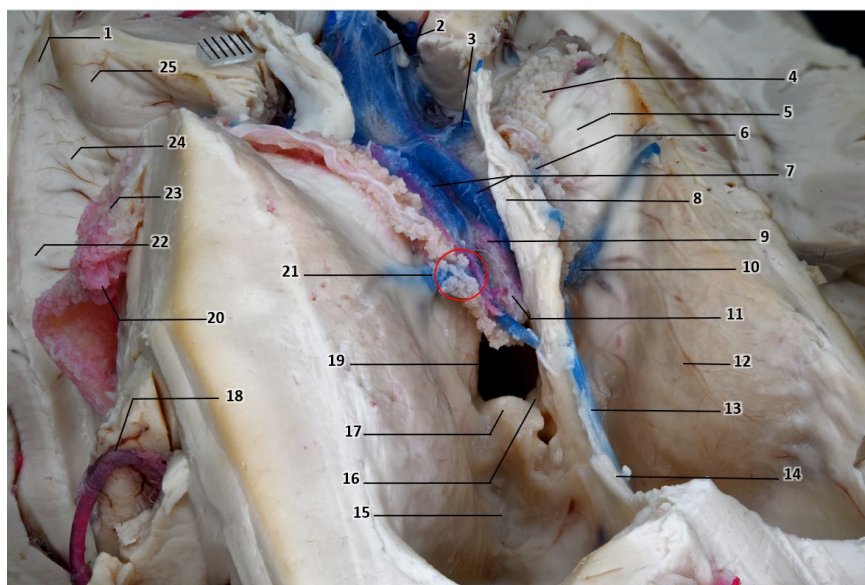


Рисунок 26 – Макропрепарат головного мозга с препарированными боковыми желудочками, верхняя стенка удалена: 1 – затылочный рог (*cornu posterius*); 2 – вена Галена (*v. magna cerebri*); 3 – медиальная атриальная вена (*v. atrialis medialis*); 4 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*); 5 – таламус (*thalamus*); 6 – верхняя ворсинчатая вена (*v. choroidea superior*); 7 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 8 – свод головного мозга (*fornix*); 9 – задняя медиальная ворсинчатая артерия (*a. choroidea posterior medialis*); 10 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 11 – крыша III желудочка (*tectum ventriculi tertii*); 12 – головка хвостатого ядра (*caput nucleī caudati*); 13 – передняя септальная вена (*v. anterior septi pellucidi*); 14 – прозрачная перегородка (*septum pellucidum*); 15 – передний рог бокового желудочка (*cornu anterius ventriculi lateralis*); 16 – передняя спайка (*commissura anterior*); 17 – столб свода (*columna fornicis*); 18 – средняя мозговая артерия, сегмент М3 (*a. cerebri media, pars opercularis*); 19 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 20 – задняя латеральная ворсинчатая артерия (*a. choroidea posterior lateralis*); 21 – венозный угол (*angulus venosus*); 22 – височный рог (*cornu inferius*); 23 – клубок сосудистого сплетения (*glomus plexus choroidei*); 24 – атриум (*atrium ventriculi lateralis*); 25 – птичья шпора (*calcar avis*)

Таламус расположен в центре бокового желудочка. Каждый боковой желудочек окружает верхнюю, нижнюю и заднюю поверхности таламуса. Тело бокового желудочка находится над таламусом, предсердие и затылочный рог расположены кзади от таламуса, а височный рог расположен ниже таламуса. Верхняя поверхность таламуса образует дно тела, задняя поверхность пульвинарной части таламуса образует переднюю стенку предсердия, а нижняя поверхность таламуса расположена у медиального края крыши височного рога (Рисунок 26) [6, 19, 51].

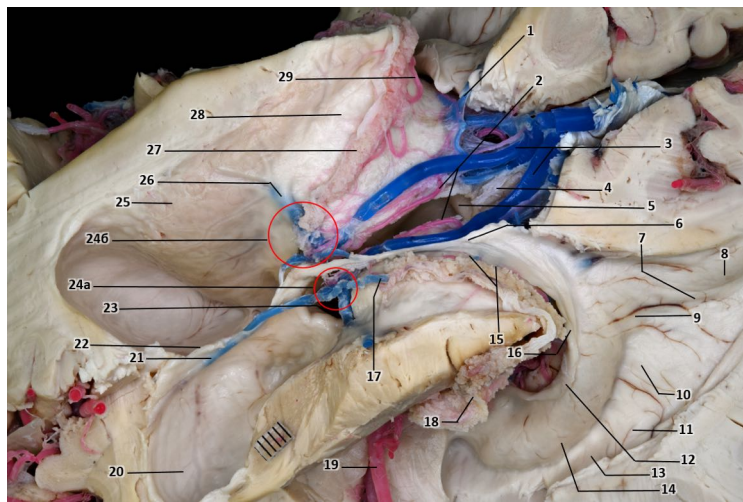


Рисунок 27 – Макропрепарат головного мозга с препарированными боковыми желудочками, верхняя стенка удалена: 1 – медиальная атриальная вена (*v. atrialis medialis*); 2 – задняя медиальная ворсинчатая артерия (*a. choroidea posterior medialis*); 3 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 4 – шишковидная железа (*glandula pinealis*); 5 – задняя спайка (*commissura posterior*); 6 – тело свода (*corpus fornicis*); 7 – затылочный рог (*cornu posterius*); 8 – птичья шпора (*calcar avis*); 9 – атриум (*atrium ventriculi lateralis*); 10 – коллатеральный треугольник (*trigonum collaterale*); 11 – коллатеральное возвышение (*eminentia collateralis*); 12 – бахромка гиппокампа (*fimbria hippocampi*); 13 – височный рог (*cornu inferius*); 14 – гиппокамп (*hippocampus*); 15 – сосудистая щель (*fissura choroidea*); 16 – брыжейка сосудистого сплетения (*tela choroidea*); 17 – верхняя ворсинчатая вена (*v. choroidea superior*); 18 – клубок сосудистого сплетения (*glomus plexus choroidei*); 19 – средняя мозговая артерия (*a. cerebri media*); 20 – передний рог бокового желудочка (*cornu anterius ventriculi lateralis*); 21 – передняя септальная вена (*v. anterior septi pellucidi*); 22 – прозрачная перегородка (*septum pellucidum*); 23 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 24a – венозный угол, рассыпной тип (*angulus venosus*); 24б – венозный угол, магистральный тип (*angulus venosus*); 25 – головка хвостатого ядра (*caput nuclei caudati*); 26 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 27 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*); 28 – таламус (*thalamus*); 29 – задняя латеральная ворсинчатая артерия (*a. choroidea posterior lateralis*) [43, 51]

Хвостатое ядро представляет собой изогнутую С-образную клеточную массу, она огибает таламус и составляет важную часть стенки бокового желудочка. У нее есть головка, тело и хвост. Головка переходит в боковую стенку переднего рога и тела бокового желудочка. Тело образует часть боковой стенки предсердия, а хвост простирается от предсердия до крыши височного рога и продолжается миндалевидным ядром вблизи передней стенки височного рога. В теле бокового желудочка хвостатое ядро расположено латеральнее таламуса; в предсердии оно расположено заднелатеральнее таламуса; а в височном роге он находится ниже таламуса. Свод – это еще одна С-образная структура, которая огибает таламус в стенке желудочка. Свод состоит в основном из волокон, которые берут начало от гиппокампа, субикулума и зубчатой извилины височной доли. Бахромки начинается в нижней части височного рога на желудочковой поверхности гиппокампальной формации и проходит сзади, переходя в ножки свода. Ножка свода (*crus fornicis*) следует по дорсальной поверхности подушки таламуса (*pulvinar thalami*), далее изгибается в супрамедиальном направлении к вентральной поверхности валика мозолистого тела (*splenium corporis callosi*). В области перехода преддверия в центральную часть бокового желудочка происходит конвергенция билатеральных ножек с формированием тела свода (*corpus fornicis*), которое располагается вдоль супрамедиального края таламуса, составляя медиальную стенку центральной части желудочковой полости и направляясь в ростральном направлении. Тело свода отделяет крышу III желудочка от дна тел боковых желудочков. У переднего края таламуса тело свода разделяется на две столба, которые изгибаются вдоль верхнего и переднего краев отверстия Монро по направлению к мамиллярным телам. Тело свода пересекает таламус примерно посередине между медиальным и латеральным краем верхней поверхности таламуса. Часть таламуса, расположенная латерально от тела свода, образует дно тела бокового желудочка, а часть, расположенная медиально от свода, образует часть латеральной стенки промежуточного паруса и III желудочка (Рисунок 28).

Парные пластинки прозрачной перегородки (*septum pellucidum*) разделяют передние рога и тела боковых желудочков по средней линии. В области переднего

рога нижняя точка фиксации перегородки располагается на роstrуме мозолистого тела (*rostrum corporis callosi*), передняя – на колене (*genu corporis callosi*), верхняя – на теле мозолистого тела (*corpus callosum*). В пределах тела бокового желудочка перегородка крепится сверху к телу мозолистого тела (*corpus callosum*), снизу – к телу свода (*corpus fornicis*). Прозрачная перегородка является самой высокой спереди и самой короткой сзади, исчезая около места соединения тело и ножки свода, где ножка и гиппокампальная спайка сливаются с нижней поверхностью мозолистого тела. Переднезадняя длина прозрачной перегородки колеблется от 28 до 50 мм. На средней линии между пластинками может быть полость прозрачной перегородки [6, 19, 43, 51].

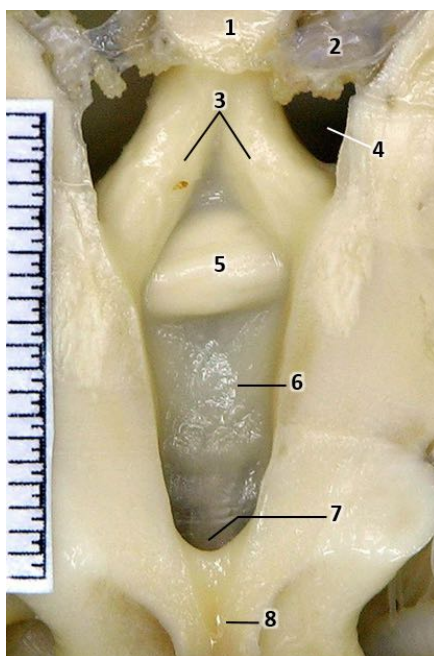


Рисунок 28 – Макропрепарат головного мозга с препарированным сводом, передней спайкой и передней стенкой III желудочка, вид сзади: 1 – тело свода (*corpus fornicis*); 2 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*); 3 – столб свода (*columna fornicis*); 4 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 5 – передняя спайка (*commissura anterior*); 6 – конечная пластинка (*lamina terminalis*); 7 – зрительный карман (*recessus opticus*); 8 – воронка гипофиза (*infundibulum hypophysiae*)

Внутренняя капсула (*capsula interna*) тесно связана с боковой стенкой переднего рога и тела бокового желудочка. Передняя ножка капсулы (*crus anterior capsulae internae*) залегает между хвостатым ядром (*nucleus caudatus*) и

чечевицеобразным ядром (*nucleus lentiformis*); от полости переднего рога её отделяет головка хвостатого ядра (*caput nuclei caudati*). Задняя ножка (*crus posterius capsulae internaе*) располагается между таламусом (*thalamus*) и чечевицеобразным ядром; таламус отграничивает её от тела бокового желудочка и тела хвостатого ядра. Вместе с тем латеральное межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*), в промежутке между хвостатым ядром и таламусом, внутренняя капсула непосредственно выходит на желудочковую поверхность и контактирует со стенкой бокового желудочка.

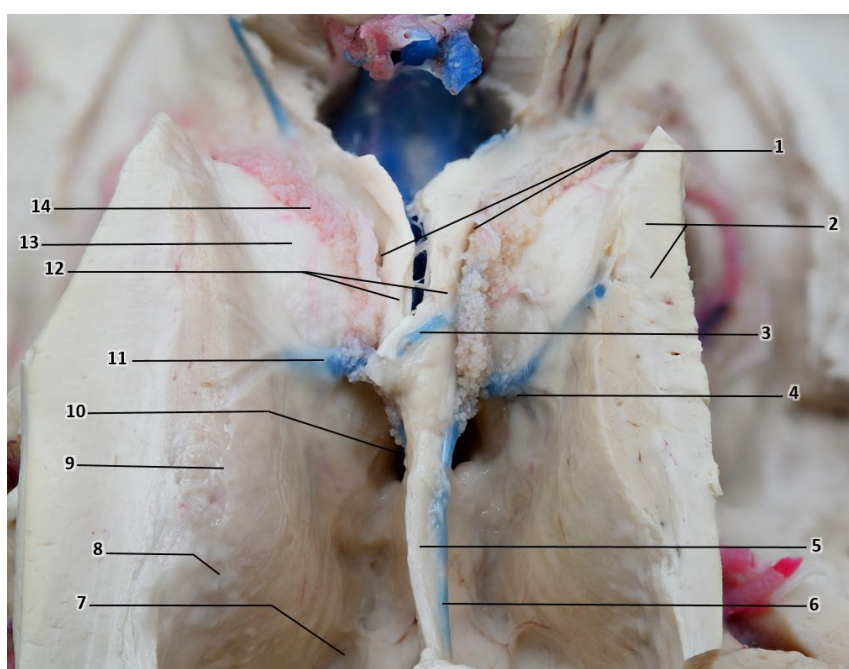


Рисунок 29 – Макропрепарат головного мозга с препарированными боковыми желудочками, верхняя стенка удалена: 1 – сосудистая щель (*fissura choroidea*); 2 – внутренняя капсула (*capsula interna*); 3 – задняя септальная вена (*v. posterior septi pellucidi*); 4 – венозный угол (*angulus venosus*); 5 – прозрачная перегородка (*septum pellucidum*); 6 – передняя септальная вена (*v. anterior septi pellucidi*); 7 – передний рог бокового желудочка (*cornu anterius ventriculi lateralis*); 8 – головка хвостатого ядра (*caput nuclei caudati*); 9 – хвостатое ядро (*nucleus caudatus*); 10 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 11 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 12 – тело свода (*corpus fornicis*); 13 – таламус (*thalamus*); 14 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*)

Сосудистая щель (*fissura choroidea*) представляет собой узкое С-образное пространство между сводом (*fornix*) и таламусом (*thalamus*), вдоль которого располагается сосудистое сплетение (*plexus choroideus*). Наружный край щели

образован сводом, внутренний – таламусом. Топография границ сосудистой щели варьирует в зависимости от отдела бокового желудочка: в области тела верхняя граница представлена телом свода (*corpus fornicis*), нижняя – таламусом; в атриуме заднюю границу формирует ножка свода (*crus fornicis*), переднюю – подушка таламуса (*pulvinar thalami*); в височном роге снизу щель ограничена бахромкой гиппокампа (*fimbria hippocampi*), сверху – терминальной полоской (*stria terminalis*) и таламусом.

Сосудистое сплетение выходит из каждого бокового желудочка, проходит через межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*) и продолжается в виде 2 параллельных тяжей в крыше III желудочка. В области атриума сплетение формирует выступающее треугольное утолщение – клубок (*glomus plexus choroidei*). По краям таламуса и свода, прилежащим к сосудистой щели, располагаются небольшие выступы – так называемые *taeniae* (*taenia thalami* и *taenia fornicis*), к которым прикрепляется сосудистая основа (*tela choroidea*) – мембрана, из которой развивается сосудистое сплетение.

Ворсинчатые артерии, которые кровоснабжают сосудистое сплетение, берут начало от внутренней сонной и задней мозговой артерий и входят в желудочки через сосудистую щель. Кроме того, вены, проходящие в стенках желудочков, выходят из желудочков, проходя через край сосудистой щели в субэпендимальном месте, чтобы достичь внутренних мозговых, базальных или крупных вен (Рисунок 30).

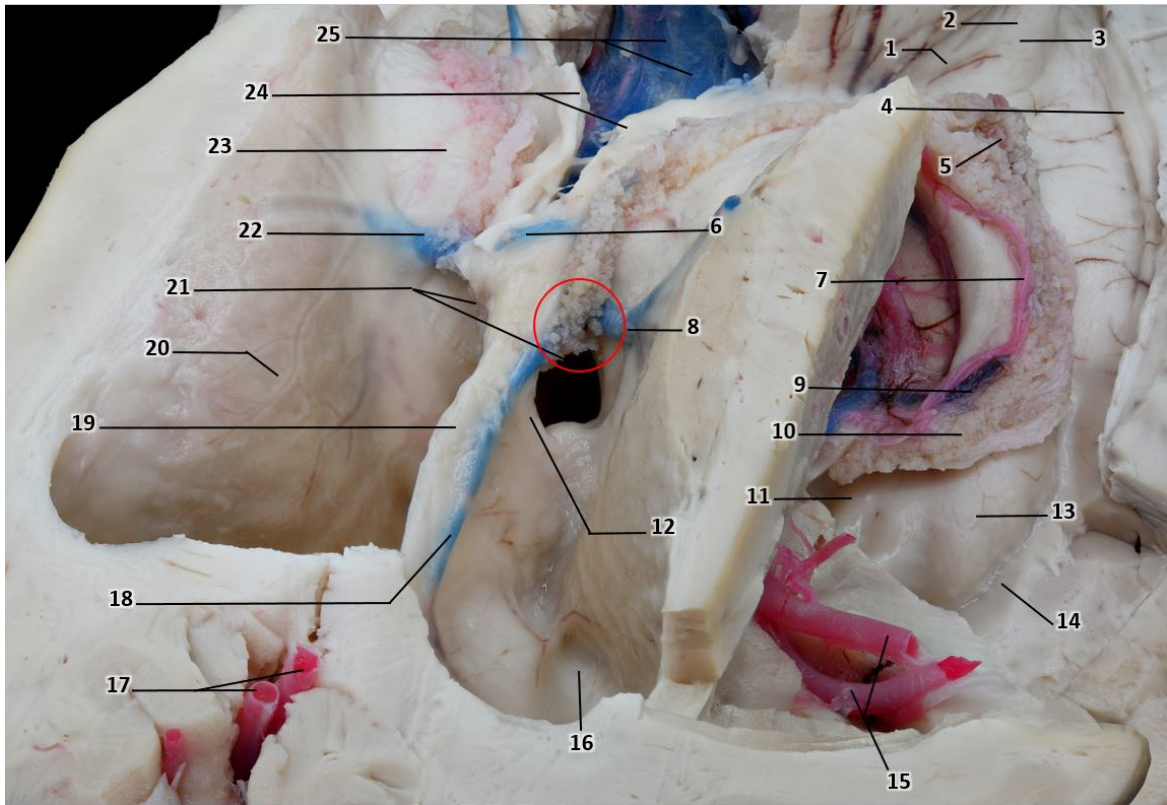


Рисунок 30 – Макропрепарат головного мозга с препарированными боковыми желудочками, верхняя и боковые стенки удалены: 1 – атриум (atrium ventriculi lateralis); 2 – затылочный рог (cornu posterius); 3 – птичья шпора (calcar avis); 4 – коллатеральное возвышение (eminentia collateralis); 5 – клубок сосудистого сплетения (glomus plexus choroidei); 6 – задняя септальная вена (v. posterior septi pellucidi); 7 – задняя латеральная ворсинчатая артерия (a. choroidea posterior lateralis); 8 – венозный угол (angulus venosus); 9 – брыжейка сосудистого сплетения (tela choroidea); 10 – сосудистое сплетение (plexus choroideus); 11 – головка гиппокампа (caput hippocampi); 12 – столб свода (columna fornycis); 13 – гиппокамп (hippocampus); 14 – височный рог (cornu inferius); 15 – средняя мозговая артерия (a. cerebri media); 16 – передний рог бокового желудочка (cornu anterius ventriculi lateralis); 17 – передняя мозговая артерия (a. cerebri anterior); 18 – передняя септальная вена (v. anterior septi pellucidi); 19 – прозрачная перегородка (septum pellucidum); 20 – головка хвостатого ядра (caput nuclei caudati); 21 – межжелудочковое отверстие (foramen interventriculare); 22 – таламостриарная вена (v. thalamostriata); 23 – таламус (thalamus); 24 – тело свода (corpus fornycis); 25 – внутренняя вена мозга (v. cerebri interna)

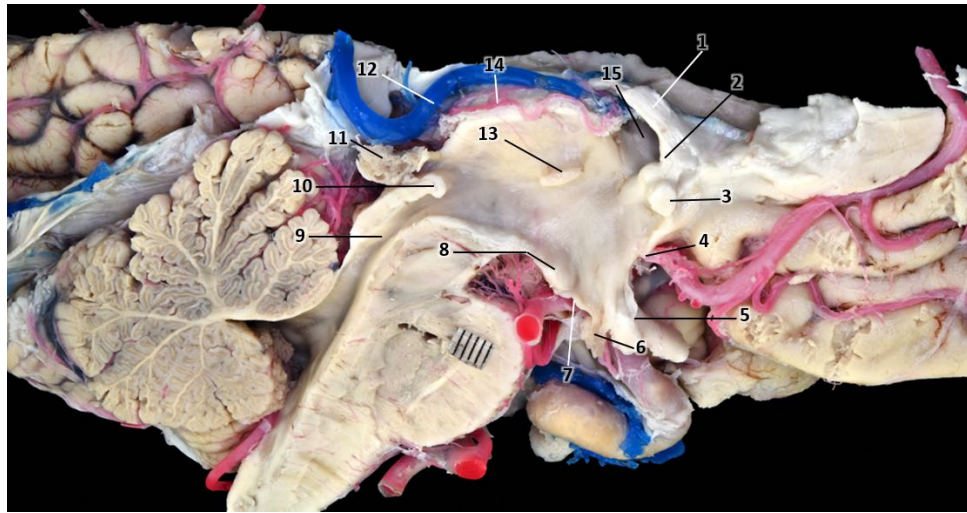


Рисунок 31 – Топография боковой стенки III желудочка; макропрепарат, сагиттальный разрез на уровне середины III желудочка, $\times 4$: 1 – тело свода (*corpus fornicis*); 2 – столб свода (*columna fornicis*); 3 – передняя спайка (*commissura anterior*); 4 – терминальная пластинка (*lamina terminalis*); 5 – зрительный перекрест (*chiasma opticum*); 6 – воронка гипофиза (*infundibulum hypophysis*); 7 – дно III желудочка (*fundus ventriculi tertii*); 8 – сосцевидные тела (*corpora mammillaria*); 9 – водопровод мозга (*aqueductus cerebri*); 10 – задняя спайка (*commissura posterior*); 11 – шишковидная железа (*glandula pinealis*); 12 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 13 – межталамическое сращение (*adhesio interthalamica*); 14 – задняя медиальная ворсинчатая артерия (*a. choroidea posterior medialis*); 15 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*)

Стенки III желудочка включают крышу, дно, переднюю, заднюю и две латеральные поверхности. Крыша образует дугообразную поверхность; в ростральных отделах она начинается от межжелудочковых отверстий (*foramina interventricularia*), каудально плавно восходит к супрапинеальному карману (*recessus suprapinealis*). Структурная организация крыши представлена 4-мя слоями: нейральным, который формирует свод (*fornix*); двумя тонкими мембранозными листками сосудистой покрывки (*tela choroidea*); васкулярным слоем, залегающим между указанными листками. Латеральную границу крыши маркирует сосудистая щель (*fissura choroidea*) [6, 19, 51].

Дно желудочка располагается между зрительным перекрестом (*chiasma opticum*) в переднем отделе и входом в водопровод среднего мозга (*aqueductus mesencephali*) в заднем. Ростральная половина дна сформирована диэнцефальными образованиями, каудальная – мезэнцефальными. При осмотре с вентральной поверхности в направлении спереди назад определяются: зрительный перекрест,

воронка гипоталамуса (*infundibulum hypothalami*), серый бугор (*tuber cinereum*), сосцевидные тела (*corpora mammillaria*), заднее продырявленное вещество (*substantia perforata posterior*), покрывка среднего мозга (*tegmentum mesencephali*), расположенная над медиальной поверхностью ножек мозга (*pedunculi cerebri*). Переходная зона между дном и передней стенкой занята зрительным перекрёстом; данная структура ориентирована каудодорсально от места слияния со зрительными нервами (*nervi optici*).

Срединная локализация III желудочка между латеральными желудочковыми полостями и IV желудочком определяет его непосредственную близость к крупным сосудистым образованиям. К ним относятся артериальный круг большого мозга (*circulus arteriosus cerebri*) с отходящими ветвями, а также большая вена мозга (*vena cerebri magna*) с впадающими венозными коллекторами. Эндоскопические и микронейрохирургические вмешательства в данной области сопряжены с риском повреждения прилежащих структур, что способно повлечь тяжёлые функциональные нарушения.

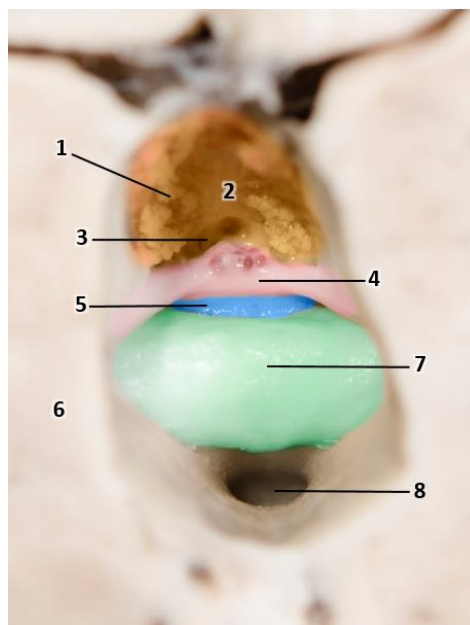


Рисунок 32 – Топография задней стенки III желудочка; макропрепарат, коронарный разрез на уровне середины III желудочка, $\times 4$: 1 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*); 2 – шишковидное тело (*corpus pineale*); 3 – супрапинеальный карман (*recessus suprapinealis*); 4 – спайка поводков (*commissura habenularum*); 5 – пинеальный карман (*recessus pinealis*); 6 – таламус (*thalamus*); 7 – задняя спайка (*commissura posterior*); 8 – водопровод мозга (*aqueductus cerebri*)

Передняя стенка протягивается от межжелудочковых отверстий дорсально до зрительного перекрёста вентрально. При осмотре изнутри желудочковой полости в дорсовентральном направлении её границы образуют: столбы свода, межжелудочковые отверстия, передняя спайка (*commissura anterior*), конечная пластинка (*lamina terminalis*), зрительный карман (*recessus opticus*), зрительный перекрёст. Межжелудочковые отверстия локализуются билатерально на границе крыши и передней стенки.

Задняя стенка простирается от супрапинеального кармана сверху до водопровода среднего мозга снизу (Рисунок 32). При визуализации спереди изнутри III желудочка в нисходящем направлении определяются: супрапинеальный карман, спайка поводков (*commissura habenularum*), шишковидное тело (*corpus pineale*) с пинеальным карманом (*recessus pinealis*), задняя спайка (*commissura posterior*), водопровод среднего мозга. Латеральные стенки образованы гипоталамусом в нижних отделах и таламусом в верхних (Рисунок 33).

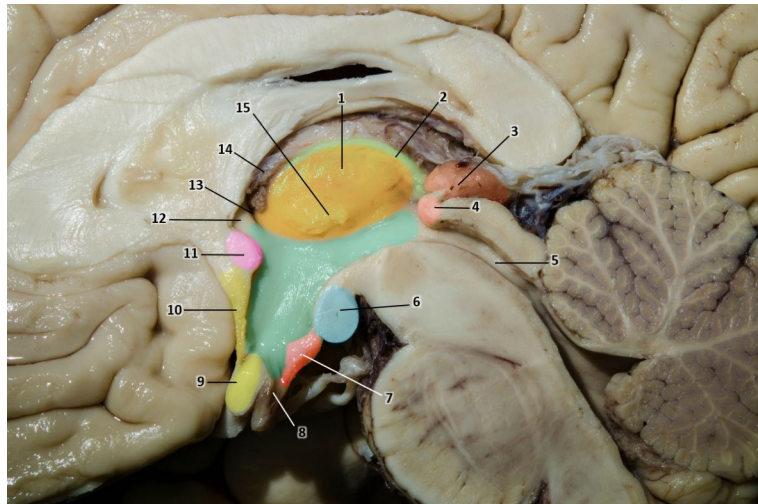


Рисунок 33 – Топография латеральной стенки III желудочка; макропрепарат, сагиттальный разрез на уровне срединной плоскости III желудочка, увеличение $\times 4$: 1 – таламус (*thalamus*); 2 – тело свода (*corpus fornicis*); 3 – шишковидная железа (*glandula pinealis*); 4 – задняя спайка (*commissura posterior*); 5 – водопровод мозга (*aqueductus cerebri*); 6 – сосцевидные тела (*corpora mammillaria*); 7 – серый бугор (*tuber cinereum*); 8 – воронка гипофиза (*infundibulum hypophysis*); 9 – зрительный перекрёст (*chiasma opticum*); 10 – терминальная пластинка (*lamina terminalis*); 11 – передняя спайка (*commissura anterior*); 12 – столб свода (*columna fornicis*); 13 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 14 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*); 15 – межталамическое сращение (*adhesio interthalamica*)

Латеральные стенки III желудочка при осмотре в сагиттальной плоскости по конфигурации напоминают профиль птичьей головы с раскрытым клювом. Гипоталамическая борозда (*sulcus hypothalamicus*) разграничивает поверхности гипоталамуса и таламуса; данное углубление, нередко выраженное слабо, тянется от межжелудочкового отверстия к водопроводу среднего мозга.

Исходя из установленных сведений, верхнюю половину желудочковой полости пересекает межталамическое сращение (*adhesio interthalamica*), соединяющее противоположные таламические поверхности. Данная структура определяется приблизительно у 75% людей. Расстояние от межжелудочкового отверстия до сращения варьирует от 2,5 до 6,0 мм, составляя в среднем около 4 мм. Непосредственно под межжелудочковыми отверстиями на боковых стенках III желудочка определяются отчетливые выступы, образованные столбами свода (*columnae fornicis*). Далее столбы направляются книзу и завершаются в области сосцевидных тел (*corpora mammillaria*) на дне желудочка.

3.2. Интраоперационная нейроэндоскопическая анатомия основных внутрижелудочковых ориентиров

Интраоперационная анатомия внутрижелудочковых ориентиров при объемных образованиях боковых и III желудочка кардинально отличается от анатомии при других патологических состояниях, например, при гидроцефалии, внутрижелудочковых кровоизлияниях, вентрикулитах и т. д. [6, 51]. Часто внутрижелудочковое объемное образование приводит к закрытию интравентрикулярных сообщений, и соответственно к нарушению ликворооттока. В свою очередь хориоидпапилломы могут способствовать гиперпродукции спинномозговой жидкости. Если параллельно опухоль блокирует пути оттока жидкости, то это может привести к развитию окклюзионной гидроцефалии (Рисунок 34) [110, 132, 197].

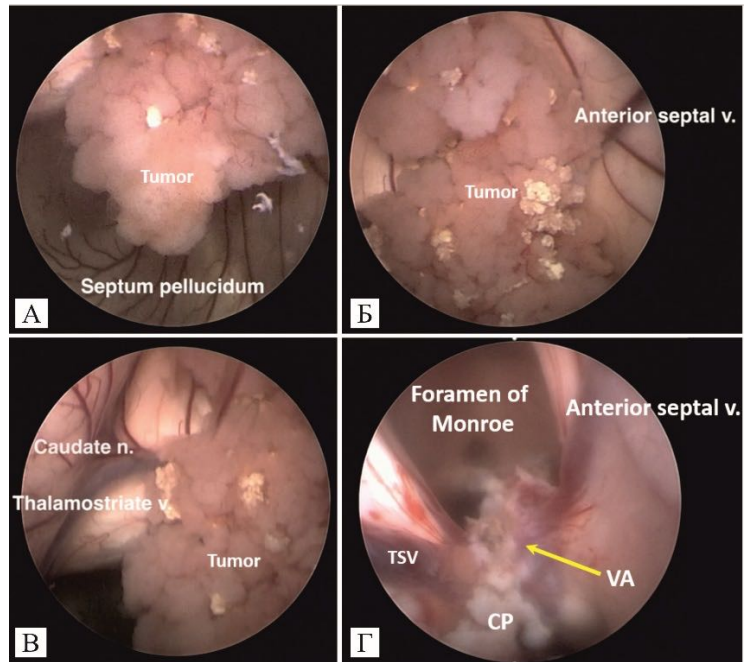


Рисунок 34 – Эндоскопическое изображение центральной части левого бокового желудочка: объёмное образование в области межжелудочкового отверстия. Интраоперационное фото. Ригидный нейроэндоскоп, 0°. Доступ из точки Кохера: А, Б, В – до удаления опухоли; Г – после удаления опухоли. Обозначения: Tumor – объёмное образование сосудистого сплетения в области межжелудочкового отверстия; Anterior septal v. – передняя септальная вена (v. anterior septi pellucidi); Caudate n. – хвостатое ядро (nucleus caudatus); Thalamostriate vein – таламостриарная вена (v. thalamostriata); CP – сосудистое сплетение (plexus choroideus); Foramen of Monro – межжелудочковое отверстие (foramen interventriculare)

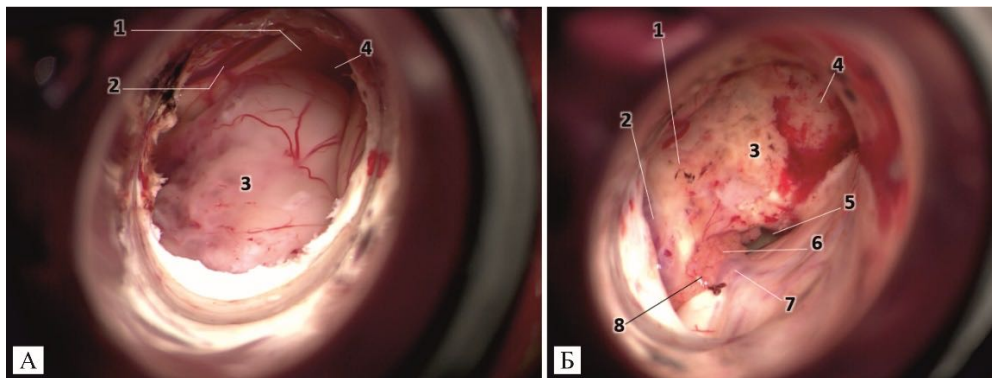


Рисунок 35 – Интраоперационное изображение центральной части правого бокового желудочка через ТР: объёмное образование в области межжелудочкового отверстия с окклюзионным синдромом. Цифровой хирургический экзоскоп АЕОС (Aescular, B. Braun Melsungen AG, Германия), 3D Full HD. Интраоперационное фото: А – до удаления опухоли; Б – после удаления опухоли. Обозначения: 1 – прозрачная перегородка (septum pellucidum); 2 – передняя перегородочная вена (v. anterior septi pellucidi); 3А – опухоль; 3Б – ложе опухоли; 4 – передний рог бокового желудочка (cornu anterius ventriculi lateralis); 5 – межжелудочковое отверстие (foramen interventriculare); 6 – сосудистое сплетение (plexus choroideus); 7 – таламостриарная вена (v. thalamostriata); 8 – венозный угол (angulus venosus)

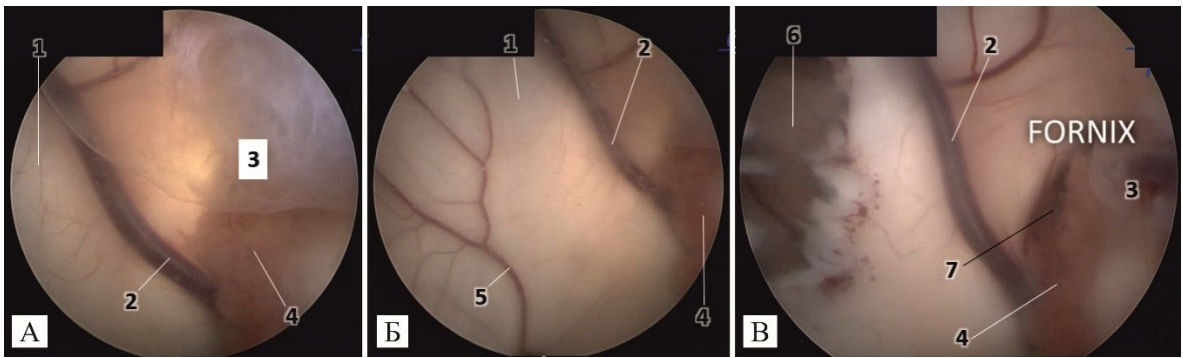


Рисунок 36 – Эндоскопическое изображение правого бокового желудочка: объёмное образование в области межжелудочкового отверстия с окклюзией просвета и моновентрикулярной гидроцефалией. Интраоперационное фото. Ригидный нейроэндоскоп, 0°. Доступ из точки Кохера: А, Б – до удаления опухоли; В – после удаления опухоли. Обозначения: 1 – прозрачная перегородка (*septum pellucidum*); 2 – передняя перегородочная вена (*v. anterior septi pellucidi*); 3А – объёмное образование сосудистого сплетения в области межжелудочкового отверстия; 3В – ложе опухоли; 4 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*); 5 – задняя перегородочная вена (*v. posterior septi pellucidi*); 6 – септостома; 7 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); fornix – свод (*fornix*)

3.3. Технология выполнения эндоскопической малоинвазивной хирургии третьего и боковых желудочков головного мозга

Для успешного применения эндоскопических технологий в хирургии объемных образований боковых желудочков необходимы определенные условия. Первым необходимым условием является большая полость – это желудочки мозга, вторым – прозрачная среда, в данном случае – спинномозговая жидкость.

Нами была разработана классификация эндоскопических технологий в хирургии внутрижелудочковых опухолей. При локализации объемного образования в пределах одного желудочка более подходящим является применение монопортальной моновентрикулярной технологии. Это подразумевает через один рабочий порт удаление опухоли под эндоскопом. При локализации опухоли в обоих боковых желудочках на большом расстоянии друг от друга применяется монопортальная бивентрикулярная технология. В данном случае для удаления каждого объемного образования накладывается отдельный порт в разные желудочки. Технология бипортальной моновентрикулярной эндоскопической хирургии применяется в случаях, когда опухоль с длинной сосудистой ножкой

располагается в одном желудочке. Накладывается 2 порта. Первый порт для эндоскопа, второй для инструмента. Под эндоскопическим контролем опухоль выключается от сосудистой ножки путем коагуляции и пересечения сосудов с помощью инструментов введенных через второй рабочий порт. При локализации объемного образования в пределах обоих желудочков на минимальном расстоянии друг от друга или когда опухоль прорастает из одного желудочка в другую, применяется бивентрикулярная бипортальная эндоскопическая технология. В один порт вводится эндоскоп, в другой эндоскопический инструментарий (Рисунок 37) [195, 197].

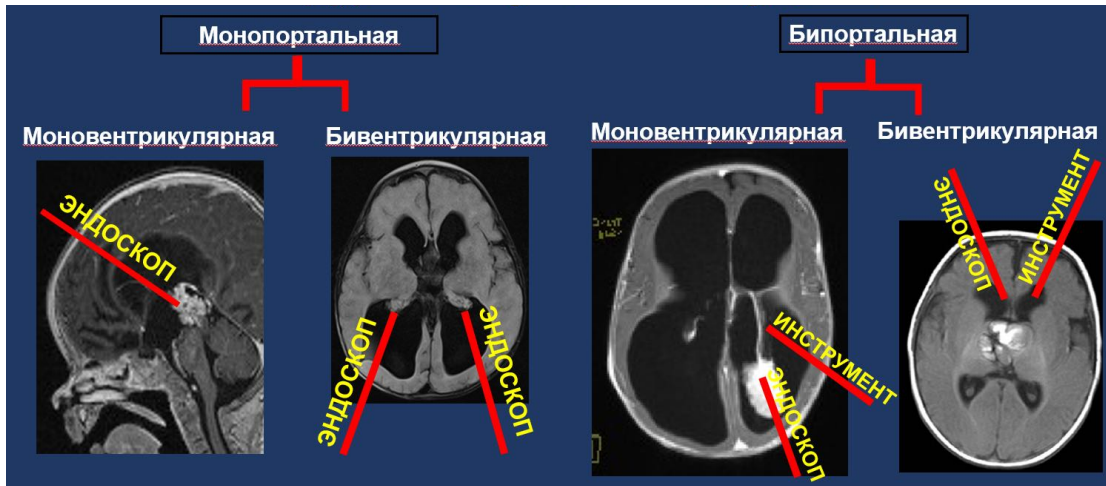


Рисунок 37 – Классификация эндоскопических технологий в хирургии внутрижелудочковых опухолей. Описание – в тексте

Для выполнения эндоскопических операций в нашей клинике применяются самые современные технологии: ригидный эндоскоп, полуригидный игольчатый нейроэндоскоп, гибкий видеоскоп и новейшее поколение эндоскопа с 3D-изображением (Рисунок 38).



Рисунок 38 – Общий вид используемых эндоскопов: А – ригидный эндоскоп; Б – полуригидный игольчатый нейроэндоскоп; В – гибкий видеоскоп; Г – 3D-эндоскоп

Для нейроэндоскопических вмешательств, расположенных в III и боковых желудочках, мы использовали чистую нейроэндоскопию. При эндоскопической технике планировали основную и дополнительные траектории с учетом возможной необходимости дополнительных манипуляций с опухолью. Для эндоскопии мы использовали 2 типа эндоскопов: полуригидный и ригидный.

3.4. Технология выполнения экзоскопической малоинвазивной хирургии третьего и боковых желудочков головного мозга с применением тубулярного ретрактора

Технология экзоскопической малоинвазивной хирургии III и боковых желудочков головного мозга с применением ТР предполагала стандартизированный алгоритм периоперационной подготовки и интраоперационных этапов. Укладку пациента осуществляли в положении на спине. Голову фиксировали ригидно в скобе Mayfield – Kees. Анестезиологическое обеспечение – эндотрахеальный наркоз. На этапе предоперационного планирования с использованием безрамной нейронавигационной системы BrainLab (Brainlab AG, Германия) определяли оптимальную траекторию доступа в

парасагиттальной проекции. После антисептической обработки операционного поля под визуализационным контролем экзоскопа AEOS (Aescular, B. Braun Melsungen AG, Германия) выполняли линейный кожно-апоневротический разрез. Края раны разводили при помощи ранорасширителя. В проекции точки доступа формировали фрезевое отверстие (Рисунок 39).



Рисунок 39 – Расположение операционной бригады и операционного оборудования: 1 – нейронавигационная станция BrainLab; 2 – цифровой хирургический экзоскоп AEOS, Aescular (Tuttlingen, Germany); 3 – монитор 3D Full HD; 4 – 3D-монитор; 5 – операционный столик

Выполняли краниотомию с использованием высокоскоростной дрели. Визуализировали твердую мозговую оболочку, обычного цвета. В целях предупреждения формирования эпидуральной гематомы края твердой мозговой оболочки подшивали к краям трепанационного окна через отдельные отверстия. Твердую мозговую оболочку вскрывали лоскутно. После идентификации целевой борозды производили минимальную кортикотомию размером 10–15 мм с использованием биполярной коагуляции и микроножниц. Введение ТР осуществляли под навигационным контролем по запланированной траектории с применением obturator, имеющего коническую форму и гладкую поверхность, что обеспечивало атравматичную дилатацию белого вещества вдоль хода проводящих путей без их пересечения. Визуализировали гидроцефально измененные боковые желудочки. В атриуме визуализировали объемное

образованием бокового желудочка, интимно связанное с сосудистым сплетением, бледно-фиолетового цвета, структуры по типу цветной капусты. После предварительной коагуляции ткань опухоли брали на гистологический анализ. Объемное образование тщательно диссектировали от окружающих тканей, коагулировали биполярной коагуляцией, удалили тотально [108, 110].

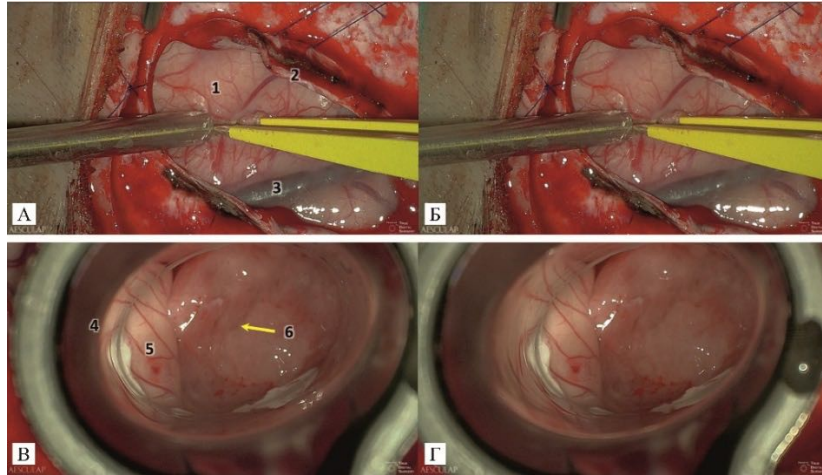


Рисунок 40 – Интраоперационное изображение операционного поля, 3D Full HD: А, Б – этап кортикотомии с применением биполярной коагуляции; В, Г – TP ViewSite Brain Access System (Vycor Medical Inc., США) введён, обтуратор извлечён. Обозначения: 1 – кора головного мозга (cortex cerebri); 2 – края твёрдой мозговой оболочки (margo durae matris); 3 – корковая собирательная вена (v. corticalis); 4 – TP ViewSite Brain Access System (Vycor Medical Inc., США); 5 – стенки бокового желудочка (parietes ventriculi lateralis); 6 – ткань опухоли

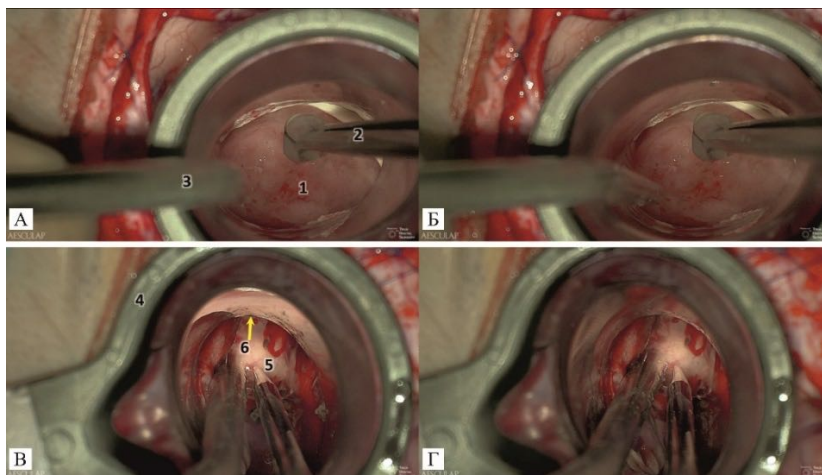


Рисунок 41 – Интраоперационное изображение операционного поля, 3D Full HD: А, Б – поэтапное удаление опухоли биопсийным пинцетом; В, Г – этап тщательного гемостаза с применением биполярной коагуляции. Обозначения: 1 – опухоль; 2 – биопсийный пинцет; 3 – аспирационная трубка; 4 – TP ViewSite Brain Access System (Vycor Medical Inc., США); 5 – коагуляция ложа опухоли; 6 – передний рог бокового желудочка

После удаления опухоли и тщательного гемостаза ввели оболочку эндоскопа с ригидным эндоскопом 0° (Karl Storz) для ревизии бокового желудочка. Выполнили тотальное удаление опухоли, признаков продолжающегося кровотечения нет. Ликвороциркуляцию восстановили. Тубулярный ретрактор удалили. Тщательный гемостаз. Твердую мозговую оболочку ушили непрерывным швом. На ТМО уложили гемостатическую пластину Тахокомб. Костный лоскут фиксировали нитками. Рана ушили в обратном порядке наглухо. Ас. повязка. Кровопотеря – 150 мл.

Интеграция экзоэндоскопической малоинвазивной хирургии III и боковых желудочков головного мозга с применением ТР и нейронавигационной ассистенцией представляет собой перспективную хирургическую технологию лечения внутрижелудочковых новообразований. Данная технология демонстрирует превосходство в сохранении неврологических функций, кардинально снижает кровопотерю и травматичность доступа, позволяя минимизировать послеоперационные риски [48, 108, 110, 132, 195, 197].

3.5. Сравнительная клиническая оценка результатов эндоскопических операций при объемных образованиях внутрижелудочковых локализаций

Все данные были приведены для всех пациентов вместе и отдельно по подгруппам для 3 типов хирургического лечения (эндоскопическое, микрохирургическое, с применением ТР).

В выборке преобладали мужчины при эндоскопических вмешательствах и женщины при микрохирургии (Таблица 3), тогда как в группе ТР распределение было промежуточным; доля мужчин была значимо выше при эндоскопии по сравнению с микрохирургией (88,9% против 38,1%; $p < 0,05$), тогда как остальные парные сравнения по полу статистически не различались ($p > 0,05$). Медианный возраст значимо отличался между эндоскопической и микрохирургической, а также эндоскопической и ТР-группами (7 [5; 8,5] лет при эндоскопии против 49

[16,5; 60] и 17 [7; 38,5] лет соответственно; $p < 0,05$), при этом различий между микрохирургией и ТР не зафиксировано ($p > 0,05$), что указывает на заведомо более педиатрический профиль эндоскопической когорты.

Таблица 3 – Половая и возрастная характеристика пациентов с различными типами хирургического лечения

| Характеристика | Тип операции | | | Всего n=49 | p |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------|---|
| | Микро- хирургическая n=21 | ТР n=19 | Эндоско- пическая n=9 | | |
| Пол | | | | | |
| Мужчины | 8 (38,1%) | 11 (57,9%) | 8 (88,9%) | 27 (55,1%) | p<0,05 для пары эндо/микро; p>0,05 для остальных пар |
| Женщины | 13 (61,9%) | 8 (42,1%) | 1 (11,1%) | 22 (44,9%) | |
| Возраст | | | | | |
| Медиана возраста, лет [Q1; Q3] | 49 [16,5; 60] | 17 [7; 38,5] | 7 [5; 8,5] | 20 [7; 51] | p<0,05 для пар эндо/микро и эндо/ТР; p>0,05 для пары микро/ТР |
| 0–9 лет | 5 (23,8%) | 6 (31,6%) | 8 (88,9%) | 19 (38,8%) | |
| 10–17 лет | 0 | 4 (21,1%) | 1 (11,1%) | 5 (10,2%) | |
| 18–40 лет | 4 (19,1%) | 4 (21,1%) | 0 | 8 (16,3%) | |
| 40–60 лет | 7 (33,3%) | 3 (15,8%) | 0 | 10 (20,4%) | |
| более 60 лет | 5 (23,8%) | 2 (10,5%) | | 7 (14,3%) | |

Длительность заболевания до оперативного вмешательства демонстрировала статистически значимую межгрупповую вариабельность ($p_{\text{общ}} < 0,001$) (Таблица 3). Наименьшая медиана отмечена в группе ТР – 6 [3; 16] мес. Эндоскопические вмешательства выполнялись при медиане анамнеза 84 [54; 90] мес., микрохирургические – 121 [108; 153,5] мес. Парные сравнения выявили значимые различия между группами эндоскопических операций и ТР, а также между микрохирургическими вмешательствами и ТР ($p < 0,05$). Сопоставление эндоскопической и микрохирургической групп статистически значимых различий не обнаружило ($p > 0,05$). Топография образований определяла выбор хирургической методики. Эндоскопический доступ преимущественно применялся при локализации опухоли в III желудочке (44,4%) и сочетанном поражении нескольких отделов желудочковой системы. Латеральное расположение новообразования служило показанием к микрохирургическому вмешательству в 81,0% случаев и к операции с ТР – в 73,7%. Статистически значимые различия

установлены при сравнении эндоскопической группы с микрохирургической и с группой ТР ($p < 0,05$). Между микрохирургической группой и группой ТР значимых различий не выявлено ($p > 0,05$). Данное распределение отражает специфику показаний и особенности хирургического маршрута при каждой методике.

Таблица 4 – Длительность заболевания и локализация патологического процесса

| Характеристика | Тип операции | | | | | | Всего n=49 | | p |
|---|------------------------|-------|----------------------------|-------|-------------|-------|------------------|-------|--|
| | Эндоскопическая n=9 | | Микрохирургическая n=21 | | ТР n=19 | | | | |
| Длительность заболевания, мес. Медиана [Q1; Q3] | 84 [54; 90] | | 121 [108; 153,5] | | 6 [3;16] | | 80 [8; 120,5] | | $p_{общ} < 0,001$ $p < 0,05$ для пар эндо/ТР, микро/ТР; $p > 0,05$ для пары эндо/микро |
| Локализация образования | n | % | n | % | n | % | n | % | |
| III желудочек | 4 | 44,4% | 1 | 4,8% | 1 | 5,3% | 6 | 12,2% | $p < 0,05$ для пар эндо/микро и эндо/ТР |
| Боковой желудочек | 2 | 22,2% | 17 | 81,0% | 14 | 73,7% | 33 | 67,3% | |
| Боковой и III желудочки | 1 | 11,1% | 1 | 4,8% | 2 | 10,5% | 4 | 8,2% | |
| Оба боковых желудочка | 2 | 22,2% | 0 | 0,0% | 1 | 5,3% | 3 | 6,1% | $p > 0,05$ для пары микро/ТР |
| Оба боковых и III желудочки | 0 | 0,0% | 2 | 9,5% | 1 | 5,3% | 3 | 6,1% | |

Объем опухоли, по данным МРТ, достоверно не отличался между группами с наличием данных ($p = 0,240$), однако распределение диаметров указывает на меньшие размеры при эндоскопических операциях (Таблица 4): доля очагов < 10 мм и $10-20$ мм была выше в эндоскопической группе, тогда как доля > 30 мм – выше при микрохирургии и операциях с ТР; статистически значимы пары эндоскопическая/микроскопическая и эндоскопическая/ТР, без различий между микроскопическая/ТР ($p < 0,05$; $p > 0,05$). Эти наблюдения согласуются с локализационным профилем и возрастной структурой, опосредуя выбор малоинвазивного доступа при компактных внутрижелудочковых поражениях.

Таблица 5 – Размеры образования

| Характеристика | Тип операции | | | | | | | | p |
|---|------------------------|-------|---------------------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|--|
| | Эндоскопическая n=9 | | Микро- хирургическая n=21 | | ТР n=19 | | Всего n=49 | | |
| V образования (по МРТ), мм ³ Медиана [Q1; Q3] | Нет данных | | 24904 [6935; 116853] | | 8582 [3502; 17095] | | 9613 [4431; 32298] | | p=0,240 |
| Диаметр образования | n | % | n | % | n | % | n | % | |
| < 10 мм | 2 | 22,2% | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 2 | 4,1% | p<0,05 для пар эндо/микро и эндо/ТР; p>0,05 для пары микро/ТР |
| 10–20 мм | 3 | 33,3% | 2 | 9,5% | 1 | 5,3% | 6 | 12,2% | |
| 20–30 мм | 3 | 33,3% | 6 | 28,6% | 8 | 42,1% | 17 | 34,7% | |
| > 30 мм | 1 | 11,1% | 13 | 61,9% | 10 | 52,6% | 24 | 49,0% | |

Неврологический статус до операции характеризовался преобладанием общемозговой симптоматики в группах ТР и микрохирургических вмешательств при минимальной частоте в эндоскопической когорте (Таблица 5), что согласуется с более выраженным ликвородинамическим компонентом и окклюзионными состояниями в первых 2 группах. Частота общемозговых симптомов составила 89,5% при ТР, 66,7% при микрохирургии и 33,3% при эндоскопии, при этом статистически значимые различия отмечены только между эндоскопией и ТР ($p < 0,05$), тогда как пары микрохирургическая/ТР и микрохирургическая/эндоскопическая значимо не различались ($p > 0,05$). Учитывая сопутствующие предоперационные МРТ-признаки (более частые гидроцефалия и обструкция ликворных путей при ТР и эндоскопии), такая конфигурация симптоматики указывает на различия в маршрутизации пациентов по доступам с учётом анатомии поражения и выраженности внутричерепной гипертензии до вмешательства.

Очаговый неврологический дефицит до операции демонстрировал сопоставимую частоту в группах и не выявил значимых межгрупповых различий по подавляющему числу доменов. Так, частота очаговой симптоматики составляла 47,6% в микрохирургической группе, 42,1% при ТР и 22,2% при эндоскопии (все

парные сравнения $p > 0,05$), когнитивный дефицит отмечался у 33,4, 36,8 и 66,7% соответственно (все $p > 0,05$), тогда как пирамидные расстройства (парезы/параличи), чувствительные нарушения, речевые и зрительные расстройства встречались редко и без статистически значимых различий между методиками (все $p > 0,05$). Такая картина указывает на то, что исходная очаговая нагрузка (кортикально-субкортикальные и проводниковые дефициты) в целом была сопоставима в группах и, вероятно, значительно больше зависела от топологии очага и длительности заболевания, чем от предполагаемого хирургического доступа, тогда как выраженность общемозговых симптомов отражала различия по ликвородинамике и могла оказать влияние на выбор тактики лечения.

Предоперационные признаки ликвородинамических нарушений четко дифференцировали группы: гидроцефалия и окклюзия ликворных путей достоверно чаще выявлялись при ТР и в эндоскопической когорте по сравнению с микрохирургией, тогда как между ТР и эндоскопией различий не отмечено (Таблица 7). Так, гидроцефалия фиксировалась у 73,7% (ТР) и 77,8% (эндоскопия) против 23,8% (микро), с значимыми различиями для пар микроскопическая/ТР и микроскопическая/эндоскопическая; контрастное накопление опухоли также чаще встречалось при ТР (73,7%) и эндоскопии (100%) по сравнению с микрохирургией (23,8%) при отсутствии различий между ТР и эндоскопией (все указанные пары с $p < 0,05$, ТР/эндоскопическая $p > 0,05$). Обструкция ликворных путей была выражена преимущественно в ТР-группе (73,7 против 28,6% при микроскопических и 55,6% при эндоскопических) с достижением значимости для пары микроскопическая/ТР; совокупно это указывает на маршрутизацию пациентов с окклюзионным фенотипом и выраженной ликворной дисфункцией в пользу эндоскопических и тубулярных доступов.

Таблица 6 – Характеристика неврологических нарушений у пациентов до операции

| Характеристика | Тип операции | | | | | | Всего | | p |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------|------------|-------|------------------------|-------|-------|-------|---|
| | Микро-хирургическая n=21 | | ТР n=19 | | Эндоскопическая n=9 | | n=49 | | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % | |
| Общемозговая симптоматика | 14 | 66,7% | 17 | 89,5% | 3 | 33,3% | 34 | 69,4% | p<0,05 для пары эндо/ТР; для остальных p>0,05 |
| Очаговая симптоматика | 10 | 47,6% | 8 | 42,1% | 2 | 22,2% | 20 | 40,8% | p>0,05 для всех пар |
| Когнитивный дефицит | 7 | 33,4% | 7 | 36,8% | 6 | 66,7% | 20 | 40,8% | p>0,05 для всех пар |
| Парезы/параличи | 2 | 9,5% | 0 | 0% | 1 | 11,1% | 3 | 6,1% | p>0,05 для всех пар |
| Чувствительные нарушения | 0 | 0,0% | 1 | 5,3% | 0 | 0,0% | 1 | 2,0% | p>0,05 для всех пар |
| Изменение походки | 11 | 53,4% | 4 | 21,0% | 5 | 55,6% | 20 | 40,8% | p>0,05 для всех пар |
| Зрительные нарушения | 6 | 28,6% | 8 | 42,1% | 2 | 22,2% | 16 | 32,4% | p>0,05 для всех пар |
| Речевые нарушения | 0 | 0,0% | 1 | 5,3% | 0 | 0,0% | 1 | 2,0% | p>0,05 для всех пар |
| Нарушение функции тазовых органов | 1 | 4,8% | 1 | 5,3% | 0 | 0,0% | 2 | 4,1% | p>0,05 для всех пар |

Таблица 7 – Результаты МРТ-исследования у пациентов до операции

| Характеристика | Тип операции | | | | | | Всего | | p |
|--------------------------------------|-----------------------------|-------|------------|-------|------------------------|--------|-------|-------|--|
| | Микро-хирургическая n=21 | | ТР n=19 | | Эндоскопическая n=9 | | n=49 | | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % | |
| Наличие гидроцефалии | 5 | 23,8% | 14 | 73,7% | 7 | 77,8% | 26 | 53,1% | p<0,05 для микро/ТР и микро/эндо; p>0,05 для эндо/ТР |
| Наличие обструкции ликворных путей | 6 | 28,6% | 14 | 73,7% | 5 | 55,6% | 25 | 51,0% | p<0,05 для микро/ТР; p>0,05 для остальных |
| Вовлечение прозрачной перегородки | 5 | 23,8% | 9 | 47,4% | 1 | 11,1% | 15 | 30,6% | p>0,05 для всех пар |
| Накопление контраста опухоли | 5 | 23,8% | 14 | 73,7% | 9 | 100,0% | 28 | 57,1% | p<0,05 для микро/ТР и микро/эндо; p>0,05 для эндо/ТР |
| Вовлечение сосудистых сплетений | 4 | 19,0% | 5 | 26,3% | 9 | 100,0% | 18 | 36,7% | p<0,05 для микро/ТР и микро/эндо; p>0,05 для ТР/эндо |
| Наличие кист в структуре образования | 4 | 19,0% | 15 | 78,9% | 0 | 0,0% | 19 | 38,8% | p<0,05 для микро/ТР и ТР/эндо; p>0,05 для микро/эндо |

Продолжение таблицы 7

| | | | | | | | | | | |
|--|----|-------|---|-------|---|------|----|-------|--|--|
| Сигнал в образовании на T1 с и без контраста | | | | | | | | | | |
| Высокий | 6 | 28,6% | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 6 | 12,2% | p<0,05 для микро/ТР; p>0,05 для микро/эндо, ТР/эндо | |
| Высокий/низкий | 0 | 0,0% | 8 | 42,1% | 0 | 0,0% | 8 | 16,3% | p<0,05 для микро/ТР и ТР/эндо; p>0,05 для микро/эндо | |
| Низкий | 13 | 61,9% | 9 | 47,4% | 0 | 0,0% | 22 | 44,9% | p<0,05 для ТР/эндо и микро/эндо; p>0,05 для микро/ТР | |
| Наличие кальцификаций | 0 | 0,0% | 6 | 31,6% | 0 | 0,0% | 6 | 12,2% | p<0,05 для микро/ТР; p>0,05 для остальных | |
| Расположение за пределами желудочка | 6 | 28,6% | 5 | 26,3% | 0 | 0,0% | 11 | 22,4% | p>0,05 для всех пар | |

Сигнально-структурные характеристики указывали на нозологические и анатомические различия между группами. Вовлечение сосудистых сплетений достоверно чаще отмечалось в эндоскопической группе (100%) по сравнению с микрохирургией (19,0%) и ТР (26,3%), с значимыми различиями для пар микрокопическая/эндоскопическая и микрокопическая/ТР и отсутствием различий ТР/эндоскопическая; при этом наличие кист в структуре образования было существенно более частым в ТР-группе (78,9%) по сравнению с микрохирургией (19,0%) и эндоскопией (0%), с значимостью для пар микрокопическая/ТР и ТР/эндоскопическая (микрокопическая/эндоскопическая $p>0,05$). По T1-паттернам отмечены разнонаправленные значимые различия: высокий сигнал чаще встречался при микрохирургии по сравнению с ТР (28,6% против 0%; $p<0,05$), «высокий/низкий» – чаще при ТР по сравнению с микрокопическими и эндоскопическими (42,1% против 0% и 0%; значимы пары микрокопическая/ТР и ТР/эндоскопическая), тогда как низкий сигнал был характернее для микрокопической и ТР по сравнению с эндоскопией (61,9 и 47,4% против 0%; значимы пары ТР /эндоскопическая и микрокопическая /эндоскопическая). Эти различия согласуются с выявленным нозологическим профилем: в эндоскопической когорте доминировали хориоидпапилломы, что объясняет 100% контрастирование и вовлечение сплетений, тогда как в ТР-группе

преобладали образования с выраженным кистозным компонентом, отражаясь на структуре сигнала и текстуре опухоли.

Наконец, топография и размерные характеристики дополняли картину отбора доступа. Для эндоскопии были характерны медианные локализации (III желудочек и сопряженные варианты) и меньшие диаметры очагов, тогда как для микрохирургии – латеральные локализации и более крупные диаметры; статистически значимые различия по категориям диаметра подтверждены для пар эндоскопическая / микроскопическая и эндоскопическая/ТР при отсутствии различий между микроскопической и ТР. При этом оценка объема по МРТ (там, где данные доступны) межгрупповых различий не показала ($p=0,240$), однако распределение по диаметрам оставалось клинически релевантным и согласовывалось с различиями по ликвородинамическим признакам и вовлечению сосудистых сплетений. В совокупности предоперационное МРТ демонстрирует 3 разнонаправленных профиля: эндоскопический – «медианный/сплетения/высокая контрастность», ТР – «кистозность/окклюзия/гидроцефалия», микрохирургический – «латеральный /крупный диаметр/менее выраженная ликворная дисфункция», что объективно обосновывает различия в выборе хирургической технологии.

В совокупности предоперационный статус демонстрирует важное смещение профилей: эндоскопическая группа – более молодая, с меньшей частотой общемозговой симптоматики при сопоставимой очаговой нагрузке, что согласуется с меньшими размерами и медианными локализациями; микрохирургическая – более «латеральная» с умеренно выраженной внутричерепной гипертензией; ТР-группа с самым высоким бременем общемозговых симптомов и ликвородинамических нарушений при относительно коротком анамнезе, что отражает клиническую необходимость быстрой декомпрессии и восстанавливающих ликвороток вмешательств. Отсутствие межгрупповых различий по большинству очаговых доменов облегчает корректное сопоставление послеоперационных исходов, поскольку исходный очаговый

дефицит был статистически сопоставимым, а различия преобладали именно в системной (общемозговой) симптоматике.

Соотношение первичных и повторных вмешательств в анализируемых группах статистически значимо не различалось ($p>0,05$): доля первичных операций превышала 93% при всех методиках. Параметры инвазивности доступа, напротив, демонстрировали отчётливую межгрупповую дифференциацию (Таблица 8). Протяжённость кожного разреза при эндоскопических вмешательствах составила 1 [0,9; 1] см, при операциях с применением ТР – 4,8 [4,5; 9,75] см, при микрохирургических – 14 [12; 15] см. Все парные сравнения достигли статистической значимости ($p<0,05$). Минимальный объём зафиксирован в эндоскопической группе – 35 [15; 40] мл, промежуточный – в группе ТР (80 [50; 200] мл), максимальный – при микрохирургических вмешательствах (250 [200; 600] мл). Парные сравнения выявили статистически значимые различия между всеми группами ($p<0,05$). Продолжительность оперативного вмешательства оставалась сопоставимой вне зависимости от применённой методики ($p>0,05$ для всех парных сравнений).

Таблица 8 – Клинические характеристики проведенных оперативных вмешательств

| Характеристика | Тип операции | | | | | | Всего | | p |
|---|-------------------------|-------|--------------------|-------|---------------------|--------|-------------------|-------|---------------------|
| | Микрохирургическая n=21 | | ТР n=19 | | Эндоскопическая n=9 | | n=49 | | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % | |
| Первичная операция | 20 | 95,2% | 15 | 93,8% | 9 | 100,0% | 44 | 95,7% | >0,05 для всех пар |
| Повторная операция | 1 | 4,8% | 1 | 6,3% | 0 | 0,0% | 2 | 4,3% | |
| Продолжительность операции, мин. Медиана [Q1; Q3] | 240 [175; 342] | | 209 [135; 289] | | 160 [117; 265] | | 214 [170; 283] | | >0,05 для всех пар |
| Длина кожного разреза, см Медиана [Q1; Q3] | 14 [12; 15] | | 4,8 [4,5; 9,75] | | 1 [0,9; 1] | | 5 [4,4; 14] | | p<0,05 для всех пар |
| Интраоперационная кровопотеря, мл Медиана [Q1; Q3] | 250 [200; 600] | | 80 [50; 200] | | 35 [15; 40] | | 150 [50; 250] | | p<0,05 для всех пар |

Совокупная длительность стационарного лечения варьировала в зависимости от типа доступа, формируя градиент в сторону более продолжительной госпитализации при микрохирургии по сравнению с минимально инвазивными методиками (Таблица 9). Медиана общей госпитализации составила 17 [11; 22,5] сут. при микрохирургическом доступе, 11 [8; 16] сут. при использовании ТР и 8 [7,5; 12,5] сут. при эндоскопии; межгрупповые различия были статистически значимы для пар микрохирургия/ТР и микрохирургия/эндоскопия, тогда как между ТР и эндоскопией различий не отмечено ($p < 0,05$; $p > 0,05$). Вклад интенсивной терапии также различался: сроки пребывания в ОРИТ были максимальны в микрохирургической группе – 4 [2; 6,5] сут., промежуточны при ТР – 2 [1; 3,75] сут. и минимальны после эндоскопии – 1 [1; 1] сут.; различия значимы для пар микро/ТР и микро/эндо, без различий между ТР и эндоскопией ($p < 0,05$; $p > 0,05$). Послеоперационная часть госпитализации демонстрировала аналогичный профиль, отражающий разницу в инвазивности доступов и частоте послеоперационных событий.

Таблица 9 – Клинические характеристики проведенных оперативных вмешательств

| Характеристика | Тип операции | | | Всего n=49 | p |
|--|---------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------|---|
| | Микро- хирургическая n=21 | ТР n=19 | Эндоско- пическая n=9 | | |
| Общая длительность госпитализации, сут. Медиана [Q1; Q3] | 17 [11; 22,5] | 11 [8; 16] | 8 [7,5; 12,5] | 13 [8; 19] | $p < 0,05$ для микро/эндо и микро/ТР; $p > 0,05$ для эндо/ТР |
| Срок пребывания в ОИТ, сут. Медиана [Q1; Q3] | 4 [2; 6,5] | 2 [1; 3,75] | 1 [1; 1] | 2 [1; 4,25] | $p < 0,05$ для микро/эндо и микро/ТР; $p > 0,05$ для эндо/ТР |
| Срок госпитализации после операции, сут. Медиана [Q1; Q3] | 15 [10,5; 20] | 10 [6,5; 14] | 7 [2,5; 11,5] | 11 [7; 16] | $p < 0,05$ для микро/эндо и микро/ТР; $p > 0,05$ для эндо/ТР |

Представленная серия не зафиксировала интраоперационных **осложнений** ни при одной из методик, что указывает на сопоставимую интраоперационную безопасность при применении стандартизированных техник и адекватного контроля интраоперационного риска во всех группах (во всех сравнениях $p > 0,05$). В послеоперационном периоде суммарная частота осложнений была максимальной в микрохирургической группе и существенно ниже при ТР и эндоскопии (Таблица 10): 57,1 против 21,1% и 11,1% соответственно; статистически значимые различия отмечены для пар микроскопическая/ТР и микроскопическая/эндоскопическая при отсутствии различий между ТР и эндоскопией ($p < 0,05$; $p > 0,05$), что согласуется с более высокой инвазивностью открытого доступа и большей тканевой травмой по сравнению с минимально инвазивными подходами.

Таблица 10 – Осложнения оперативных вмешательств

| Характеристика | Тип операции | | | | | | Всего | | p |
|--------------------------------------|----------------------------|-------|------------|-------|------------------------|-------|-------|-------|--|
| | Микрохирургическая n=21 | | ТР n=19 | | Эндоскопическая n=9 | | n=49 | | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % | |
| Наличие интраоперационных осложнений | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | >0,05 для всех пар |
| Наличие послеоперационных осложнений | 12 | 57,1% | 4 | 21,1% | 1 | 11,1% | 17 | 34,7% | $p < 0,05$ для микро/эндо; $p > 0,05$ для ТР/эндо |
| Окклюзионная гидроцефалия | 2 | 9,6% | 1 | 5,3% | 1 | 11,1% | 4 | 8,1% | >0,05 для всех пар |
| Цефалгический синдром | 3 | 14,3% | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6,1% | >0,05 для всех пар |
| Эпилепсия | 2 | 9,6% | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4,1% | >0,05 для всех пар |
| ПОН | 1 | 4,8% | 1 | 5,3% | 0 | 0 | 2 | 4,1% | >0,05 для всех пар |
| Гемипарез | 2 | 9,6% | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4,1% | >0,05 для всех пар |

В структуре зарегистрированных неблагоприятных событий чаще наблюдались окклюзионная гидроцефалия, цефалгический синдром, эпилептический синдром, ПОН и очаговые дефициты, однако ни один из этих отдельных типов осложнений не показал межгрупповых различий по парным сравнениям (все $p > 0,05$), что указывает на сопоставимую вероятность конкретных событий при условии их возникновения и подчёркивает, что межгрупповая разница формируется именно за счёт общей частоты осложнений.

При этом у одного пациента из группы ТР наблюдался легкий спастический тетрапарез, сенсомоторная дисфазия развития, задержка ННР, частичная нисходящая атрофия диска зрительного нерва обоих глаз, ангиопатия сетчатки обоих глаз, сходящееся альтернирующее косоглазие обоих глаз. У одного из пациентов группы микрохирургического доступа помимо ПОН и окклюзионной гидроцефалии наблюдался синдром глазодвигательных нарушений, вестибуло-атактический синдром, отек головного мозга, Д.В.С. синдром. Также у одного из пациентов группы микрохирургического доступа наблюдалось внутрижелудочковое кровоизлияние и кома, а у другого – ТЭЛА на фоне тромбоза глубоких вен НК. В одном случае в группе ТР наблюдали в послеоперационном периоде деменцию легкой степени и атаксию. А в группе микрохирургического доступа у одного из пациентов была выявлена моторная афазия легкой степени.

После операции профиль неврологической симптоматики демонстрировал динамику по группам, с более выраженным регрессом общемозговых симптомов при эндоскопических вмешательствах и частичным сохранением системной симптоматики при доступе с ТР. Общемозговая симптоматика к моменту наблюдения отсутствовала в эндоскопической группе (0%) при сохранении у части пациентов после ТР (42,1%) и у трети после микрохирургии (33,3%), причём статистически значимые различия зафиксированы для пары ТР/эндоскопия, а для остальных пар различий не получено ($p < 0,05$; $p > 0,05$). Эти данные коррелируют с предоперационным статусом, где общемозговая симптоматика изначально была максимальной при ТР (89,5%) и микрохирургии (66,7%) и минимальной при эндоскопии (33,3%), что указывает на полную нормализацию ликвородинамики и внутричерепного давления в группе эндоскопии и частичную в остальных группах.

Таблица 11 – Характеристика неврологических нарушений у пациентов после операции

| Характеристика | Тип операции | | | | | | Всего | | p |
|---------------------------|-----------------------------|-------|------------|-------|------------------------|------|-------|-------|---|
| | Микро-хирургическая n=21 | | ТР n=19 | | Эндоскопическая n=9 | | n=49 | | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % | |
| Общемозговая симптоматика | 7 | 33,3% | 8 | 42,1% | 0 | 0,0% | 15 | 30,6% | $p < 0,05$ для ТР/эндо; $p > 0,05$ для остальных пар |

Продолжение таблицы 11

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|-------|---|-------|---|-------|----|-------|--|
| Очаговая симптоматика | 9 | 42,9% | 1 | 5,3% | 0 | 0,0% | 10 | 20,4% | p<0,05 для микро/эндо и микро/ТР; p>0,05 для ТР/эндо |
| Когнитивный дефицит | 7 | 33,3% | 5 | 26,3% | 6 | 66,7% | 18 | 36,7% | >0,05 для всех пар |
| Парезы/параличи | 4 | 19,0% | 0 | 0,0% | 1 | 11,1% | 5 | 10,2% | >0,05 для всех пар |
| Чувствительные нарушения | 2 | 9,5% | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 2 | 4,1% | >0,05 для всех пар |
| Изменение походки | 6 | 28,6% | 2 | 10,5% | 2 | 22,2% | 10 | 20,4% | >0,05 для всех пар |
| Зрительные нарушения | 3 | 14,3% | 6 | 31,6% | 2 | 22,2% | 11 | 22,4% | >0,05 для всех пар |
| Речевые нарушения | 2 | 9,5% | 1 | 5,3% | 0 | 0,0% | 3 | 6,1% | >0,05 для всех пар |
| Нарушение функции тазовых органов | 0 | 0,0% | 1 | 5,3% | 0 | 0,0% | 1 | 2,0% | >0,05 для всех пар |

В отношении очагового неврологического дефицита послеоперационные различия также были методикозависимыми: очаговая симптоматика чаще сохранялась после микрохирургии (42,9%) и существенно реже при ТР (5,3%) и эндоскопии (0%), с достижением значимости для пар микроскопическая/эндоскопическая и микроскопическая/ТР, при отсутствии различий между ТР и эндоскопией. На фоне предоперационной сопоставимости по большинству очаговых доменов (очаговая симптоматика 47,6% микро; 42,1% ТР; 22,2% эндо; все парные p>0,05) такой сдвиг указывает, что открытый доступ ассоциирован с большей вероятностью персистенции очагового дефицита, тогда как минимально инвазивные методики (эндоскопия и ТР) обеспечивают более благоприятную динамику очаговых проявлений.

Дополнительно когнитивный дефицит после операции встречался сопоставимо между группами микрохирургии и ТР (33,3 и 26,3%), но чаще при эндоскопическом доступе (p>0,05), что, с учётом педиатрического профиля эндоскопической когорты и иного нозологического состава, ограничивает прямую интерпретацию по этому домену; в совокупности результаты демонстрируют, что эндоскопия максимально снижает общие симптомы и очаговую симптоматику, ТР даёт выраженный регресс общих симптомов, но не всегда полный, а микрохирургия – адекватный контроль общих проявлений при большей вероятности персистенции очагового дефицита.

В срезе степеней злокачественности (WHO Grade) межгрупповые различия носили выборочный характер и в целом отражали нозологическую специфику каждой методики доступа (Таблица 12). Доля опухолей Grade I была высокой при эндоскопии и микрохирургии и существенно ниже в группе ТР: 88,9% (эндоскопия), 71,4% (микро), 36,8% (ТР), при этом статистически значимая разница отмечена для пары ТР/эндоскопия, тогда как прочие парные сравнения по градациям (включая Grade II–IV) значимых различий не выявили (все $p > 0,05$). Такая конфигурация согласуется с различиями исходной локализации и МРТ-профиля: эндоскопическая когорта была ассоциирована с медианными локализациями и вовлечением сосудистых сплетений, тогда как в ТР-группе чаще встречались образования с выраженным кистозным компонентом и окклюзионной ликворопатией, что опосредует иной спектр гистотипов и степеней злокачественности.

Таблица 12 – Степень злокачественности опухоли (ЗО) по результатам патогистологического исследования

| Степень ЗО | Тип операции | | | | | | Всего | | p |
|------------|-----------------------------|-------|------------|-------|------------------------|-------|-------|-------|---|
| | Микро-хирургическая n=18 | | ТР n=15 | | Эндоскопическая n=9 | | n=42 | | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % | |
| I | 15 | 71,4% | 7 | 36,8% | 8 | 88,9% | 30 | 61,2% | $p < 0,05$ для ТР/эндо; $p > 0,05$ для ост-ных пар |
| II | 1 | 4,8% | 4 | 21,1% | 1 | 11,1% | 6 | 12,2% | $> 0,05$ для всех пар |
| III | 2 | 9,5% | 3 | 15,8% | 0 | 0,0% | 5 | 10,2% | $> 0,05$ для всех пар |
| IV | 0 | 0,0% | 1 | 5,3% | 0 | 0,0% | 1 | 2,0% | $> 0,05$ для всех пар |

Нозологическая структура также существенно отличалась между группами, определяя профиль доступов и ожидаемую морфологию (Таблица 13). В эндоскопической группе доминировали хориоидпапилломы (100%) с достоверными отличиями как от микрохирургии (23,8%), так и от ТР (15,8%), тогда как различий между микрохирургической и ТР по этому диагнозу не выявлено; менингиомы встречались преимущественно при микрохирургии (23,8%) и отсутствовали в ТР и эндоскопической когортах (значима пара

микроскопическая/ТР), а глиомы были чаще при ТР (42,1%) по сравнению с эндоскопией (0%) при отсутствии различий с микрохирургией (в остальных нозологиях – субэпендимомы, кавернома, метастаз, эпендимомы, нейроцитомы – межгрупповые различия статистически не подтверждены). В совокупности патогистологические данные подтверждают паттерн селекции: эндоскопия ассоциирована с доброкачественными медианными опухолями сплетений (высокая доля Grade I), микрохирургия – с более широким взрослым спектром (включая менингиомы и субэпендимомы), а ТР – с глиальными и кистозными вариантами, что важно учитывать при интерпретации радикальности и отдалённых МРТ-следствий вмешательства.

Таблица 13 – Диагноз по результатам патогистологического исследования после операции

| Патогистологический диагноз | Тип операции | | | | | | Всего | | p |
|-----------------------------|----------------------------|-------|------------|-------|------------------------|--------|-------|-------|---|
| | Микрохирургическая n=21 | | ТР n=19 | | Эндоскопическая n=9 | | n=49 | | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % | |
| Хориодипапиллома | 5 | 23,8% | 3 | 15,8% | 9 | 100,0% | 17 | 34,7% | p<0,05 для микро/эндо и ТР/эндо; p>0,05 для микро/ТР |
| Субэпендимома | 5 | 23,8% | 3 | 15,8% | 0 | 0,0% | 8 | 16,3% | >0,05 для всех пар |
| Менингиома | 5 | 23,8% | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 5 | 10,2% | p<0,05 для микро/ТР; p>0,05 для ост. пар |
| Кавернозная ангиома | 1 | 4,8% | 2 | 10,5% | 0 | 0,0% | 3 | 6,1% | >0,05 для всех пар |
| Метастаз | 2 | 9,5% | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 2 | 4,1% | >0,05 для всех пар |
| Глиома | 5 | 23,8% | 8 | 42,1% | 0 | 0,0% | 13 | 26,5% | p<0,05 для ТР/эндо; p>0,05 для ост. пар |
| Эпендимома | 0 | 0,0% | 3 | 15,8% | 0 | 0,0% | 3 | 6,1% | >0,05 для всех пар |
| Нейроцитомы | 0 | 0,0% | 1 | 5,3% | 0 | 0,0% | 1 | 2,0% | >0,05 для всех пар |

В отдалённом периоде МРТ выявило различия в полноте опухолевого контроля и характере постоперационных изменений между методиками (Таблица 14). Остаточная опухоль регистрировалась преимущественно после вмешательств с ТР: 26,3 против 0% как после микрохирургии, так и после эндоскопии; статистически значима пара микроскопическая/ТР, тогда как различий микроскопическая/эндоскопическая и ТР/эндоскопическая не отмечено (p<0,05; p>0,05). Однако данная тенденция была справедлива лишь для образований

диаметром более 30 мм; при диаметре менее 30 мм при всех методиках продемонстрирована 100% радикальность ($p>0,05$). Сохраняющаяся ликвородинамическая дисфункция встречалась чаще после минимально инвазивных методик, прежде всего при эндоскопии: остаточная гидроцефалия фиксировалась у 66,7% после эндоскопии и у 42,1% после ТР против 9,5% после микрохирургии, с достоверными отличиями для пар микроскопическая/ТР и микроскопическая/эндоскопическая при отсутствии различий ТР/эндоскопическая ($p<0,05$; $p>0,05$), что согласуется с более частой исходной окклюзией и медианными локализациями у этих пациентов.

Структурные постоперационные изменения вещества мозга демонстрировали градиент выраженности в сторону ТР по сравнению с микрохирургией, при близости показателей между ТР и эндоскопией. Деформация желудочков чаще сохранялась после ТР (84,2%) и эндоскопии (77,8%) по сравнению с микрохирургией (33,3%), с значимостью для пар микроскопическая/ТР и микроскопическая/эндоскопическая и отсутствием различий ТР/эндоскопическая ($p<0,05$; $p>0,05$). Характер изменений вещества мозга указывал на более частые локальные кистозно-глиозные очаги в микрохирургической группе (100%) при меньшей доле диффузных кистозно-глиозных изменений, тогда как в группах ТР и эндоскопии выше была доля диффузных кистозно-глиозных изменений (47,4 и 44,4% соответственно) при существенно меньшей доле изолированно локальных очагов (26,3 и 55,6% против 100% при микрохирургии); для этих признаков значимы пары микроскопическая/ТР и микроскопическая/эндоскопическая, различий ТР/эндоскопическая не зафиксировано ($p<0,05$; $p>0,05$).

Таблица 14 – Результаты МРТ-исследования в отдаленном послеоперационном периоде

| Показатель | Тип операции | | | | | | Всего | | p |
|-----------------------------|-----------------------------|------|------------|-------|------------------------|------|-------|-------|---|
| | Микро-хирургическая n=21 | | ТР n=19 | | Эндоскопическая n=9 | | n=49 | | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % | |
| Остаточная часть опухоли | | | | | | | | | |
| Диаметр образования > 30 мм | 0 | 0,0% | 5 | 26,3% | 0 | 0,0% | 5 | 10,2% | $p<0,05$ для микро/ТР; $p>0,05$ для остальных пар |

Продолжение таблицы 14

| | | | | | | | | | |
|--|----|-------|--------------------|-------|---|-------|----|-------|--|
| Диаметр образования < 30 мм | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | >0,05 для всех пар |
| Медиана объема остаточной части (Q1; Q3) | 0 | | 578 [402; 2254] | | 0 | | – | | |
| Остаточная гидроцефалия | 2 | 9,5% | 8 | 42,1% | 6 | 66,7% | 16 | 32,7% | p<0,05 для микро/ТР и микро/эндо; p>0,05 для пары ТР/эндо |
| Обструкция ликворных путей | 0 | 0,0% | 2 | 10,5% | 0 | 0,0% | 2 | 4,1% | >0,05 для всех пар |
| Деформация желудочка | 7 | 33,3% | 16 | 84,2% | 7 | 77,8% | 30 | 61,2% | p<0,05 для микро/ТР и микро/эндо; p>0,05 для пары ТР/эндо |
| Изменения вещества мозга | | | | | | | | | |
| Есть | 21 | 100% | 15 | 78,9% | 9 | 100% | 45 | 91,8% | p<0,05 для микро/ТР; p>0,05 для остальных пар |
| Локальные кистозно-глиозные | 21 | 100% | 5 | 26,3% | 5 | 55,6% | 31 | 63,3% | p<0,05 для микро/ТР и микро/эндо; p>0,05 для пары ТР/эндо |
| Кистозно-глиозные | 0 | 0 | 9 | 47,4% | 4 | 44,4% | 13 | 26,5% | p<0,05 для микро/ТР и микро/эндо; p>0,05 для ТР/эндо |
| Глиоз | 0 | 0 | 1 | 5,3% | 0 | 0 | 1 | 2,0% | >0,05 для всех пар |

Совокупно это отражает, что минимально инвазивные доступы, несмотря на меньшую травматичность мягких тканей и кровопотерю, ассоциируются с большей вероятностью остаточной ликворной дисфункции и деформации желудочков, тогда как открытый доступ обеспечивает более полную декомпрессию и контроль деформации ценой иных интра- и параопухолевых следов вмешательства на МРТ.

Эффективность лечения: в отдалённом периоде показатели исходов иллюстрируют различия между методиками в радикальности и завершённости лечения при сходной частоте рецидивов и летальности (Таблица 15). Радикальное удаление (GTR) достигалось у 100% пациентов в эндоскопической группе и у 95,2% при микрохирургии, тогда как при использовании ТР доля GTR была ниже – 68,4%; статистически значимы различия для пар микроскопическая/ТР при

отсутствии различий между другими группами ($p < 0,05$; $p > 0,05$). Следует отметить, что из 6 пациентов с STR в группе ТР у 5 (83,3%) диаметр образования был > 30 мм; в то же время у пациентов с диаметром образования < 30 мм при доступе с применением ТР GTR составил 88,9% и не отличался от соответствующего показателя при микрохирургическом доступе. Статус «законченного случая» (отсутствие необходимости дополнительного лечения/наблюдательных вмешательств) также чаще фиксировался при ТР и эндоскопии (по 100% в обеих группах) по сравнению с микрохирургией (9,5%), с достижением значимости для пар микроскопическая/ТР и микроскопическая/эндоскопическая, что может отражать более высокую долю пациентов микрогруппы, требовавших продолжения специализированного ведения в силу нозологии, размеров и латеральной топики очагов ($p < 0,05$).

Таблица 15 – Исходы хирургического лечения

| Показатель | Тип операции | | | | | | Всего | | p |
|------------------------|----------------------------|-------|------------|-------|------------------------|--------|-------|-------|---|
| | Микрохирургическая n=21 | | ТР n=19 | | Эндоскопическая n=9 | | n=49 | | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % | |
| Рецидив | 2 | 9,5% | 2 | 10,5% | 0 | 0,0% | 4 | 8,2% | $>0,05$ для всех пар |
| Летальный исход | 5 | 23,8% | 1 | 5,3% | 0 | 0,0% | 6 | 12,2% | $>0,05$ для всех пар |
| Радикальность удаления | | | | | | | | | |
| GTR | 20 | 95,2% | 13 | 68,4% | 9 | 100,0% | 42 | 85,7% | $p < 0,05$ для микро/ТР; $p > 0,05$ для остальных пар |
| STR | 1 | 4,8% | 6 | 31,6% | 0 | 0,0% | 10 | 14,3% | |
| Законченный случай | 2 | 9,5% | 19 | 100% | 9 | 100,0% | 30 | 61,2% | $p < 0,05$ для микро/ТР и микро/эндо; $p > 0,05$ для ТР/эндо |

При этом частота рецидивов и летальных исходов статистически значимых межгрупповых различий не показала: рецидив выявлялся в 9,5% случаев после микрохирургии, 10,5% – после ТР и 0% – после эндоскопии (все парные сравнения $p > 0,05$), а летальность была наиболее высокой в микрохирургической группе, и составила 23,8%; 5,3% при ТР и 0% при эндоскопии (все парные $p > 0,05$), что при ограниченных размерах подгрупп и различиях в исходном профиле пациентов

затрудняет статистическую интерпретацию этих конечных точек. В совокупности исходы подтверждают, что минимально инвазивные методики, особенно эндоскопия, обеспечивают высокую радикальность при благоприятной краткосрочной клинической траектории, тогда как микрохирургия сохраняет сопоставимую радикальность для сложных латеральных и крупных поражений ценой меньшей доли «законченных случаев» и более напряжённого послеоперационного курса; ТР выступает как компромиссный подход с хорошей радикальностью для некрупных образований (диаметр менее 30 мм), высокой завершённости случаев и приемлемыми непосредственными результатами.

Обсуждение

Наблюдается выраженная селекция пациентов по методике: эндоскопия применялась у более молодых пациентов с меньшими размерами и медианными локализациями (III желудочек, сосудистые сплетения), микрохирургия – при латеральных и крупных очагах, а ТР занимал промежуточную нишу при более коротком анамнезе и частых ликвородинамических нарушениях; эти различия определяют различный «рисковый фон» и влияют на сопоставление исходов. На этом фоне эндоскопия демонстрирует минимальную инвазивность (разрез, кровопотеря, ОРИТ), низкую частоту осложнений и высокую радикальность, без увеличения длительности операции; микрохирургия обеспечивает стандарт радикальности для сложных латеральных/крупных очагов, ценой большей травматичности и большей частоты очаговой симптоматики; ТР снижает инвазивность относительно открытого доступа, имея сопоставимый профиль радикальности для небольших и средних образований, но сопровождается большей долей остаточной опухоли и отдалённых МРТ-изменений для крупных образований.

Заключение

Эндоскопические вмешательства обеспечивают сочетание низкой инвазивности и высокой радикальности при небольших, медианных внутрижелудочковых образованиях, особенно у детей, с преимуществами по осложнениям и послеоперационной логистике (значимые различия по полу/возрасту, локализации, разрезу, кровопотере, ОРИТ, осложнениям, GTR). микрохирургия остаётся оправданной тактикой для крупных и латеральных опухолей с высокой вероятностью радикальности, однако сопряжена с большими травматичностью и частотой послеоперационных неврологических проявлений и осложнений (значимые различия по диаметру, осложнениям, стационару).

Тубулярный ретрактор предлагает компромисс «меньше инвазивность – ниже радикальность», характеризуясь более частой остаточной опухолью и постоперационными МРТ-изменениями при частом ликвородинамическом компоненте для крупных образований; оптимален при образованиях малого и среднего размера и приоритетах тканесбережения.

Нами предлагается алгоритм выбора операционного метода при внутрижелудочковых опухолях III и боковых желудочков (Рисунок 42).

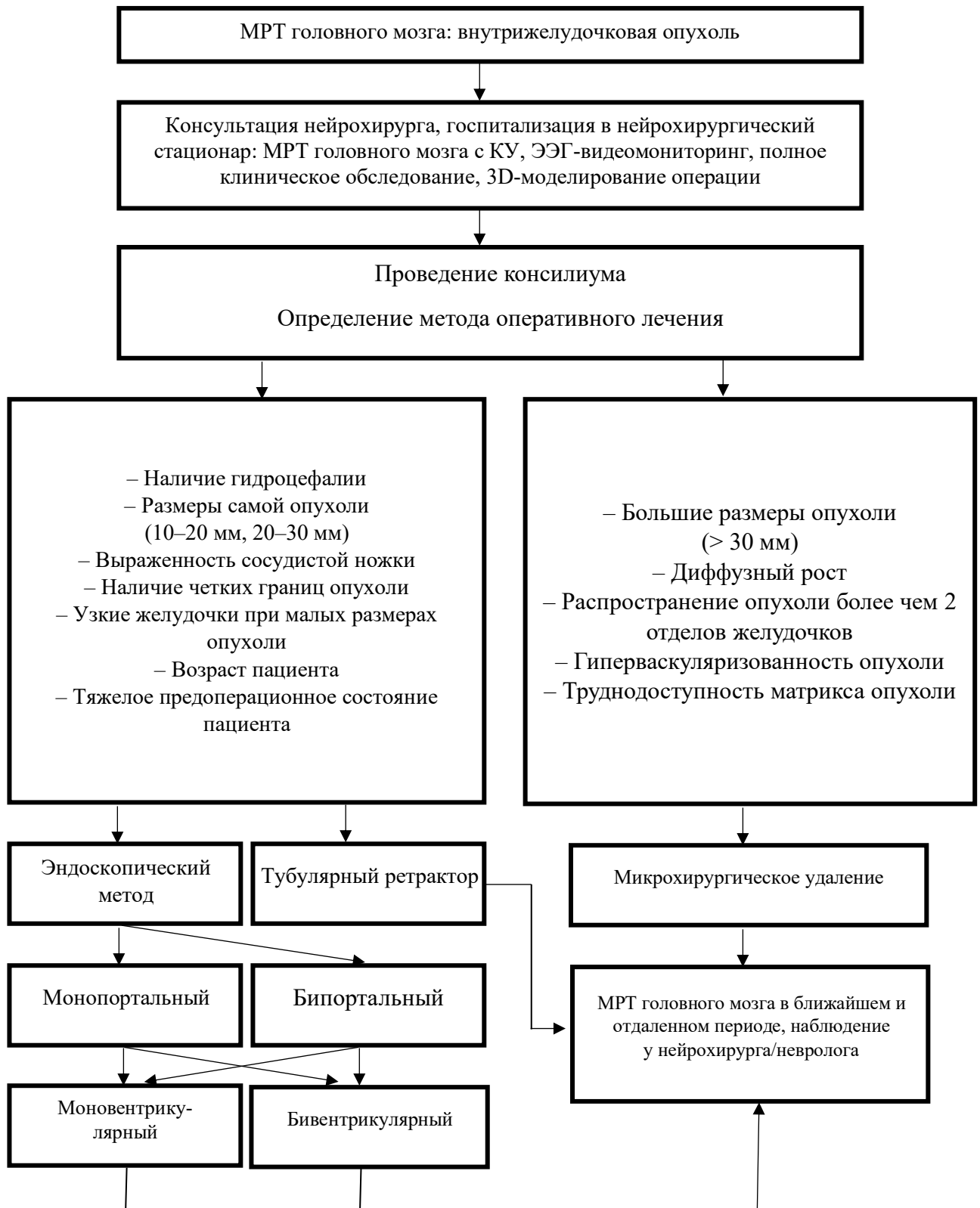


Рисунок 42 – алгоритм выбора операционного метода при внутрижелудочковых опухолях III и боковых желудочков

ГЛАВА 4. ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ ЭПИЛЕПСИИ

В створе изучения анатомических основ малоинвазивной хирургии эпилепсии нами были выполнены следующие исследования:

1. Кадаверное анатомическое исследование – изучены препараты 64 полушаний головного мозга с силиконовой сосудистой заливкой, подготовленные к диссекции по методу Клингера (методика описана в главе 2).

2. Интраоперационное анатомическое исследование (анатомия in vivo) – изучены интраоперационные видеоданные 180 пациентов, перенесших эндоскопическое оперативное вмешательство. Осуществлялся прицельный анатомический анализ основных внутрижелудочковых ориентиров и сосудистой сети.

3. Цифровое анатомическое исследование с использованием MPT.

4. Цифровое анатомическое исследование с использованием FreeSurfer (методика описана в главе 2).

5. Экспериментальное исследование на крысах (методика и техническое оснащение эксперимента описаны в главе 2).

6. Клиническое исследование, в ходе которого анализировалась методика навигации и операции, и изучались результаты малоинвазивных операций у пациентов с ФРЭ.

4.1. Анатомические исследования венозного угла и амигдалогиппокампального комплекса

4.1.1. Изучение анатомии венозного угла на кадаверном материале

По характеру притоков были выявлены 3 типа венозного угла:

Магистральный тип – венозный угол образован передней септальной веной и таламостриарной веной с последующим впадением во внутреннюю мозговую вену. Венозный угол имеет форму латинской буквы Y и расположен у заднего края

отверстия Монро. Такой вариант венозного угла обнаружен в 41 полушариях (64,1%), когда в формировании венозного угла принимали участие вышеперечисленные вены в виде отдельных магистралей без дополнительных притоков. Таламостриарная вена (*vena thalamostriata*) идентифицирована в каждом из сорока одного исследованного полушария. Среди магистральных притоков внутренней вены мозга (*vena cerebri interna*) данный сосуд характеризовался наибольшим калибром. Она располагалась в стриоталамической борозде между хвостатым ядром и таламусом и под терминальной полоской в теле бокового желудочка.

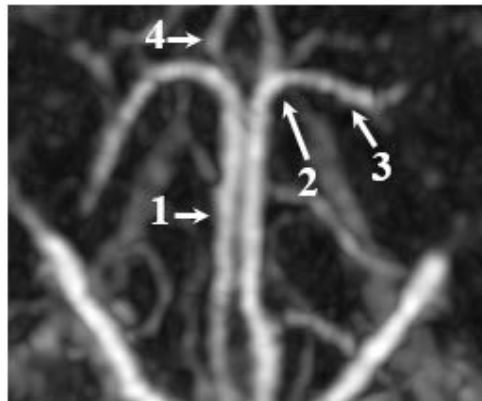


Рисунок 43 – МР-венография головного мозга в аксиальной проекции, режим TOF (time of flight). Основные анатомические ориентиры венозного угла. Обозначения: 1 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 2 – венозный угол (*angulus venosus*); 3 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 4 – передняя перегородочная вена (*v. anterior septi pellucidi*)

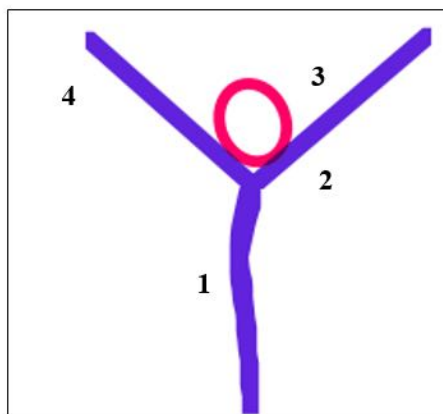


Рисунок 44 – Схематическое изображение венозного угла, магистральный тип. Обозначения: 1 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 2 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 3 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 4 – передняя перегородочная вена (*v. anterior septi pellucidi*)

Таламостриарная вена изгибалась медиально вокруг переднего бугра таламуса, где она переходила во внутреннюю вену мозга у заднего края отверстия Монро. Диаметр таламостриарной вены 1,92 мм (в среднем 1–2,3 мм). Передняя перегородочная вена проходила медиально от лобного рога, изгибалась кзади вдоль прозрачной перегородки и столбы свода, а затем проходила над отверстием Монро и впадала во внутреннюю вену мозга. Диаметр передней септальной вены был 1,02 мм (в среднем 0,8–1,5 мм). (Рисунок 43–45).

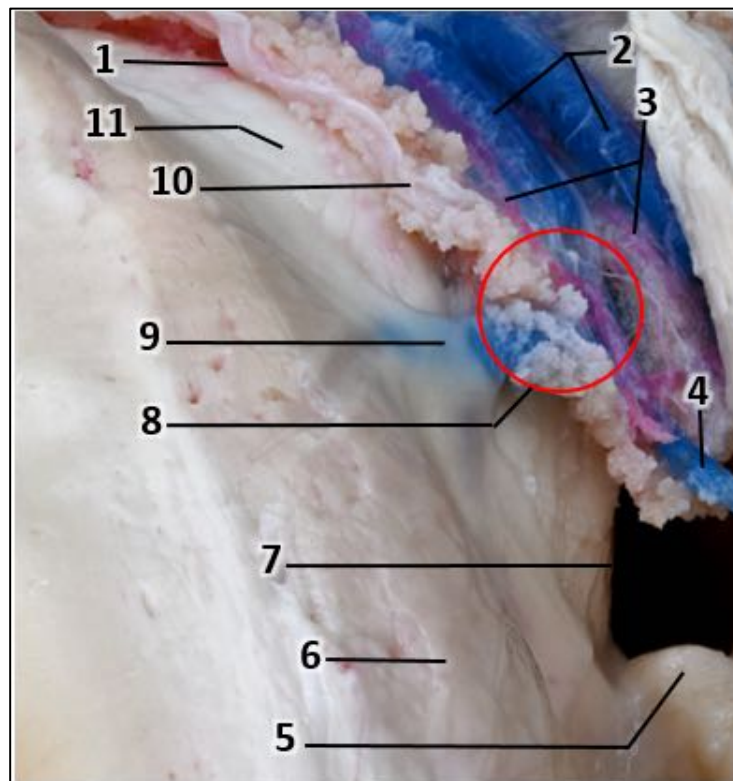


Рисунок 45 – Макроскопическая анатомия венозного угла, магистральный тип. Кадаверный препарат головного мозга, артерии и вены инъецированы цветным силиконом. Обозначения: 1 – сосудистая щель (*fissura choroidea*); 2 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 3 – задняя медиальная ворсинчатая артерия (*a. choroidea posterior medialis*); 4 – передняя септальная вена (*v. anterior septi pellucidi*); 5 – столб свода (*columna fornicis*); 6 – головка хвостатого ядра (*caput nuclei caudati*); 7 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 8 – венозный угол (*angulus venosus*); 9 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 10 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*); 11 – таламус (*thalamus*)

Смешанный тип – в образовании венозного угла участвуют сосуды магистрального типа и вены с мелкими притоками. Смешанный тип венозного угла был обнаружен в 17 полушариях (26,6%). Диаметр магистральной передней

септальной вены был 1,01 мм – (в среднем 0,7–1,3 мм), а диаметр притоков на превышал 0,6 мм. Диаметр магистральной таламостриарной вены 1,89 мм – (в среднем 1,2–2,1 мм), а диаметр притоков не превышал 0,8 мм (Рисунок 46, 47).

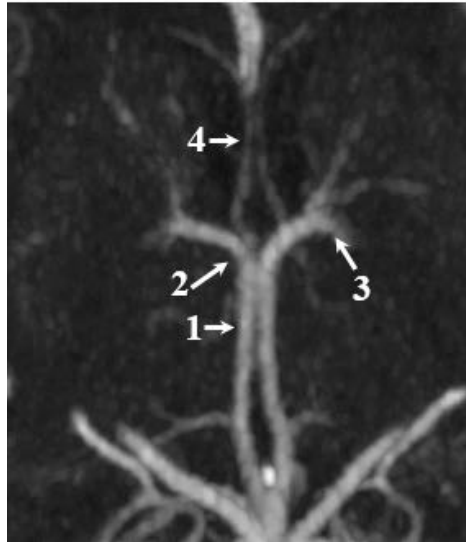


Рисунок 46 – МР-венография головного мозга в аксиальной проекции, режим TOF (time of flight); основные анатомические ориентиры венозного угла: 1 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 2 – венозный угол (*angulus venosus*); 3 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 4 – передняя вена перегородки (*v. anterior septi pellucidi*)

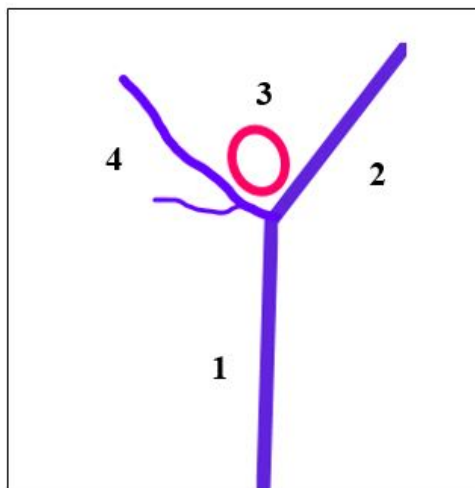


Рисунок 47 – Схематическое изображение венозного угла, смешанный тип. Обозначения: 1 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 2 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 3 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 4 – передняя перегородочная вена (*v. anterior septi pellucidi*)

Рассыпной тип выявлен в 6 полушариях, что составило 9,3% наблюдений. Данный вариант характеризуется формированием венозного угла из сосудов различного калибра с множественными притоками. В состав угла при рассыпном

типе входят таламостриарная вена (*vena thalamostriata*), передняя септальная вена (*vena septalis anterior*), вена сосудистого сплетения (*vena plexus choroidei*) и дополнительные притоки.



Рисунок 48 – МР-венография головного мозга в аксиальной проекции, режим TOF (time of flight); основные анатомические ориентиры венозного угла: 1 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 2 – венозный угол (*angulus venosus*); 3 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 4 – передняя перегородочная вена (*v. anterior septi pellucidi*)

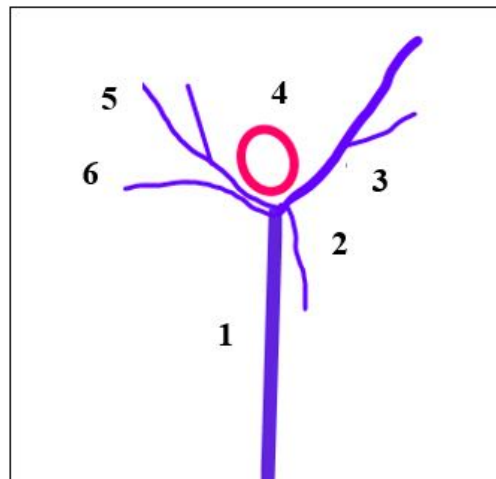


Рисунок 49 – Схематическое изображение венозного угла, рассыпной тип: 1 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 2 – вена сосудистого сплетения (*v. choroidea*); 3 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 4 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 5 – передняя перегородочная вена (*v. anterior septi pellucidi*); 6 – перегородочная вена (*v. septi pellucidi*)

Диаметр передней септальной вены был 0,5 мм (в среднем 0,4–0,9 мм). Диаметр таламостриарной вены – 0,9 мм (в среднем 0,7–1,3 мм), а диаметр вены сосудистого сплетения не превышал 0,4 мм (Рисунок 48–50).

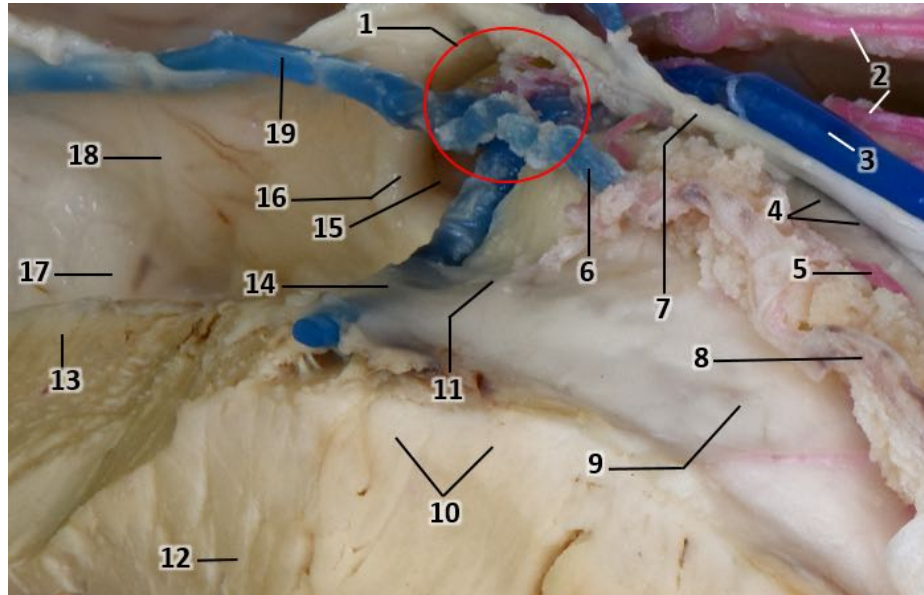


Рисунок 50 – Макроскопическая анатомия венозного угла, рассыпной тип; кадаверный препарат головного мозга, артерии и вены инъецированы цветным силиконом; 1 – венозный угол (angulus venosus); 2 – задняя медиальная ворсинчатая артерия (a. choroidea posterior medialis); 3 – внутренняя вена мозга (v. cerebri interna); 4 – сосудистая щель (fissura choroidea); 5 – задняя латеральная ворсинчатая артерия (a. choroidea posterior lateralis); 6 – верхняя ворсинчатая вена (v. choroidea superior); 7 – тело свода (corpus fornicis); 8 – сосудистое сплетение (plexus choroideus); 9 – таламус (thalamus); 10 – внутренняя капсула (capsula interna); 11 – переднее ядро таламуса (nucleus anterior thalami); 12 – бледный шар (globus pallidus); 13 – головка хвостатого ядра (caput nuclei caudati); 14 – таламостриарная вена (v. thalamostriata); 15 – межжелудочковое отверстие (foramen interventriculare); 16 – столб свода (columna fornicis); 17 – передний рог бокового желудочка (cornu anterius ventriculi lateralis); 18 – прозрачная перегородка (septum pellucidum); 19 – передняя септальная вена (v. anterior septi pellucidi)

4.1.2. Изучение анатомии венозного угла по данным магнитно-резонансной томографии

С появлением усовершенствованных методов церебральной ангиографии, МРТ и МР-венографии изменения в субэпендимальных венах бокового желудочка и их взаимосвязь с отверстием Монро могут быть определены до операции. Такая информация играет важную роль в планировании эффективного и точного

хирургического вмешательства, особенно стереотаксической хирургии при лечении ФРЭ.

Для визуализации глубоких вен головного мозга, а именно структур венозного угла сначала мы объединили последовательности МРТ T1, T2 и SWI, а затем выполнили автоматическую сегментацию анатомического атласа. Во-вторых, из анатомического атласа мы выбрали только 3D-реконструкцию венозной системы. Этот подход позволил получить информацию о трехмерном расположении венозного угла у конкретного пациента. Сегментация анатомического атласа – это повторяемый математический алгоритм, поэтому данные о каждом пациенте обрабатываются одинаково.

Нами было изучено 95 МРТ-снимков головного мозга. Как упоминалось выше, для каждого снимка мы выполняли 3D-реконструкцию венозного угла с использованием программного обеспечения BrainLab. Затем 3D-модели (реконструкции, основанные на автоматической сегментации вены головного мозга в атласе BrainLab) были объединены с последовательностью SWI. На следующем этапе мы измерили расстояние между центром отверстия Монро и венозного угла. Впоследствии мы также исследовали вариабельность структур венозного угла, чтобы сопоставлять наиболее распространенными анатомическими и интраоперационными находками. На основе радиологического анализа, подтвержденного исследованиями образцов головного мозга человека, нами было верифицировано 3 разновидности венозного угла с разными вариантами расположения. Предлагаемая классификация включает в себя элементы из имеющихся в литературе, но она конкретизирует их, включая описанные ранее многочисленных разновидностей подтипов венозного угла в 3 большие группы.

Как было отмечено выше, варианты расположения венозного угла имеют огромное значение при стереотаксической 2-сторонней радиочастотной деструкции передних ядер таламуса у пациентов с ФРЭ, так как интраоперационное повреждение структур венозного угла может вызвать фатальное кровотечение. Ранее описанный U. Türe и соавт. (1997) «ложный венозный угол», на наш взгляд, терминологически является некорректным,

поскольку слияние передней септальной вены, таламостриарной вены и внутренней вены мозга присутствует и образуется венозный угол. На основании этого были выделены 3 варианта расположения венозного угла по отношению к ядрам таламуса:

Передний вариант расположения – самый благоприятный, когда венозный угол образован за отверстием Монро и кпереди от ядер таламуса. Такое расположение венозного угла мы наблюдали у 38 (59%) полушарий, у 12 (18,7%) на двусторонней основе и у 26 (40,3%) в одностороннем порядке (Рисунок 51, 52).

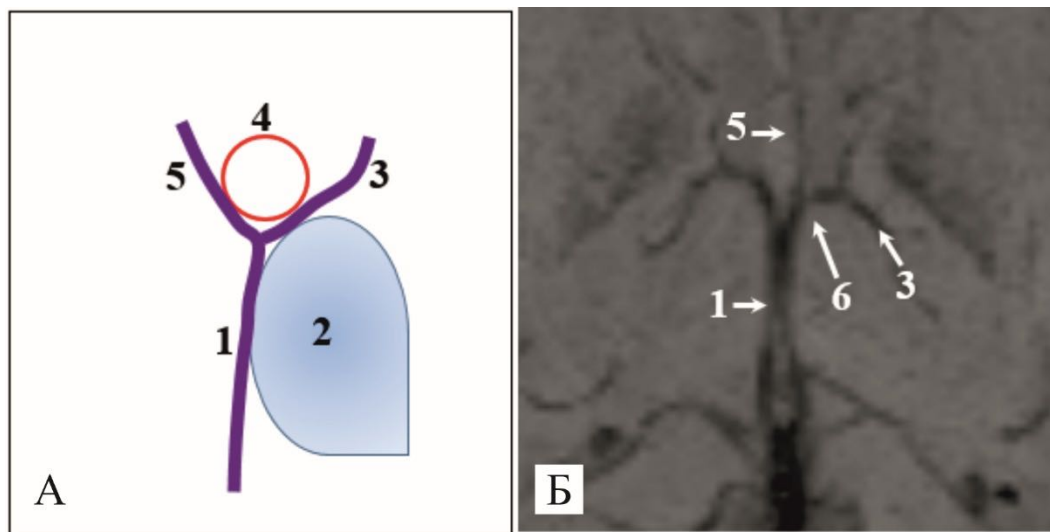


Рисунок 51 – Передний вариант расположения венозного угла относительно передних ядер таламуса: А – схематическое изображение венозного угла; Б – МР-венография головного мозга в аксиальной проекции, режим TOF (time of flight); 1 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 2 – таламус (*thalamus*); 3 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 4 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 5 – передняя перегородочная вена (*v. anterior septi pellucidi*); 6 – венозный угол (*angulus venosus*)

Промежуточный вариант расположения – самый опасный в виду высокого риска повреждения во время проведения стереотаксической деструкции передних ядер таламуса. Промежуточный вариант венозного угла обнаружен у 9 (14%) полушарий, у 6 (9%) двусторонне и у 3 (5%) в одностороннем порядке (Рисунок 53, 54).

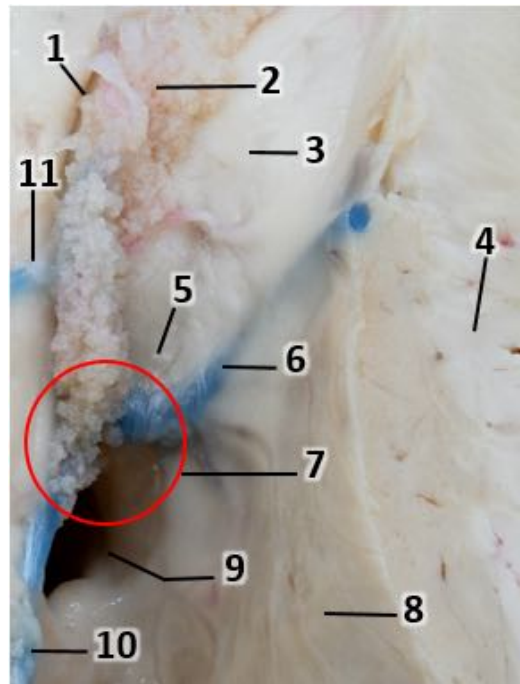


Рисунок 52 – Макроскопическая анатомия венозного угла, передний вариант расположения; кадаверный препарат головного мозга, артерии и вены инъецированы цветным силиконом: 1 – сосудистая щель (fissura choroidea); 2 – сосудистое сплетение (plexus choroideus); 3 – таламус (thalamus); 4 – внутренняя капсула (capsula interna); 5 – переднее ядро таламуса (nucleus anterior thalami); 6 – таламостриарная вена (v. thalamostriata); 7 – венозный угол (angulus venosus); 8 – головка хвостатого ядра (caput nuclei caudati); 9 – межжелудочковое отверстие (foramen interventriculare); 10 – передняя септальная вена (v. anterior septi pellucidi); 11 – задняя септальная вена (v. posterior septi pellucidi)

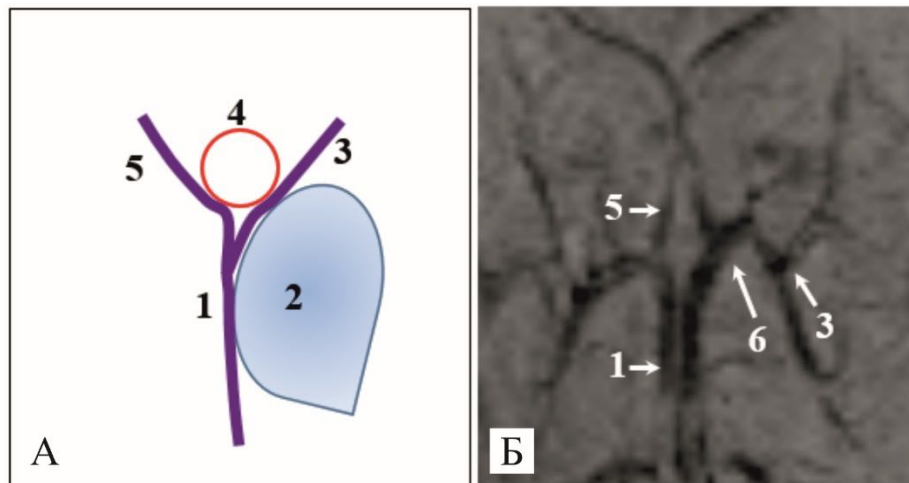


Рисунок 53 – Промежуточный вариант расположения венозного угла относительно передних ядер таламуса: А – схематическое изображение венозного угла; Б – МР-венография головного мозга в аксиальной проекции, режим TOF (time of flight); 1 – внутренняя вена мозга (v. cerebri interna); 2 – таламус (thalamus); 3 – таламостриарная вена (v. thalamostriata); 4 – межжелудочковое отверстие (foramen interventriculare); 5 – передняя перегородочная вена (v. anterior septi pellucidi); 6 – венозный угол (angulus venosus)

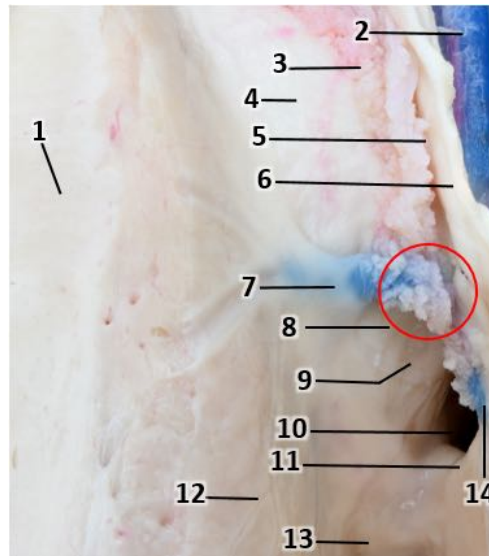


Рисунок 54 – Макроскопическая анатомия венозного угла, промежуточный вариант расположения; кадаверный препарат головного мозга, артерии и вены инъецированы цветным силиконом: 1 – внутренняя капсула (*capsula interna*); 2 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 3 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*); 4 – таламус (*thalamus*); 5 – сосудистая щель (*fissura choroidea*); 6 – тело свода (*corpus fornicis*); 7 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 8 – венозный угол (*angulus venosus*); 9 – переднее ядро таламуса (*nucleus anterior thalami*); 10 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 11 – столб свода (*columna fornicis*); 12 – головка хвостатого ядра (*caput nuclei caudati*); 13 – передний рог бокового желудочка (*cornu anterius ventriculi lateralis*); 14 – передняя септальная вена (*v. anterior septi pellucidi*)

Задний вариант расположения менее благоприятный, когда остаётся риск повреждения, но он ниже, чем при промежуточном варианте. Предложенный нами данный вариант венозного угла подразумевает расположение последнего на значительном расстоянии от отверстия Монро и передних ядер таламуса. Данный вариант в значительной мере соответствует типу ПВ по классификации U. Türe и соавт., а также подтипу V по К. Zaczkowski. Указанные типы характеризуются впадением передней септальной вены в основной ствол внутренней вены мозга либо в таламостриарную вену на значительном удалении от межжелудочкового отверстия.

Таким образом, задний вариант венозного угла обнаружен у 17 (27%) полушарий, у 15 (23,4%) – двусторонне и у 2 (3,6%) – в одностороннем порядке (Рисунок 55, 56, Таблица 16).

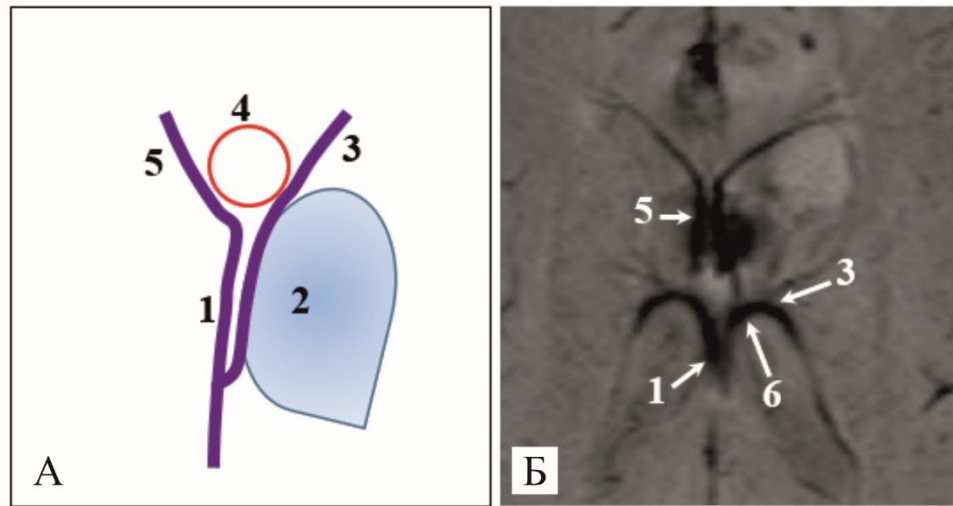


Рисунок 55 – Задний вариант расположения венозного угла относительно передних ядер таламуса: А – схематическое изображение венозного угла; Б – МР-венография головного мозга в аксиальной проекции, режим TOF (time of flight); 1 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 2 – таламус (*thalamus*); 3 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 4 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 5 – передняя перегородочная вена (*v. anterior septi pellucidi*); 6 – венозный угол (*angulus venosus*)

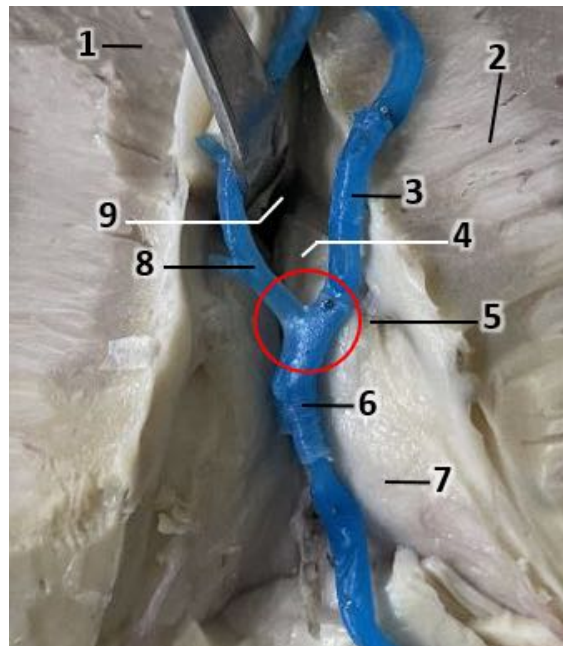


Рисунок 56 – Макроскопическая анатомия венозного угла, задний вариант расположения; кадаверный препарат головного мозга, артерии и вены инъецированы цветным силиконом: 1 – головка хвостатого ядра (*caput nuclei caudati*); 2 – внутренняя капсула (*capsula interna*); 3 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 4 – переднее ядро таламуса (*nucleus anterior thalami*); 5 – венозный угол (*angulus venosus*); 6 – внутренняя вена мозга (*v. cerebri interna*); 7 – таламус (*thalamus*); 8 – передняя септальная вена (*v. anterior septi pellucidi*); 9 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*)

Таблица 16 – Анатомические типы строения и варианты расположения венозного угла

| Тип венозного угла | Кол-во полушарий (%) | Вариант расположения венозного угла | | |
|--------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------|---------|
| | | Передний | Промежуточный | Задний |
| Магистральный | 41 (64,1%) | 7 16 | 5 1 | 12 1 |
| Билатеральный | 28 (43,8%) | | | |
| Унилатеральный | 13 (20,3%) | | | |
| Смешанный | 17 (26,6%) | 4 7 | 2 | 3 |
| Билатеральный | 8 (12,5%) | | | |
| Унилатеральный | 9 (14,1%) | 1 3 | 1 | 1 |
| Рассыпной | 6 (9,3%) | | | |
| Билатеральный | 2 (3,2%) | | | |
| Унилатеральный | 4 (6,1%) | 38 | 9 | 17 |
| Итого | 64 (100%) | | | |

Венозный дренаж таламуса осуществляется двумя системами коллекторов. Верхние и медиальные отделы отводят кровь во внутренние мозговые вены и магистральные венозные стволы. Нижние и латеральные отделы дренируются в бассейн базальных вен либо их притоков. По топографии вены таламуса подразделяются на глубокие и поверхностные. Глубокие вены обеспечивают отток от ядерных структур и формируют 4 группы: переднюю, верхнюю, нижнюю и заднюю. Поверхностные вены представлены субэпендимальными сосудами, следующими по вентрикулярной поверхности зрительных бугров.

Передняя таламическая вена (*v. thalamica anterior*) относится к коротким венозным сосудам, обеспечивающим дренаж передних отделов таламуса. Формирование вены происходит в глубине передне-верхней части зрительного бугра. Сосуд следует кпереди и медиально, выходя на поверхность таламуса у задневерхнего края межжелудочкового отверстия (*foramen interventriculare*). В отличие от субэпендимальных вен, передняя таламическая вена проходит в передней части промежуточного паруса (*velum interpositum*). Впадение осуществляется в один из прилежащих венозных коллекторов: внутреннюю мозговую вену (*v. cerebri interna*), переднюю перегородочную вену (*v. anterior septi*

pellucidi), таламостриарную вену (*v. thalamostriata*), переднюю хвостатую вену (*v. caudati anterior*) либо иные мелкие вены данной области.

Верхняя таламическая вена (*v. thalamica superior*) представляет собой наиболее крупный венозный коллектор таламуса. Сосуд формируется при слиянии мелких вен в центральной верхней части зрительного бугра, направляется медиально и кзади через промежуточный парус (*velum interpositum*) и впадает во внутреннюю мозговую вену (*v. cerebri interna*).

Нижние таламические вены (*vv. thalamicae inferiores*) отличаются малым калибром. Начало они берут в передненижних отделах таламуса, пересекают заднее продырявленное вещество (*substantia perforata posterior*) и впадают в заднюю соединительную вену либо ножковую вену (*v. peduncularis*). По своему ходу данные сосуды сопровождают таламоперфорирующие артерии (*aa. thalamoperforantes*).

Задние таламические вены (*vv. thalamicae posteriores*) обеспечивают отток крови от задних, нижних и латеральных отделов таламуса. Впадение происходит в заднюю часть базальной вены (*v. basalis*) либо в вены, располагающиеся на заднебоковой поверхности среднего мозга.

Поверхностные таламические вены (*vv. thalamicae superficiales*) занимают субэпендимальное положение вдоль желудочковой поверхности зрительных бугров. Дренирование осуществляется в центральные вены желудочка, в сосуды промежуточного паруса (*velum interpositum*) или базальных цистерн. Данная группа включает несколько подгрупп.

Формирование передних поверхностных таламических вен происходит на передневерхней поверхности таламуса (*thalamus*), в непосредственной близости от переднего таламического бугорка (*tuberculum anterius thalami*). Сосуды направляются вдоль дна тела желудочка к межжелудочковому отверстию (*foramen interventriculare*). Терминальными коллекторами для данных вен служат таламостриарная вена (*vena thalamostriata*), передняя хвостатая вена (*vena caudati anterior*), передняя септальная вена (*vena septalis anterior*), передняя таламическая вена (*vena thalamica anterior*) либо внутренняя мозговая вена (*vena cerebri interna*).

Верхние поверхностные таламические вены осуществляют дренирование таламической поверхности в нижней части тела желудочка. Ход сосудов ориентирован непосредственно в сосудистую щель (*fissura choroidea*). Венозный отток направляется во внутренние мозговые вены (*venae cerebri internae*), таламостриарные вены (*venae thalamostriatae*) и таламохвостатые вены (*venae thalamocaudatae*).

Задне-верхние поверхностные таламические вены располагаются на задневерхней поверхности таламуса и также направляются в сосудистую щель. Впадение осуществляется в медиальные или латеральные атриальные вены (*vv. atriales mediales et laterales*) в пределах желудочковой полости либо в задние продольные вены гиппокампа (*vv. hippocampi longitudinales posteriores*) в охватывающей цистерне (*cisterna ambiens*).

4.1.3. Изучение анатомии венозного угла и глубоких вен в области отверстия Монро и передних ядер таламуса посредством эндоскопической анатомии *in vivo*

Интраоперационная эндоскопическая визуализация выполнялась ригидными эндоскопами с оптикой 0° и 30° (Karl Storz, Германия). Вентрикуломегалия создаёт оптимальные условия для осмотра желудочковых структур; вместе с тем современные системы нейронавигации обеспечивают возможность эндоскопических вмешательств и при узких желудочках.

Для переднего доступа использовалась точка Кохера, преимущественно справа. Топографические координаты данной точки: 2 см кпереди от коронарного шва, 2 см латеральнее срединной линии, что приблизительно соответствует среднезрачковой линии.

Поперечное сечение переднего рога (*cornu anterius*) имеет треугольную конфигурацию. Кпереди от межжелудочкового отверстия (*foramen interventriculare*) границы переднего рога образованы следующими структурами: прозрачная перегородка (*septum pellucidum*) формирует медиальную стенку;

колени мозолистого тела (*genu corporis callosi*) – переднюю стенку и крышу; головка хвостатого ядра (*caput nuclei caudati*) – латеральную стенку; клюв мозолистого тела (*rostrum corporis callosi*) – дно. Столбы свода (*columnae fornicis*) локализуются в задненижней части медиальной стенки, проходя кпереди от межжелудочкового отверстия.

После проникновения в боковой желудочек (*ventriculus lateralis*) мы визуализировали стенки переднего рога, центральную часть (*pars centralis*), атриум (*atrium*) ипсилатерального бокового желудочка, а также вход в III желудочек через межжелудочковое отверстие. Неизменённая эпендима характеризовалась белым цветом, гладкой поверхностью, отчётливым сосудистым рисунком и типичным эпендимальным рефлексом.

Вентрикулоскопическая картина переднего рога демонстрировала следующие особенности. Латерально отчётливо определялся рельеф головки хвостатого ядра. Медиальная стенка была представлена прозрачной перегородкой с радиально ориентированными сосудами. В верхних отделах располагалось мозолистое тело (*corpus callosum*); на его поверхности визуализировались характерные множественные мелкие поперечные борозды.

Интраоперационная анатомия структур боковых желудочков – переднего, затылочного и височного рогов, межжелудочкового отверстия, сосудистого сплетения и венозного угла – существенно отличалась от данных кадаверных исследований и цифровой реконструкции. Ниже представлены интраоперационные изображения с различными вариантами венозного угла. При магистральном варианте венозный угол (*angulus venosus*) формируется в результате слияния 2 сосудов: передней вены прозрачной перегородки (*vena anterior septi pellucidi*) и таламостриарной вены (*vena thalamostriata*). Отток из образовавшегося угла осуществляется во внутреннюю вену мозга (*vena cerebri interna*). Конфигурация венозного угла соответствует латинской букве Y. Локализация на уровне каудального края межжелудочкового отверстия (*foramen interventriculare*) определяет передний (ростральный) вариант топографии (Рисунок 57).

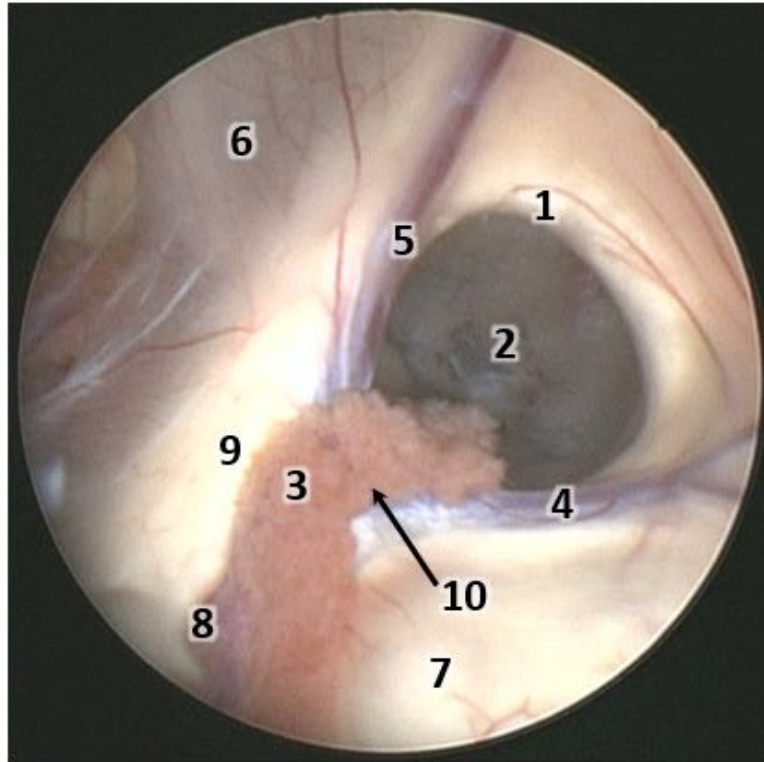


Рисунок 57 – Эндоскопическая визуализация переднего рога правого бокового желудочка. Магистральный тип венозного угла, передний (ростральный) вариант топографии. Интраоперационное фото. Ригидный нейроэндоскоп, 0°. 1 – столб свода (*columna fornicis*); 2 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 3 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*); 4 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 5 – передняя вена перегородки (*v. anterior septi pellucidi*); 6 – прозрачная перегородка (*septum pellucidum*); 7 – таламус (*thalamus*); 8 – верхняя вена сосудистого сплетения (*v. choroidea superior*); 9 – тело свода (*corpus fornicis*); 10 – венозный угол (*angulus venosus*)

Смешанный тип строения венозного угла тоже является частой интраоперационной находкой, в образовании которого участвуют сосуды магистрального типа и вены с мелкими притоками. В нижеуказанных интраоперационных иллюстрациях представлены смешанный тип венозного угла с промежуточным вариантом расположения по отношению к передним ядрам таламуса (Рисунок 58). Рассыпной вариант – венозный угол (*angulus venosus*) образуется совокупностью венозных сосудов различного диаметра с многочисленными коллатералиями. Верхняя вена сосудистого сплетения (*v. choroidea superior*) визуализировалась в части наблюдений. Сосуд проходит через сосудистое сплетение бокового желудочка (*plexus choroideus ventriculi lateralis*). Венозный отток осуществляется в таламостриарную вену (*v. thalamostriata*) либо

непосредственно во внутреннюю вену мозга (*v. cerebri interna*); место впадения располагается в непосредственной близости от межжелудочкового отверстия (*foramen interventriculare*). Интраоперационный анализ также выявил рассыпной тип венозного угла с задней (каудальной) локализацией, который характеризуется как менее благоприятная анатомическая конфигурация при выполнении малоинвазивной эндоскопической стереотаксической таламотомии (Рисунок 58).

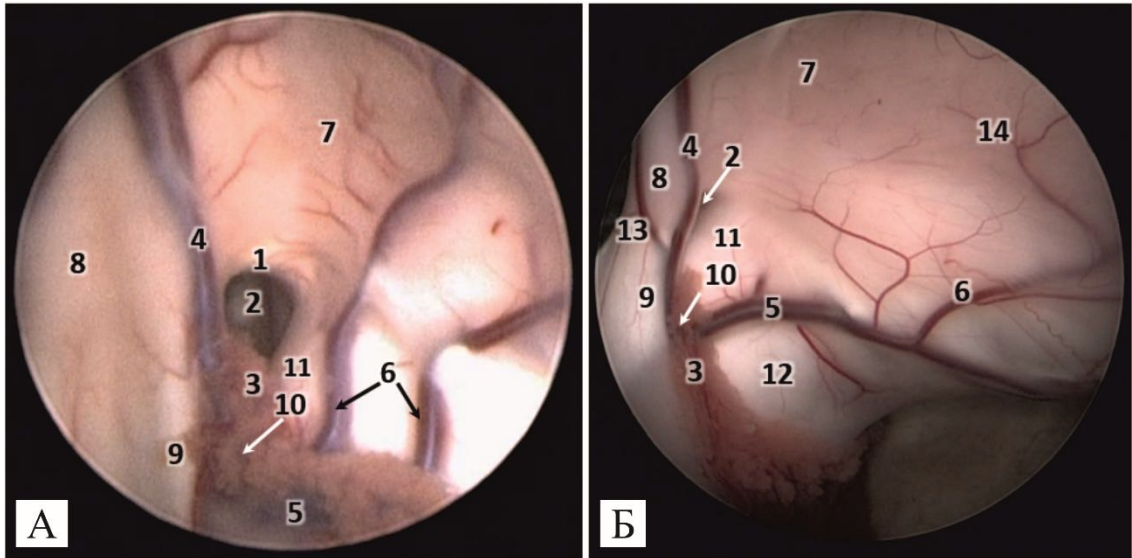


Рисунок 58 – Эндоскопическая визуализация переднего рога бокового желудочка. Смешанный тип венозного угла, промежуточный вариант топографии. Интраоперационное фото. Ригидный нейроэндоскоп, 0°. 1 – столб свода (*columna fornicis*); 2 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 3 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*); 4 – передняя вена перегородки (*v. anterior septi pellucidi*); 5 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 6 – дополнительные притоки таламостриарной вены; 7 – передний рог бокового желудочка (*cornu anterius ventriculi lateralis*); 8 – прозрачная перегородка (*septum pellucidum*); 9 – тело свода (*corpus fornicis*); 10 – венозный угол (*angulus venosus*); 11 – переднее ядро таламуса (*nucleus anterior thalami*); 12 – таламус (*thalamus*); 13 – дополнительные притоки передней вены перегородки

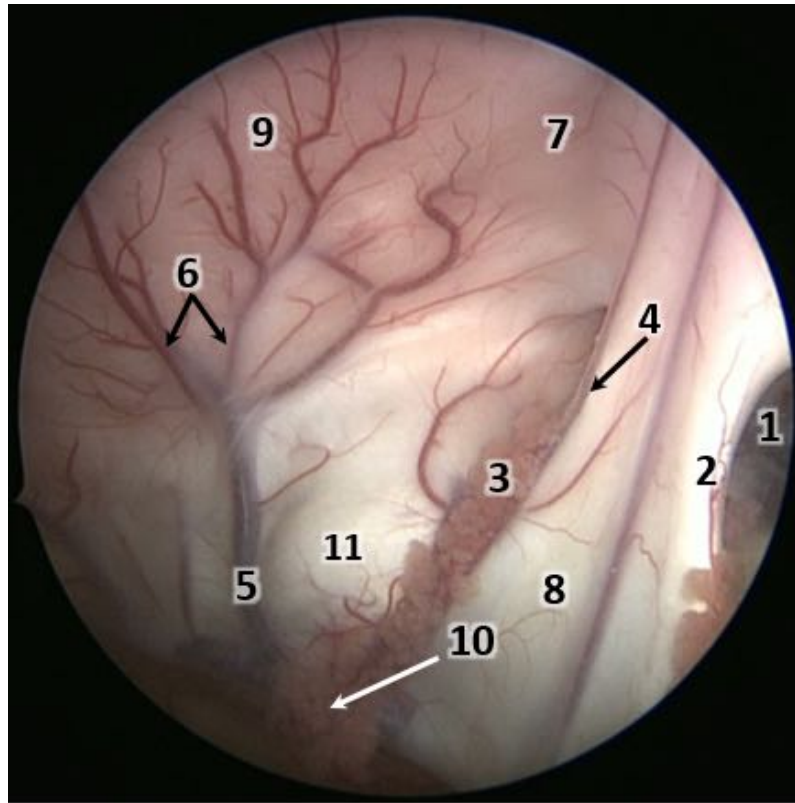


Рисунок 59 – Эндоскопическая визуализация центральной части бокового желудочка. Смешанный тип венозного угла, промежуточный вариант топографии. Интраоперационное фото. Ригидный нейроэндоскоп, 0°. 1 – межжелудочковое отверстие (foramen interventriculare); 2 – тело свода (corpus fornicis); 3 – сосудистое сплетение (plexus choroideus); 4 – передняя вена перегородки (v. anterior septi pellucidi); 5 – таламостриарная вена (v. thalamostriata); 6 – дополнительные притоки таламостриарной вены; 7 – передний рог бокового желудочка (cornu anterius ventriculi lateralis); 8 – прозрачная перегородка (septum pellucidum); 9 – головка хвостатого ядра (caput nuclei caudati); 10 – венозный угол (angulus venosus); 11 – переднее ядро таламуса (nucleus anterior thalami)

4.1.4. Оценка структуры амигдалогиппокампального комплекса по данным кадаверного материала

Гиппокамп – это структура височной доли головного мозга, является частью лимбической доли мозга (lobus limbicus). Терминологические дискуссии усложнили его анатомическое определение, но в настоящее время принято считать, что гиппокамп состоит из 2 пластинок коры головного мозга: зубчатой извилины и аммонового рога, одна из которых завернута внутрь другой, образуя выпуклость в височном роге бокового желудочка. Гиппокамп в основном участвует в обработке памяти, обучении и эмоциях. Знание его анатомической организации и

васкуляризации важно для понимания его дисфункций и того, как они проявляются на МРТ. В этой главе представлен глобальный подход к морфологии этой структуры и основные принципы ее васкуляризации.

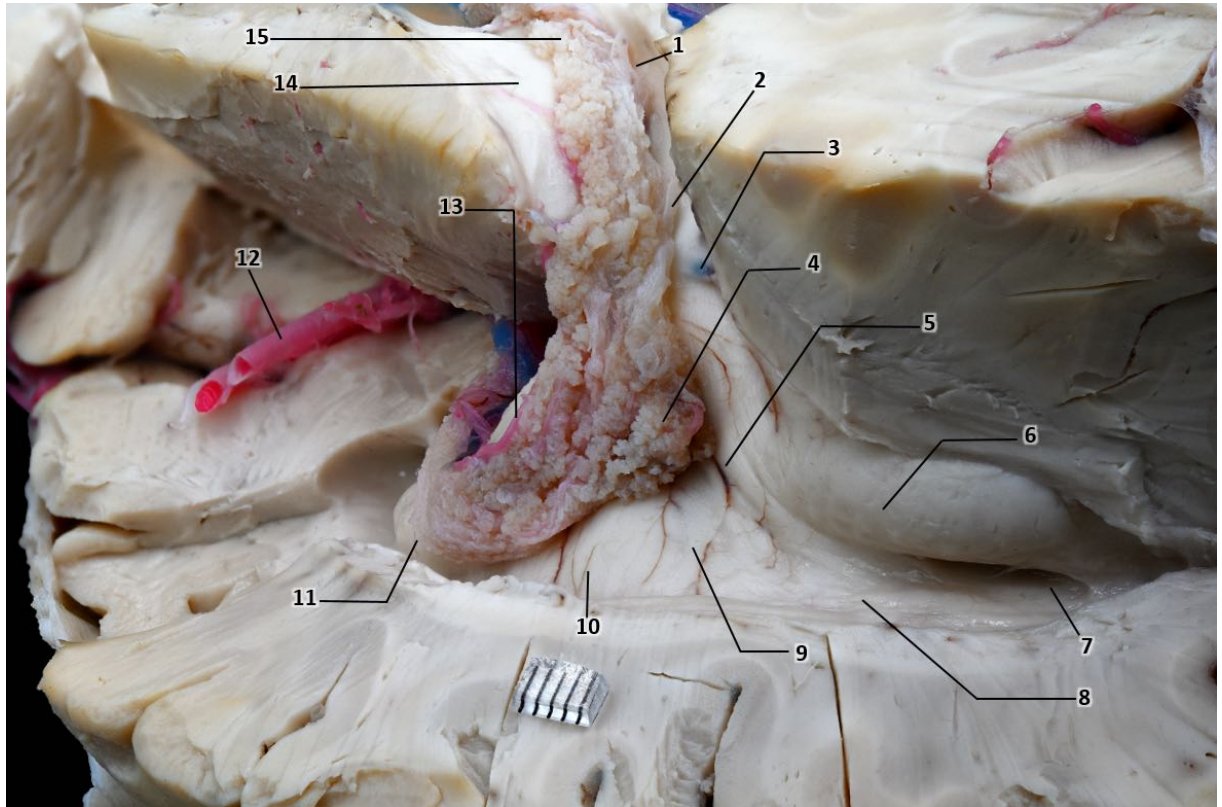


Рисунок 60 – Макроскопическая анатомия затылочного и височного рогов бокового желудочка. Кадаверный препарат головного мозга, артерии и вены инъецированы цветным силиконом. Вид сбоку и сзади. 1 – сосудистая щель (*fissura choroidea*); 2 – брыжейка сосудистого сплетения (*tela choroidea*); 3 – медиальная атриальная вена (*v. atrialis medialis*); 4 – клубок сосудистого сплетения (*glomus plexus choroidei*); 5 – атриум (*atrium ventriculi lateralis*); 6 – птичья шпора (*calcar avis*); 7 – затылочный рог (*cornu posterius*); 8 – коллатеральное возвышение (*eminentia collateralis*); 9 – коллатеральный треугольник (*trigonum collaterale*); 10 – височный рог (*cornu inferius*); 11 – гиппокамп (*hippocampus*); 12 – средняя мозговая артерия (*a. cerebri media*); 13 – задняя латеральная ворсинчатая артерия (*a. choroidea posterior lateralis*); 14 – таламус (*thalamus*); 15 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*)

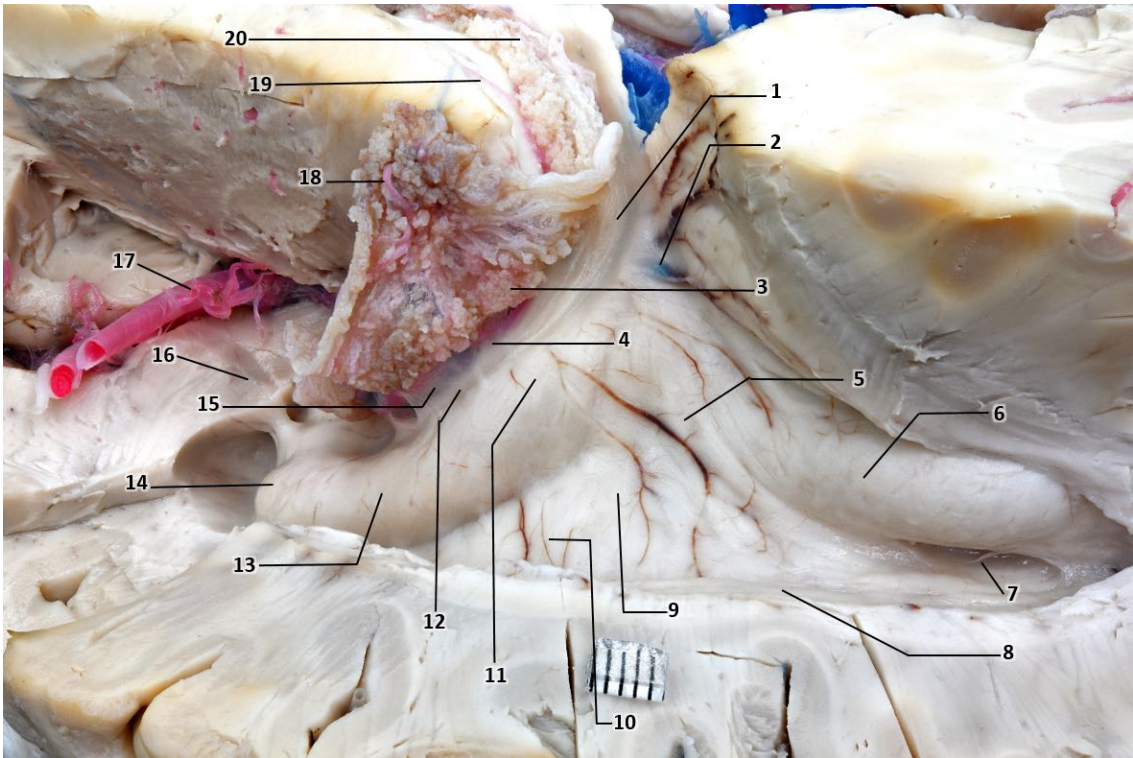


Рисунок 61 – Макроскопическая анатомия затылочного и височного рогов бокового желудочка. Кадаверный препарат головного мозга, артерии и вены инъецированы цветным силиконом. Вид сбоку. 1 – ножка свода (*crus fornicis*); 2 – медиальная атриальная вена (*v. atrialis medialis*); 3 – клубок сосудистого сплетения (*glomus plexus choroidei*); 4 – сосудистая щель (*fissura choroidea*); 5 – атриум (*atrium ventriculi lateralis*); 6 – птичья шпора (*calcar avis*); 7 – затылочный рог (*cornu posterius*); 8 – коллатеральное возвышение (*eminentia collateralis*); 9 – коллатеральный треугольник (*trigonum collaterale*); 10 – височный рог (*cornu inferius*); 11 – хвост гиппокампа (*cauda hippocampi*); 12 – бахромка гиппокампа (*fimbria hippocampi*); 13 – тело гиппокампа (*corpus hippocampi*); 14 – головка гиппокампа (*caput hippocampi*); 15 – брыжейка сосудистого сплетения (*tela choroidea*); 16 – миндалевидное тело (*corpus amygdaloideum*); 17 – средняя мозговая артерия (*a. cerebri media*); 18 – задняя латеральная ворсинчатая артерия (*a. choroidea posterior lateralis*); 19 – таламус (*thalamus*); 20 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*)

Гиппокамп имеет дугообразную форму и ориентирован сагиттально, с расширенным передним и узким задним сегментами. У взрослых людей гиппокамп имеет длину 4–5 см и ширину около 1 см. Он состоит из 3 частей: головки, тела и хвоста, каждая из которых имеет желудочковую часть, расположенную в височном роге бокового желудочка, и вневентрикулярную часть, расположенную на медиальной поверхности височной доли в парагиппокампальной извилине и крючке.

Гиппокамп часто ассоциируется с миндалевидным телом, сложным ядром, с которым он находится в непосредственном контакте и которое участвует в обонянии и лимбических функциях. Однако миндалевидное тело не является частью гиппокампа. Внутрижелудочковая часть гиппокампа покрыта тонким слоем белого вещества, называемого альвеусом, который содержит афферентные и выносящие волокна гиппокампа и образует дно височного рога бокового желудочка.

Зубчатая извилина, вторая пластинка коры головного мозга, получила свое название из-за своей зубчатой формы. Она имеет U-образную форму и входит в сегмент СА4 аммонова рога. Фимбрия, главный эфферентный канал гиппокампа, постепенно отделяется от гиппокампа в виде свода голени. Зубчатая извилина и фимбрия разделены фимбриодентатной бороздой.

Головка гиппокампа представляет собой расширенный передний сегмент гиппокампа. Её желудочковая часть состоит из 3–4 сагиттальных пальцевидных отростков (*digitationes*). Как и весь гиппокамп, её поверхность покрыта субэпендимальными венами. Экстравентрикулярная часть головки гиппокампа соответствует задней части крючка. Она образована вершиной крючка (принадлежащей аммонову рогу), полосой Джакомини (являющейся частью зубчатой извилины) и крючковидной извилиной (которая продолжается в окружающую извилину, переднюю часть крючка).

Тело гиппокампа является элементом дна височного рога бокового желудочка. Также покрытое субэпендимальными венами, оно ограничено медиально бахромкой и латерально коллатеральным возвышением, отмечающим желудочковый выступ коллатеральной борозды. Экстравентрикулярная часть тела гиппокампа отделена от подлежащей ткани гиппокамповой бороздой. Она включает в себя *margo denticulatus*, поверхностную и зубчатую часть зубчатой извилины. *Margo denticulatus* частично покрыт бахромкой, которая поднимается, чтобы присоединиться к ножке свода. Он отделен от бахромки бахромчатой бороздой (Рисунок 62). Хвост гиппокампа является узкой задней частью дуги гиппокампа. Его желудочковая часть образует дно предсердия желудочка. Он

находится в медиальном контакте с бахромкой. Экстравентрикулярная часть хвоста гиппокампа включает зубчатый край (*margo denticulatus*), который постепенно сужается, образуя серую фасциолу (*fasciola cinerea*). Фимбрия постепенно отделяется от хвоста гиппокампа, открывая фасциоларную извилину (*gyrus fasciolaris*).

Артериальная васкуляризация гиппокампа зависит от коллатеральных ветвей задней мозговой артерии и передней хориоидальной артерии. Эти коллатеральные ветви образуют сеть поверхностных гиппокампальных артерий, которые, в свою очередь, ведут к глубоким интрагиппокампальным артериям, расположенным интрапаренхимально.

Поверхностные гиппокампальные артерии формируются из нескольких источников. В перимезэнцефалическом сегменте задняя мозговая артерия (*a. cerebri posterior*) отдаёт нижние височные артерии (переднюю, среднюю и заднюю), а также заднелатеральные ворсинчатые артерии (*aa. choroideae posteriores laterales*). Указанные коллатеральные ветви служат источником поверхностных гиппокампальных артерий. Дополнительное кровоснабжение обеспечивают пластинчатая, нижняя и височная ветви задней мозговой артерии.

Передняя ворсинчатая артерия (*a. choroidea anterior*) участвует в кровоснабжении гиппокампа посредством крючковой ветви (*ramus uncinatus*) и гиппокампальных ветвей; последние направляются к сосудистому сплетению височного рога (*plexus choroideus cornu inferioris*). Изолированное отхождение поверхностных гиппокампальных артерий преимущественно от передней ворсинчатой артерии представляет собой редкий вариант.

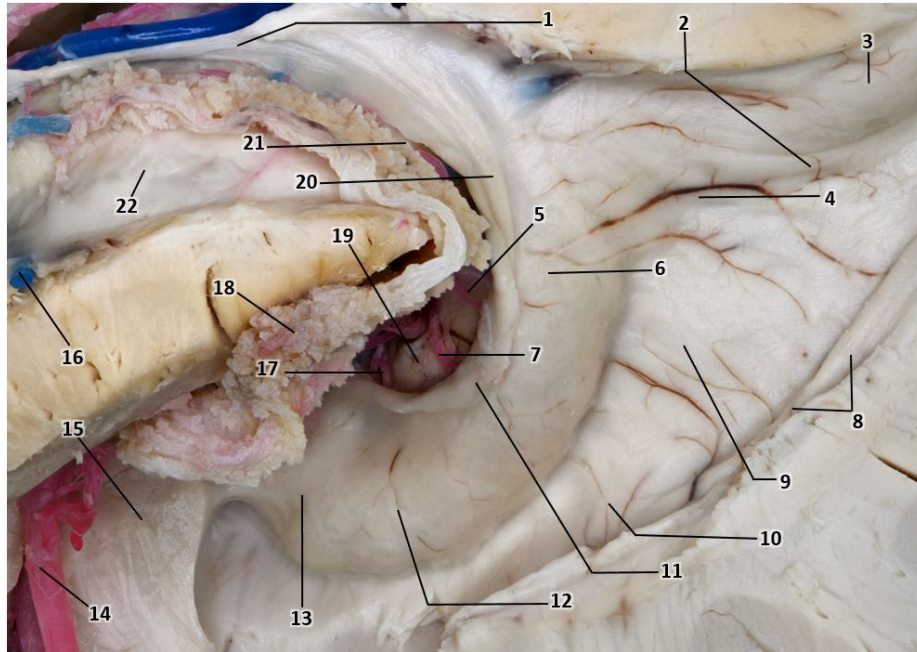


Рисунок 62 – Макроскопическая анатомия височного рога бокового желудочка. Кадаверный препарат головного мозга, артерии и вены инъецированы цветным силиконом. Вид сбоку и сверху. 1 – тело свода (*corpus fornicis*); 2 – затылочный рог (*cornu posterius*); 3 – птичья шпора (*calcar avis*); 4 – атриум (*atrium ventriculi lateralis*); 5 – задняя артерия гиппокампа (*a. hippocampi posterior*); 6 – хвост гиппокампа (*cauda hippocampi*); 7 – средняя артерия гиппокампа (*a. hippocampi media*); 8 – коллатеральное возвышение (*eminentia collateralis*); 9 – коллатеральный треугольник (*trigonum collaterale*); 10 – височный рог (*cornu inferius*); 11 – бахромка гиппокампа (*fimbria hippocampi*); 12 – тело гиппокампа (*corpus hippocampi*); 13 – головка гиппокампа (*caput hippocampi*); 14 – средняя мозговая артерия (*a. cerebri media*); 15 – миндалевидное тело (*corpus amygdaloideum*); 16 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 17 – передняя артерия гиппокампа (*a. hippocampi anterior*); 18 – клубок сосудистого сплетения (*glomus plexus choroidei*); 19 – основание гиппокампа, субикулум (*subiculum*); 20 – ножка свода (*crus fornicis*); 21 – сосудистая щель (*fissura choroidea*); 22 – таламус (*thalamus*)

Из поверхностных артерий гиппокампа наиболее развитыми и часто встречающимися являются медиальные артерии гиппокампа. Задние артерии гиппокампа часто следуют рядом с ними по поверхности подлежащей ткани и васкуляризируют кору в этой области. Достигая зубчатого края (*margo denticulatus*), они идут продольно, с многочисленными анастомозами, параллельно гиппокампулярной борозде. Перфорирующие артерии берут начало от этой анастомотической сети и входят в гиппокамп между углублениями зубчатого края (*margo denticulatus*) и кровоснабжают тело и хвост гиппокампа. Передняя гиппокампулярная артерия частично образует плотный гиппокампулярно-

парагиппокампальный артериальный комплекс на вершине крючкообразного отростка. В крючкообразной борозде она образует ветви, проникающие между пальцевидными отростками головки гиппокампа, обеспечивая васкуляризацию. Крючковидная ветвь передней хориоидальной артерии часто анастомозирует с передней гиппокамповой артерией глубоко внутри крючкообразной борозды и, таким образом, также способствует васкуляризации головки гиппокампа.

Поверхностные гиппокампальные артерии дают начало интрапаренхиматозным артериям, которые можно разделить на крупные вентральные интрагиппокампальные артерии, крупные дорсальные интрагиппокампальные артерии, мелкие вентральные интрагиппокампальные артерии и мелкие дорсальные интрагиппокампальные артерии (Рисунок 63). Крупные вентральные интрагиппокампальные артерии проникают в гиппокамп между зубцами зубчатого края. Крупные дорсальные интрагиппокампальные артерии имеют более короткий путь, они также васкуляризируют дистальную часть зубчатой извилины посредством прямолинейных артерий.

Мелкие вентральные интрагиппокампальные артерии выходят на поверхность зубчатого края и васкуляризируют проксимальную часть зубчатой извилины. Небольшие дорсальные интрагиппокампальные артерии пересекают поверхность зубчатого края, затем входят в бахромчато-зубчатую борозду. Венозная васкуляризация гиппокампа обеспечивается интрагиппокампальными венами, включающими субэпендимальные интрагиппокампальные вены и бороздчатые интрагиппокампальные вены, которые впадают в поверхностные вены гиппокампа.

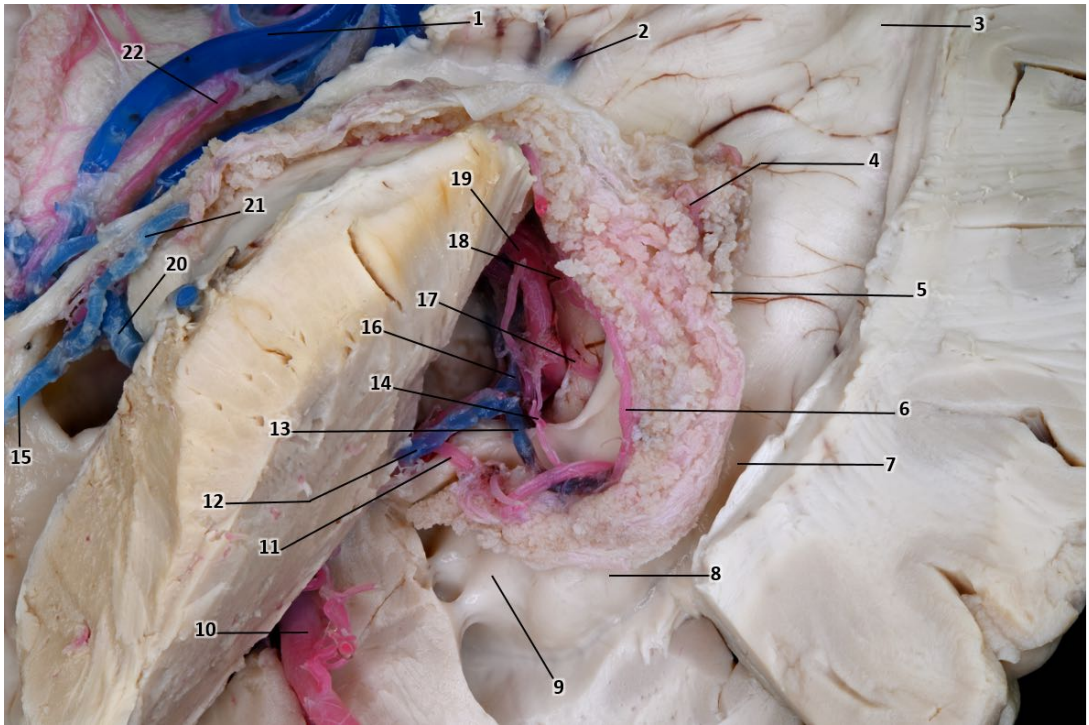


Рисунок 63 – Макроскопическая анатомия височного рога бокового желудочка. Кадаверный препарат головного мозга, артерии и вены инъецированы цветным силиконом. Вид сверху и сбоку. 1 – верхняя вена мозга (*v. cerebri superior*); 2 – медиальная атриальная вена (*v. atrialis medialis*); 3 – затылочный рог (*cornu posterius*); 4 – клубок сосудистого сплетения (*glomus plexus choroidei*); 5 – сосудистое сплетение (*plexus choroideus*); 6 – задняя латеральная ворсинчатая артерия (*a. choroidea posterior lateralis*); 7 – височный рог (*cornu inferius*); 8 – тело гиппокампа (*corpus hippocampi*); 9 – головка гиппокампа (*caput hippocampi*); 10 – средняя мозговая артерия (*a. cerebri media*); 11 – передняя ворсинчатая артерия (*a. choroidea anterior*); 12 – нижняя желудочковая вена (*v. ventricularis inferior*); 13 – нижняя ворсинчатая вена (*v. choroidea inferior*); 14 – передняя артерия гиппокампа (*a. hippocampi anterior*); 15 – передняя септальная вена (*v. anterior septi pellucidi*); 16 – базальная вена (*v. basalis*); 17 – средняя артерия гиппокампа (*a. hippocampi media*); 18 – задняя артерия гиппокампа (*a. hippocampi posterior*); 19 – задняя мозговая артерия (*a. cerebri posterior*); 20 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata*); 21 – верхняя ворсинчатая вена (*v. choroidea superior*); 22 – задняя медиальная ворсинчатая артерия (*a. choroidea posterior medialis*)

Поверхностные вены гиппокампа образуют две венозные дуги: венозную дугу бахромчато-зубчатой борозды и венозную дугу гиппокампальной борозды, расположенные в соответствующих бороздах. Обе венозные дуги впадают в базальную вену спереди через нижнюю желудочковую вену, а сзади – через медиальную предсердную вену. Базальная вена является сателлитом задней

мозговой артерии на латеральной поверхности среднего мозга в охватывающей цистерне и впадает сзади в вену Галена.

Венозная дуга фимбриозубчатой борозды принимает субэпендимальные интрагиппокампаальные вены, видимые на уровне альвеуса на поверхности внутрижелудочковой части гиппокампа. Венозная дуга гиппокампаальной борозды принимает бороздчатые интрагиппокампаальные вены, которые берут начало от гиппокампа в месте соединения зубчатой извилины и аммонова рога.

4.1.5. Интраоперационная анатомия височного рога, гиппокампа

Нижний (височный) рог бокового желудочка (*cornu inferius ventriculi lateralis*) представляет собой продолжение атриума (*atrium ventriculi lateralis*). От преддверия полость направляется рострально, проходит ниже подушки таламуса (*pulvinar thalami*) и проникает в медиальные отделы височной доли. Слепое окончание рога определяется кзади от миндалевидного тела (*corpus amygdaloideum*), формируя переднюю стенку.

Крыша височного рога (*cornu inferius*) характеризуется неоднородным строением. Медиальный участок образован вентральной поверхностью таламуса (*thalamus*) и хвостом хвостатого ядра (*cauda nuclei caudati*); между данными структурами проходит стриоталамическая борозда (*sulcus striothalamicus*). Латеральную часть крыши формирует покрывало мозолистого тела (*tapetum corporis callosi*). Книзу данная структура истончается и переходит в боковую стенку височного рога.

Дно височного рога представлено 2 образованиями. Медиальный отдел занят гиппокампом (*hippocampus*) – гладким выпячиванием, расположенным над гиппокампаальной формацией (*formatio hippocampi*). Латеральный отдел сформирован коллатеральным возвышением (*eminentia collateralis*), выступающим над коллатеральной бороздой (*sulcus collateralis*). Данная борозда на базальной поверхности височной доли разграничивает парагиппокампаальную извилину

(gyrus parahippocampalis) и затылочно-височную извилину (gyrus occipitotemporalis).

Медиальная стенка представлена единственной структурой – сосудистой щелью (fissura choroidea), расположенной между нижнелатеральной частью таламуса и бахромкой свода (fimbria fornicis).

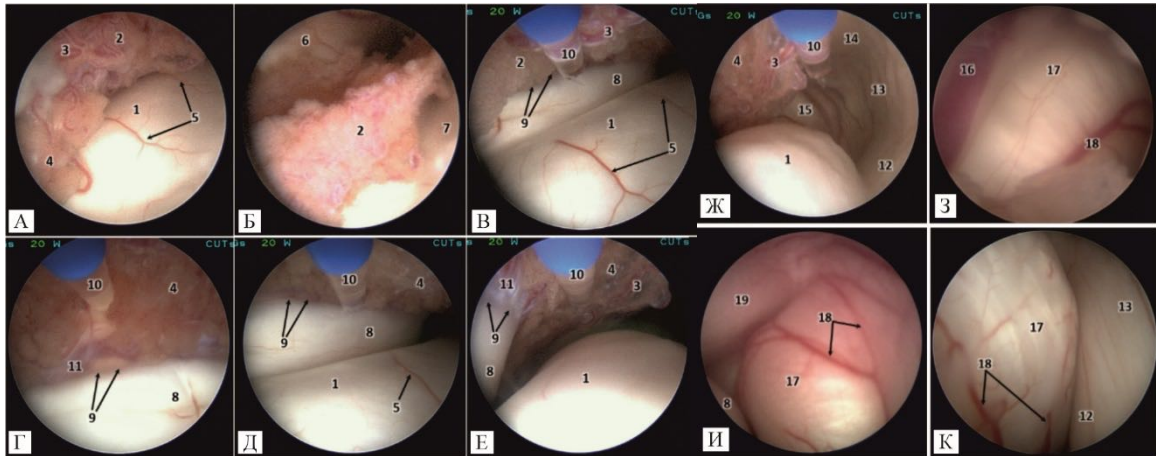


Рисунок 64 – Эндоскопическая визуализация височного рога бокового желудочка и гиппокампа. Интраоперационное фото. Ригидный нейроэндоскоп, 0°. Доступ из затылочного рога. 1 – гиппокамп; 2 – клубок сосудистого сплетения; 3 – задняя латеральная ворсинчатая артерия; 4 – сосудистое сплетение; 5 – поверхностные артерии гиппокампа; 6 – подушка таламуса; 7 – коллатеральный треугольник; 8 – бахромка гиппокампа; 9 – сосудистая щель; 10 – тулиевый лазер Cyber TM, 200 Вт (Quanta System, Италия); 11 – нижняя ворсинчатая вена; 12 – коллатеральное возвышение; 13 – латеральная стенка височного рога; 14 – верхняя стенка височного рога; 15 – передняя стенка височного рога; 16 – нижняя желудочковая вена; 17 – головка гиппокампа; 18 – поверхностные вены гиппокампа; 19 – миндалевидное тело

4.1.6. Цифровое анатомическое исследование с использованием FreeSurfer

Сегментация тонких структур с использованием специализированных структур и вычислительной техники высокой производительности – новое слово в цифровой нейроанатомии.

Учитывая вариабельность анатомии передних ядер таламуса, а также отсутствие возможности прямого таргетирования объекта хирургического воздействия (невозможность прямой визуализации передних ядер таламуса на

МРТ), всем пациентам была выполнена сегментация для вычисления персонифицированной взаимоотноаномии структур области:

Для сегментации ядер таламуса требуется следующее программное обеспечение и библиотеки: Slicer 3D; FreeSurfer 7.4.1+; Matlab; – Python3 с библиотеками nibabel и matplotlib.

Процесс сегментации переднего ядра таламуса можно разделить на этапы:

1. Выбор типа снимков для сегментации.
2. Конвертация и загрузка исследования в FreeSurfer.
3. Сегментация передних ядер таламуса в FreeSurfer.
4. Объединение маски ядер таламуса и исходного исследования.
5. Конвертация объединенного исследования в формат DICOM.

Каждому пациенту, перенесшему оперативное вмешательство в объеме деструкции передних ядер таламуса любым из способов было проведено на дооперационном этапе построение персонифицированной анатомии области хирургического интереса с вычислением индивидуального положения передних ядер таламуса (Рисунок 65).

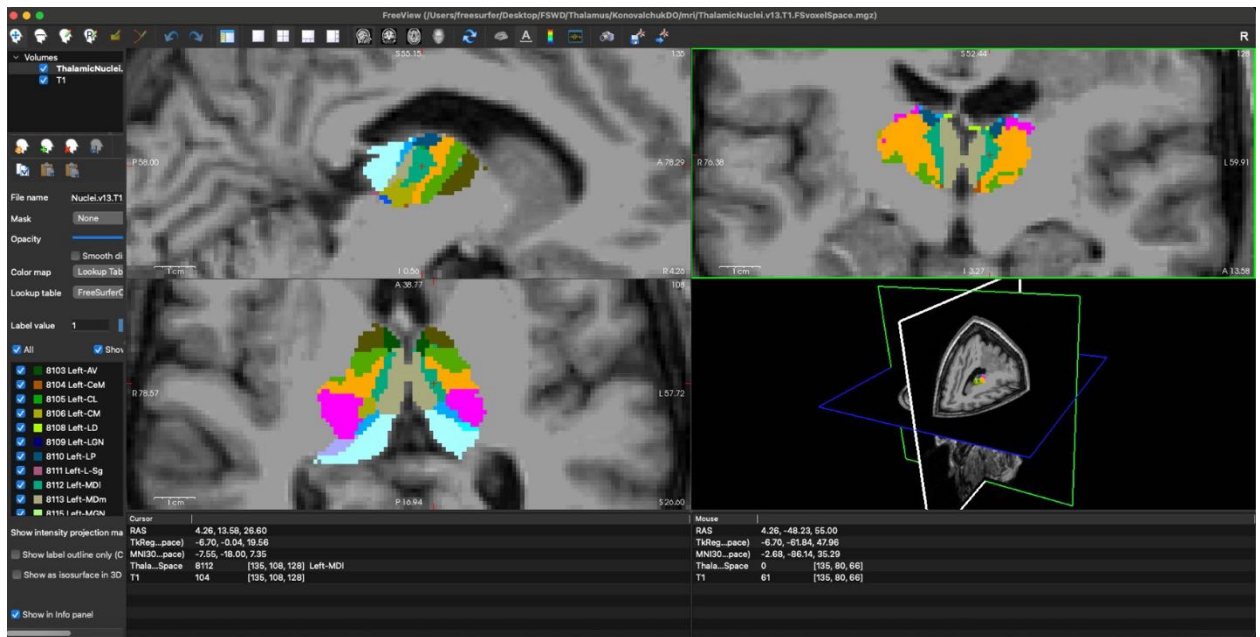


Рисунок 65 – Модель персонифицированной анатомии области хирургического интереса с вычислением индивидуального положения передних ядер таламуса

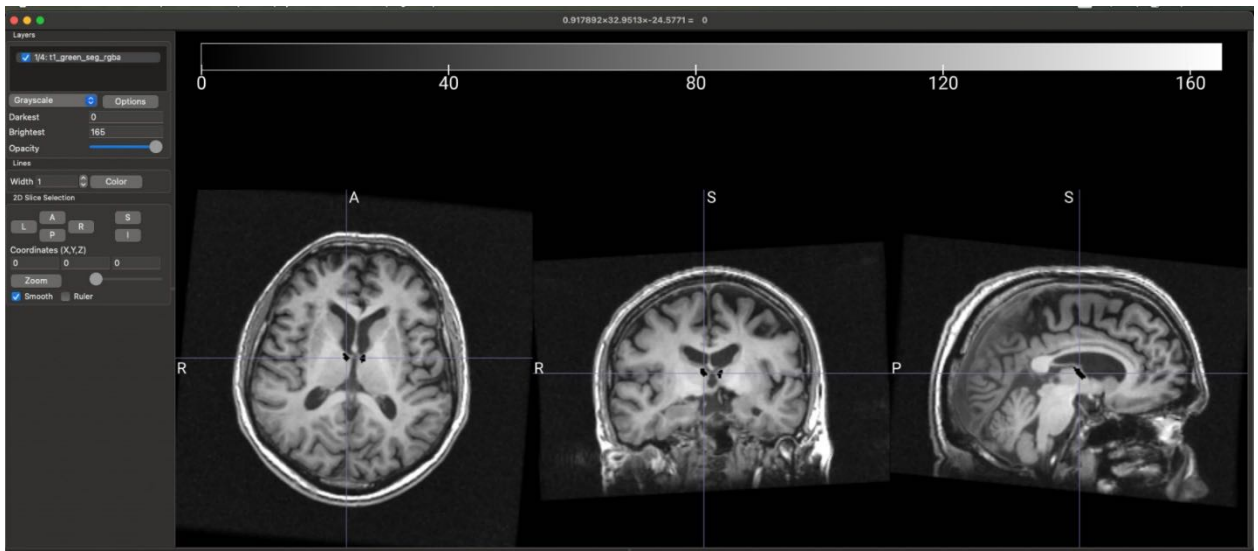


Рисунок 66 – Модель персонифицированной анатомии области хирургического интереса, объединенная со стандартной серией МРТ-данных T1 MRP для выполнения хирургического планирования

После получения данных мы объединили их со стандартной серией МРТ-данных T1 MRP для выполнения хирургического планирования (Рисунок 66).

Объемы таламуса и переднего ядра. Анализ данных 35 пациентов показал, что средний объем таламуса составил 5977 ± 1161 мм³. Средний объем его переднего вентрального (AV) ядра достиг 106 ± 25 мм³, что составляет примерно 1,7% от общего объема таламуса.

Объемы гиппокампа и миндалевидного тела. В группе из 35 пациентов средний объем амигдалогиппокампального комплекса составил 5149 ± 986 мм³. При детальной сегментации средний объем гиппокампа определили, как 3435 ± 765 мм³, а средний объем миндалевидного тела – 1713 ± 369 мм³.

Таблица 17 – Объемы сегментированных FreeSurfer структур

| Возрастная группа | Средний объем таламуса, мм ³ | Средний объем переднего AV-ядра таламуса, мм ³ | Средний объем гиппокампа, мм ³ | Средний объем амигдалы, мм ³ |
|-------------------|---|---|---|---|
| 6–11 лет | 5619 ± 995 | $105,2 \pm 28,6$ | 3523 ± 1329 | 1815 ± 684 |
| 12–17 лет | 6303 ± 1322 | $117 \pm 32,6$ | 3353 ± 528 | 1645 ± 212 |
| 18–25 лет | 6397 ± 1098 | $103,6 \pm 17,9$ | 3381 ± 673 | 1728 ± 224 |
| 26–64 лет | 6076 ± 1131 | $105 \pm 22,3$ | 3495 ± 611 | 1694 ± 338 |

4.2. Экспериментальное исследование

При исследовании головного мозга крыс в разные периоды после лучевого воздействия с использованием методов нейровизуализации оценивались центральная зона, зона в области непосредственного воздействия тулиевого лазера и периферическая зона, располагающаяся в 3 мм от центральной, а также интактная зона противоположного полушария.

В первые сутки сразу после лазерной абляции на T2-взвешенном изображении наблюдалась тенденция к снижению относительной интенсивности сигнала в зоне поражения и на периферии, которая составляла $0,95 \pm 0,07$ и $0,82 \pm 0,08$ относительно контралатерального полушария соответственно (Таблица 18, Рисунок 67, 68).

Площадь МР-изменений в этот период составила $2,1 \pm 0,4$ мм² (Рисунок 70).

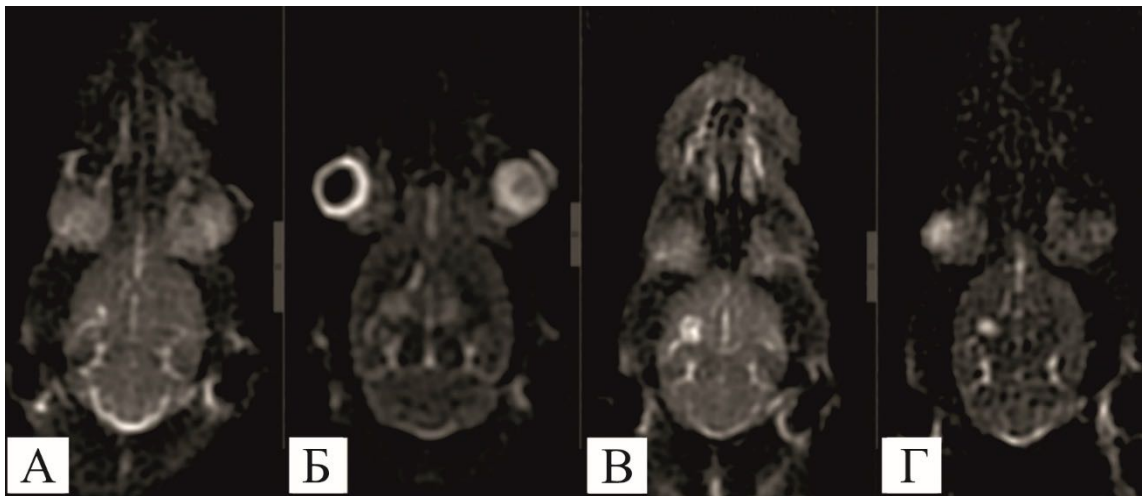


Рисунок 67 – МРТ в T2-PROPELLER-режиме в аксиальной проекции (Discovery MR750w 3,0 Тл): А – МРТ сразу после лазерной абляции, в зоне абляции сутки отмечается изо- и слабогипоинтенсивный МР-сигнал; Б, В – 3, 7 сут. отмечается последовательное повышение интенсивности МР-сигнала в центральной зоне лазерного поражения, на T2-взвешенных изображениях – до выражено гиперинтенсивного в сравнении с контрольным полушарием, а также умеренное увеличение его размеров без видимых изменений МР-сигнала в периферической зоне; Г – 30 сут. после поражения визуализируется формирование кистозной полости с ровными четкими контурами, соответствующей участку кистозной дегенерации в области лазерного поражения

Таблица 18 – Относительный показатель интенсивности МР-сигнала центральной и периферической зон поражения на 1 (сразу после абляции), 3, 7, 30-е сутки

| Сут. | Интенсивность сигнала центральной зоны поражения | Интенсивность сигнала периферической зоны поражения (3 мм от центральной зоны) |
|------|--|--|
| 1 | 0,95±0,07 | 0,82±0,08 |
| 3 | 1,82±0,08 # | 0,96±0,09 * |
| 7 | 1,87±0,07 # | 0,99±0,09 * |
| 30 | 2,77±0,06 # & | 0,92±0,11 * |

Примечание: * p<0,01 в сравнении с центральной зоной поражения;
p<0,05 в сравнении с интенсивностью МР-сигнала в 1-е сут.;
& p<0,01 в сравнении с интенсивностью МР-сигнала на 3–7 сут.

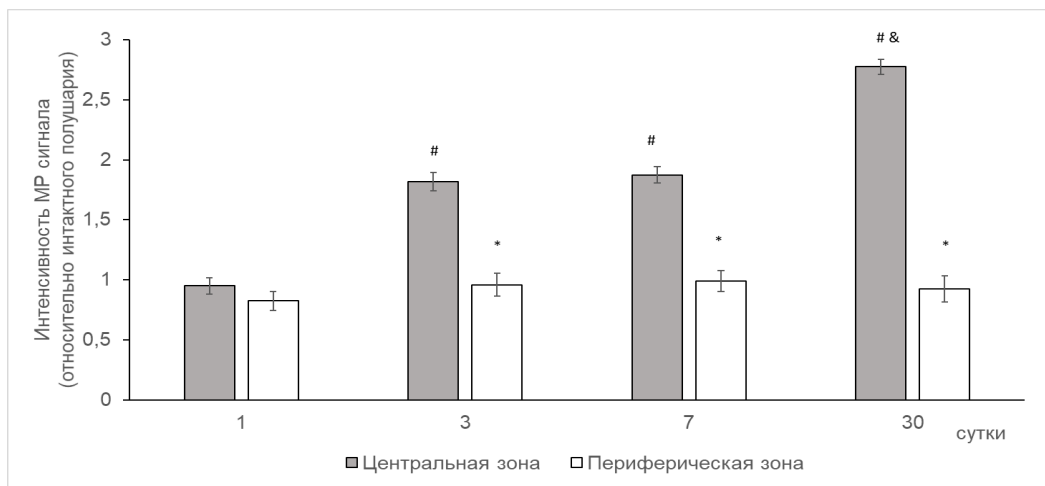


Рисунок 68 – Относительная интенсивность МР-сигнала центральной и периферической зон поражения на 1 (сразу после абляции), 3, 7, 30 сутки: * p<0,01 в сравнении с центральной зоной поражения; # p<0,05 в сравнении с интенсивностью МР-сигнала в 1-е сут.; & p<0,01 в сравнении с интенсивностью МР-сигнала на 3–7 сут

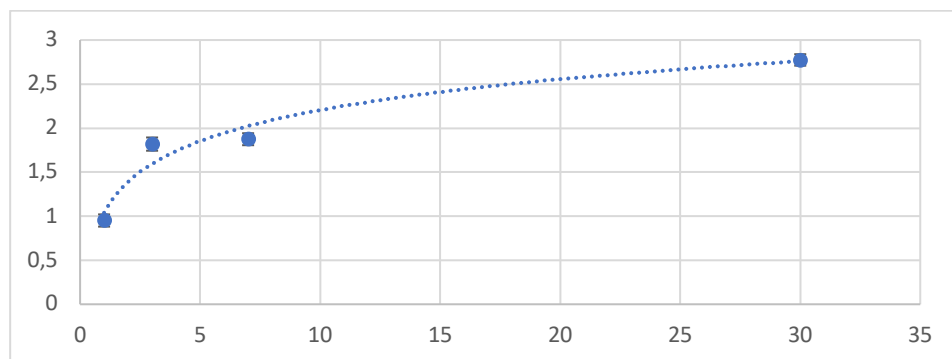


Рисунок 69 – Логарифмическая линия тренда относительной интенсивности сигнала на T2-взвешенном изображении; предел логарифмической линии тренда в 3 раза выше, чем величина в контрлатеральном полушарии

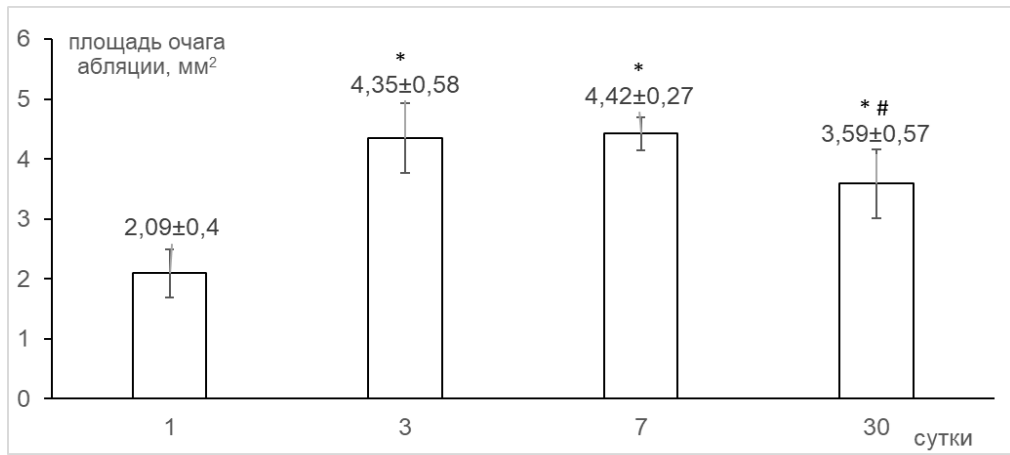


Рисунок 70 – Изменение площади очага абляции, по данным МРТ головного мозга крысы, на 1 (сразу после лазерной абляции), 3, 7 и 30 сутки исследования (4 группа): * $p < 0,01$ в сравнении с размером очага в 1 (сразу после абляции) сут.; # $p < 0,05$ в сравнении с размером очага на 7 сут

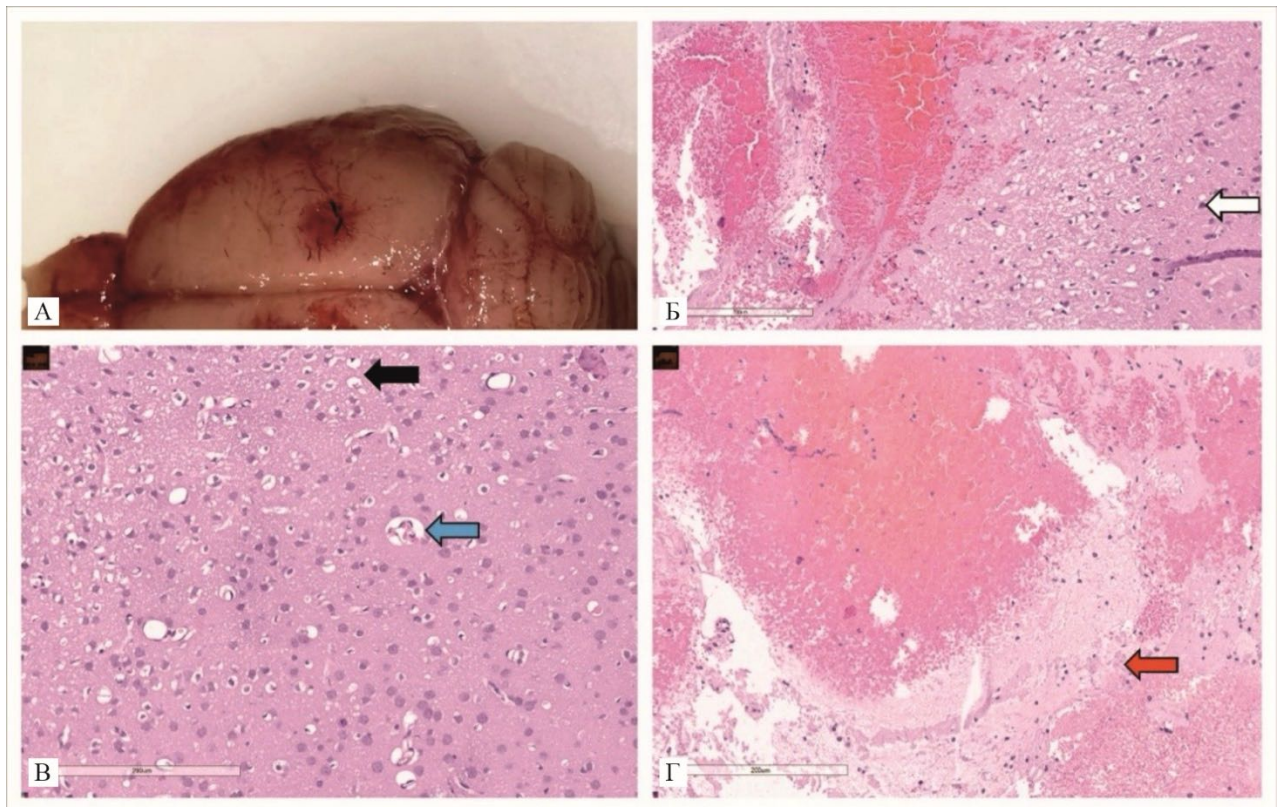


Рисунок 71 – Макро- и микроструктура правого полушария головного мозга крысы сразу после проведения лазерной абляции: А – макроскопическое исследование правого полушария головного мозга крысы сразу после лазерной абляции; Б, В, Г – микроскопически наблюдаются явления перичеселлюлярного отека (черная стрелка), дистрофические изменения нейронов по темному типу (белая стрелка), криблы (синяя стрелка), некробиотические изменения и кровоизлияния (красная стрелка); окраска гематоксилином и эозином, масштаб на изображении 200 μm

При морфологическом исследовании у крыс 1 подгруппы, выведенных из эксперимента сразу после эксперимента, выявлялись признаки очаговых механических повреждений ткани в зоне установки зонда, очаговые кровоизлияния, представленные негемолизированными эритроцитами, имели место признаки перичеллюлярного отека, а также умеренно выраженные ишемические изменения с формирующимися микронекрозами (Рисунок 71).

В динамике при морфологическом исследовании у крыс сразу после абляции в основном наблюдаются признаки механического повреждения ткани головного мозга, а также умеренные ишемические изменения с явлениями отека и формирующимися некрозами. На 3-и сут. доминировал резко выраженный отек с крупными очагами некроза, отмечались ишемические повреждения нейронов по темному типу, периваскулярные кривлюры. На 7-е сут. в центре постлучевой зоны появилась формирующаяся кистозная полость с умеренной макрофагальной инфильтрацией и гемосидерофагами, отек и некрозы сохранялись. На 30-е сутки формируется неистинная киста, отмечаются ишемические изменения нейронов по светлому и темному типу, выявляется выраженная макрофагальная инфильтрация с гемосидерофагами, признаки неоангиогенеза и незначительно выраженная грануляционная ткань, реактивный глиоз, что свидетельствует о начале репаративных процессов ткани головного мозга (Таблица 19).

При проведении МРТ в T2-PROPELLER-режиме сразу после операции наблюдалась тенденция к снижению относительной интенсивности сигнала в зоне поражения. При морфологическом исследовании в основном наблюдаются признаки механического повреждения ткани головного мозга, а также отек, умеренные ишемические изменения с некрозами.

Учитывая преобразование энергии лазерного излучения в другие виды, на 3–7 сут. мы наблюдали вторичный отсроченный эффект лазерного воздействия, который увеличением относительной интенсивности МР сигнала от центральной зоны повреждения $1,82 \pm 0,08$ и $1,87 \pm 0,07$ единиц соответственно. Более того, размер очага повреждения по данным МРТ на 3 и 7 сут. статистически значимо увеличился соответственно до $4,3 \pm 0,6$ мм² и $4,4 \pm 0,3$ мм² ($P < 0,01$ в сравнении с

размером очага сразу после абляции). Данное изменение связано с возникновением резко выраженного отека с крупными очагами некроза.

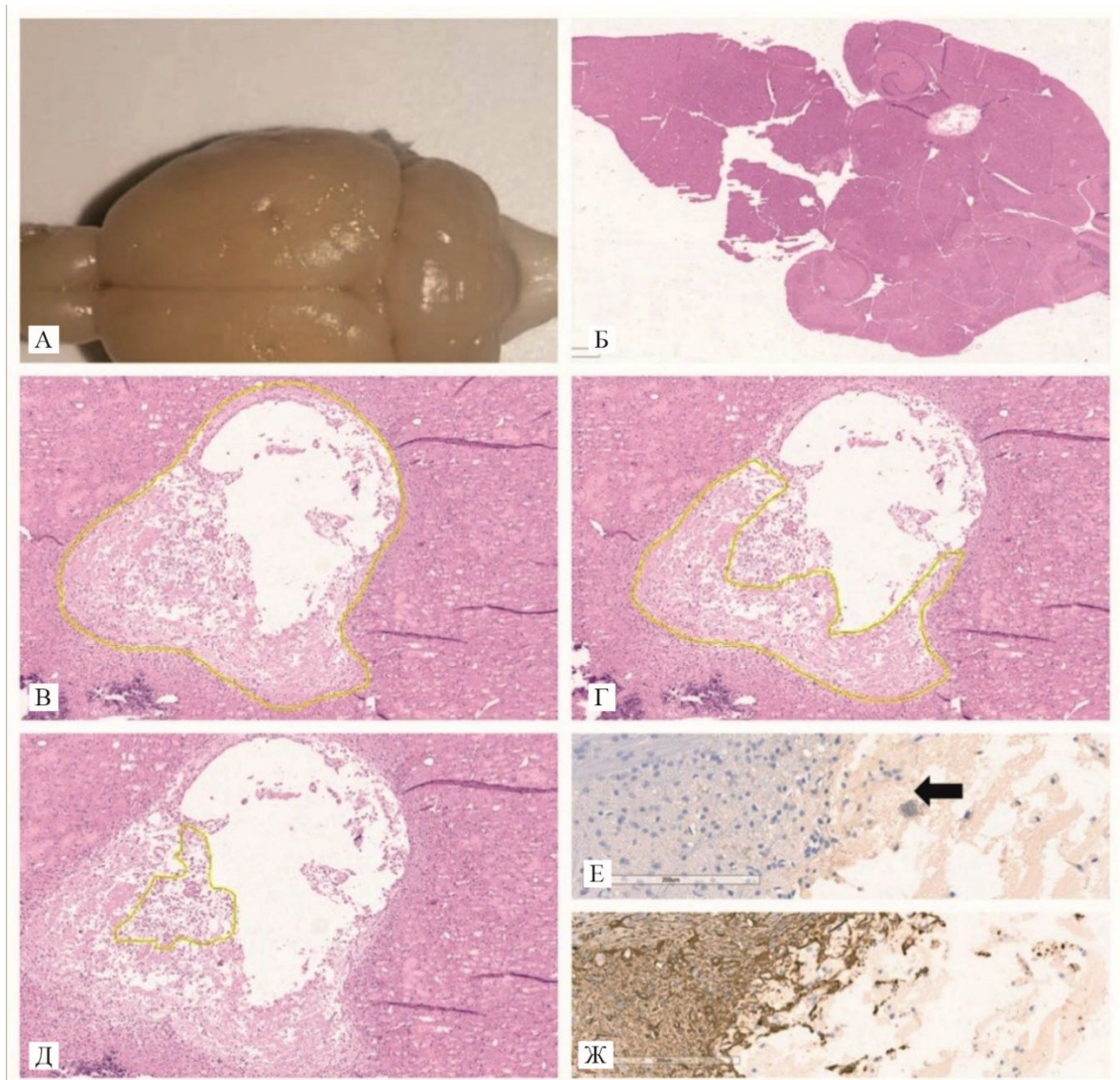


Рисунок 72 – Макро- и микроструктура правого полушария головного мозга крысы на 30-е сутки после проведения лазерной абляции: А – макроскопическое исследование правого полушария головного мозга крысы на 30 сут. после лазерной абляции; Б – микроскопическое исследование правого полушария головного мозга крысы на 30-е сут. после лазерной абляции; В – общая площадь поражения лазерной установкой; Г – общая площадь зоны некроза; Д – зона макрофагальной инфильтрации; Е – иммуногистохимическое окрашивание CD68; макрофагальная инфильтрация (черная стрелка) в постлучевой зоне как отражение реактивных воспалительных и репаративных процессов; Ж – иммуногистохимическое окрашивание GFAP; реактивный глиоз по краю постлучевой зоны как признак репаративных процессов; окраска гематоксилином и эозином, масштаб на изображении 200 μm

Таблица 19 – Динамика морфологической картины на 1 (сразу после абляции), 3, 7, 30 сутки исследования

| Гистологические элементы | 1 сут. | 3 сут. | 7 сут. | 30 сут. |
|---|--------|--------|--------|---------|
| Признаки механического повреждения ткани головного мозга | +++ | ++ | + | |
| Микрокровоизлияния | +++ | ++ | + | |
| Отек | ++ | +++ | ++ | + |
| Ишемические повреждения нейронов | ++ | ++ | ++ | + |
| Некроз | +++ | +++ | ++ | + |
| Микрокистозная трансформация стромы | ++ | +++ | ++ | ++ |
| Образование неистинной кисты | | | + | ++ |
| Макрофагальная инфильтрация | | + | +++ | ++ |
| Признаки неоангиогенеза | | | ++ | ++ |
| Реактивный глиоз | | | | ++ |
| Примечание: + – незначительная степень; ++ – умеренная степень; +++ – выраженная степень. | | | | |

В клинической практике с целью превентивной минимизации послеоперационного отека следует проводить МРТ-диагностику на 3–7 сут. в период наиболее выраженной вазогенной реакции. На 30 сутки выявлялось уменьшение очага до $3,6 \pm 0,6$ мм² и увеличение относительной интенсивности от центральной части до $2,77 \pm 0,06$ единиц, характеризующие организацию процесса с формированием относительно очерченной кисты.

Таким образом, послеоперационные изменения на каждом этапе имеют свои четкие границы и морфологические характеристики, что свидетельствует о безопасности и эффективности тулиевого лазерного излучения в нейрохирургической практике.

4.3. Клиническое исследование

Характеристика групп. Исследуемую выборку составили 82 пациента: 42 мужчины и 40 женщин. Средний возраст достигал 15,9 лет; статистически значимых различий по возрасту между мужчинами и женщинами не выявлено.

Прехирургическое обследование осуществляла мультидисциплинарная команда в составе невролога-эпилептолога, нейрофизиолога, специалиста лучевой диагностики, нейропсихолога и нейроофтальмолога. Комплекс диагностических мероприятий включал стандартные неинвазивные методы; при необходимости дополнительно применялись инвазивные методики.

Классификация эпилептических приступов проводилась в соответствии с рекомендациями R. S. Fisher с соавт. (ILAE, 2017) [124]. Локализация и латерализация эпилептогенного очага определялись посредством длительного транскраниального видео-ЭЭГ мониторинга согласно рекомендациям W. O. Tatum с соавт. (ILAE, 2018) [89, 211] и Международной противэпилептической лиги (ILAE, 2016, 2019) [89]. В случаях диагностической неопределённости выполнялся инвазивный видео-ЭЭГ мониторинг с имплантацией внутримозговых электродов в соответствии с рекомендациями P. Jayakar с соавт. (ILAE, 2016) [89, 211].

Нейровизуализационная оценка включала МРТ на аппарате Discovery MR750 (General Electric, США) с напряжённостью магнитного поля 3,0 Тл. Исследование выполнялось согласно унифицированному протоколу структурных последовательностей HARNESS-MRI [17]. Пациентам с МР-негативной формой эпилепсии дополнительно проводилась позитронно-эмиссионная томография с ¹⁸F-фтордезоксиглюкозой.

В зависимости от **метода хирургического воздействия** пациентов распределили на 5 групп:

1. Стереотаксическая радиочастотная термодеструкция передних ядер таламуса.
2. Стереоэндоскопическая лазерная термодеструкция передних ядер таламуса.
3. Эндоскопическая лазерная деструкция/дисконнекция амигдалогиппокампального комплекса.
4. Стереотаксическая радиочастотная термодеструкция амигдалогиппокампального комплекса.

5. Стереоэндокопическая лазерная термодеструкция амигдалогиппокампального комплекса.

Хирургическая техника в группах 1, 4 и 5 соответствовала стандартной методике стереотаксических деструктивных вмешательств. Методы, применявшиеся в группах 2 и 3, характеризовались рядом отличительных особенностей.

4.3.1. Хирургическая технология выполнения стереоэндокопической лазерной термодеструкции передних ядер таламуса

Траектория малоинвазивной эндостереотаксической таламотомии передних ядер таламуса планировалась накануне оперативного вмешательства с помощью станции нейронавигационного планирования BrainLab.

Учитывая вариабельность анатомии передних ядер таламуса, а также отсутствие возможности прямого таргетирования объекта хирургического воздействия (невозможность прямой визуализации передних ядер таламуса на МРТ), всем пациентам была выполнена сегментация для вычисления персонифицированной взаимоотноимии структур области

После получения данных было выполнено объединение со стандартной серией МРТ-данных T1 MRP для выполнения хирургического планирования (раздел 3.3.).

В ходе планирования на стереотаксической станции в загруженных МРТ-изображениях пациента тщательно выделяли и отдельно контурировали каждую глубинную структуру головного мозга вокруг зоны выполнения эндостереотаксической таламотомии (Рисунок 73).

Под эндотрахеальным наркозом пациента укладывали в положение на спине со сгибанием головы вперед. Голову пациента жестко фиксировали через переходник для скобы Mayfield-Kees. Для проведения оперативного вмешательства использовали стереотаксическую систему Elekta Leksell, собираемую в стандартном положении Lateral-Right. Стереотаксическую раму фиксировали на

голове пациента. Локалайзер для КТ-исследования соединяли со стереотаксической рамой. Выполняли мультипланарное КТ-исследование. Полученные КТ-данные объединяли и накладывали на предоперационные снимки с заранее запланированной траекторией, получали координаты для эндостереотаксической таламотомии (Рисунок 74, 75).

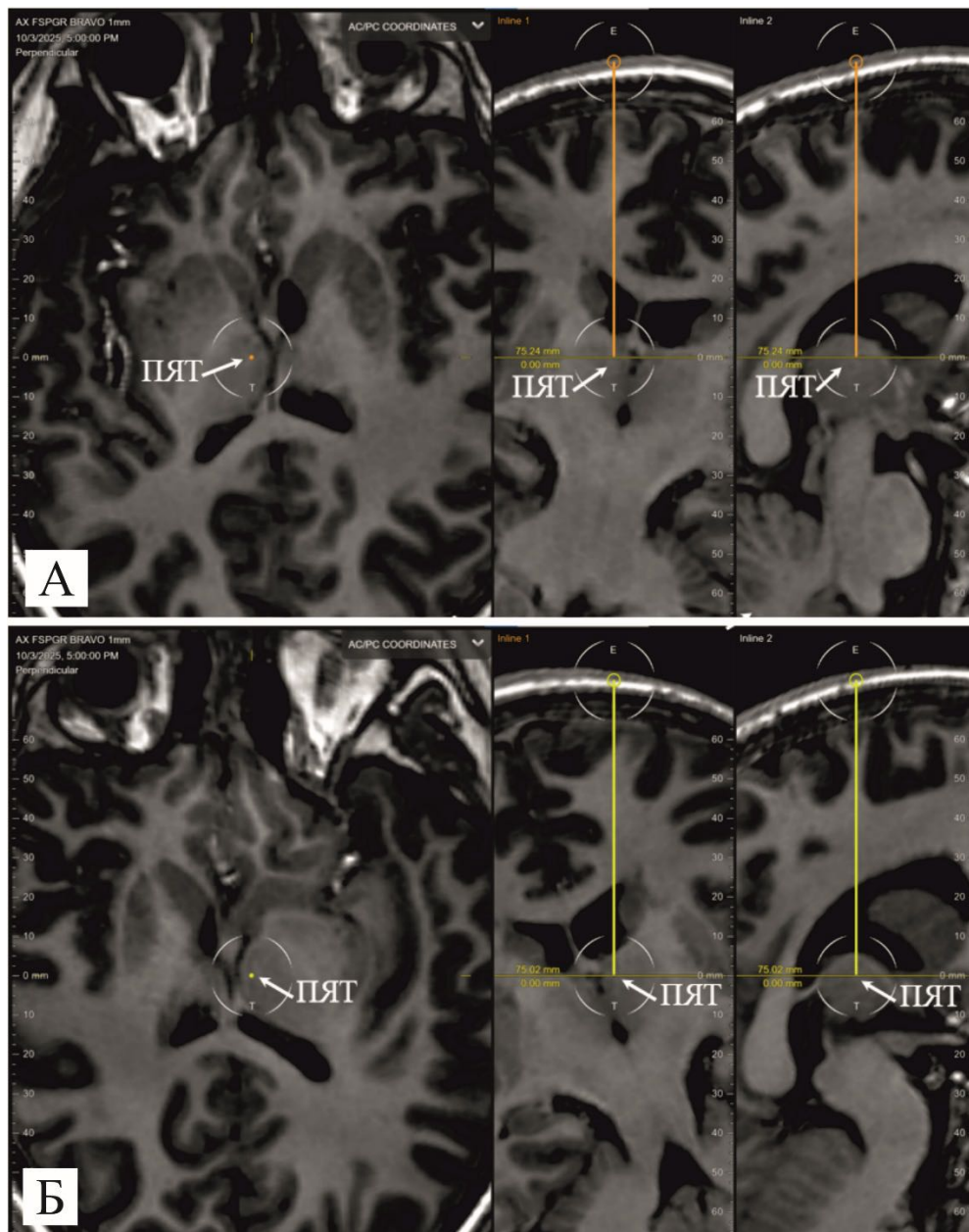


Рисунок 73 – Планирование траектории эндостереотаксической таламотомии с помощью нейронавигационной станции BrainLab: А – определение траектории от точки Кохера до передних ядер таламуса справа в 3 проекциях: аксиальной, коронарной, сагиттальной; Б – определение траектории от точки Кохера до передних ядер таламуса слева в 3 проекциях: аксиальной, коронарной, сагиттальной; ПЯТ – переднее ядро таламуса

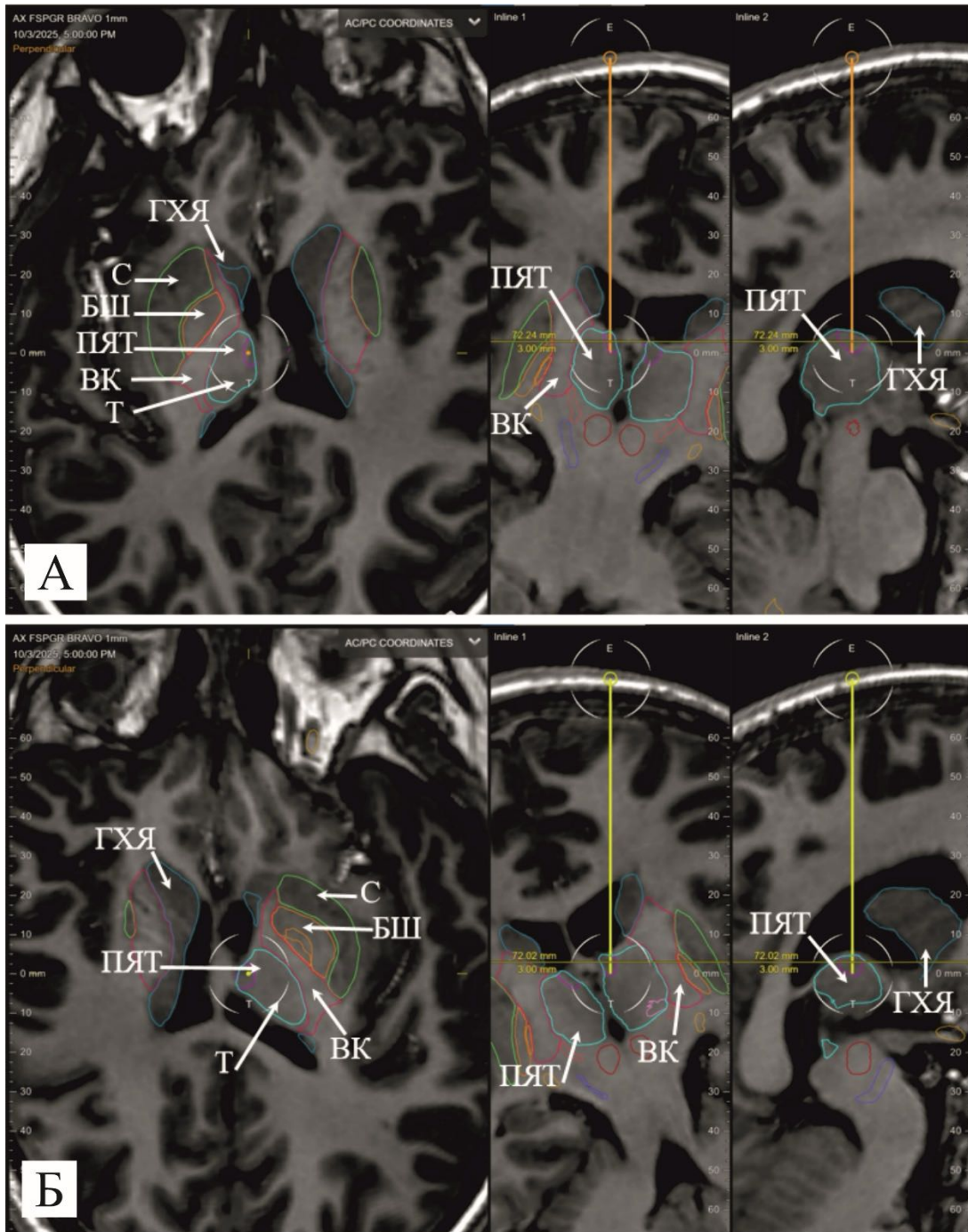


Рисунок 74 – Планирование траектории эндостереотаксической таламотомии с помощью нейронавигационной станции BrainLab; обозначены и выделены глубинные структуры головного мозга – базальные ядра: А – определение траектории от точки Кохера до передних ядер таламуса справа в 3 проекциях: аксиальной, коронарной, сагиттальной; Б – определение траектории от точки Кохера до передних ядер таламуса слева в 3 проекциях: аксиальной, коронарной, сагиттальной; ПЯТ – переднее ядро таламуса; ГХЯ – головка хвостатого ядра; С – скорлупа; БШ – бледный шар; ВК – внутренняя капсула; Т – таламус

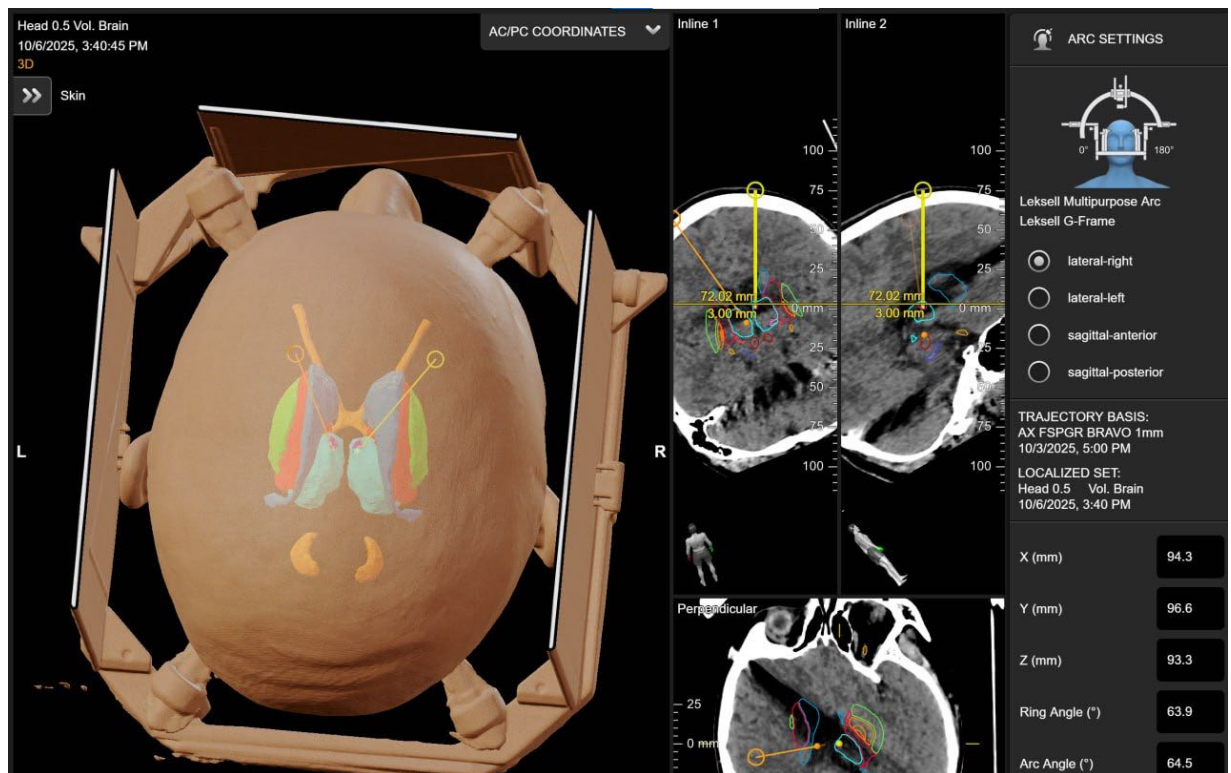


Рисунок 75 – Объединение и наложение КТ-данных с заранее запланированной траекторией

Выполняли обработку операционного поля растворами антисептиков. Выполняли разрез мягких тканей головы в лобно-теменной области справа, в проекции коронарного шва. Накладывали трепанационное отверстие (Рисунок 77). Далее, через сформированное трепанационное отверстие заводили полуригидный игольчатый нейроэндоскоп KarlStorz ShuntScore. Нейроэндоскоп заводили по запланированной траектории через направлятель стереотаксической рамы 2,5 мм, пунктируется боковой желудочек. Визуализировали основные анатомические ориентиры (межжелудочковое отверстие, венозный угол, медиальная поверхность хвостатого ядра, верхушка таламуса), выполняли оценку безопасности выполнения деструкции в запланированной зоне. Световод лазера заводили через рабочий порт нейроэндоскопа, в области сосудистого угла правого бокового желудочка локальная деструкция передних отделов правого таламуса, на глубину 5 мм. Гемостаз стабильный. Эндоскоп выводили из полости правого бокового желудочка. Накладывали один накожный шов. Аналогичную процедуру проводили с контралатеральной стороны (Рисунок 78–80).

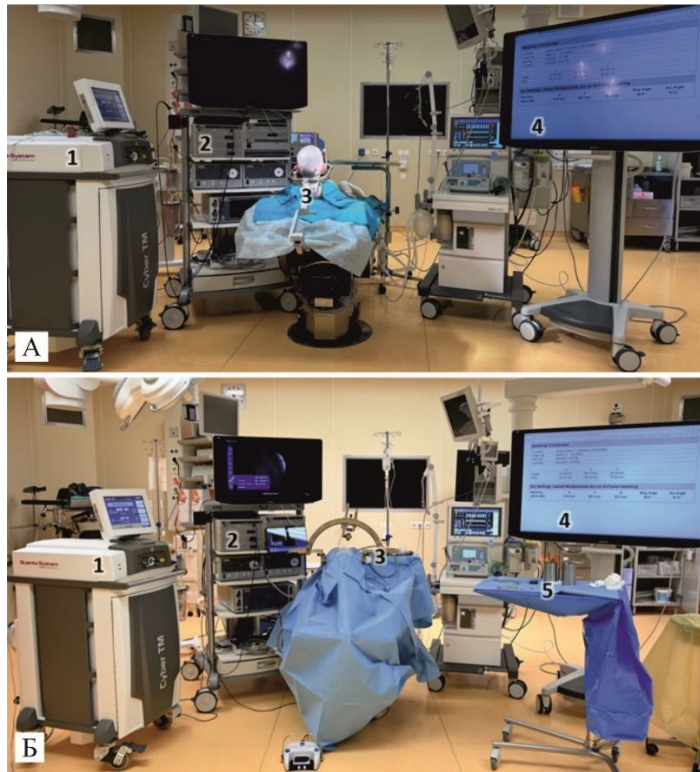


Рисунок 76 – Стандартное положение пациента на операционном столе, оснащение операционной и драпировка операционного поля: А – укладка пациента на операционном столе, фиксация головы скобой Mayfield-Kees; Б – стереотаксическая система Elekta Leksell фиксирована к голове пациента; 1 – тулиевый лазер системы Cyber TM, 200 Вт (Quanta System, Italy); 2 – эндоскопическая стойка; 3А – скоба Mayfield-Kees; 3Б – стереотаксическая система Elekta Leksell; 4 – монитор с полученными координатами; 5 – операционный столик



Рисунок 77 – Формирование фрезевого отверстия (trephination) пункционным чрезкожным доступом: 1 – стереотаксическая система Elekta Leksell; 2 – проекция точки Кохера справа; 3 – набор Elekta TwistDirll с диаметром сверла 3,6 мм; 4 – тулиевый лазер системы Cyber TM, 200 Вт (Quanta System, Italy); 5 – правильное положение и фиксация рук хирурга над стереотаксической системой Elekta Leksell, пункционное трансдермальное наложение трепанационного отверстия

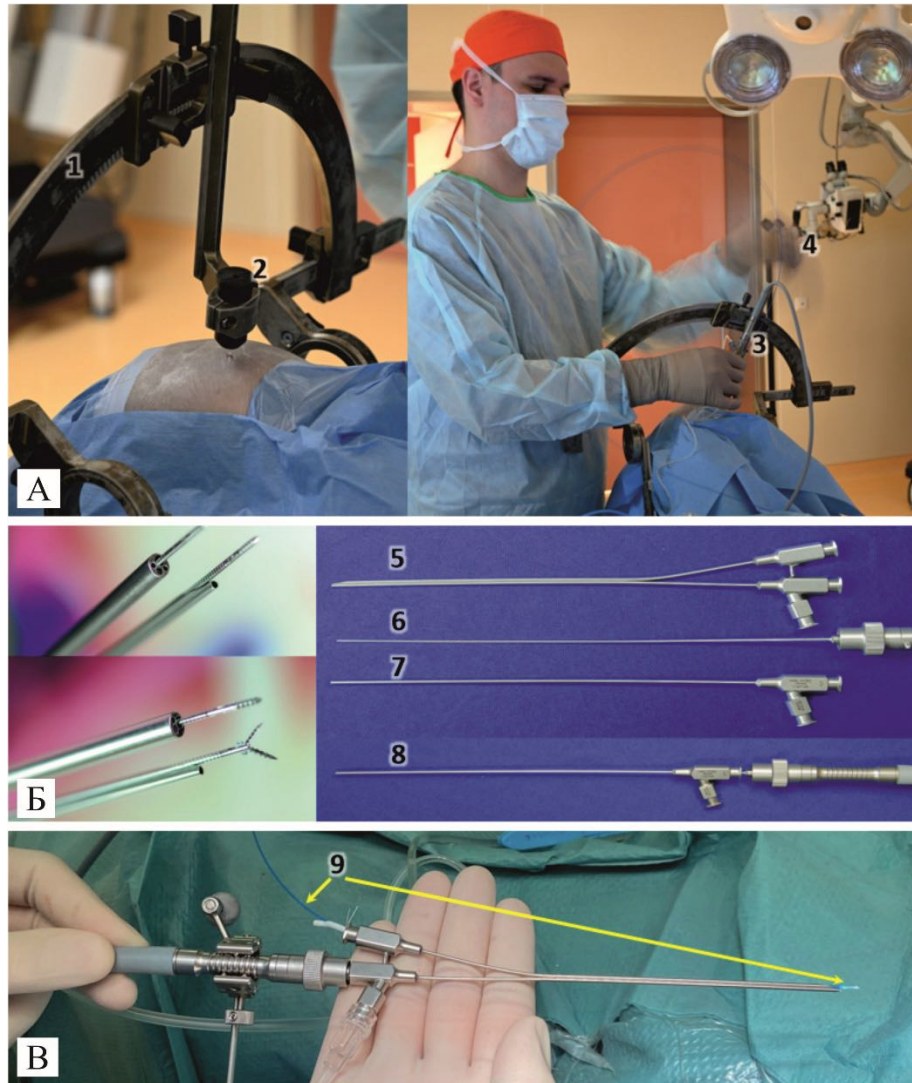


Рисунок 78 – Заведение полуригидного игольчатого нейроэндоскопа KarlStorz ShuntScope: А1 – стереотаксическая система Elekta Leksell; А2 – направитель стереотаксической рамы; А3 – заведение нейроэндоскопа KarlStorz ShuntScope; А4 – заведение тулиевого лазера системы Cyber TM, 200 Вт, 550 нм (Quanta System, Italy) через операционный порт оболочки полуригидного игольчатого нейроэндоскопа KarlStorz ShuntScope; Б5 – операционная оболочка; Б6 – полуригидный игольчатый нейроэндоскоп; Б7 – диагностическая оболочка; Б8 – шунтоскоп установлен в диагностическую оболочку; С9 – собранный эндоскоп с оболочкой, тулиевым лазером и ирригационной системой

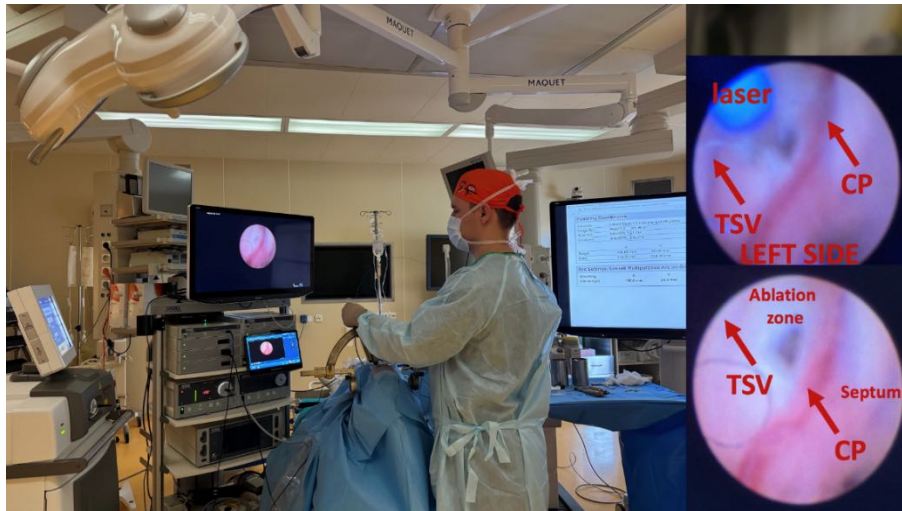


Рисунок 79 – Основной этап выполнения эндоскопической стереотаксической лазерной термодеструкции передних ядер таламуса при лечении ФРЭ. Laser – тулиевый лазер системы Cyber TM мощностью 200 Вт (Quanta System, Italy); TSV – таламостриарная вена; CP – сосудистое сплетение; Septum – прозрачная перегородка; Ablation zone – зона термодеструкции

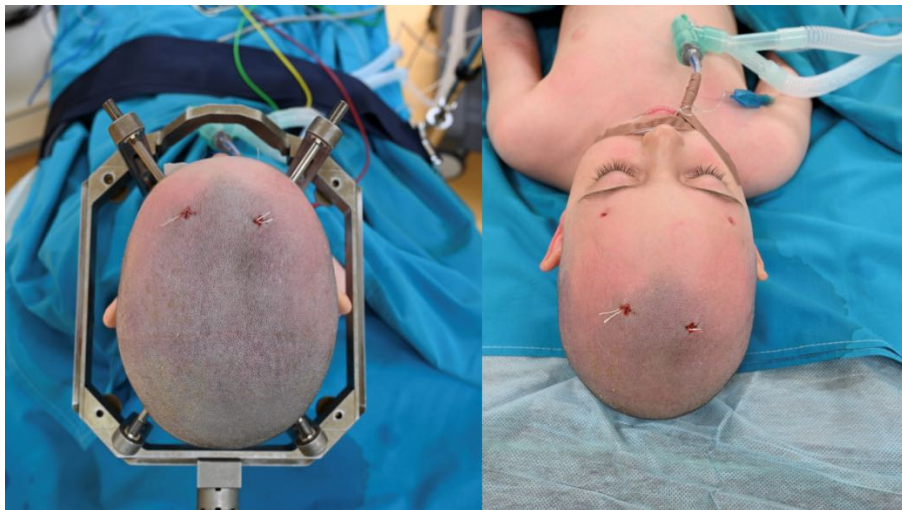


Рисунок 80 – Наложение кожных швов, снятие стереотаксической рамы с головы пациента

4.3.2. Хирургическая технология выполнения безрамной стереоэндоскопической лазерной амигдалогиппокампотомии и форникотомии

Технология безрамной стереоэндоскопической лазерной амигдалогиппокампотомии и форникотомии включает стандартизированную последовательность периоперационных этапов.

Укладку пациента осуществляют в положении на спине с ротацией головы в контралатеральную сторону. Ригидную фиксацию выполняют скобой Mayfield-Kees. Анестезиологическое обеспечение – эндотрахеальный наркоз. Планирование траектории и разметку хирургического доступа в затылочной области на стороне вмешательства производят с использованием нейронавигационной станции BrainLab Curve (Brainlab AG, Германия).

После 3-кратной обработки операционного поля растворами антисептиков выполняют линейный разрез кожи и апоневроза. Края раны разводят ранорасширителем.



Рисунок 81 – Положение пациента на операционном столе с поворотом головы влево с фиксацией на скобе Mayfield-Kees, оснащение операционной и драпировка операционного поля. 1 – Тулиевый лазер системы Cyber TM мощностью 200 Вт (Quanta System, Italy); 2 – Выполнен разрез в правой затылочной области. 3 – эндоскопическая стойка; 4 – Нейронавигационная стойка BrainLab

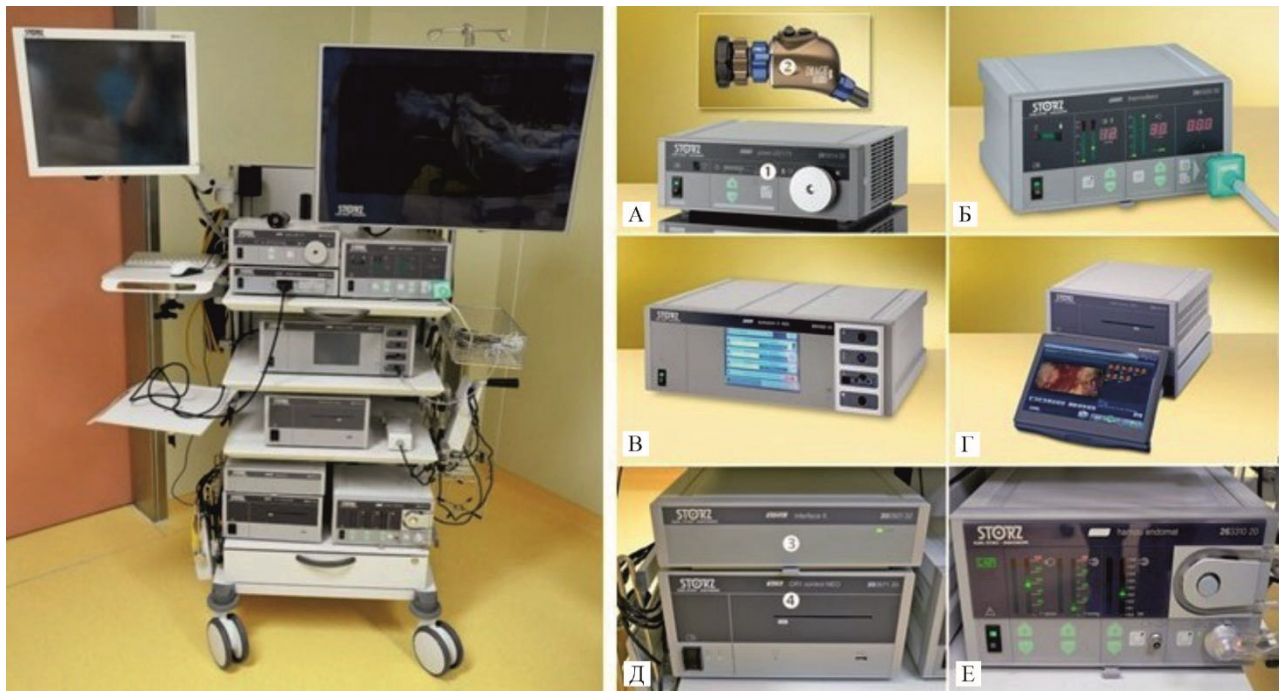


Рисунок 82 – Эндоскопическая операционная стойка (Karl Storz, Германия): А – видеокамера Full HD разрешения S™ и источник света на основе светодиодной технологии POWER LED 175; Б – инфуляционная система SCB THERMOFLATOR; В – электрокоагуляционная система AUTOCON®; Г – комплекс документирования AIDA® с интегрированным дисплеем OR1™ Smartscreen; Д – интерфейс AIDA/SCB II и OR1 для управления системой NEO со встроенным устройством записи DVD; Е – аспирационно-ирригационная система HAMOU ENDOMAT®

Наносят фрезевое отверстие. Визуализируют ТМО: обычного цвета, не пульсирует, взбухает в просвет раны, вскрыта крестообразно под эндоскопическим контролем. Выполняют коагуляцию краев твердой мозговой оболочки биполярным коагулятором под эндоскопическим контролем. Под контролем нейронавигации выполняют канал для эндоскопа с использованием остроконечной указки от навигационной стойки.

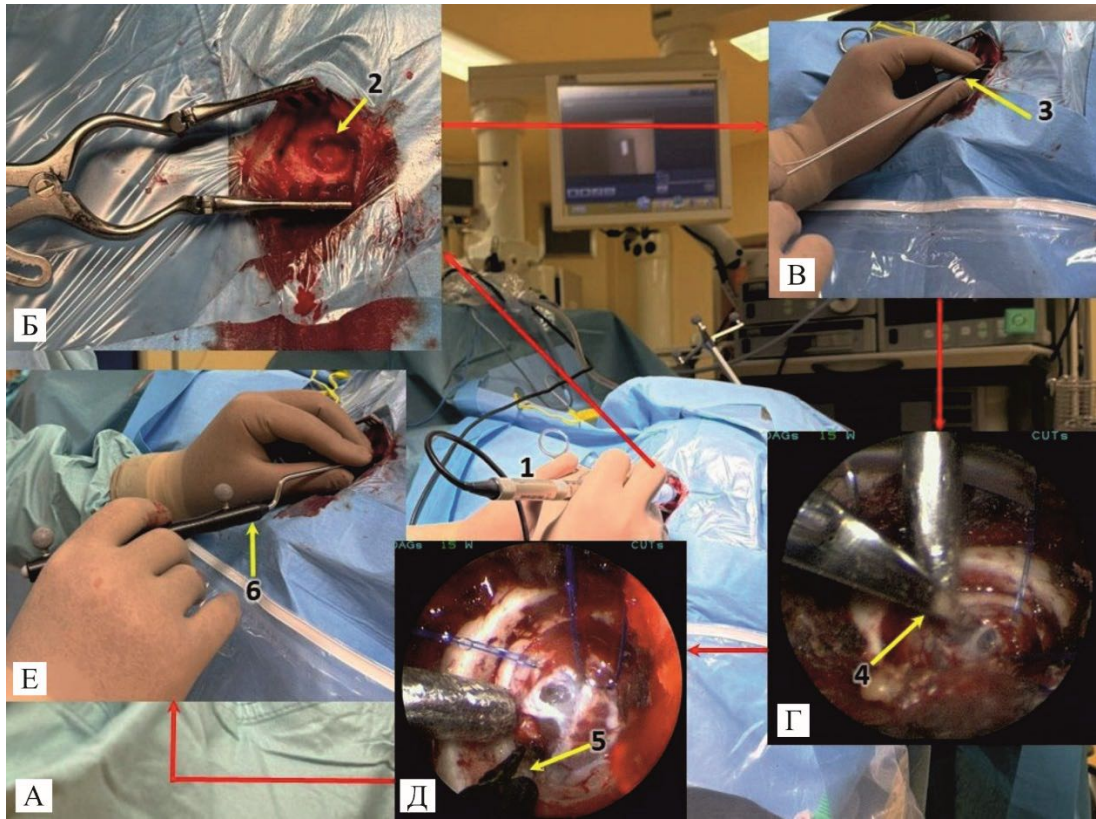


Рисунок 83 – Интраоперационные этапы наложения трепанационного отверстия и рассечения твёрдой мозговой оболочки. А (1) – наложение стандартного трепанационного отверстия диаметром 1,0 см; Б (2) – края раны отведены ранорасширителем, фрезевое отверстие в проекции затылочного рога справа; В (3) – визуализация под эндоскопическим контролем; Г (4) – вскрытие твёрдой мозговой оболочки (*dura mater*) под эндоскопическим контролем; Д (5) – коагуляция краёв твёрдой мозговой оболочки биполярным коагулятором под эндоскопическим контролем; Е (6) – положение и фиксация рук хирурга при формировании канала для эндоскопа с использованием указки нейронавигационной системы

Под контролем нейронавигации, по заранее спланированной траектории, эндоскоп вводят в правый боковой желудочек. Визуализируют атриум бокового желудочка, сосудистое сплетение и клубочек сосудистого сплетения. После поднятия клубка сосудистого сплетения отчетливо визуализируют хвост и тело гиппокампа, также бахромки гиппокампа, сосудистую щель. Выполняют эндоскопическую лазерную абляцию и дисконнекцию в области хвоста правого гиппокампа. Следующим этапом эндоскоп продвигают дальше в сторону передних отделов височного рога бокового желудочка. На данном этапе можно визуализировать тело гиппокампа, коллатеральное возвышение, латеральную, верхнюю и переднюю стенку височного рога. В конце височного рога на экране

появляется изображение головки гиппокампа и амигдалогиппокампального комплекса. Выполняют эндоскопическую лазерную абляцию и дисконнекцию в области амигдалогиппокампального комплекса. Гемостаз до чистых промывных вод. Твёрдую мозговую оболочку герметизируют тахокомбом. Рану ушивают в обратном порядке наглухо. Асептическая повязка.

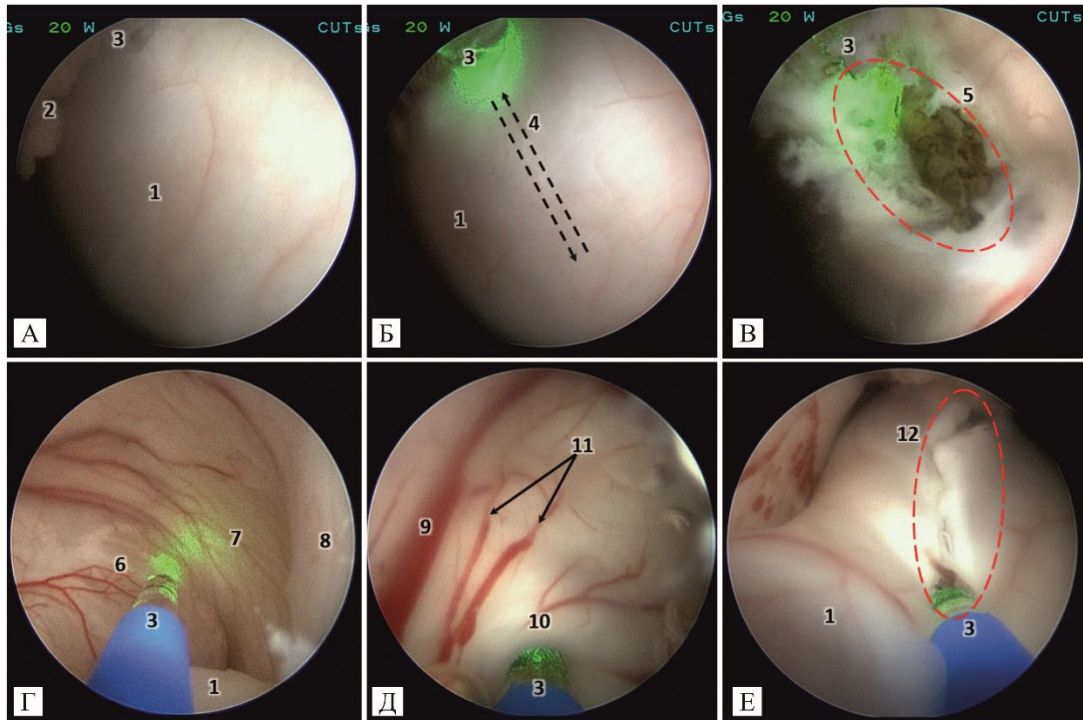


Рисунок 84 – Эндоскопическая визуализация нижнего рога бокового желудочка и гиппокампа при выполнении эндоскопической лазерной абляции и дисконнекции амигдалогиппокампального комплекса. Интраоперационная фотография. Ригидный нейроэндоскоп, 0°. Доступ через задний рог бокового желудочка. 1 – гиппокамп (hippocampus); 2 – клубок сосудистого сплетения (glomus choroideum); 3 – тулиевый лазер системы Cyber TM мощностью 200 Вт (Quanta System, Италия); 4 – траектория лазерной деструкции; 5 – границы лазерной деструкции; 6 – амигдалогиппокампальный комплекс (complexus amygdalohippocampalis); 7 – передняя стенка нижнего рога (cornu inferius ventriculi lateralis); 8 – латеральная стенка нижнего рога; 9 – нижняя желудочковая вена (vena ventricularis inferior); 10 – проекция миндалевидного тела (corpus amygdaloideum); 11 – вены амигдалогиппокампального комплекса; 12 – контуры лазерной деструкции

4.3.3. Оценка исходов хирургического лечения

Результаты оперативных вмешательств классифицировались по шкале исходов хирургии эпилепсии J. Engel Jr. с соавт. [94, 192]. Контрольное

обследование пациентов выполняли через 6, 12 и 36 мес. после операции. Протокол включал осмотр неврологом-эпилептологом, ночной или суточный видео-ЭЭГ-мониторинг, МРТ головного мозга, а также нейропсихологическое тестирование с оценкой высших психических функций.

Медиана длительности активной формы заболевания от дебюта до оперативного вмешательства достигала 14 (5; 20) лет. Частота эпилептических приступов за 12 мес., предшествовавших хирургическому лечению, составляла в среднем 22 (12; 44) эпизода в месяц.

Манифестация эпилепсии характеризовалась следующим распределением: у 58% пациентов дебют представлен билатеральными тонико-клоническими приступами с неустановленным началом; у 30% – фокальными эпилептическими приступами с последующей вторичной генерализацией в тонико-клонические; у 12% – фокальными моторными приступами с нарушением осознанности.

Структура приступов на момент операции распределилась следующим образом. Билатеральные тонико-клонические приступы зарегистрированы у 47% пациентов. Фокальные моторные приступы были выявлены у 33% больных; из них у 30% отмечалось нарушение осознанности, ещё у 30% – вторичная генерализация. Фокальные немоторные приступы наблюдались у 20% пациентов; нарушение осознанности и вторичная генерализация были зафиксированы в 15% случаев.

Оценка исходов через 6 мес. проводилась у всех пациентов. Высокая эффективность хирургического лечения (классы I и II по Engel) была достигнута у 72% больных. Распределение пациентов по классам исходов сохраняло статистическую стабильность на протяжении всего периода наблюдения.

Стереотаксическая радиочастотная деструкция передних ядер таламуса

В группу пациентов, которым была проведена стереотаксическая радиочастотная деструкция передних ядер таламуса вошли 29 пациентов (18 мужчин и 11 женщин, средний возраст $18,2 \pm 8,7$ лет). Медиана длительности активной формы течения дебюта заболевания – 12 (4; 22) лет. За 12 мес.,

предшествовавших хирургическому лечению, среднее количество эпилептических приступов достигало 48 (14; 62) в месяц. Средний объем деструкции составил $312,8 \pm 82,2$ мм³. Исходы хирургического лечения оценивались через 6 мес. у всех пациентов. Доля положительных исходов составила 62% (Engel I – 42%, Engel II – 20%), доля неуспешных исходов – 38% (Engel III – 20%, Engel IV – 18%).

Клинический случай 1

Пациент Б. 55 лет. При поступлении пациент предъявлял жалобы на эпилептические приступы 3 типов. Фокальные моторные приступы характеризовались ороалиментарными, кистевыми и стопными автоматизмами, дистальными кистевыми автоматизмами в левой либо правой верхней конечности, дистонической установкой правой кисти, нарушением осознанности. Отмечалась эволюция в фокальные моторные приступы с клоническими судорогами в правой верхней конечности. Фокальные немоторные приступы проявлялись заторможенностью поведенческих реакций с нарушением осознанности. Также регистрировались билатеральные тонико-клонические приступы.

Был проведен видео-ЭЭГ-мониторинг на протяжении периодов активного и пассивного бодрствования, а также в состоянии физиологического ночного сна (продолжительность регистрации – 8 сут.). Биоэлектрическая активность головного мозга регистрировалась по 19 скальповым отведениям, установленным по системе «10–20%». В структуре продолженного регионального замедления фоновой ритмики регистрировалась интериктальная эпилептиформная активность среднего индекса, представленная периодическими, одиночными и сгруппированными разрядами комплексов «острая – медленная волна», «спайк – волна», локализованных в левой височной области. Кроме того, регистрировались очень редкие, в единичном количестве, независимые разряды комплексов «острая – медленная волна», «спайк – волна», локализованные в правой височной области. Мы зафиксировали 3 иктальных эпизода: В 2 случаях приступы сопровождались ороалиментарными автоматизмами, дистальными кистевыми автоматизмами в

левой верхней конечности, дистонической установкой правой кисти, клоническими судорогами в правой верхней конечности. Инициальная зона приступа в обоих случаях была локализована в левой височной области. В одном случае приступ сопровождался дистальными кистевыми автоматизмами в правой верхней конечности. Инициальная зона приступа была локализована в правой височной области.

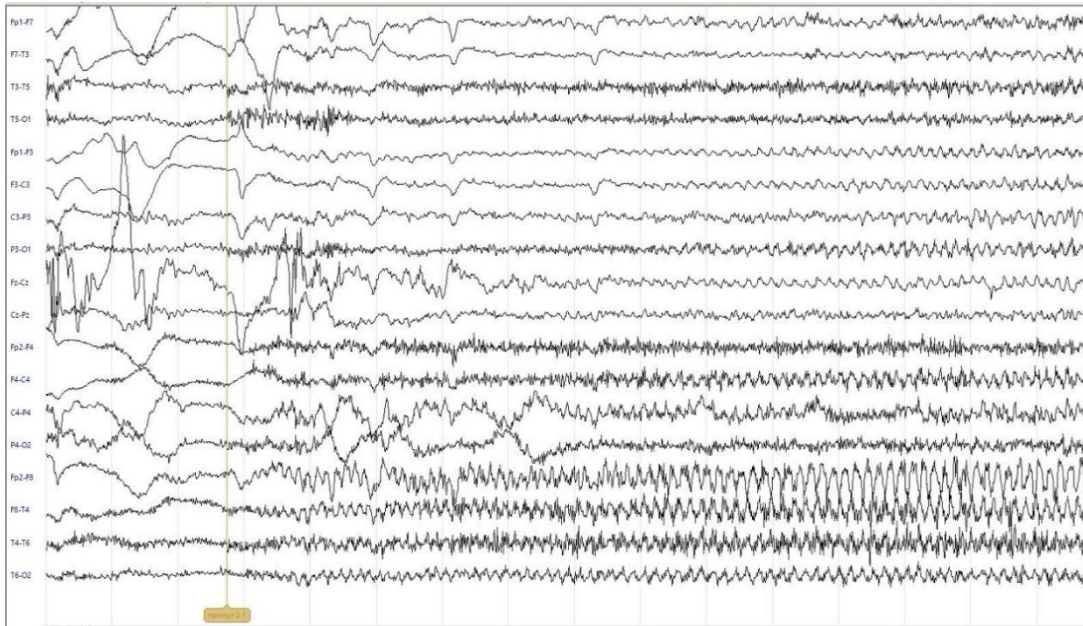


Рисунок 85 – Пациент Б. 55 лет; иктальная ЭЭГ; инициальная зона приступа локализована в правой височной области

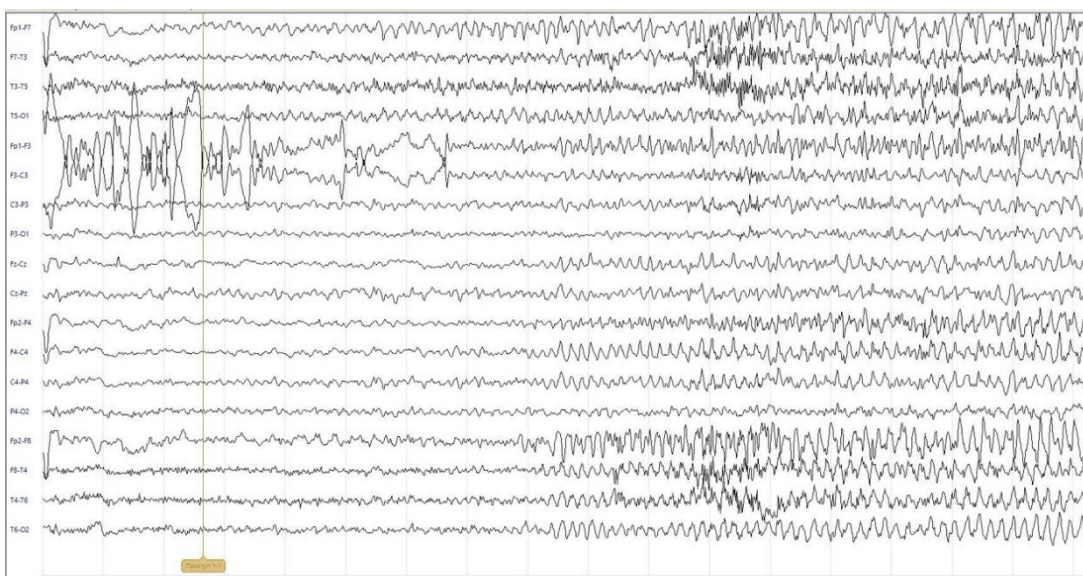


Рисунок 86 – Пациент Б. 55 лет; иктальная ЭЭГ; инициальная зона приступа локализована в левой височной области

Проведено хирургическое лечение – стереотаксическая 2-сторонняя радиочастотная термодеструкция передних ядер таламуса.

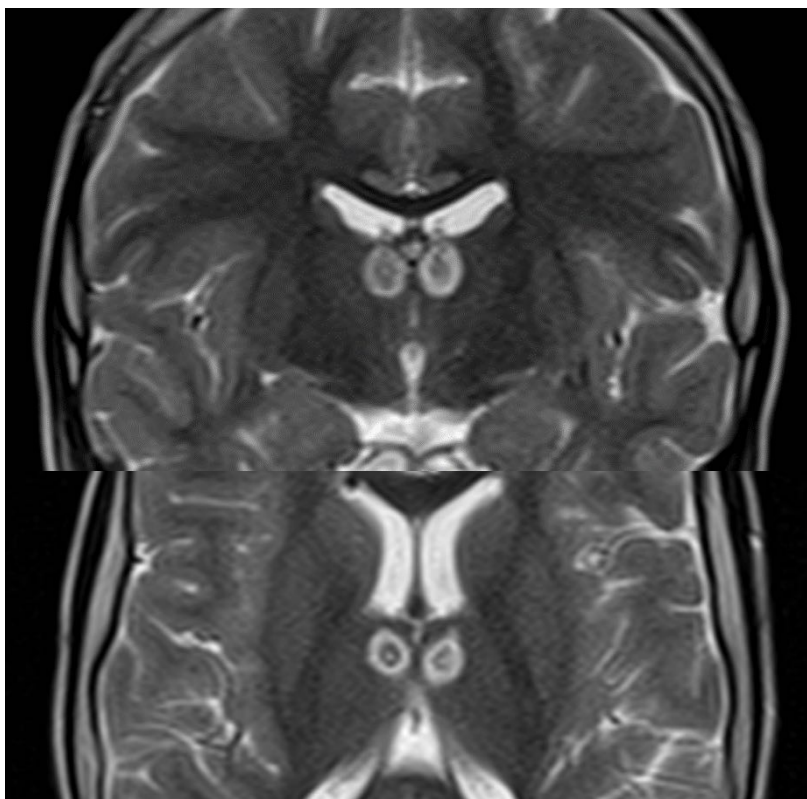


Рисунок 87 – Результаты контрольного МРТ-исследования головного мозга после оперативного вмешательства (T2 cor, ax); визуализируются очаги термодеструкции в запланированных зонах

В послеоперационном периоде проведен контрольный видео-ЭЭГ-мониторинг. В структуре периодического регионального замедления фоновой ритмики выявлено наличие интериктальной эпилептиформной активности низкого индекса, представленной периодическими, одиночными и сгруппированными разрядами комплексов «острая – медленная волна», «спайк – волна», локализованных в левой височной области. Кроме того, регистрируется наличие редких независимых разрядов комплексов «острая – медленная волна», «спайк – волна», локализованных в правой височной области. Иктальных ЭЭГ-паттернов, эпилептических приступов на протяжении записи не зафиксировано. В сравнении с данными дооперационного обследования отмечается положительная динамика в виде снижения представленности эпилептиформной активности.

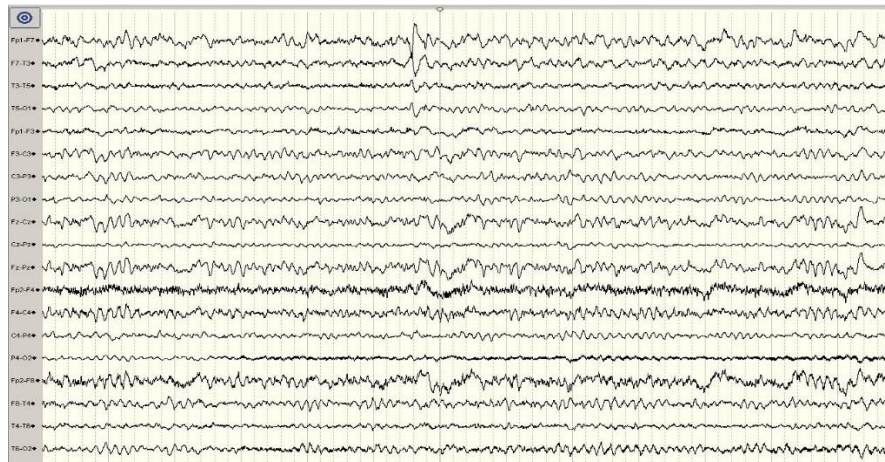


Рисунок 88 – Пациент Б. 55 лет; отмечается присутствие в записи одиночных разрядов эпилептиформной активности, локализованных в левой височной области

Стереозендоскопическая лазерная деструкция передних ядер таламуса

В группу пациентов, которым была проведена стереозендоскопическая лазерная деструкция передних ядер таламуса вошли 15 пациентов (7 мужчин и 8 женщин, средний возраст $19,7 \pm 7,2$ лет). Медиана длительности активной формы течения дебюта заболевания – 15 (6; 25) лет. Частота эпилептических приступов за 12 мес., предшествовавших хирургическому вмешательству, составляла в среднем 56 в месяц (26; 77). Средний объем деструкции составил $1156,1 \pm 236$ мм³. Исходы хирургического лечения оценены через 6 мес. у всех пациентов. Доля положительных исходов составила 74% (Engel I – 52%, Engel II – 22%), доля неуспешных исходов составила 26% (Engel III – 14%, Engel IV – 12%).

Клинический случай

Пациент Л., 9 лет. Жалобы при поступлении на приступы в виде замирания, снижения тонуса в верхних и нижних конечностях, с потерей сознания, иногда приступы в виде испуга и крика, приступы с отведением головы и глаз вправо, ороалиментарными автоматизмами в виде причмокивания, клонические судороги в правой руке с переходом на левую руку и нижние конечности. По данным МРТ, обнаружен склероз левого гиппокампа (вторичный характер).

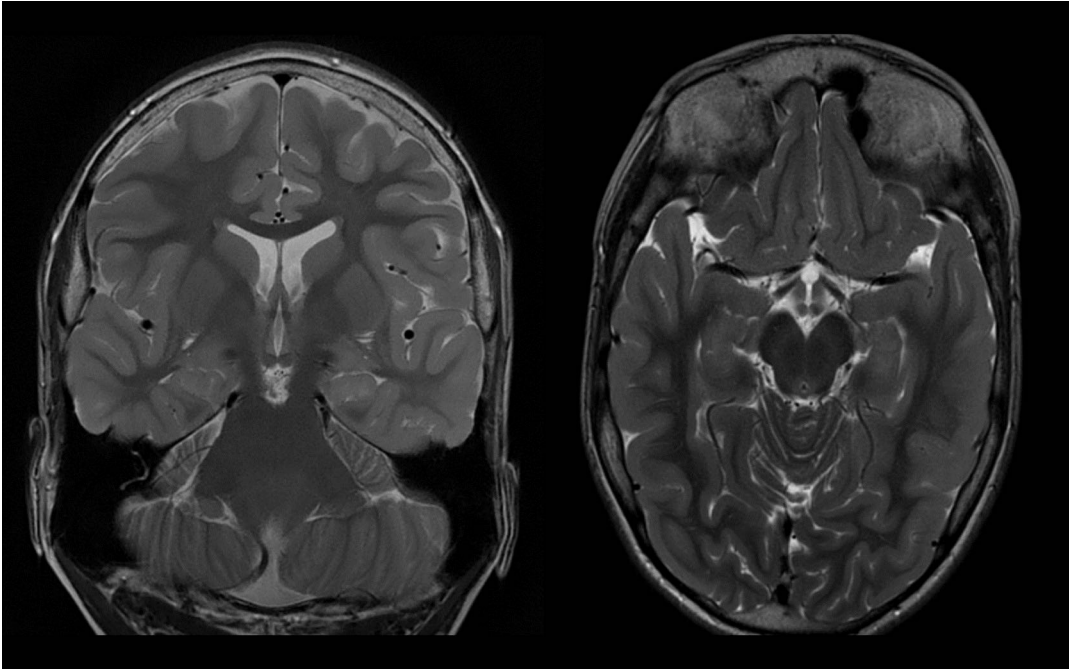


Рисунок 89 – Результаты МРТ-исследования головного мозга до оперативного вмешательства (T2 cor, ax); визуализируются МР-признаки мезиального темпорального склероза слева

Проведен видео-ЭЭГ-мониторинг на протяжении периодов активного и пассивного бодрствования, а также в состоянии физиологического ночного сна (продолжительность регистрации – 6 сут.). Биоэлектрическая активность головного мозга регистрировалась по 19 скальповым отведениям, установленным по системе «10–20%». Выявлено наличие интериктальной мультирегиональной эпилептиформной активности низкого индекса, представленной периодическими одиночными и сгруппированными разрядами комплексов «острая – медленная волна», «спайк – волна», локализованных в виде независимых очагов в левой височной области, правой височной области, левой лобной области, правой лобной области. Разряды эпилептиформной активности имеют частое распространение, приобретая латерализованный (слева или справа) и генерализованный характер.

Зафиксировано 3 иктальных эпизода с генерализованными тонико-клоническими судорогами. Первичный иктальный паттерн на ЭЭГ в одном случае имел латерализованный в отведениях от правого полушария характер, в одном случае – диффузный характер, в одном случае – генерализованный характер.

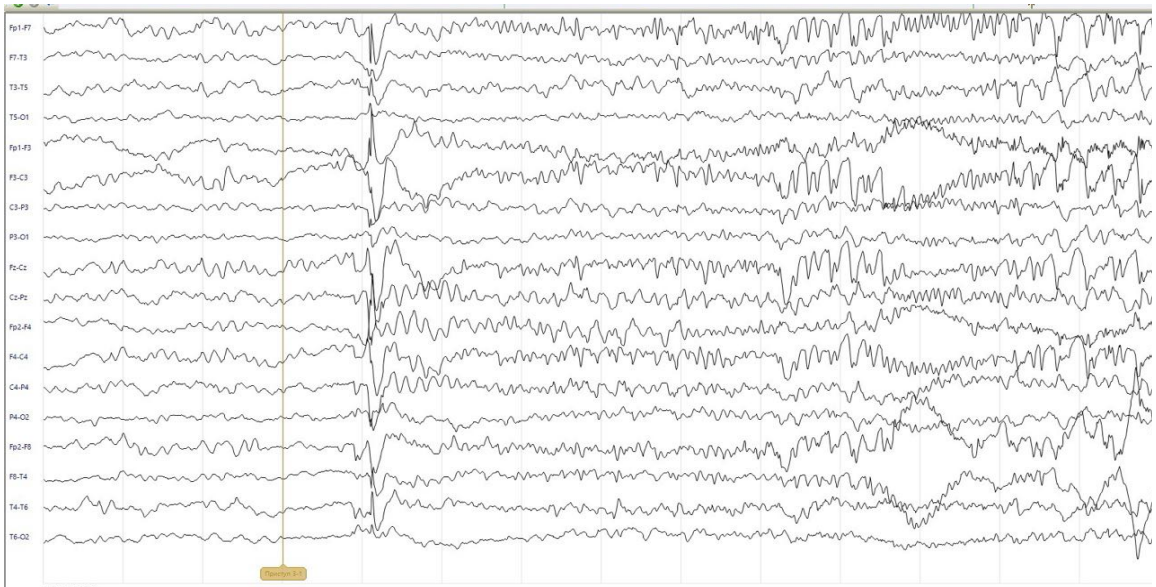


Рисунок 90 – Пациент Л. 9 лет; иктальная ЭЭГ; первичный иктальный паттерн на ЭЭГ имел генерализованный характер

Была проведена операция – стереотаксическая 2-сторонняя лазерная термодеструкция передних ядер таламуса по аналогичной методике.

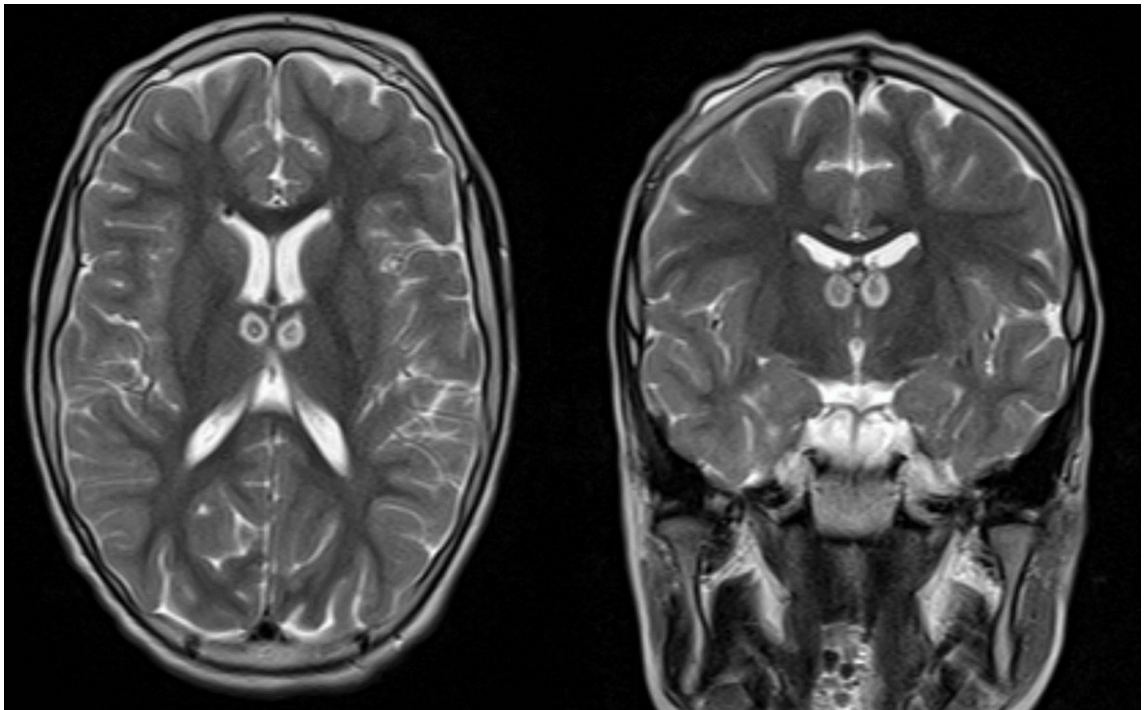


Рисунок 91 – Результаты контрольного МРТ-исследования головного мозга после оперативного вмешательства (T2 ax, cor); визуализируются очаги термодеструкции в запланированных зонах

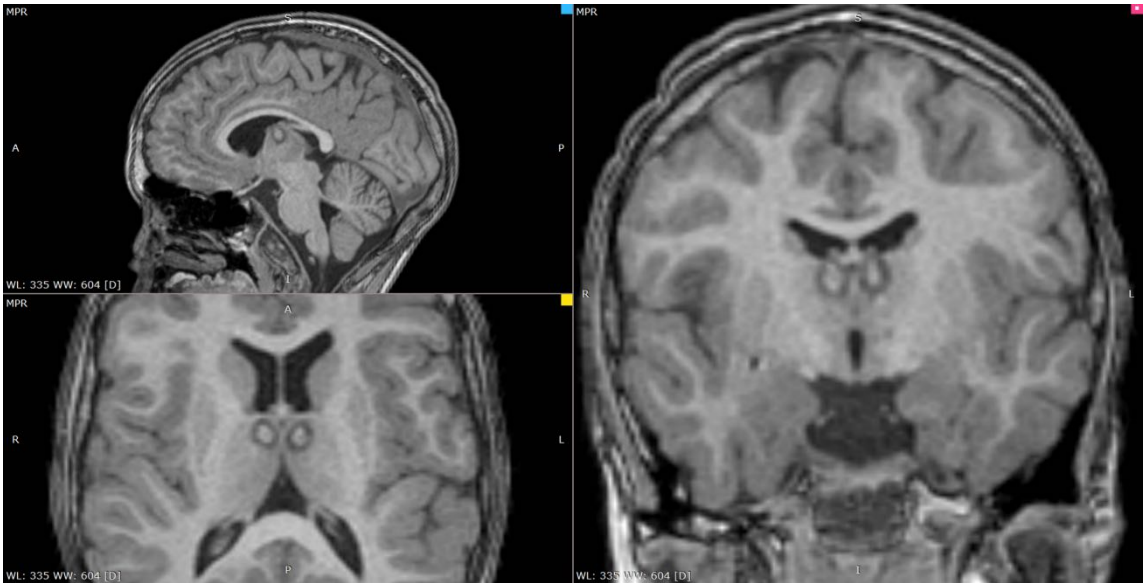


Рисунок 92 – Результаты контрольного МРТ-исследования головного мозга после оперативного вмешательства (T1 MPR); визуализируются очаги термодеструкции в запланированных зонах

В послеоперационном периоде провели видео-ЭЭГ-мониторинг. Было выявлено наличие интериктальной региональной эпилептиформной активности в незначительном количестве, представленной очень редкими одиночными разрядами комплексов «острая – медленная волна», «спайк – волна» с амплитудой до 150 мкВ, локализованных в левой лобной области, а также независимо – в правой лобно-центральной области. В сравнении с данными предоперационного обследования отмечалась положительная динамика в виде снижения амплитуды и представленности эпилептиформной активности.

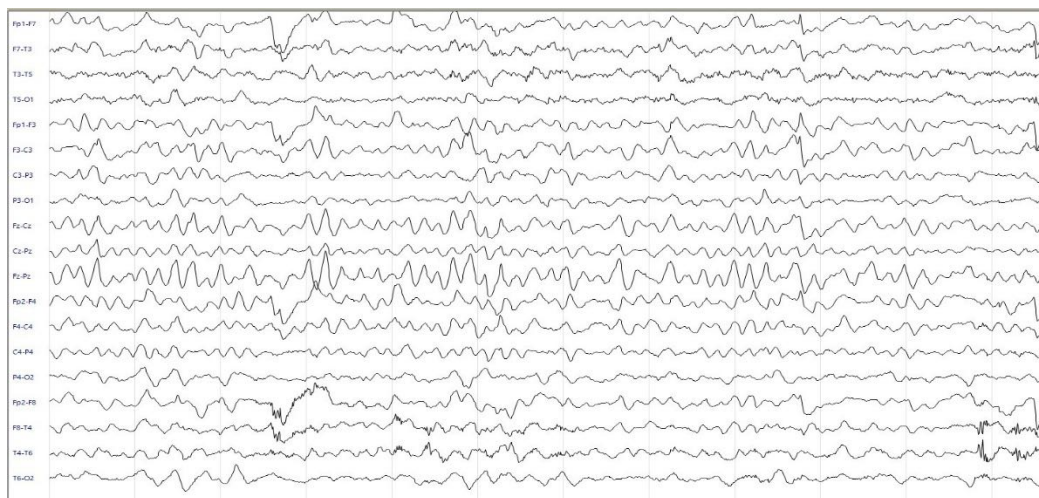


Рисунок 93 – Пациент Л. 9 лет; отмечается присутствие в записи одиночных разрядов эпилептиформной активности с локализацией в левой лобной области

Стереотаксическая радиочастотная деструкция амигдалогиппокампального комплекса

В группу пациентов, которым была проведена стереотаксическая радиочастотная деструкция амигдалогиппокампального комплекса вошли 14 пациентов (8 мужчин и 6 женщин, средний возраст $26,5 \pm 8,2$ г.). Медиана длительности активной формы течения дебюта заболевания составила 18 (4; 23) лет. Частота эпилептических приступов за 12 мес., предшествовавших хирургическому вмешательству, была равна в среднем 5 в месяц (3; 12). Средний объем деструкции составил $2257,4 \pm 726,6$ мм³. Исходы хирургического лечения оценивали через 6 мес. у всех пациентов. Доля положительных исходов составила 70% (Engel I – 42%, Engel II – 28%), доля неуспешных исходов – 30% (Engel III – 12%, Engel IV – 18%).

Клинический случай

Пациентка В. 20 лет. Жалобы при поступлении на легкие приступы в виде дезориентации, нарушение осознанности, отвечает на вопросы невпопад; большие приступы в виде дезориентации, поворота головы влево, тоническое напряжение конечностей, с последующей клонической фазой, затем резко встает и неосознанно идет, нарушение речи во время приступа, постприступная амнезия. Перед приступами аура в виде легкого головокружения. По данным МРТ головного мозга, обнаружена неполная инверсия левого гиппокампа. Был проведен видео-ЭЭГ-мониторинг на протяжении периодов активного и пассивного бодрствования, а также в состоянии физиологического ночного сна (продолжительность регистрации – 4 сут.). Биоэлектрическая активность головного мозга регистрировалась по 19 скальповым отведениям, установленным по системе «10–20%». Выявлено наличие интериктальной эпилептиформной активности низкого индекса, представленной периодическими, преимущественно одиночными, разрядами комплексов «острая – медленная волна», «спайк – волна»,

локализованных в левой височной области. Зафиксировано 4 иктальных эпизода, сопровождавшихся сначала остановкой деятельности, автоматизмами в виде потирания кистей рук, далее отмечалась версия головы вправо, в 3 случаях с генерализованными тонико-клоническими судорогами, в 1 случае – с клоническими подергиваниями лицевой мускулатуры справа. Инициальная зона приступа на ЭЭГ во всех случаях была локализована в левой височной области. Обследование продолжили с привлечением стерео-ЭЭГ (продолжительность регистрации – 2 сут.). Биоэлектрическая активность регистрировалась по отведениям 3 многоканальных глубинных электродов, имплантированных в:

- 1) левую височную долю (маркировка L.vis, 8 каналов);
- 2) левую лобную долю (маркировка L.lob, 4 канала);
- 3) левый гиппокамп (маркировка L.gip, 8 каналов).



Рисунок 94 – Пациентка В. 20 лет; иктальная ЭЭГ; первичный иктальный паттерн локализован в левой височной области

Выявили наличие интериктальной эпилептиформной активности высокого индекса, представленной периодическими, достаточно регулярными, одиночными и сгруппированными разрядами полиморфных комплексов «спайк – волна», «полиспайк – волна», локализованных в отведениях электрода, имплантированного в левый гиппокамп, а также независимо, в умеренном количестве – в отведениях 6–7 электрода, имплантированного в левую височную долю. Зафиксировано 5

иктальных эпизодов с дезориентацией, нарушением осознанности, в 1 случае – с последующими генерализованными тонико-клоническими судорогами. Первичный иктальный паттерн во всех случаях был локализован в отведениях электрода, имплантированного в левый гиппокамп.

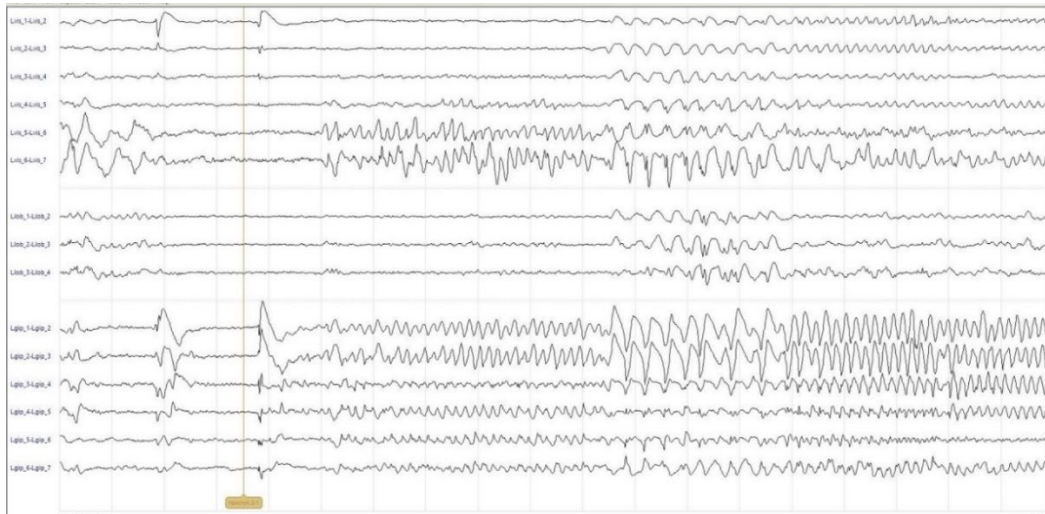


Рисунок 95 – Пациентка В. 20 лет; иктальная ЭЭГ; первичный иктальный паттерн локализован в отведениях электрода, имплантированного в левый гиппокамп

Было проведено оперативное вмешательство – стереотаксическая радиочастотная термодеструкция левого амигдалогиппокампального комплекса головного мозга.

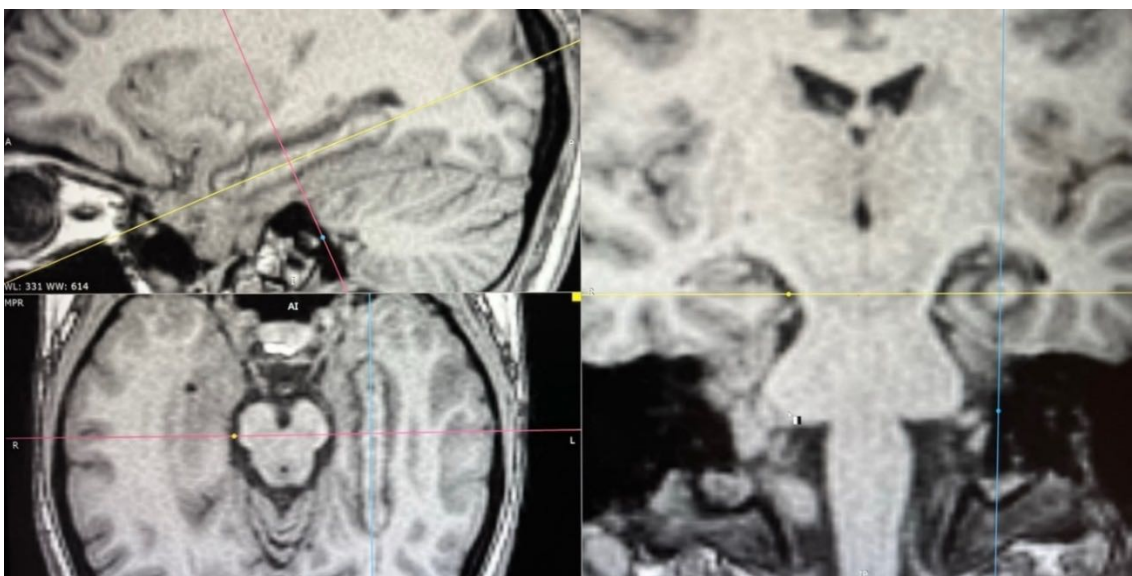


Рисунок 96 – Результаты контрольного МРТ-исследования головного мозга после оперативного вмешательства (T1 MPR); визуализируется деструкция в запланированной анатомической зоне

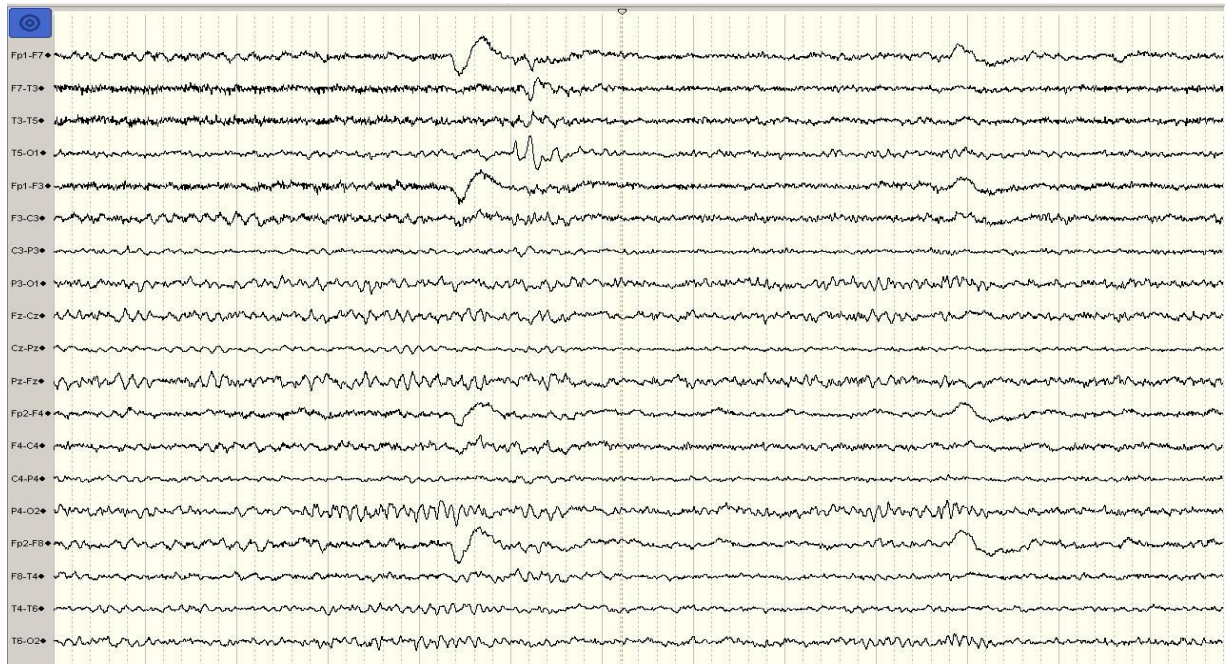


Рисунок 97 – Пациентка В. 20 лет; регистрируются единичные разряды комплексов «острая – медленная волна», «спайк – волна», локализованных в левой височной области

При контрольном видео-ЭЭГ-мониторинге биоэлектрическая активность головного мозга регистрировалась по 19 скальповым отведениям, установленным по системе «10–20%». Выявили наличие региональной интериктальной эпилептиформной активности, представленной одиночными, в единичном количестве, разрядами комплексов «острая – медленная волна», «спайк – волна», локализованных в левой височной области. Иктальных ЭЭГ-паттернов, эпилептических приступов на протяжении записи зафиксировано не было. В сравнении с данными предоперационного обследования отмечалась выраженная положительная динамика в виде уменьшения представленности эпилептиформной активности.

Стереотаксическая лазерная деструкция амигдалогиппокампального комплекса

В группу пациентов, которым была проведена стереотаксическая лазерная деструкция амигдалогиппокампального комплекса вошли 9 пациентов (3 мужчин

и 5 женщин, средний возраст $28,5 \pm 9,6$ лет). Медиана длительности активной формы течения дебюта заболевания составила 19 (5; 26) лет. Частота эпилептических приступов за 12 мес., предшествовавших хирургическому вмешательству, была равна 4 (3; 11) в месяц. Средний объем деструкции составил $3415,6 \pm 1125$ мм³. Итоги хирургического лечения оценивались через 6 мес. у всех пациентов. Доля положительных исходов составила 78% (Engel I – 56%, Engel II – 22%), доля неуспешных исходов – 22% (Engel III – 12%, Engel IV – 10%).

Клинический случай

Пациентка К. 47 лет. При поступлении пациентка предъявляла жалобы на фокальные немоторные эпилептические приступы, проявлявшиеся заторможенностью поведенческих реакций. Приступы характеризовались эволюцией в фокальные с орофациальными и мануальными автоматизмами, вокализацией без нарушения осознанности. В ряде случаев отмечались падения и нарушение осознанности. По данным МРТ головного мозга, выявлен мезиальный темпоральный склероз справа.

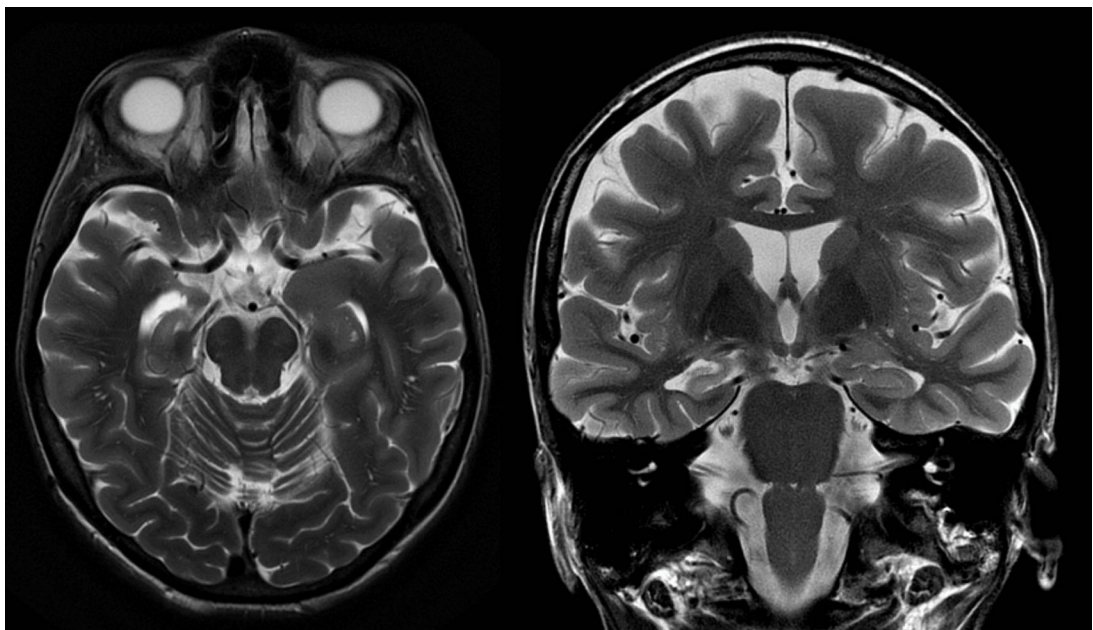


Рисунок 98 – Результаты МРТ-исследования головного мозга до оперативного вмешательства (T2 cor, ax); визуализируются МР-признаки мезиального темпорального склероза слева

Был проведен видео-ЭЭГ-мониторинг на протяжении периодов активного и пассивного бодрствования, а также в состоянии физиологического ночного сна (продолжительность регистрации – 12 сут.). Биоэлектрическая активность головного мозга регистрировалась по 19 скальповым отведениям, установленным по системе «10–20%». Выявлены региональные нарушения биопотенциалов головного мозга в виде продолженного замедления фоновой ритмики, локализованного в правой височной области. Выявлено наличие интериктальной региональной эпилептиформной активности высокого индекса, представленной частыми, преимущественно сгруппированными в серии, разрядами комплексов «острая–медленная волна», локализованных в правой височной области. Зафиксировано 3 иктальных эпизода, сопровождавшихся нарушением сознания, с падением, в 1 случае – с кистевыми автоматизмами в правой верхней конечности. Инициальная зона приступа во всех случаях была локализована в правой задневисочной области.

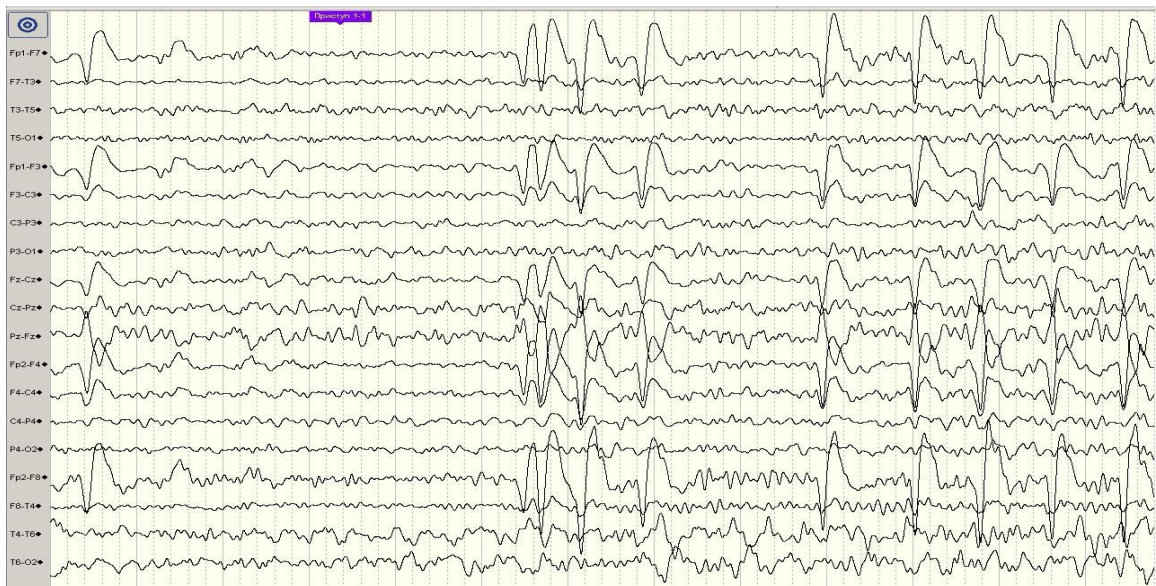


Рисунок 99 – Пациентка К. 47 лет; иктальная ЭЭГ; первичный иктальный паттерн (замедление) определяется в правой задневисочной области

Было проведено оперативное лечение – стереотаксическая лазерная термодеструкция правого амигдалогиппокампального комплекса головного мозга.

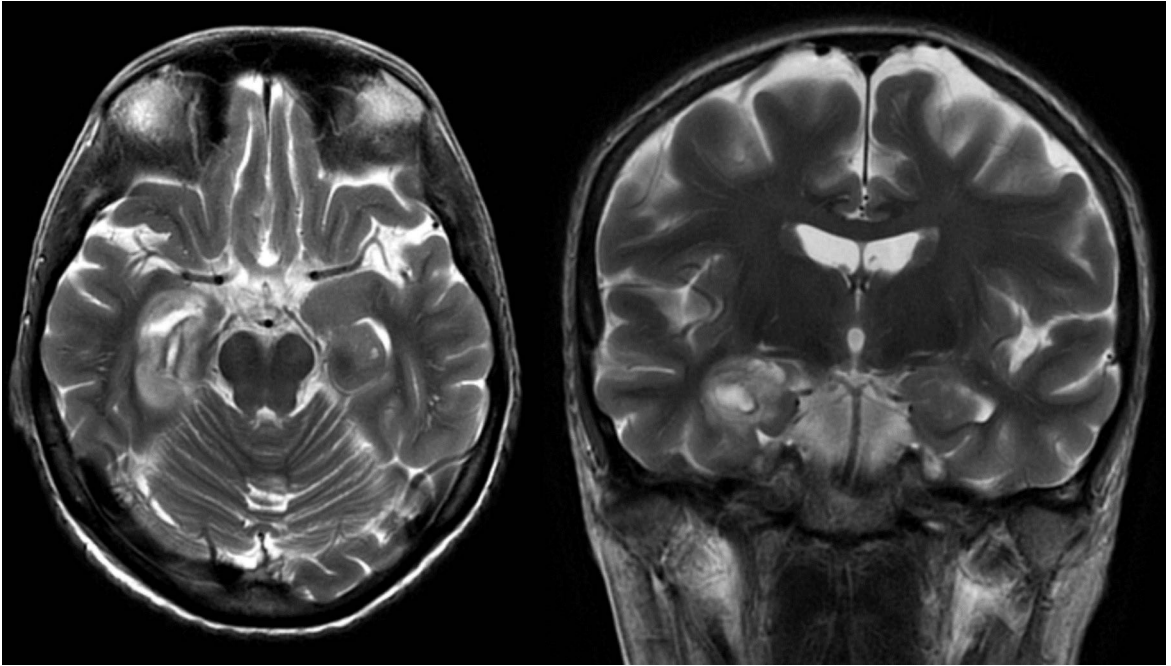


Рисунок 100 – Результаты контрольного МРТ-исследования головного мозга после оперативного вмешательства (T2 ах, сог); визуализируется деструкция в запланированной анатомической зоне

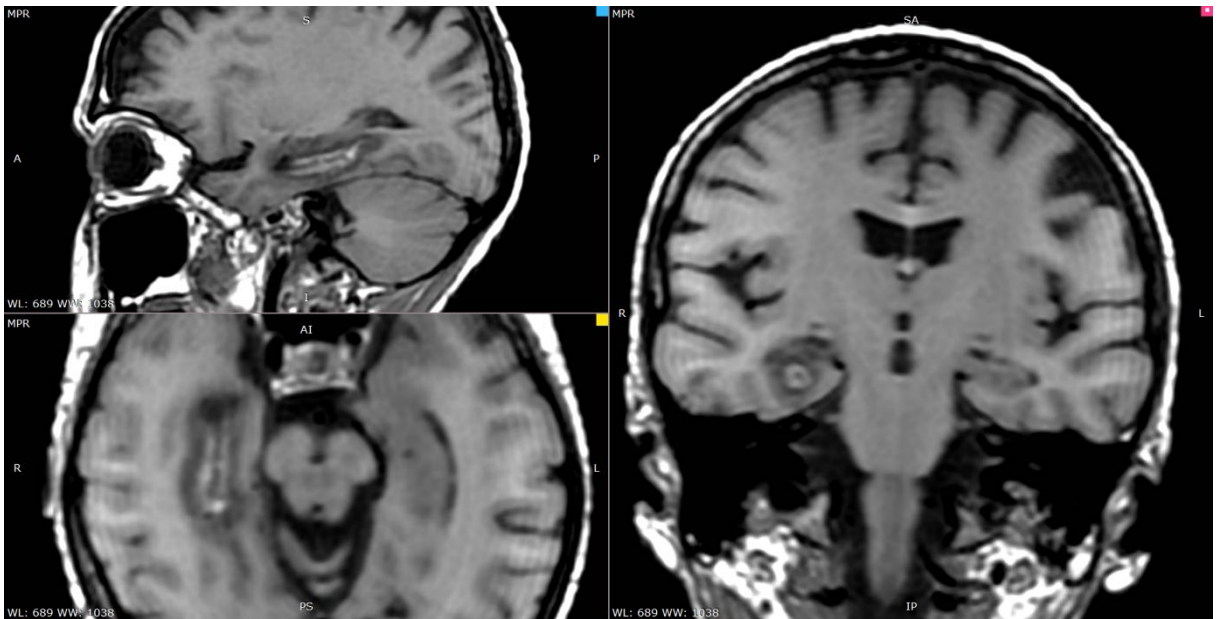


Рисунок 101 – Результаты контрольного МРТ-исследования головного мозга после оперативного вмешательства (T1 MPR); визуализируется деструкция в запланированной анатомической зоне

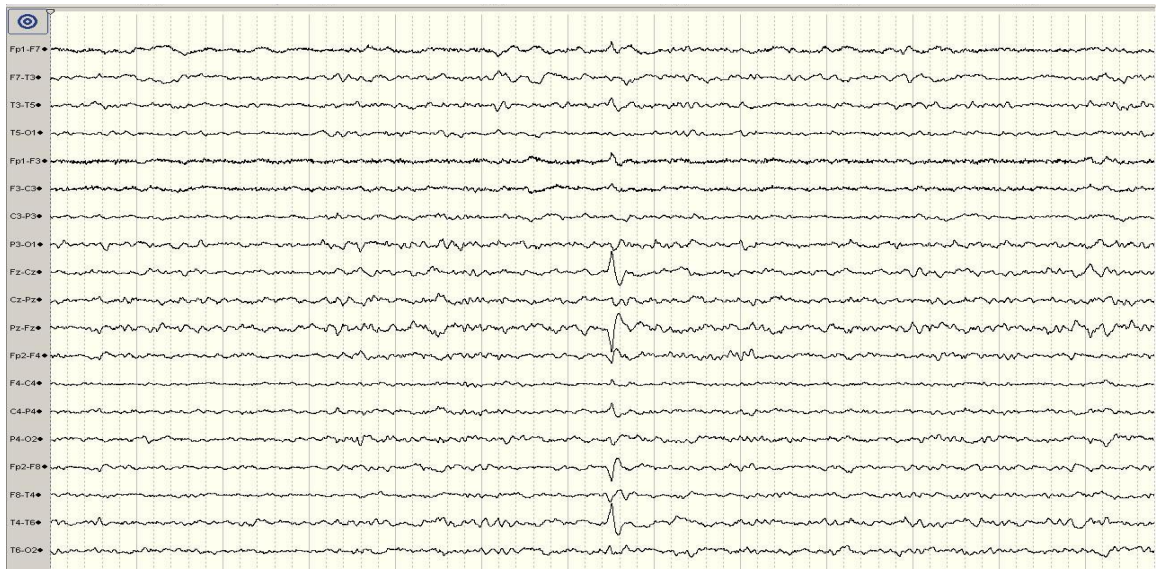


Рисунок 102 – Пациентка К. 47 лет; регистрируются редкие одиночные разряды комплексов «острая – медленная волна», «спайк – волна», локализованных в правой височной области

При контрольном ЭЭГ-обследовании выявлено наличие интериктальной региональной эпилептиформной активности низкого индекса, представленной редкими, преимущественно одиночными, разрядами комплексов «острая – медленная волна», «спайк – волна», локализованных в правой височной области. Эпилептических приступов, иктальных ЭЭГ-паттернов на протяжении записи не зафиксировано. В сравнении с данными предоперационного обследования отмечалась выраженная положительная динамика в виде значительного снижения представленности эпилептиформной активности.

Стереозндоскопическая лазерная деструкция амигдалогиппокампального комплекса

В группу пациентов, которым была проведена стереозндоскопическая лазерная деструкция амигдалогиппокампального комплекса вошли 15 пациентов (8 мужчин и 6 женщин, средний возраст $25,9 \pm 9,1$ лет). Медиана длительности активной формы течения дебюта заболевания – 19 (7; 22) лет. Частота эпилептических приступов за 12 мес., предшествовавших хирургическому вмешательству, составляла 5 (4; 11) в месяц. Средний объем деструкции составил

1322,2±359,0 мм³. Исходы хирургического лечения оценены через 6 мес. у всех пациентов. Доля положительных исходов составила 58% (Engel I –20%, Engel II – 38%), доля неуспешных исходов составила 42% (Engel III – 22%, Engel IV – 20%).

Анализ исходов в группе деструкции передних ядер таламуса

Группы стереотаксической радиочастотной и стереоэндоскопической деструкции передних ядер таламуса были сопоставимы по половозрастной структуре, стажу активного течения заболевания и среднему количеству приступов в месяц. Что касается суммарного объема деструкции, достоверно более высокие значения наблюдались в группе стереоэндоскопической лазерной деструкции передних ядер таламуса 1156,1±236 мм³ > 312,8±82,2 мм³ (p=0,029). Доля положительных исходов была также достоверно выше 74% (Engel I – 52%, Engel II – 22%) > 62% (Engel I – 42%, Engel II – 20%) в группе пациентов, которым была выполнена деструкция передних ядер таламуса стереоэндоскопическим лазерным методом (p=0,042). При анализе корреляционных связей наблюдалась достоверная корреляционная связь средней силы (R=0,522, p=0,012) между большим суммарным объемом деструкции и положительным исходом хирургического лечения.

Анализ исходов в группе деструкции амигдалогиппокампального комплекса

Группы стереотаксической радиочастотной, лазерной и стереоэндоскопической деструкции амигдалогиппокампального комплекса были сопоставимы по половозрастной структуре, стажу активного течения заболевания и среднему количеству приступов в месяц. Касаясь суммарного объема деструкции достоверно более высокие значения наблюдались в группе стереотаксической лазерной деструкции гиппокампа 3415,6 ± 1125 мм³ > 2257,4 ± 726,6 мм³ > 1322,2 ± 359,9 мм³ (p=0,01). Доля положительных исходов была также достоверно выше в

группе пациентов, которым была выполнена деструкция амигдалогиппокампального комплекса стереоэндоскопическим лазерным методом 78% (Engel I – 56%, Engel II – 22%) > 70% (Engel I – 42%, Engel II – 28%) > 58% (Engel I – 20%, Engel II – 38%) ($p=0,029$). При анализе корреляционных связей наблюдалась достоверная корреляционная связь средней силы ($R=0,415$, $p=0,041$) между большим суммарным объемом деструкции и положительным исходом хирургического лечения.

Результаты

1. Наиболее частым типом взаиморасположения сосудистых анатомических структур венозного угла стал магистральный билатеральный, встречающийся, по данным проведенного кадаверного анатомического исследования, примерно в 44% случаев. Рассыпной тип взаиморасположения сосудистых анатомических структур венозного угла стал наименее часто встречающимся, по данным проведенного кадаверного анатомического исследования, примерно в 9% случаев (3% билатеральный, 6% унилатеральный). Наиболее часто встречающимся вариантом расположения венозного угла оказался передний, примерно 60% случаев, тогда как промежуточный вариант стал наименее встречающимся (около 18% случаев).

2. Передняя группа ядер таламуса недоступна для прямой визуализации, по данным МРТ-исследования, и наиболее достоверным методом ее верификации у конкретного пациента может служить построение персонифицированной цифровой анатомической модели с использованием FreeSurfer.

3. Селективная малоинвазивная деструкция амигдалогиппокампального комплекса любым из приведенных в работе методом является высокоэффективным способом хирургического лечения среди пациентов с мезиальными височными формами ФРЭ. Стереотаксическая лазерная деструкция амигдалогиппокампального комплекса позволяет получить достоверно наибольший объем разрушения тканей патологического очага ($3415,6 \pm 1125$ мм³,

$p=0,01$), что коррелирует ($R=0,415$, $p=0,041$) с наилучшим исходом хирургического лечения в данной группе пациентов (78% (Engel I–56%, Engel II–22%), ($p=0,029$).

4. Передняя группа ядер таламуса является высокоэффективной мишенью для деструкции в группе пациентов с генерализованной и мультифокальной формами ФРЭ. Деструкция передней группы ядер таламуса стереоэндоскопическим лазерным методом ведет к достоверно большему суммарному объему деструкции очага воздействия ($1156,1 \pm 236$ мм³, $p=0,029$), что имеет достоверную корреляционную связь ($R=0,522$, $p=0,012$) с лучшим исходом хирургического лечения в данной группе пациентов (74% (Engel I – 52%, Engel II – 22%), $p=0,042$).

5. Разработан «Алгоритм выбора способа диагностики и способа малоинвазивного лечения у пациентов с височной эпилепсией» (Рисунок 102).

ГЛАВА 5. ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНДОЭКСКОПИЧЕСКОЙ МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ МОСТОМОЗЖЕЧКОВОГО УГЛА НА ПРИМЕРЕ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ НЕВРАЛГИИ ТРОЙНИЧНОГО НЕРВА

5.1. Макроскопическая анатомия мостомозжечкового угла

ММУ расположен между верхним и нижним концами мостомозжечковой щели, образованной каменистой поверхностью мозжечка, складывающейся вокруг моста и средней ножки мозжечка. Мостомозжечковая щель открывается медиально и имеет верхнюю и нижнюю ветви, которые сходятся на боковой вершине. С 4-го по 11-й черепно-мозговые нервы расположены вблизи или в пределах углового пространства между двумя концами, обычно называемого ММУ.

Топография черепных нервов в области ММУ определяется их взаимоотношением с щелью между стволом мозга и мозжечком. Блоковый нерв (*n. trochlearis*) и тройничный нерв (*n. trigeminus*) располагаются вблизи верхнего отдела щели. Языкоглоточный (*n. glossopharyngeus*), блуждающий (*n. vagus*) и добавочный (*n. accessorius*) нервы локализируются у её нижнего края. Отводящий нерв (*n. abducens*) занимает основание щели, следуя вдоль линии, соединяющей передние концы верхнего и нижнего отделов.

При хирургических доступах к тройничному нерву существенное значение имеет идентификация лицевого (*n. facialis*), преддверно-улиткового (*n. vestibulocochlearis*), языкоглоточного и блуждающего нервов.

Корешок тройничного нерва (*radix n. trigemini*) вступает в ствол головного мозга приблизительно на середине расстояния между верхней и нижней границами моста. Нередко край мозжечка выступает впереди, перекрывая зону вхождения заднего корешка в мост. В интрадуральном пространстве тройничный нерв следует равномерно в косом направлении кверху – от латерального отдела моста к

верхушке каменистой части височной кости (*os temporale, pars petrosa*) (Рисунок 104).

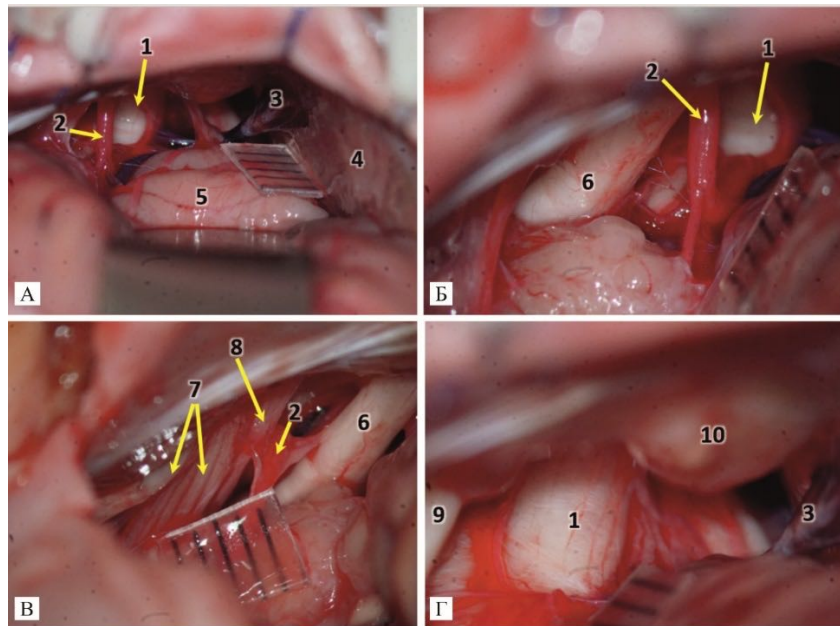


Рисунок 104 – Левый ММУ: макроанатомическое строение; препарат головного мозга (кадаверный материал) с контрастированием артериального и венозного русла цветным силиконом; область визуализирована через левый ретросигмовидный доступ: 1 – корешок тройничного нерва (*radix n. trigemini*); 2 – передняя нижняя мозжечковая артерия (*a. cerebelli inferior anterior*); 3 – верхняя каменистая вена (*v. petrosa superior*); 4 – намет мозжечка (*tentorium cerebelli*); 5 – клочок мозжечка (*flocculus*); 6 – преддверно-улитковый нерв, VIII черепной нерв (*n. vestibulocochlearis*); 7 – блуждающий нерв, X черепной нерв (*n. vagus*); 8 – языкоглоточный нерв, IX черепной нерв (*n. glossopharyngeus*); 9 – лицевой нерв, VII черепной нерв (*n. facialis*); 10 – супрамеатальный бугорок (*tuberculum suprameatale*)

Корешок тройничного нерва (*radix nervi trigemini*) покидает заднюю черепную ямку (*fossa cranii posterior*), направляется кпереди под вырезкой намёта мозжечка (*incisura tentorii*) и вступает в среднюю черепную ямку (*fossa cranii media*). Здесь корешок проникает в Меккелеву пещеру (*cavum trigeminale*), локализирующуюся в области тройничного вдавления (*impressio trigemini*) на верхней поверхности пирамиды височной кости (*pars petrosa ossis temporalis*). Меккелева пещера-цистерна простирается вперёд от задней черепной ямки вдоль заднего корешка тройничного нерва до уровня средней части ганглия. В ходе изучения макроскопической анатомии с применением микрохирургической

эндоскопической техники Меккелева пещера была открыта путём удаления латеральной стенки дуральной оболочки.

Корешок тройничного нерва, Гассеров узел и 3 ветви были обнажены путем удаления твердой мозговой оболочки с латеральной стенки Меккелевой пещеры и пещеристого синуса. Корешок тройничного нерва входит мост ниже верхней мозжечковой артерии и переплетается с ветвями верхней каменной вены. Верхняя мозжечковая артерия извивается вниз и в месте соединения роstralного и каудального стволов контактирует с задним корешком тройничного нерва в месте соединения с мостом. Клочок мозжечка выступает вперед и может блокировать доступ к месту соединения тройничного нерва и моста при ретросигмовидном доступе (Рисунок 105).

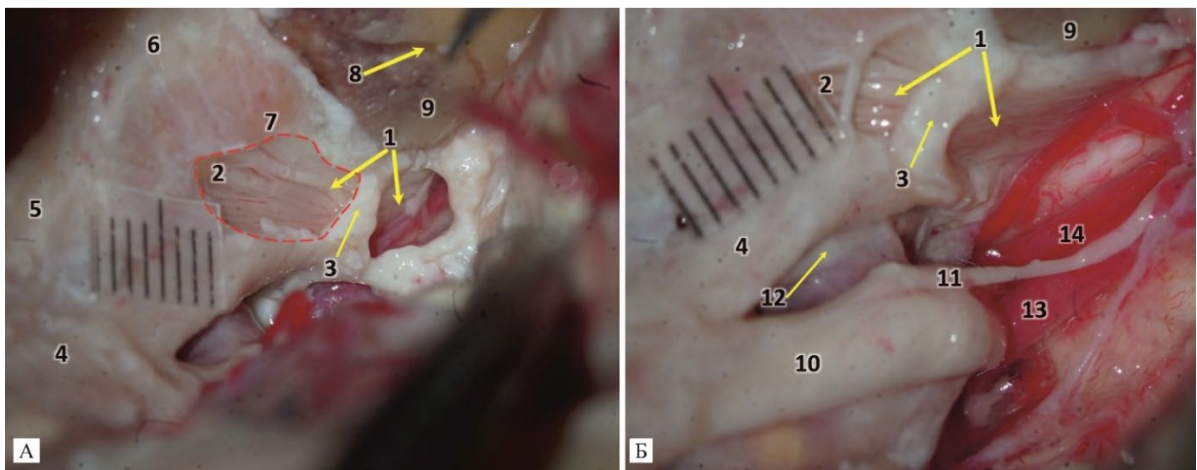


Рисунок 105 – Макроскопическая анатомия меккелевой пещеры, тройничного узла и медиальной поверхности средней черепной ямки справа. Кадаверный препарат головного мозга, артерии и вены инъецированы цветным силиконом. Визуализация из расширенного птерионального доступа справа (А, Б). Обозначения: 1 – корешок тройничного нерва до и после входа в меккелеву полость (*radix n. trigemini, cavum trigeminale*); 2 – тройничный узел (*ganglion trigeminale*); 3 – твёрдая мозговая оболочка над расщелиной тройничного нерва (*dura mater*); 4 – глазной нерв, первая ветвь тройничного нерва (*n. ophthalmicus, V1*); 5 – верхнечелюстной нерв, вторая ветвь тройничного нерва (*n. maxillaris, V2*); 6 – нижнечелюстной нерв, третья ветвь тройничного нерва (*n. mandibularis, V3*); 7 – меккелева полость (*cavum trigeminale*); 8 – расщелина канала большого каменистого нерва (*hiatus canalis n. petrosi majoris*); 9 – пирамида височной кости (*pars petrosa ossis temporalis*); 10 – глазодвигательный нерв, III пара черепных нервов (*n. oculomotorius*); 11 – блоковый нерв, IV пара черепных нервов (*n. trochlearis*); 12 – отводящий нерв, VI пара черепных нервов (*n. abducens*); 13 – задняя мозговая артерия (*a. cerebri posterior*); 14 – верхняя мозжечковая артерия (*a. cerebelli superior*)

Изучение эндоскопической анатомии задней части Меккелевой пещеры и ММУ в аспекте хирургического лечения НТН остается актуальным вопросом до настоящего времени.

Супрамеатальный бугорок расположен над отверстием внутреннего слухового прохода. После тракции мозжечка можно визуализировать место соединения тройничного нерва с мостом. Верхние каменистые вены впадают в верхний каменистый синус. Блоковый нерв находится у верхнего края, а лицевой и вестибулокохлеарный – у нижнего края изображения. Вена мостомозжечковой щели поднимается позади нерва, а мостотройничная вена проходит над ним. Нижняя каменистая вена проходит позади блуждающего нерва.

Крупная каменистая вена блокирует доступ к супрамеатальной области. С целью лучшей визуализации задних отделов Меккелевой пещеры и щели тройничного нерва верхняя каменистая вена была пересечена для обнажения супрамеатального бугорка, расположенного над отверстием внутреннего слухового прохода и латеральнее тройничного нерва. Твёрдая мозговая оболочка над супрамеатальным бугорком была удалена для подготовки к сверлению. Удаление супрамеатальной кости, включая бугорок, расширяет область обнажения вдоль заднего корешка тройничного нерва примерно на 1 см и улучшает доступ к передней части ствола мозга и ската, а также расширяет задние отделы Меккелевой пещеры и щель тройничного нерва.

Таким образом, ММУ – сложное комплексное многомерное узкое образование, которое располагается глубинно, и стенки его составляют витально важные нейроваскулярные анатомические структуры, любое повреждение которых ведет к неприятностям.

5.2. Магнитно-резонансная морфометрия тройничного нерва и устья пещеры Меккеля

Целью данного раздела исследования являлось определение МР-морфометрических характеристик тройничного нерва при НТН в сравнении с контрольной группой (КГ), установление зон максимальной компрессии нерва.

Мы провели ретроспективное когортное исследование с формированием проспективной группы сравнения. Исследование выполнялось в Федеральном центре нейрохирургии (г. Тюмень) в 2019–2025 гг. Все пациенты подписывали информированное согласие на оперативное лечение и использование медицинских данных в научных целях.

Критерии включения соответствовали ICHD-3 для классической НТН (первично пароксизмальная или с сопутствующей постоянной болью): клинический диагноз классической тригеминальной невралгии, наличие НВК, по данным МРТ, отсутствие признаков вторичной невралгии (демиелинизирующие заболевания, объемные образования ММУ), неэффективность или непереносимость медикаментозной терапии карбамазепином или окскарбазепином в максимально переносимых дозах, отсутствие тяжелой сопутствующей патологии (ASA I–III).

Критерии исключения: вторичная НТН, предшествующие деструктивные вмешательства на тройничном нерве или ганглии Гассера, предшествующие операции на задней черепной ямке, выраженные когнитивные нарушения или психические заболевания, некомпенсированная коагулопатия.

Исследование проведено на 69 пациентов, разделенных на 2 группы.

В основную группу (группа 1) включили 46 пациентов (средний возраст 57,0 ± 1,6 лет, 39 женщин (84,8%) и 7 мужчин (15,2%) с классической НТН, которым в период с 2019 по 2024 гг. была проведена стандартная МВД по Джанетте.

Контрольная группа (группа 2) была представлена 23 пациентами с гемифасциальным спазмом без клинических проявлений НТН, оперированных в тот же период (2022–2024 гг.), у которых выполнялась МРТ головного мозга

с аналогичным протоколом исследования. Данная группа была выбрана в качестве контроля, поскольку пациенты подвергались идентичному МРТ-обследованию в рамках предоперационной подготовки, что обеспечивало стандартизацию условий морфометрического анализа. Средний возраст пациентов КГ соответствовал основной группе – $56,7 \pm 2,6$ лет, женщины – 14 пациентов (60,9%), мужчины – 9 пациентов (39,1%).

Основная группа и КГ были сопоставимы по возрасту, половому и расовому составу.

Всем пациентам выполнялась предоперационная МРТ на высокопольном томографе GE Healthcare Discovery 750 3,0 Тл для идентификации НВК и морфологических изменений нерва. Протокол включал стандартные T1- и T2-взвешенные изображения, а также специализированные высокоразрешающие 3D-последовательности для визуализации цистернальных сегментов черепных нервов. Для морфометрии использовались изотропные 3D Steady-State Free Precession последовательности: 3D-CISS (Siemens) или FIESTA (GE) с толщиной среза 0,4–0,8 мм, изотропным разрешением, матрицей 256×256 или 384×384 ; либо 3D-T2 Turbo Spin Echo последовательности SPACE (Siemens) или VISTA (Philips) с толщиной среза 0,6–1,0 мм. Дополнительно выполнялась МР-ангиография (3D-TOF или контрастная MRA) для детализации сосудистых структур. Морфометрический анализ проводился в программе RadiAnt DICOM Viewer (версия 2024.1, Medixant, Poland) на калиброванном мониторе медицинского класса с использованием мультипланарных реконструкций. Анализ выполнялся двумя независимыми исследователями (нейрохирургом и нейрорадиологом), каждое измерение проводилось дважды с интервалом не менее 24 ч., окончательное значение рассчитывалось как среднее арифметическое 4-х измерений. Все измерения выполнялись на мультипланарных реконструкциях с толщиной среза не более 1,0 мм.

Морфометрия включала измерение поперечного сечения цистернального сегмента, оценку вдавления/уплощения и углометрию (включая ось цистернального сегмента и её отношение к петрозальному гребню/порусу).

Проводилось измерение и оценка следующих параметров:

1. Сагиттальный угол тройничного нерва на уровне porus trigeminus (SATNaPT) – основной клинически значимый параметр. Измерялся на сагиттальных косых срезах с вершиной угла на внутреннем крае дурального отверстия porus trigeminus: одно ребро – по оси цистернального сегмента проксимальнее отверстия, второе – по траектории нерва в пещере Меккеля дистальнее отверстия (Рисунок 106).

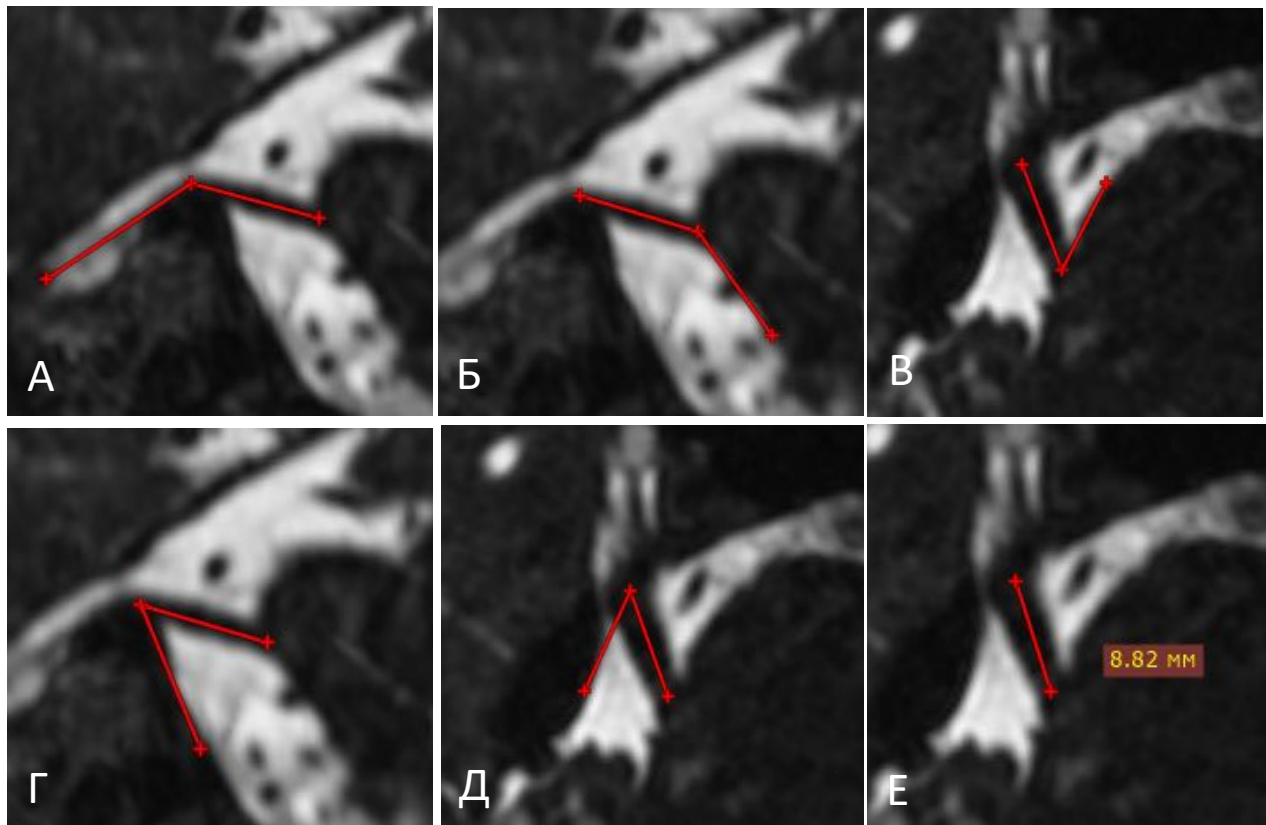


Рисунок 106 – Методика МР-морфометрии у пациентов с НТН: А – измерение сагиттального угла тройничного нерва на уровне Porus Trigeminus (SATNaPT); Б, В – измерение понтийных углов в сагиттальной (sTPoA) и аксиальной плоскостях (aTPoA); Г, Д – измерение тригемино-петрозных углов в сагиттальной (sTPtA) и аксиальной плоскостях (aTPtA); Е – измерение длины цистернального участка тройничного нерва (L TN)

2. Тригемино-понтийные углы – рассчитывались в аксиальной (aTPoA) и сагиттальной (sTPoA) косых плоскостях (Рисунок 106 Б, В). Одно ребро – по оси цистернального сегмента дистальнее точки выхода корешка, второе – по касательной к передне-латеральной поверхности моста.

3. Тригемино-петрозные углы определялись в сагиттальной (sTPtA) и аксиальной (aTPtA) косых плоскостях в области внутреннего края porus trigeminus (Рисунок 106 Г, Д). Одно ребро – касательная к оси цистернального сегмента проксимальнее отверстия, второе – касательная к верхнему каменистому гребню в точке внутреннего края porus trigeminus.

4. Длина цистернального сегмента (L TN) измерялась от точки выхода корешка до внутреннего края porus trigeminus по центральной линии хода нерва (Рисунок 106 Е).

5. Площадь поперечного сечения нерва в цистернальном сегменте (STC) определялась в корональной косой плоскости, перпендикулярной продольной оси нерва в середине цистернального пути, методом свободной планиметрии по наружному контуру нервного ствола.

6. Геометрия porus trigeminus – оценивались высота (H Porus), ширина (W Porus) и площадь (S Porus) измерялась по внутреннему краю дурального кольца; с этой целью дополнительно формировали плоскость, перпендикулярную его фронту (Рисунок 107).

7. Площадь поперечного сечения нерва в зоне porus trigeminus (S TP) измерялась в точке входа нерва в костный канал (Рисунок 107).

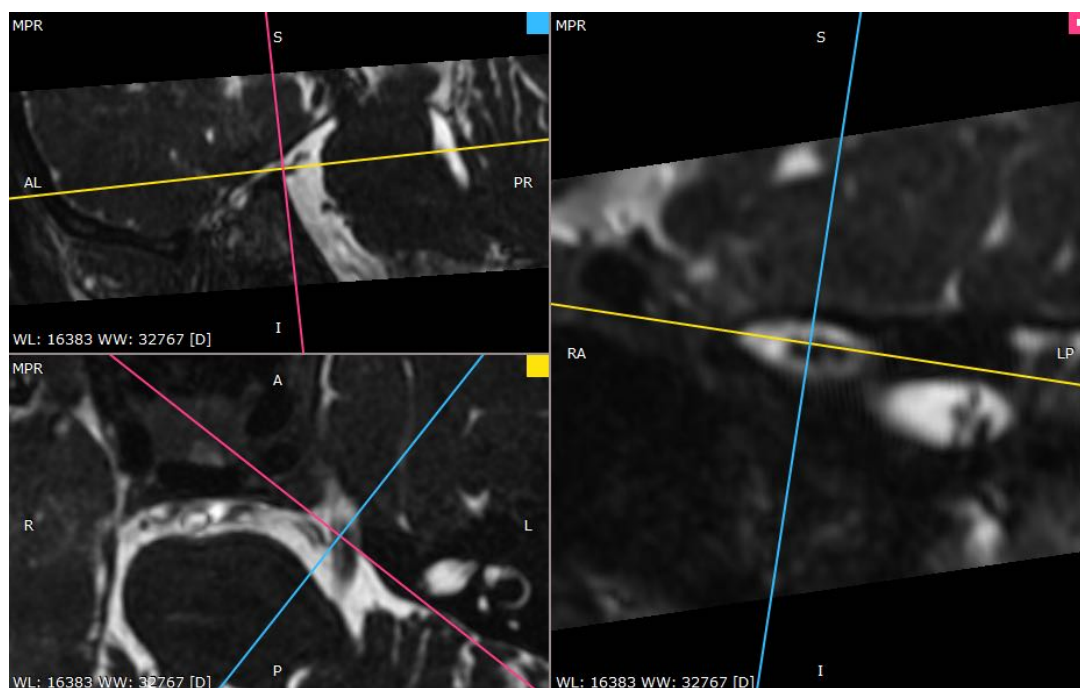


Рисунок 107 – Оценка геометрии, размеров и площади Porus Trigeminal

5.2.1. Сравнительный анализ магнитно-резонансной морфометрии тройничного нерва в норме и при тригеминальной невралгии

Сравнительный анализ морфометрических параметров тройничного нерва на стороне боли и контралатеральной здоровой стороне у пациентов с НТН выявил статистически значимые различия по ряду показателей, что позволило объективизировать структурные изменения нерва при компрессии и определить зону максимальной деформации. Результаты парных сравнений для всех морфометрических параметров представлены в таблице 20.

Данные различия носили систематический характер и имели место у 41 из 46 пациентов (89,1%), что указывает на высокую воспроизводимость морфометрических изменений при НВК. Наиболее выраженные и клинически значимые различия выявлены для сагиттального угла тройничного нерва при входе в *porus trigeminus* (SATNaPT), который является ключевым показателем деформации траектории нерва. На стороне боли угол SATNaPT составил $136,7 \pm 1,7^\circ$ (95% ДИ $133,3-140,1^\circ$, медиана $137,0^\circ$, диапазон $110,0-158,0^\circ$), что статистически значимо меньше, чем на здоровой стороне – $145,3 \pm 1,8^\circ$ (95% ДИ $141,7-148,9^\circ$, медиана $146,0^\circ$, диапазон $120,0-168,0^\circ$). Средняя разница составила $8,6 \pm 1,7^\circ$ (95% ДИ $-12,1$ до $-5,1^\circ$, $t = -4,93$, $df = 45$, $p < 0,001$), размер эффекта $d = 0,73$, что соответствует среднему размеру эффекта по классификации Коэна и указывает на клиническую значимость различия. Уменьшение угла на стороне боли отражает более острый перегиб нерва при входе в костный канал пещеры Меккеля. Изменение траектории и первичное смещения нерва приводит к усилению контакта с верхним костным краем пирамиды височной кости.

Таблица 20 – Сравнение морфометрических параметров тройничного нерва на стороне боли и здоровой стороне (основная группа, n=46)

| Параметр | Сторона боли | Здоровая сторона | Δ | p | Cohen's d |
|----------------|-----------------|------------------|----------------|------------------|-------------|
| SATNaPT, град. | $136,7 \pm 1,7$ | $145,3 \pm 1,8$ | $-8,6 \pm 1,7$ | <0,001 | 0,73 |
| aTPoA, град. | $41,5 \pm 1,9$ | $38,4 \pm 1,6$ | $+3,1 \pm 1,8$ | 0,048 | 0,25 |
| sTPoA, град. | $131,3 \pm 1,7$ | $128,5 \pm 1,6$ | $+2,8 \pm 1,5$ | 0,035 | 0,25 |

Продолжение таблицы 20

| | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------------|-------------|
| sTPtA, град. | 52,5±1,6 | 55,6±1,5 | -3,1±1,4 | 0,019 | 0,30 |
| aTPtA, град. | 56,3±1,6 | 59,4±1,5 | -3,1±1,4 | 0,016 | 0,29 |
| L TN, мм | 9,51±0,27 | 10,04±0,27 | -0,53±0,25 | 0,019 | 0,29 |
| S TC, мм ² | 5,47±0,33 | 6,60±0,39 | -1,13±0,36 | <0,001 | 0,47 |
| S TP, мм ² | 8,24±0,56 | 9,51±0,53 | -1,27±0,51 | 0,009 | 0,35 |
| H Porus, мм | 3,23±0,14 | 3,16±0,11 | +0,07±0,13 | 0,30 | 0,08 |
| W Porus, мм | 10,66±0,32 | 10,74±0,31 | -0,08±0,29 | 0,39 | 0,04 |
| S Porus, мм ² | 29,04±1,73 | 29,08±1,56 | -0,04±1,61 | 0,49 | 0,00 |
| Примечание: данные представлены как M±SEM; SATNaPT – сагиттальный угол тройничного нерва на уровне porus trigeminus; aTPoA/sTPoA – тригемино-понтийные углы в аксиальной/сагиттальной плоскости; sTPtA/aTPtA – петрозные углы в сагиттальной/аксиальной плоскости; L TN – длина цистернального сегмента; S TC – площадь сечения тройничного нерва в цистернальном сегменте; S TP – площадь сечения тройничного нерва на уровне porus trigeminus; H/W/S Porus – высота/ширина/площадь porus trigeminus. | | | | | |

Сравнительный анализ морфометрических параметров в зависимости от демографических характеристик не выявил статистически значимых различий между мужчинами и женщинами, между европеоидами и монголоидами, а также зависимости от возраста пациентов. Все основные морфометрические показатели на стороне боли были сопоставимы у пациентов различного пола и расовой принадлежности, что свидетельствует об универсальности патофизиологических механизмов развития морфометрических изменений при НТН независимо от демографических характеристик.

Распределение пациентов по степени уменьшения сагиттального угла тройничного нерва на стороне боли: уменьшение более 15° – у 8 пациентов (17,4%), от 10° до 15° – у 12 (26,1%), от 5° до 10° – у 16 (34,8%), менее 5° – у 10 (21,7%). Только у 5 пациентов (10,9%) угол на стороне боли был больше или равен углу на здоровой стороне; детальный анализ этих случаев показал, что у 3 из них имелся двусторонний НВК с уменьшением угла билатерально, у 2 – венозный конфликт Grade 1 с минимальной компрессией. Корреляционный анализ показал, что степень уменьшения сагиттального угла тройничного нерва (разница между здоровой и больной сторонами) положительно коррелирует с Grade конфликта ($r = +0,48$, $p < 0,001$): у пациентов с Grade 3 среднее уменьшение составило 12,3±2,8°, с Grade 2 – 8,1±1,9°, с Grade 1 – 5,4±1,6° (ANOVA $F = 6,84$, $p = 0,003$).

Другие угловые параметры также демонстрировали статистически значимые, хотя и менее выраженные изменения. Аксиальный тригемино-понтный угол на стороне боли составил $41,5 \pm 1,9^\circ$ против $38,4 \pm 1,6^\circ$ на здоровой стороне, разница $+3,1 \pm 1,8^\circ$ ($t = +1,69$, $p = 0,048$, $d = 0,25$). Сагиттальный тригемино-понтный угол (sTRoA) на стороне боли составил $131,3 \pm 1,7^\circ$ против $128,5 \pm 1,6^\circ$ на здоровой стороне, разница $+2,8 \pm 1,5^\circ$ ($t = +1,86$, $p = 0,035$, $d = 0,25$). Сагиттальный тригемино-петрозный угол (sTRPtA) на стороне боли составлял $52,5 \pm 1,6^\circ$ против $55,6 \pm 1,5^\circ$ на здоровой стороне, разница $-3,1 \pm 1,4^\circ$ ($t = -2,14$, $p = 0,019$, $d = 0,30$). Аксиальный тригемино-петрозный угол (aTRPtA) также был меньше на стороне боли ($56,3 \pm 1,6^\circ$ против $59,4 \pm 1,5^\circ$, разница $-3,1 \pm 1,4^\circ$, $t = -2,21$, $p = 0,016$, $d = 0,29$).

Линейные размеры тройничного нерва также продемонстрировали статистически значимые различия между сторонами. Длина цистернального сегмента тройничного нерва (L TN) на стороне боли составила $9,51 \pm 0,27$ мм (95% ДИ 8,96–10,06 мм, медиана 9,40 мм, диапазон 6,2–13,8 мм), что было статистически значимо меньше, чем на здоровой стороне – $10,04 \pm 0,27$ мм (95% ДИ 9,49–10,59 мм, медиана 10,10 мм, диапазон 7,0–14,2 мм). Корреляция между степенью укорочения и Grade конфликта была слабой и незначимой ($r = -0,18$, $p = 0,23$). Уменьшение длины в таком случае может быть обусловлено укорочением вследствие длительной компрессии с формированием локального участка атрофии. Площадь поперечного сечения тройничного нерва была статистически значимо меньше на стороне боли как в средней части цистернального сегмента, так и на уровне *roculus trigeminus*, что является интегральным показателем компрессии нерва (Таблица 20). Площадь в цистернальном сегменте (STC), измеренная в средней трети на участке без видимого контакта с сосудами составила на стороне боли $5,47 \pm 0,33$ мм² (95% ДИ 4,8–6,14 мм², медиана 5,2 мм², диапазон 1,8–11,2 мм²) против $6,60 \pm 0,39$ мм² (95% ДИ 5,81–7,39 мм², медиана 6,4 мм², диапазон 2,8–12,8 мм²) на здоровой стороне. Средняя разница составила $11,3 \pm 3,6$ мм² (95% ДИ –18,5 до –4,1 мм², $t = -3,15$, $p < 0,001$, $d = 0,47$), что соответствует уменьшению площади на 17,1% (относительное уменьшение рассчитывалось как площадь на здоровой стороне – площадь на больной стороне/площадь на здоровой стороне $\times 100\%$). Размер

эффекта $d = 0,47$ близок к среднему, что подчеркивает клиническую значимость изменения. У пациентов с максимальным уменьшением площади (более 30%) отмечалась тенденция к более высокой исходной интенсивности боли (ВАШ $9,2 \pm 0,2$) по сравнению с пациентами с минимальным уменьшением (ВАШ $8,6 \pm 0,3$, $p = 0,11$, статистически незначимо). Корреляция между степенью уменьшения STC и Grade конфликта была умеренной и статистически значимой ($r = +0,41$, $p = 0,005$): у пациентов с Grade 3 среднее уменьшение составило $24,8 \pm 6,2\%$, с Grade 2 – $16,3 \pm 4,8\%$, с Grade 1 – $11,2 \pm 3,6\%$.

Площадь поперечного сечения тройничного нерва в зоне *porus trigeminus* (S TP), измеренная в точке входа нерва в костный канал, на стороне боли составила $8,24 \pm 0,56$ мм² (95% ДИ $7,11-9,37$ мм², медиана $7,9$ мм², диапазон $2,8-17,6$ мм²) против $9,51 \pm 0,53$ мм² (95% ДИ $8,44-10,58$ мм², медиана $9,2$ мм², диапазон $4,2-18,8$ мм²) на здоровой стороне. Средняя разница составила $12,7 \pm 5,1$ мм² (95% ДИ – $23,0$ до $-2,4$ мм², $t = -2,47$, $p = 0,009$, $d = 0,35$), что соответствует уменьшению на $13,4\%$. Размер эффекта $d = 0,35$ соответствует малому/среднему эффекту.

В отличие от параметров самого нерва, размеры костного отверстия *porus trigeminus* не различались между сторонами. Высота *porus* (H Porus) составила $3,23 \pm 0,14$ мм на стороне боли против $3,16 \pm 0,11$ мм на здоровой стороне (разница $0,07 \pm 0,13$ мм, $t = +0,53$, $p = 0,30$). Ширина *porus trigeminus* (W Porus) составила $10,66 \pm 0,32$ мм против $10,74 \pm 0,31$ мм (разница $0,08 \pm 0,29$ мм, $t = -0,27$, $p = 0,39$). Площадь *porus trigeminus* (S Porus) составила $29,04 \pm 1,73$ мм² против $29,08 \pm 1,57$ мм² (разница $0,4 \pm 1,62$ мм², $t = -0,02$, $p = 0,49$).

Дополнительно нами был проведен сравнительный анализ морфометрических параметров правой и левой сторон для оценки физиологической асимметрии тройничных нервов у лиц без компрессии (КГ, пациенты с гемифациальным спазмом без НТН) (Таблица 21). Проведенный анализ выявил минимальную асимметрию морфометрических параметров, не достигающую уровня статистической значимости для большинства показателей площади поперечного сечения нерва, что резко контрастирует с выраженными различиями в основной группе. При анализе наличия визуального контакта сосуда

с тройничным нервом в КГ выявлено, что у 4 пациентов (17,4%) имелся контакт справа (во всех случаях Grade 1 по Sindou), у 2 пациентов (8,7%) – билатеральный контакт (Grade 1 с обеих сторон). Таким образом, частота выявления визуального НВК при МРТ в КГ составила 26,1% (6 из 23), однако у всех этих пациентов отсутствовала клиническая картина НТН. Это критическое наблюдение указывает на недостаточную специфичность простого визуального выявления контакта сосуда и нерва для диагностики клинически значимого НВК и подчеркивает необходимость дополнительных объективных критериев, таких как количественная морфометрия.

Для оценки диагностической значимости морфометрических параметров в выявлении клинически значимой компрессии тройничного нерва проведено сравнение показателей стороны боли в основной группе с соответствующими параметрами правой стороны в КГ (Таблица 21).

Таблица 21 – Сравнение морфометрических параметров: сторона боли vs контрольная группа

| Параметр | Сторона боли (ОГ, n=46) | Контроль справа (КГ, n=23) | Контроль слева (КГ, n=23) | P (боль vs КГ среднее) | Cohen's d |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|-------------|
| SATNaPT, град. | 136,7±1,7 | 145,3±3,0 | 147,0±2,8 | 0,004 | 0,75 |
| L TN, мм | 9,51±0,27 | 9,27±0,39 | 10,05±0,34 | 0,62 | 0,13 |
| STC, мм ² | 5,47±0,33 | 6,08±0,40 | 6,53±0,47 | 0,068 | 0,35 |
| S TP, мм ² | 8,24±0,56 | 10,58±0,85 | 10,47±0,82 | 0,009 | 0,69 |
| S Porus, мм ² | 29,04±1,73 | 32,90±2,48 | 34,04±2,42 | 0,18 | 0,35 |

Примечание: ОГ – основная группа (НТН); КГ – контрольная группа (гемифасциальный спазм); данные представлены как M±SEM, p – значения рассчитаны для сравнения стороны боли с объединенной контрольной группой (правая+левая); Cohen's d рассчитан для сравнения стороны боли с КГ; SATNaPT – сагиттальный угол тройничного нерва на уровне porus trigeminus; aTPoA/sTPoA – тригемино-понтийные углы в аксиальной/сагиттальной плоскости; sTPtA/aTPtA – тригемино-петрозные углы в сагиттальной/аксиальной плоскости; LTN – длина цистернального сегмента; STC – площадь сечения тройничного нерва в цистернальном сегменте; S TP – площадь сечения тройничного нерва на уровне porus trigeminus; H/W/S Porus – высота/ширина/площадь porus trigeminus.

Сагиттальный угол SATNaPT на стороне боли в основной группе (136,7±1,7°) был статистически значимо меньше, чем в КГ (145,3±3,0°), разница –8,6° (t = –2,68, df = 67, p = 0,004) (Рисунок 108). Тем не менее площадь поперечного сечения нерва

в цистернальной части имела только тенденцию к уменьшению: STC на стороне боли ($5,47 \pm 0,33 \text{ мм}^2$) была меньше, чем в КГ справа ($6,08 \pm 0,40 \text{ мм}^2$) на $0,61 \text{ мм}^2$ ($t = -1,85$, $p = 0,068$ с поправкой на неравные дисперсии). Площадь сечения тройничного нерва на уровне *porus trigeminus* (S TP) на стороне боли ($8,24 \pm 0,56 \text{ мм}^2$) была значимо меньше, чем в контрольной группе ($10,58 \pm 0,85 \text{ мм}^2$), разница $-2,34 \text{ мм}^2$ ($t = -2,65$, $p = 0,009$) (Рисунок 109). Длина цистернального отрезка тройничного нерва (L TN) на стороне боли ($9,51 \pm 0,27 \text{ мм}$) не отличалась от КГ ($9,27 \pm 0,39 \text{ мм}$, $p = 0,62$), что указывает на высокую вариабельность этого параметра в популяции. Таким образом, ключевые параметры компрессии (SATNaPT, S TP) значимо отличают пациентов с НТН от КГ. Значимая атрофия тройничного нерва на уровне *Porus Trigemini* подтверждает гипотезу о компрессии тройничного нерва на этом уровне.

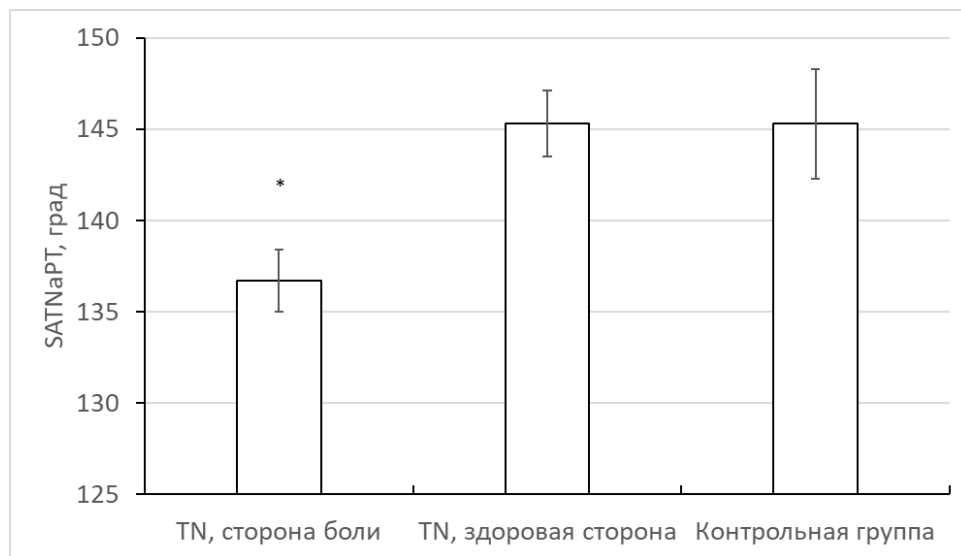


Рисунок 108 – Сравнение сагиттального угла тройничного нерва на уровне *porus trigeminus* (SATNaPT) между 3 группами: основная группа сторона боли (TN, сторона боли, $n=46$), основная группа здоровая сторона (TN, здоровая сторона, $n=46$), КГ ($n=23$, правая сторона): * – $p < 0,01$ в сравнении с здоровой стороной и КГ

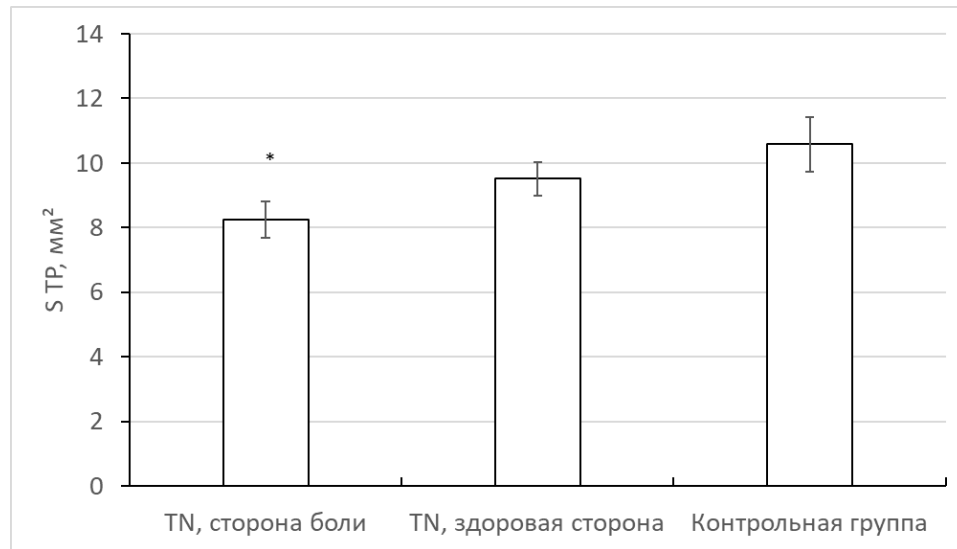


Рисунок 109 – Сравнение площади сечения тройничного нерва на уровне *porus trigeminus* (S TP) между 3 группами: основная группа, сторона боли (TN, сторона боли, n=46), основная группа, здоровая сторона (TN, здоровая сторона, n=46), КГ (n=23, правая сторона): * – $p < 0,01$ в сравнении с здоровой стороной и КГ

Здоровая сторона у пациентов с НТН не отличалась от КГ ни по одному из параметров: SATNaPT составил $145,3 \pm 1,8^\circ$ в основной группе против $145,3 \pm 3,0^\circ$ в КГ ($t = 0,00$, $p = 0,99$); STC – $6,60 \pm 0,39$ мм² против $6,08 \pm 0,4$ мм² ($t = +0,93$, $p = 0,18$); S TP – $9,51 \pm 0,53$ мм² против $10,58 \pm 0,85$ мм² ($t = -1,18$, $p = 0,12$); L TN – $10,04 \pm 0,27$ мм против $9,27 \pm 0,39$ мм ($t = +1,76$, $p = 0,08$). Отсутствие различий между здоровой стороной у пациентов с НТН и КГ подтверждает, что морфометрические изменения при НВК носят локальный характер и ограничены стороной НВК, в то время как контралатеральный нерв у пациентов с односторонней НТН имеет нормальную морфометрию, сопоставимую с КГ без невралгии. Это наблюдение имеет важное клиническое значение, так как позволяет использовать контралатеральную сторону как внутренний контроль при оценке компрессии.

На основании сравнения основной и КГ проведен ROC-анализ для определения оптимальных пороговых значений морфометрических параметров в диагностике клинически значимого НВК. Для угла SATNaPT оптимальная точка отсечения составила 130° (максимизация индекса Юдена): чувствительность 67% (31 из 46 пациентов с НТН имели SATNaPT $< 130^\circ$ на стороне боли), специфичность 82% (19 из 23 пациентов КГ имели SATNaPT $\geq 130^\circ$ справа), площадь под ROC-кривой AUC = 0,72 (95% ДИ 0,62–0,82). Для площади

поперечного сечения тройничного нерва на уровне *porus trigeminus* (S TP) порог 8,5 мм²: чувствительность 59% (27 из 46), специфичность 75% (18 из 24), AUC = 0,70 (95% ДИ 0,59–0,80). Комбинация критериев (SATNaPT < 130°, S TP < 8,5 мм²) повышала специфичность до 89% при чувствительности 78% AUC = 0,81 (95% ДИ 0,72–0,90) (Таблица 22).

Таблица 22 – Диагностическая ценность морфометрических параметров для выявления компрессии тройничного нерва

| Параметр | Пороговое значение | AUC (95% ДИ) | Чувствительность | Специфичность | ППЦ | ОПЦ |
|-----------------------|---|---------------------|------------------|---------------|-----|-----|
| SATNaPT, град. | < 130° | 0,72 (0,62–0,82) | 67% | 82% | 78% | 72% |
| S TP, мм ² | < 8,5 мм ² | 0,70 (0,59–0,80) | 59% | 75% | 72% | 63% |
| Комбинация* | SATNaPT < 130° + S TP < 8,5 мм ² | 0,81 (0,72–0,90) | 78% | 89% | 87% | 81% |

Примечание: AUC – площадь под ROC-кривой; ППЦ – положительная прогностическая ценность; ОПЦ – отрицательная прогностическая ценность; *наличие минимум 2 из 3 критериев (SATNaPT < 130° и/или STC < 5,5 мм² и/или S TP < 8,5 мм²).

Таким образом, МР-морфометрический анализ убедительно продемонстрировал, что зоной максимальной деформации и компрессии тройничного нерва при невралгии является область *porus trigeminus*, где происходит перегиб и атрофические изменения нерва на костном крае при входе в пещеру Меккеля. Уменьшение сагиттального угла в среднем на 8,6° и площади поперечного сечения нерва на 13,4–22,1% в этой зоне обосновывает необходимость дополнительной декомпрессии не только от сосудистого конфликта, но и от костной компрессии для оптимизации результатов хирургического лечения и профилактики рецидивов.

5.3. Интраоперационная нейроэндоскопическая анатомия основных ориентиров мостомозжечкового угла

Особое значение имеет изучение интраоперационной эндоскопической 3D-анатомии ММУ. При выполнении доступа и основного этапа операции можно

визуализировать следующие структуры. ММУ (*angulus pontocerebellaris*) представляет собой анатомическую область задней черепной ямки, ограниченную латерально пирамидой височной кости, медиально – латеральной поверхностью моста, каудально – полушарием мозжечка, рострально – наметом мозжечка. Данная область содержит мостомозжечковую цистерну (*cisterna pontocerebellaris*), заполненную цереброспинальной жидкостью и представляющую собой субарахноидальное пространство, в котором располагаются критически важные нейроваскулярные структуры. Глубокое понимание интраоперационной анатомии этой области является фундаментальным требованием при выполнении хирургических вмешательств по поводу невриномы преддверно-улиткового нерва, эпидермоидных кист, менингиом, МВД при НТН и гемифациальном спазме (Рисунок 110).

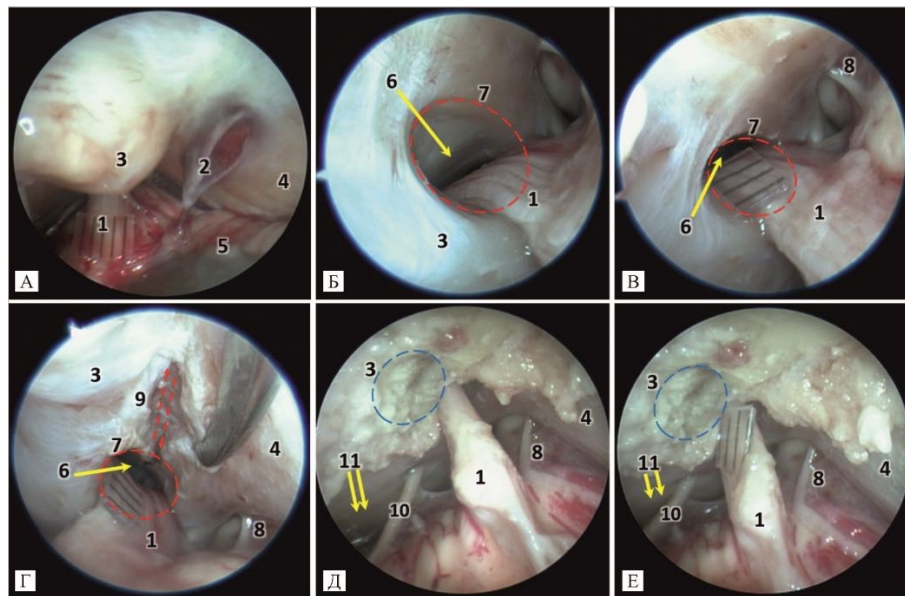


Рисунок 110 – Левый ММУ; эндоскопическая анатомия; препарат головного мозга (кадаверный материал) с контрастированием артериального и венозного русла цветным силиконом; область визуализирована через левый ретросигмовидный доступ: 1 – корешок тройничного нерва (*radix n. trigemini*); 2 – верхняя каменистая вена (*v. petrosa superior*); 3А – супрамеатальный бугорок (*tuberculum suprameatale*); 3Г, Д – супрамеатальный бугорок после резекции; 4 – намет мозжечка (*tentorium cerebelli*); 5 – клочок мозжечка (*flocculus*); 6 – вход в меккелеву полость (*cavum trigeminale*); 7 – расщелина тройничного нерва (*porus trigeminus*), границы обозначены красной штриховой линией; 8 – блоковый нерв, IV черепной нерв (*n. trochlearis*); 9 – рассечение твёрдой мозговой оболочки над расщелиной для расширения операционного пространства, протяжённость разреза обозначена красной штриховой линией; 10 – отводящий нерв, VI черепной нерв (*n. abducens*); 11 – скат (*clivus*)

При выполнении ретросигмовидного доступа (suboccipital retrosigmoid approach) первой визуализируемой структурой после краниэктомии и вскрытия твердой мозговой оболочки является арахноидальная оболочка мостомозжечковой цистерны. Эта тонкая полупрозрачная мембрана образует наружную границу субарахноидального пространства и требует тщательного рассечения для доступа к глубже лежащим структурам. Вскрытие арахноидальной оболочки обеспечивает выход цереброспинальной жидкости, что создает условия для атравматичной ретракции мозжечка и улучшает визуализацию операционного поля. После вскрытия арахноидальных мембран открывается панорама анатомических структур ММУ, требующая детального знания пространственных взаимоотношений нервов, сосудов и костных ориентиров (Рисунок 111).

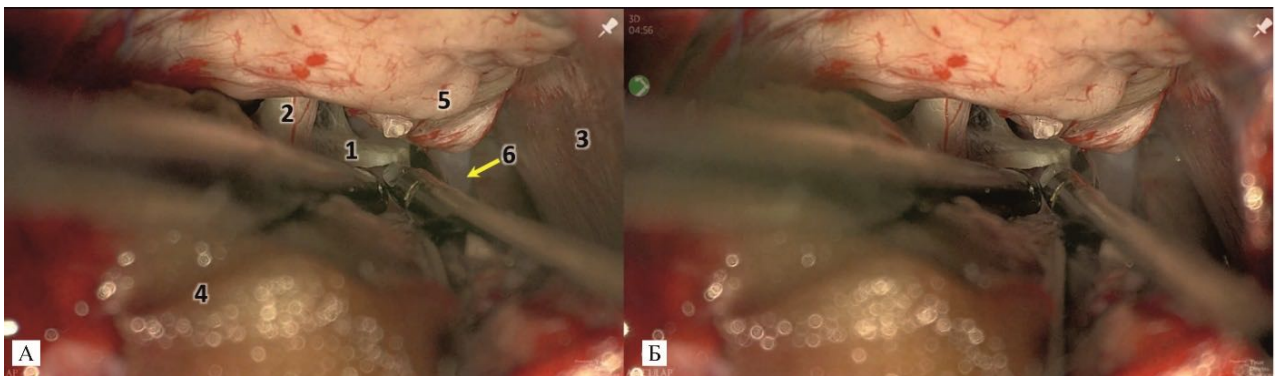


Рисунок 111 – Левый ММУ: интраоперационное изображение в формате 3D Full HD; цифровой хирургический эксоскоп AEOS, Aescular (Tuttlingen, Germany); область визуализирована через ретросигмовидный доступ; 1 – арахноидальная оболочка мостомозжечковой цистерны (arachnoidea, cisterna pontocerebellaris); 2 – преддверно-улитковый нерв, VIII черепной нерв (n. vestibulocochlearis); 3 – намет мозжечка (tentorium cerebelli); 4 – полушарие мозжечка (hemisphaerium cerebelli); 5 – супрамеатальный бугорок (tuberculum suprameatale); 6 – верхняя каменистая вена (v. petrosa superior)

Тройничный нерв (n. trigeminus, V черепной нерв) превосходит по размерам все остальные черепные нервы. Корешок данного нерва представляет собой первую краниальную структуру, визуализируемую в верхней части мостомозжечкового угла (angulus pontocerebellaris). Место выхода нерва располагается на латеральной поверхности моста (pons) в области средней трети мостомозжечкового угла, приблизительно на 2–3 мм каудальнее верхнего края

пирамиды височной кости (*margo superior partis petrosae ossis temporalis*). Структурно корешок V нерва подразделяется на 2 порции. Чувствительная порция (*portio major*) характеризуется значительно большими размерами. Двигательная порция (*portio minor*) существенно меньше; она занимает положение медиальнее и несколько вентральнее относительно чувствительной.

В пределах цистернального сегмента корешок тройничного нерва покрыт миелиновой оболочкой центрального типа, образованной олигодендроцитами, и только у входа в меккелеву полость (*cavum Meckeli*) миелинизация переходит в периферический тип с участием шванновских клеток. Зона перехода (*transition zone, Obersteiner – Redlich zone*) располагается на расстоянии 2–5 мм от ствола мозга и является типичной локализацией НВК при тригеминальной невралгии. Интраоперационная визуализация тройничного нерва критически важна при МВД, когда необходимо выявить компримирующий сосуд (чаще всего верхнюю мозжечковую артерию) и установить протектор между нервом и сосудом (Рисунок 112).

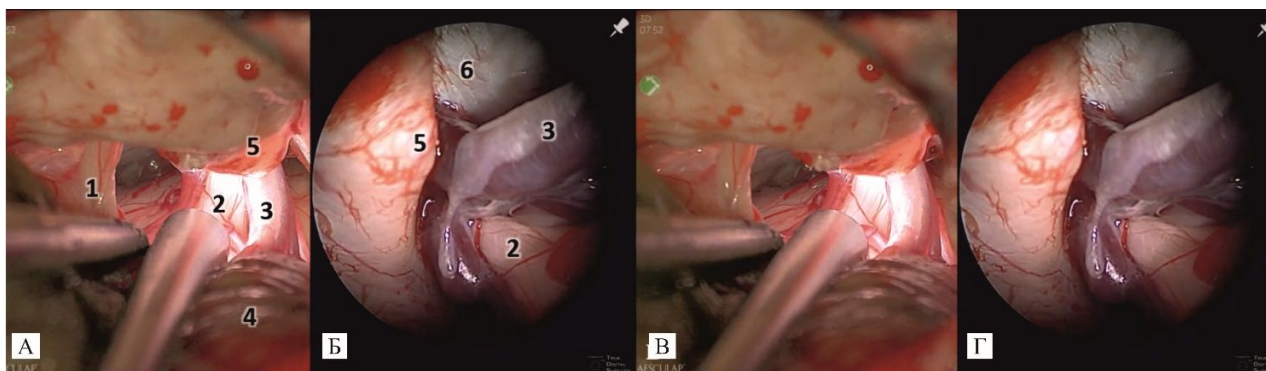


Рисунок 112 – Левый ММУ, интраоперационное изображение в формате 3D Full HD; А, В – цифровой хирургический экзоскоп АЕОС, Aescular (Tuttlingen, Germany); Б, Г – ригидный нейроэндоскоп, 0°; область визуализирована через ретросигмовидный доступ; 1 – преддверно-улитковый нерв, VIII черепной нерв (*n. vestibulocochlearis*); 2 – корешок тройничного нерва (*radix n. trigemini*); 3 – верхняя каменистая вена (*v. petrosa superior*); 4 – полушарие мозжечка (*hemisphaerium cerebelli*); 5 – супрамеатальный бугорок (*tuberculum suprameatale*); 6 – намет мозжечка (*tentorium cerebelli*)

Намет мозжечка (*tentorium cerebelli*) представляет собой серповидную дубликатуру твердой мозговой оболочки, разделяющую супратенториальное и

инфратенториальное пространства. В операционном поле при ретросигмовидном доступе визуализируется латеральная часть намета, которая прикрепляется к верхнему краю пирамиды височной кости вдоль верхнего каменистого синуса (*sinus petrosus superior*). Намет образует крышу ММУ и служит важным ориентиром при определении верхней границы операционного поля. Между наметом и корешком тройничного нерва располагается тенториальный треугольник, в пределах которого проходит верхняя мозжечковая артерия. Рассечение тенториальной пластинки иногда требуется при распространенных опухолях ММУ с супратенториальным компонентом для расширения хирургического доступа.

Полушарие мозжечка (*hemispherium cerebelli*) формирует заднелатеральную стенку ММУ и требует осторожной ретракции во время операции. Между латеральной поверхностью полушария мозжечка и пирамидой височной кости располагается субокципитальное субарахноидальное пространство, содержащее цереброспинальную жидкость. Адекватная ретракция мозжечка достигается после вскрытия арахноидальных цистерн и эвакуации ЦСЖ, что минимизирует необходимость механической компрессии мозжечковой паренхимы. Избыточная ретракция мозжечка может приводить к контузии ткани, венозному стазу и ишемическим осложнениям, поэтому современная микрохирургическая техника предполагает минимальную тракцию с использованием динамической ретракции и гравитации.

На задней поверхности пирамиды височной кости располагается костная выпуклость – супрамеатальный бугорок (*tuberculum suprameatale*, бугорок Зудека). Локализация данной структуры определяется положением верхнего полукружного канала лабиринта, проекции которого она соответствует. Относительно внутреннего слухового прохода (*meatus acusticus internus*) бугорок занимает супралатеральную позицию. Практическая значимость супрамеатального бугорка обусловлена возможностью его использования в качестве надёжного анатомического маркера. Хирург идентифицирует положение внутреннего слухового канала по данному ориентиру, не прибегая к прямой визуализации

последнего. Дистанция от бугорка до фундуса внутреннего слухового прохода составляет порядка 8–10 мм. При интраканаликулярном распространении вестибулярной шванномы возникает необходимость расширения хирургического доступа. В подобных случаях костную резекцию осуществляют латеральнее и выше супрамеатального бугорка. Такая техника сверления обеспечивает адекватную экспозицию латерального отдела канала и минимизирует риск ятрогенного повреждения структур лабиринта.

Верхняя каменистая вена (*vena petrosa superior, vena Dandy*) является одним из наиболее переменных и клинически значимых венозных образований ММУ. Эта вена дренирует кровь от латеральной поверхности моста и мозжечка, проходит вдоль верхнего края пирамиды височной кости и впадает в верхний каменистый синус на основании средней черепной ямки. Диаметр верхней каменистой вены варьирует от 1 до 4 мм, причем значительная переменность наблюдается как между индивидуумами, так и между правой и левой сторонами. По данным микрохирургических и эндоскопических исследований, в 15–20% случаев верхняя каменистая вена отсутствует или гипоплазирована, в то время как в 10–15% случаев наблюдается ее значительная гипертрофия с диаметром более 3 мм. Верхняя каменистая вена может пересекать операционное поле и создавать препятствие для адекватной экспозиции верхней части ММУ.

Традиционно считалось, что коагуляция и пересечение этой вены допустимы, однако современные данные свидетельствуют, что в случаях гипертрофированной верхней каменистой вены ее сохранение предпочтительно для предотвращения венозного застоя и геморрагических осложнений. При невозможности сохранения вены следует коагулировать ее максимально дистально, близко к синусу, для обеспечения венозного оттока через альтернативные коллатерали (Рисунок 113).

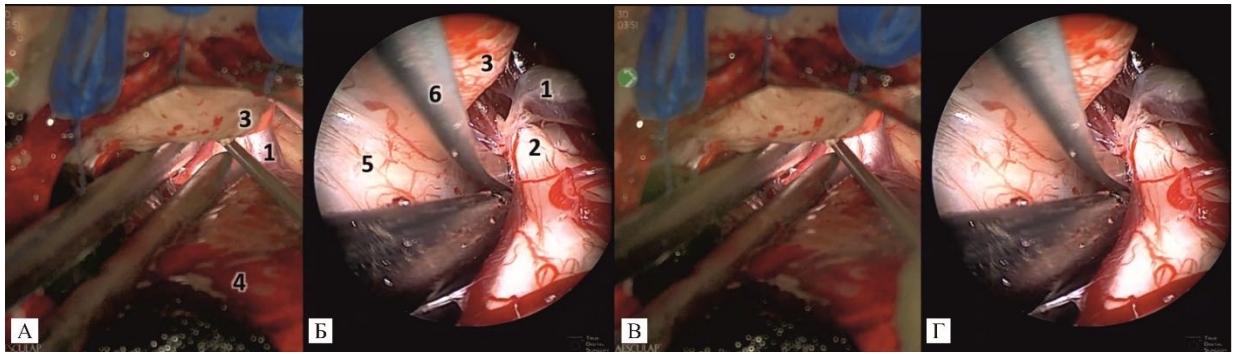


Рисунок 113 – Левый ММУ, интраоперационное изображение в формате 3D Full HD: А, В – цифровой хирургический экзоскоп АЕОС, Aescular (Tuttlingen, Germany); Б, Г – ригидный нейроэндоскоп, 0°. Область визуализирована через ретросигмовидный доступ. 1 – верхняя каменистая вена (*v. petrosa superior*); 2 – корешок тройничного нерва (*radix n. trigemini*); 3 – супрамеатальный бугорок (*tuberculum suprameatale*); 4 – полушарие мозжечка (*hemisphaerium cerebelli*); 5 – задняя поверхность пирамиды височной кости (*facies posterior partis petrosae*); 6 – диссектор: выполняется диссекция корешка тройничного нерва в области расщелины (*porus trigeminus*)

Преддверно-улитковый нерв (VIII черепной нерв, *nervus vestibulocochlearis*) представлен 2 функционально обособленными компонентами – улитковым (слуховым) и преддверным (вестибулярным) нервами. При хирургических вмешательствах в области мостомозжечкового угла данный нерв приобретает первостепенное значение. В наибольшей степени это относится к операциям по удалению вестибулярных шванном. Улитковый нерв располагается вентрально и часто несколько латеральнее, в то время как преддверный нерв занимает дорсомедиальное положение. В пределах цистернального сегмента между обеими порциями определяется плоскость расщепления, которую можно использовать при интракапсулярном удалении опухоли для сохранения слуховой функции. Корешок VIII нерва выходит из латеральной части бульбарно-понтинной борозды (*sulcus bulborontinus*) кпереди от клочково-узелкового комплекса мозжечка и проходит латерально к внутреннему слуховому проходу совместно с промежуточным нервом (*nervus intermedius*) и лицевым нервом (VII черепной нерв). В области входной зоны VIII нерв в большинстве случаев сопровождается передней нижней мозжечковой артерией (ПНМА, *arteria inferior anterior cerebelli*), которая может образовывать петлю, заходящую в устье внутреннего слухового прохода. Детальная визуализация взаимоотношений VIII нерва и окружающих сосудов

критически важна при сохранении слуха во время микрохирургических вмешательств.

Применение нейроэндоскопической техники в дополнение к традиционной микроскопической визуализации существенно расширяет возможности интраоперационной анатомической оценки. Ригидные эндоскопы с различными углами обзора (0° , 30° , 45° , 70°) позволяют визуализировать анатомические области, недоступные для прямого микроскопического осмотра, включая латеральную часть внутреннего слухового прохода, преаурикулярную область, вентральную поверхность ствола мозга, зону меккелевой полости. Эндоскопическая ассистенция особенно ценна на завершающем этапе операции для верификации радикальности удаления опухоли в слепых зонах, контроля гемостаза в глубоких отделах и оценки состояния нервов и сосудов. Трехмерные экзоскопические системы высокого разрешения обеспечивают стереоскопическое изображение с глубиной резкости, сопоставимой с операционным микроскопом, при одновременном улучшении эргономики для хирургической бригады. Комбинированное использование экзоскопической и эндоскопической визуализации представляет собой современный стандарт нейрохирургии основания черепа, позволяющий оптимизировать анатомическую экспозицию, минимизировать ретракцию мозговой ткани и улучшить функциональные результаты операций в области ММУ.

5.4. Возможности интраоперационного непрерывного видеострима в хирургии мостомозжечкового угла

ММУ относится к анатомически сложным областям нейрохирургии. В ограниченном пространстве сконцентрированы каудальные черепные нервы, передняя нижняя мозжечковая артерия и её ветви, включая лабиринтную артерию, вертебробазиллярный комплекс, петрозальные вены, флоккулюс и ствол мозга. Плотное расположение этих структур, их функциональная значимость и низкая устойчивость к травматизации требуют применения технологий, обеспечивающих

качественную визуализацию при минимальном доступе и контролируемой тракции тканей. Концепция минимально инвазивной хирургии данной локализации строится на принципе максимального увеличения операционного поля при уменьшении размера краниотомического окна и протяженности хирургического коридора. Для реализации этого принципа необходимы специализированные системы визуализации с достаточным увеличением, качественным освещением и возможностью ориентации в сложных анатомических условиях. За последние 20 лет эндоскопическая техника стала стандартом минимально инвазивной хирургии ММУ. Она позволяет оперировать через краниотомическое окно типа keyhole диаметром 14–18 мм, при этом конкретный размер определяется характером вмешательства: для МВД достаточно окна 14–15 мм, для дреллинга внутреннего слухового прохода требуется 16–17 мм, а при удалении крупных опухолей может потребоваться расширение до 18 мм. Эндоскопическая визуализация обеспечивает детальный осмотр глубоких отделов, недоступных операционному микроскопу. Это особенно важно при удалении опухолей с медиальным ростом или манипуляциях вблизи ствола мозга. Однако эндоскопическая техника имеет фундаментальные ограничения, препятствующие её универсальному применению. Стандартные 2-мерные эндоскопические системы не обеспечивают стереоскопическую визуализацию. Монокулярное изображение затрудняет восприятие глубины операционного поля, что усложняет пространственную ориентацию хирурга в узком коридоре вблизи сосудисто–нервных структур. Отсутствие чувства глубины увеличивает время прецизионных манипуляций, повышает риск повреждения окружающих тканей и создает дополнительную когнитивную нагрузку. Хирург вынужден компенсировать недостаток стереоскопической информации непрямыми визуальными признаками и тактильной обратной связью. Следует отметить, что появление трехмерных эндоскопических систем частично решило проблему восприятия глубины, однако их применение сопряжено с высокой стоимостью оборудования, необходимостью использования специализированных дисплеев и быстрой утомляемостью хирурга при длительных вмешательствах.

Второе существенное ограничение связано с наличием слепых зон. Фиксированная оптическая ось эндоскопа и ограниченный угол обзора формируют обширные участки, остающиеся вне контроля. В глубоких отделах ММУ, особенно вблизи внутреннего слухового прохода или в области перехода корешка тройничного нерва в Меккело полость, значительная часть операционного поля невидима. При диссекции сосудов или отделении нервного корешка от окружающих структур невозможность визуального контроля дистальных отделов инструментов может привести к термическому или механическому повреждению функционально значимых образований. Клиническая практика показывает, что манипуляции в слепых зонах эндоскопа служат причиной значительной доли интраоперационных осложнений, включая повреждение черепных нервов и перфорацию сосудов с потенциально фатальными последствиями. Дополнительной проблемой эндоскопической хирургии является запотевание оптики при контакте с теплыми тканями и кровью, что требует периодического извлечения эндоскопа для очистки линз и прерывает непрерывность хирургического процесса.

Мы разработали концепцию непрерывного видеопотока на основе комплементарного применения экзоскопа и эндоскопа с бесшовным переключением между режимами. Экзоскоп представляет собой высокоразрешающую цифровую камеру с мощной оптикой, обеспечивающую широкопольную стереоскопическую 3D-визуализацию с плавным изменением увеличения и глубины резкости. Современные экзоскопические системы позволяют получать изображение с разрешением до 4К при увеличении от 2 до 40 крат, что сопоставимо с характеристиками операционных микроскопов. В отличие от традиционного микроскопа, экзоскоп транслирует изображение на мониторы, что позволяет всей бригаде одновременно наблюдать идентичную картину и обрабатывать изображение в реальном времени.



Рисунок 114 – Интеграция экзоскопа и эндоскопа в единый видеопоток; интраоперационное изображение на этапе выполнения МВД тройничного нерва: 1 – цифровой хирургический экзоскоп AEOS, Aescular (Tuttlingen, Germany); 2 – интегрированный эндоскоп; 3 – 3D Full HD интраоперационное изображение от экзоскопа; 4 – 2D-интраоперационное изображение от эндоскопа; 5 – правильное направление камеры экзоскопа и эндоскопа

Ключевым моментом стала интеграция экзоскопа и эндоскопа в единый видеопоток посредством специализированного программного обеспечения, обеспечивающего синхронизацию, калибровку цветопередачи и унификацию параметров изображения (Рисунок 114). Техническая реализация системы потребовала решения нескольких задач. Необходимо было добиться согласования цветовой температуры и баланса белого между 2 различными источниками света, используемыми в экзоскопе и эндоскопе. Различия в спектральных характеристиках светодиодных источников экзоскопа и ксеноновой лампы эндоскопа приводили к заметному цветовому сдвигу при переключении между системами. Программная коррекция цветопередачи позволила минимизировать эти различия и обеспечить плавный визуальный переход (Рисунок 115).

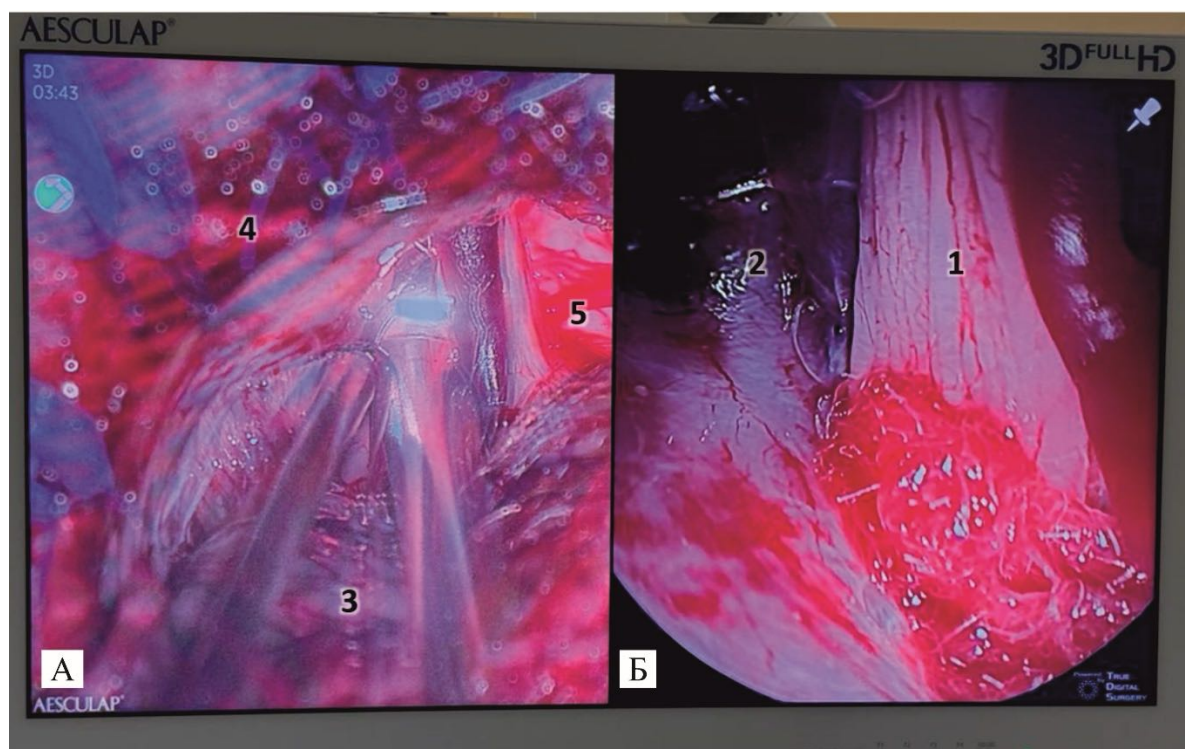


Рисунок 115 – Интеграция непрерывного видеопотока с экзоскопа и эндоскопа в единый монитор с целью предупреждения интраоперационных осложнений; интраоперационное изображение на этапе выполнения МВД тройничного нерва: А – интраоперационное изображение в формате 3D Full HD (экзоскоп); Б – интраоперационное изображение в формате 2D (эндоскоп). Обозначения: 1 – корешок тройничного нерва (*radix n. trigemini*); 2 – верхняя каменистая вена (*v. petrosa superior*); 3 – полушарие мозжечка (*hemisphaerium cerebelli*); 4 – задняя поверхность пирамиды височной кости (*facies posterior partis petrosae*); 5 – мост (*pons*)

Разработанная технология позволила создать интегрированную систему интраоперационной документации и навигации. Система включает синхронную запись изображения от обеих визуализирующих систем, наложение навигационных данных на видеопоток в реальном времени и автоматизированную идентификацию критических этапов операции. Возможность одновременной записи 2 независимых видеопотоков с синхронизацией по временной метке позволяет в послеоперационном периоде детально анализировать технику выполнения сложных манипуляций и выявлять потенциальные источники осложнений. Интеграция с нейронавигационной системой обеспечивает наложение мультипланарных реконструкций на операционное поле с автоматической компенсацией смещения мозга после вскрытия твердой мозговой оболочки и удаления ликвора.

5.5. Технология эндоскопической в малоинвазивной хирургии невралгии тройничного нерва

Микроваскулярная декомпрессия выполнялась по стандартной методике из ретросигмовидного доступа (Barker с соавт., 1996) в положении пациента на боку (парк-бенч позиция) под эндотрахеальным наркозом с контролируемой гипотензией (среднее артериальное давление 70–80 мм рт. ст.). На Рисунок 116 показано типично расположение операционной бригады и оборудования. Голова пациента фиксировалась в трехточечном фиксаторе Mayfield с ротацией на 10–15° в сторону, противоположную операции, и флексией 10–15°. Разрез кожи длиной 6–8 см проводился на 1 см кзади от сосцевидного отростка. После формирования мышечно-апоневротического лоскута выполнялась трепанация в проекции латерального угла ромбовидной ямки с формированием костного окна размером 3×3 см. Твердая мозговая оболочка вскрывалась крестообразным разрезом с основанием лоскутов к сигмовидному синусу (Рисунок 116).

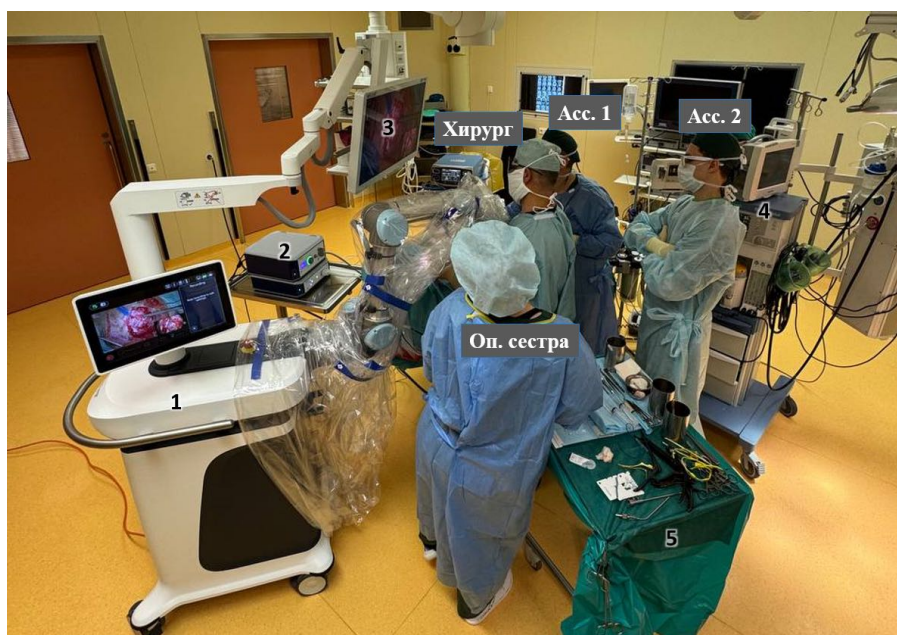


Рисунок 116 – Расположение операционной бригады и операционного оборудования: 1 – цифровой хирургический экзоскоп AEOS, Aescular (Tuttlingen, Germany); 2 – световод от эндоскопа; 3 – 3D Full HD монитор; 4 – анестезиологическая стойка; 5 – операционный столик; хирург; ассистент 1; ассистент 2; операционная сестра

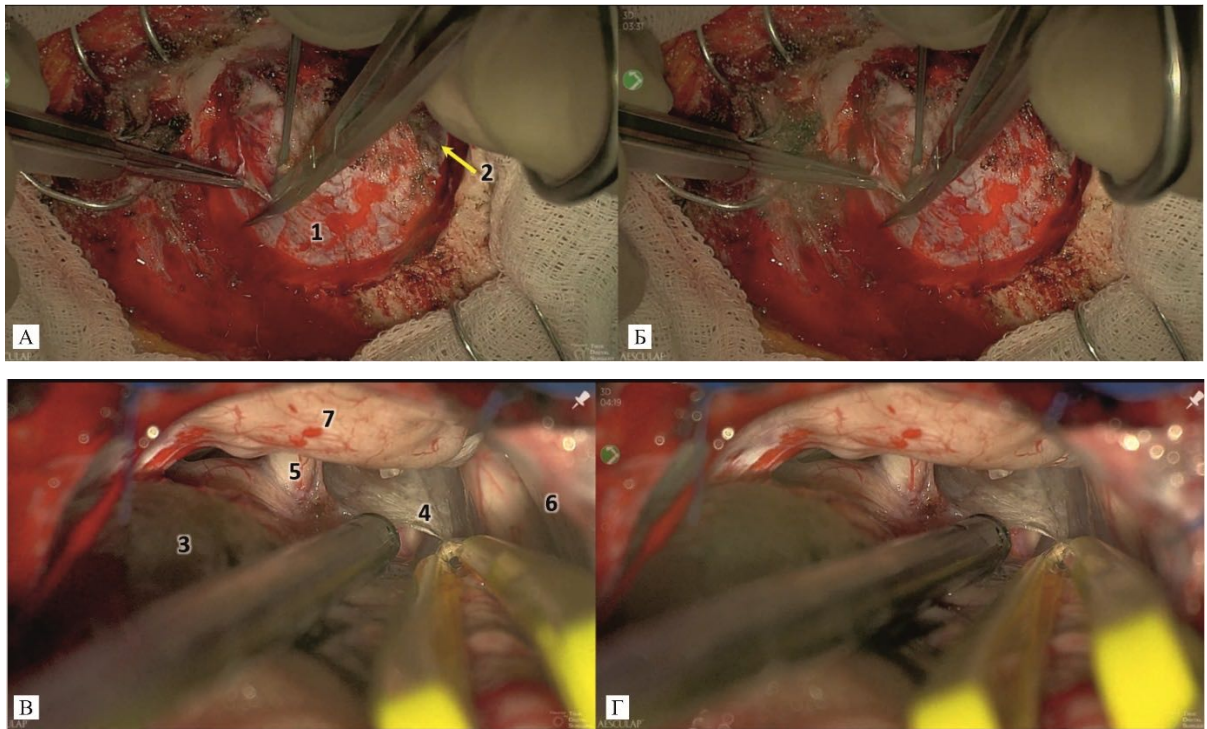


Рисунок 117 – Интраоперационное изображение в формате 3D Full HD: А, Б – этап вскрытия твёрдой мозговой оболочки; В, Г – вскрытие мостомозжечковой цистерны и эвакуация ликвора; 1 – твёрдая мозговая оболочка (*dura mater*); 2 – сигмовидный синус (*sinus sigmoideus*); 3 – полушарие мозжечка (*hemisphaerium cerebelli*); 4 – арахноидальная оболочка мостомозжечковой цистерны (*arachnoidea, cisterna pontocerebellaris*); 5 – преддверно-улитковый нерв, VIII черепной нерв (*n. vestibulocochlearis*); 6 – намет мозжечка (*tentorium cerebelli*); 7 – супрамеатальный бугорок (*tuberculum suprameatale*)

После опорожнения мостомозжечковой цистерны путем аспирации ликвора осуществлялась минимальная ретракция мозжечка латеральным шпателем шириной 10 мм с визуализацией корешка тройничного нерва.

Идентифицировался конфликтующий сосуд, интраоперационно подтверждались тип НВК (артериальный/венозный/смешанный) и наличие морфологических изменений нерва (вдавление/истончение).

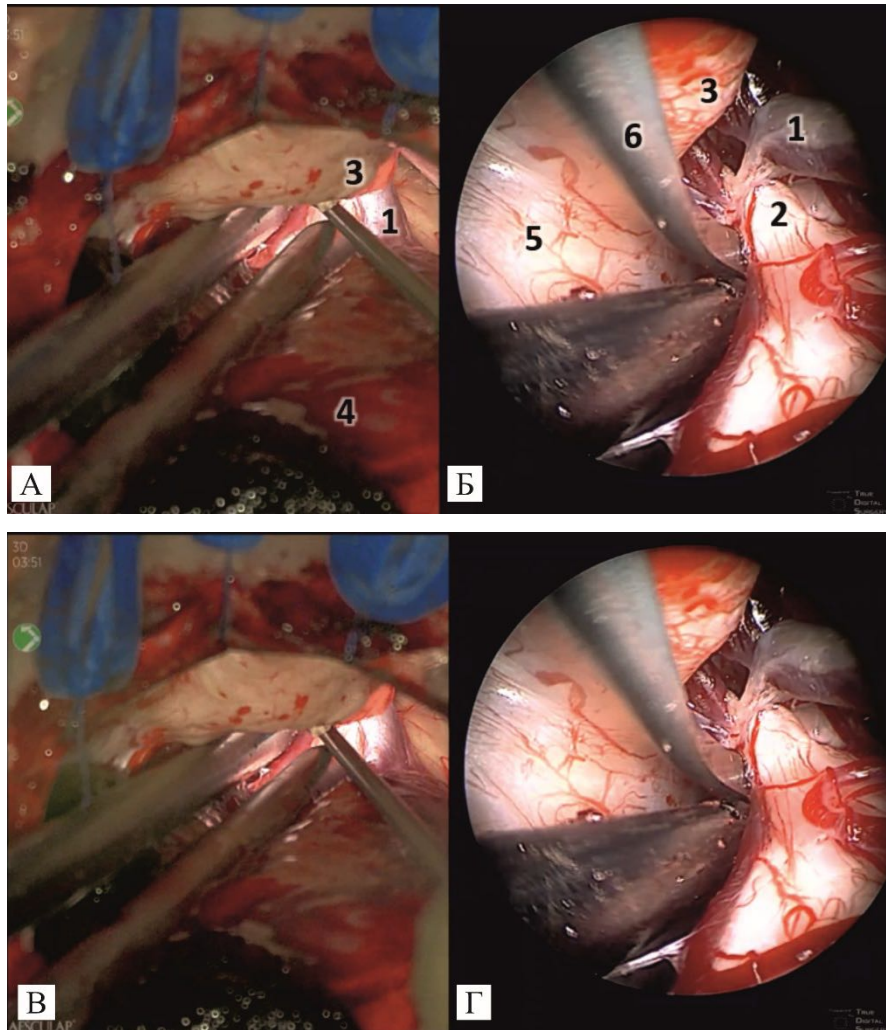


Рисунок 118 – Этап диссекции нейрососудистых структур; интраоперационное изображение в формате 3D Full HD: А, В – цифровой хирургический экзоскоп AEOS, Aescular (Tuttlingen, Germany); Б, Г – ригидный нейроэндоскоп, 0°; 1 – верхняя каменистая вена (*v. petrosa superior*); 2 – корешок тройничного нерва (*radix n. trigemini*); 3 – супрамеатальный бугорок (*tuberculum suprameatale*); 4 – полушарие мозжечка (*hemisphaerium cerebelli*); 5 – задняя поверхность пирамиды височной кости (*facies posterior partis petrosae*); 6 – диссектор: выполняется диссекция корешка тройничного нерва в области устья полости Меккеля (*porus trigeminus*)

Производилась тщательная микродиссекция арахноидальных спаек с мобилизацией конфликтующего сосуда на протяжении не менее 5 мм проксимальнее и дистальнее места конфликта (Рисунок 118). Транспозиция сосуда выполнялась с установкой тefлоновых прокладок (Ivalon, толщина 0,5–1,0 мм, размер 3×5 мм) между нервом и сосудом с межпозиционным отграничением инертным материалом. Количество прокладок варьировало от 1 до 3 в зависимости от анатомической ситуации и степени конфликта. Прокладки устанавливались таким образом, чтобы исключить непосредственный контакт нерва с

конфликтующим сосудом на протяжении не менее 5 мм от предполагаемой точки максимальной компрессии.

Модифицированная методика

Учитывая результаты МР-морфометрии тройничного нерва, подтверждающие гипотезу, что зоной максимальной деформации и компрессии тройничного нерва при невралгии является область *porus trigeminus*, где происходит перегиб и атрофические изменения нерва на костном крае при входе в пещеру Меккеля, нами была разработана модифицированная техника МВД с дополнительной установкой протектора между цистернальным сегментом тройничного нерва и верхним краем каменистой части пирамиды височной кости в зоне максимального перегиба при входе в *porus trigeminus* (Рисунок 119).

Теоретическое обоснование модификации заключалось в обеспечении более полной декомпрессии нерва путем устранения не только сосудистой, но и потенциальной костной компрессии, что должно было привести к снижению частоты рецидивов в отдаленном периоде. При выполнении модифицированной методики после стандартной сосудистой декомпрессии дополнительно устанавливалась тефлоновая прокладка (*Ivalon*, толщина 0,5–1,0 мм, размер 3×5 мм) между цистернальным сегментом тройничного нерва и верхним краем каменистой части пирамиды височной кости в месте максимального перегиба нерва при входе в *porus trigeminus* (Рисунок 119). Для этого выполнялась дополнительная визуализация дистальной части цистернального сегмента нерва путем аккуратной ретракции нерва медиально или латерально. Прокладка устанавливалась в пространство между нижней поверхностью нерва и верхним каменистым гребнем, создавая мягкую подушку, предотвращающую контакт нерва с костью без компрессии нерва (Рисунок 120).

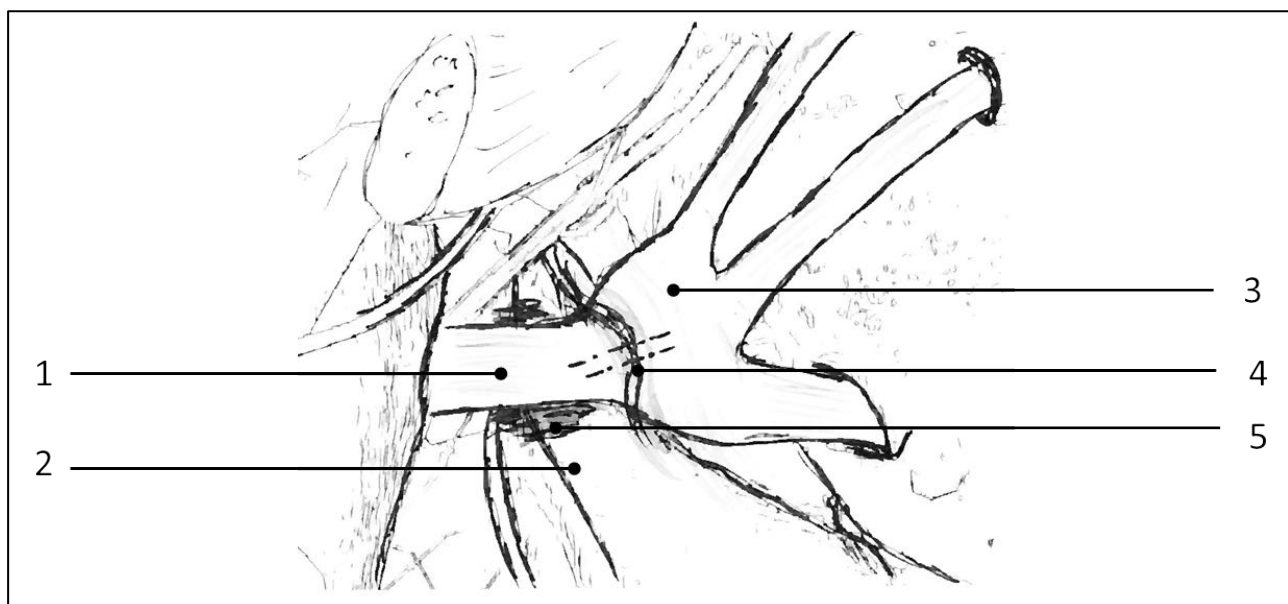


Рисунок 119 – Декомпрессия тройничного нерва, схематическое изображение; представлены топография корешка, зоны конфликта с костными структурами и принцип оперативного вмешательства: 1 – корешок тройничного нерва (*radix n. trigemini*); 2 – верхний край пирамиды височной кости (*margo superior partis petrosae*); 3 – тройничный узел (*ganglion trigeminale*, Гассеров узел); 4 – тригеминальное отверстие (*porus trigeminus*); 5 – протектор, установленный между корешком тройничного нерва и верхним краем пирамиды височной кости

Операция завершалась герметичным ушиванием твердой мозговой оболочки с дополнительным нанесением фибринового клея по линии швов. Костный дефект закрывался аутокостью, фиксированной титановыми минипластинами. Рана ушивалась послойно. Давящая асептическая повязка накладывалась на 48 ч. Длительность операции составила 148 ± 6 минут для стандартной методики и 163 ± 8 минут для модифицированной методики ($p=0,15$).

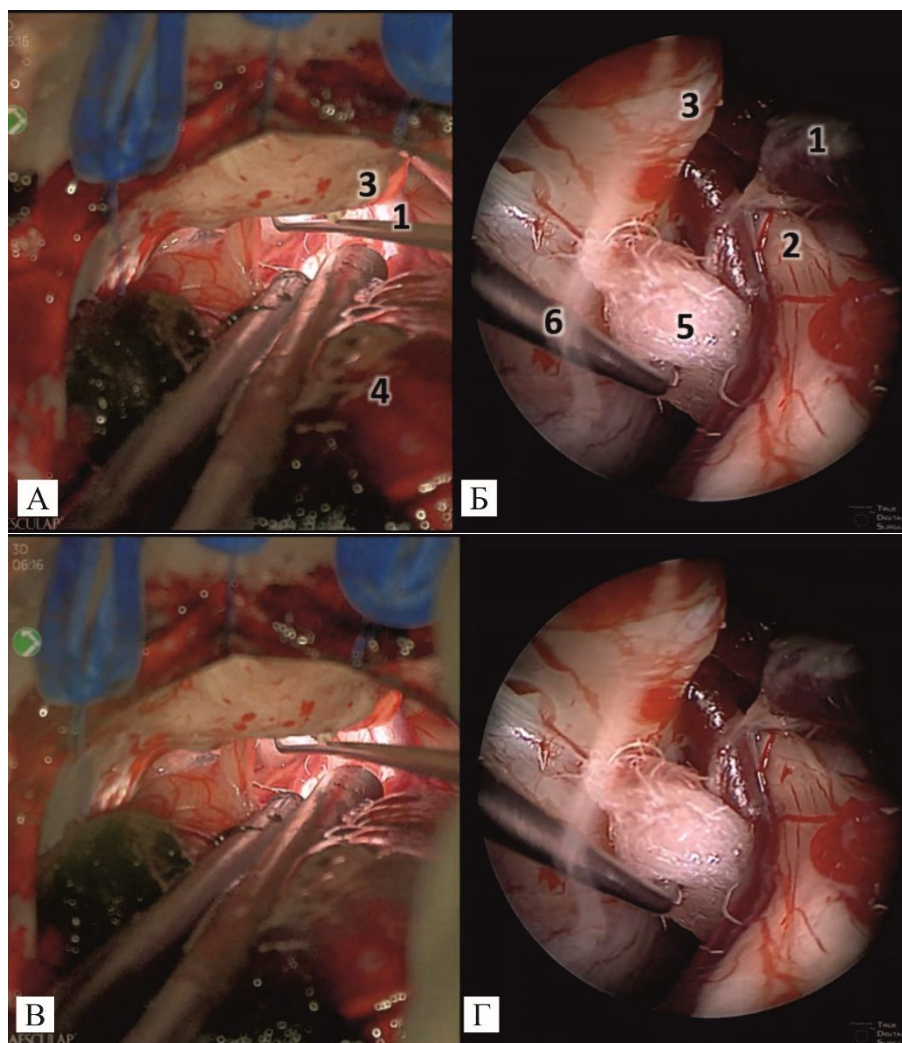


Рисунок 120 – Этап укладки протектора, интраоперационное изображение в формате 3D Full HD: А, В – цифровой хирургический экзоскоп АЕОС, Aescular (Tuttlingen, Germany); Б, Г – ригидный нейроэндоскоп, 0°; 1 – верхняя каменистая вена (*v. petrosa superior*); 2 – корешок тройничного нерва (*radix n. trigemini*); 3 – супрамеатальный бугорок (*tuberculum suprameatale*); 4 – полушарие мозжечка (*hemisphaerium cerebelli*); 5 – тефлоновая прокладка (протектор); 6 – диссектор: выполняется позиционирование протектора между корешком тройничного нерва и верхним краем пирамиды височной кости (*margo superior partis petrosae*)

5.6. Результаты хирургического лечения невралгии тройничного нерва с применением модифицированной методики микроваскулярной декомпрессии

В период 2024–2025 гг. модифицированная техника МВД с установкой протектора была применена у 15 пациентов с классической НТН (группа модифицированной МВД). Ключевые исходные демографические и клинические

характеристики пациентов этой группы были сопоставимы с основной группой (группа 1, n=46) (Таблица 23).

Таблица 23 – Сравнительная характеристика пациентов основной группы, контрольной группы и группы с модифицированной методикой

| Параметр | 1 Группа (основная, n=46) | 3 Группа (модифицированная, n=15) | p |
|--|------------------------------|--------------------------------------|------|
| Демографические характеристики | | | |
| Возраст, лет | 57,0 ± 1,6 | 55,6 ± 3,3 | 0,69 |
| Возраст, диапазон | 31,9–78,8 | 31,9–77,1 | – |
| Женщины, n (%) | 39 (84,8) | 13 (86,7) | 0,87 |
| Мужчины, n (%) | 7 (15,2) | 2 (13,3) | – |
| Европеоиды, n (%) | 31 (67,4) | 11 (73,3) | 0,68 |
| Монголоиды, n (%) | 15 (32,6) | 4 (26,7) | – |
| Клинические характеристики боли, продолжительность госпитализации | | | |
| Правосторонняя боль n (%) | 26 (56,5) | 10 (66,7) | 0,49 |
| Левосторонняя боль n (%) | 20 (43,5) | 5 (33,3) | – |
| Длительность анамнеза, лет | 5,8 ± 0,7 | 6,2 ± 1,1 | 0,74 |
| Медиана анамнеза, лет | 4,2 | 3,6 | 0,58 |
| Диапазон анамнеза, лет | 0,5–22 | 0,7–11 | – |
| ВАШ до операции, баллы | 8,9 ± 0,1 | 9,1 ± 0,3 | 0,76 |
| BNI до операции | 4,0 ± 0,1 | 4,1 ± 0,2 | 0,61 |
| Койко-дни | 14,0 ± 1,0 | 15,1 ± 1,5 | 0,57 |
| Примечание: данные представлены как M ± SEM для количественных переменных и абсолютное число (%) для категориальных переменных; прочерк (–) обозначает отсутствие данных или неприменимость параметра; ВАШ – визуальная аналоговая шкала; BNI – Barrow Neurological Institute Pain Intensity Score; НВК – нейроваскулярный конфликт. | | | |

Результаты хирургического лечения в данной группе сопоставлялись с исходами у пациентов, оперированных традиционным способом (группа 1). По демографическим характеристикам и исходным параметрам заболевания (характер болевого синдрома, длительность заболевания) сравниваемые группы были

полностью сопоставимы. Интенсивность боли по визуально-аналоговой шкале в группе модифицированной МВД составила $9,1 \pm 0,3$ балла, в группе стандартной МВД – $9,0 \pm 0,2$ балла; статистически значимых различий не выявлено ($t = 0,31$, $p = 0,76$). Балл по шкале BNI составил $4,1 \pm 0,2$ против $4,0 \pm 0,1$ соответственно ($t = 0,51$, $p = 0,61$). Доза антиконвульсантов также была сопоставима: 1180 ± 95 мг против 1240 ± 78 мг карбамазепинового эквивалента ($t = 0,46$, $p = 0,65$). Медиана длительности анамнеза составила 3,6 г. в группе модифицированной МВД против 4,2 г. в группе стандартной МВД (U-критерий Манна – Уитни, $p = 0,58$).

Для подтверждения однородности групп по выраженности морфометрических изменений тройничного нерва был проведен сравнительный анализ предоперационных МР-параметров. В группе модифицированной МВД выполнялась та же морфометрия, что и в основной группе, с оценкой угловых, линейных и площадных параметров на стороне боли и контралатеральной здоровой стороне. Сагиттальный угол тройничного нерва при входе в *porus trigeminus* (SATNaPT) на стороне боли в группе модифицированной МВД составил $136,1 \pm 3,2^\circ$ против $136,7 \pm 1,7^\circ$ в группе стандартной МВД ($t = 0,17$, $p = 0,87$). На здоровой стороне данный параметр составил $144,8 \pm 2,9^\circ$ в группе модифицированной МВД против $145,3 \pm 1,8^\circ$ в группе стандартной МВД ($t = 0,15$, $p = 0,88$). Разница между больной и здоровой сторонами в группе модифицированной МВД составила $-8,7 \pm 2,8^\circ$ ($t = -3,11$, $p = 0,008$), что полностью соответствовало разнице $-8,6 \pm 1,7^\circ$ в группе стандартной МВД ($p = 0,97$ для сравнения разницы). Таким образом, выраженность ангуляции нерва в зоне *porus trigeminus* была идентична между группами.

Длина цистернального сегмента тройничного нерва (L TN) на стороне боли составила $9,48 \pm 0,39$ мм в группе модифицированной МВД против $9,51 \pm 0,27$ мм в группе стандартной МВД ($t = 0,07$, $p = 0,95$). Площадь поперечного сечения в цистернальном сегменте (STC) на стороне боли составила $4,8 \pm 0,4$ мм² в группе модифицированной МВД против $5,47 \pm 0,33$ мм² в группе стандартной МВД ($t = 1,05$, $p = 0,30$). Площадь в зоне *porus trigeminus* (S TP) составила $8,0 \pm 0,9$ мм² против $8,24 \pm 0,56$ мм² соответственно ($t = 0,22$, $p = 0,83$). Размеры костного отверстия также

не различались: высота (H Porus) составила $3,18 \pm 0,31$ мм против $3,23 \pm 0,14$ мм ($p = 0,88$), ширина (W Porus) $10,47 \pm 0,65$ мм против $10,66 \pm 0,32$ мм ($p = 0,78$), площадь S Porus $28,7 \pm 3,4$ мм² против $29,04 \pm 1,73$ мм² ($p = 0,92$).

Парное сравнение больной и здоровой сторон внутри группы модифицированной МВД выявило статистически значимые различия, аналогичные группе стандартной МВД. Площадь STC на стороне боли составила $4,80 \pm 0,43$ мм² против $6,42 \pm 0,68$ мм² на здоровой стороне (разница $1,62 \pm 0,61$ мм², $t = -2,65$, $p = 0,019$). Площадь S TP составила $8,0 \pm 0,94$ мм² против $9,38 \pm 0,92$ мм² соответственно (разница $1,38 \pm 0,89$ мм², $t = -1,55$, $p = 0,14$). Выраженность уменьшения площади поперечного сечения не различалась между группами модифицированной и стандартной МВД ($p = 0,48$ для STC и $p = 0,91$ для S TP).

Таким образом, морфометрический анализ подтвердил полную однородность групп по исходным структурным характеристикам тройничного нерва. Выраженность деформации траектории нерва (SATNaPT), степень уменьшения площади поперечного сечения (STC, S TP) и размеры костного канала (S Porus) были идентичны между группами. Данное обстоятельство исключает влияние различий в морфометрии на результаты сравнительного анализа эффективности хирургических методик и позволяет рассматривать наблюдаемые различия в исходах как следствие технических особенностей вмешательства.

В послеоперационном периоде отмечалось существенное снижение болевого синдрома в обеих группах. В основной группе исходный уровень ВАШ $8,9 \pm 0,1$ балла уменьшился до $0,8 \pm 0,2$ балла через 1 месяц ($p < 0,001$), до $1,2 \pm 0,3$ балла через 3 месяца, до $1,6 \pm 0,3$ балла через 12 мес. и $1,8 \pm 0,3$ балла при последнем наблюдении (медиана 42,1 месяца). Среднее снижение ВАШ составило $-7,1 \pm 0,3$ балла (79,8% от исходного уровня, $t = 22,4$, $p < 0,001$, $d = 3,12$). В группе сравнения исходный уровень ВАШ $9,1 \pm 0,3$ балла уменьшился до $1,0 \pm 0,7$ балла при последнем наблюдении через 18 мес. ($t = 11,3$, $p < 0,001$), что соответствует сопоставимой эффективности обеих методик.

По классификации BNI при последнем наблюдении благоприятный исход (BNI I–IIIa) достигнут у 43 пациентов (93,5%) в основной группе и у всех 15

пациентов (100%) в группе сравнения ($\chi^2=1,02$, $p=0,31$). Полное купирование боли без медикаментов (BNI I) достигнуто у 27 пациентов (58,7%) в основной группе против 12 (80,0%) в группе сравнения – клинически значимое преимущество (+21,3%), хотя различие не достигло статистической значимости ($\chi^2=2,48$, $p=0,12$). Отсутствие необходимости в регулярном приеме антиконвульсантов (BNI I–II) отмечено у 35 пациентов (76,1%) в основной группе и у 13 (86,7%) в группе сравнения.

Доза антиконвульсантов также значительно снизилась в обеих группах. В основной группе средняя суточная доза уменьшилась с 1240 ± 78 мг карбамазепинового эквивалента до 180 ± 48 мг через 12 мес. (снижение на 85%, $t=11,6$, $p<0,001$). В группе сравнения доза снизилась с 1180 ± 95 мг до 140 ± 68 мг через 12 мес. (снижение на 88,1%), без статистически значимых различий между группами ($p=0,66$).

В основной группе рецидив развился у 11 из 46 пациентов (23,9%, 95% ДИ 12,6–38,8%) при медиане наблюдения 42,1 мес. Среднее время до рецидива составило $42,1\pm 13,2$ месяца (медиана 28,7 мес., диапазон 8,6–161 месяц). Большинство рецидивов (81,8%) развились в отдаленном периоде (более 12 мес. после операции). Безрецидивная выживаемость по Каплану – Майеру составила: 1-летняя – 95,7% (95% ДИ 88,2–99,1%), 2-летняя – 89,1% (95% ДИ 77,9–95,2%), 3-летняя – 82,4% (95% ДИ 69,5–90,5%), 5-летняя – 76,1% (95% ДИ 61,8–85,7%) (Рисунок 121).

В группе сравнения за 18 мес. наблюдения рецидивов не зарегистрировано (безрецидивная выживаемость 100%, 95% ДИ 78,2 – 100%). Хотя прямое сравнение затруднено различными сроками наблюдения, отсутствие рецидивов против 23,9% в основной группе представляет клинически значимое преимущество модифицированной методики.

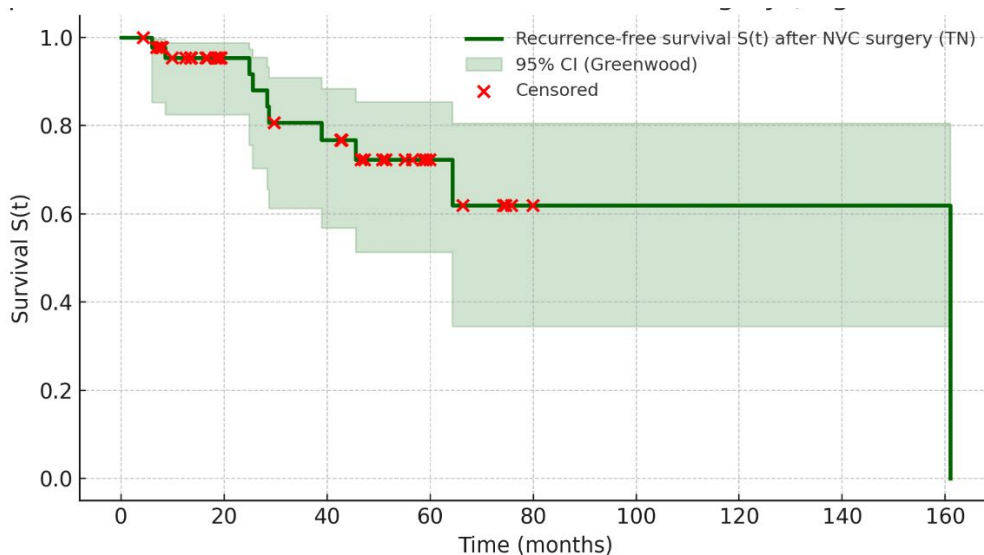


Рисунок 121 – Кривая Каплана – Мейера для безрецидивной выживаемости после стандартной МВД (основная группа, $n=46$). Заштрихованная область – 95% доверительный интервал. Вертикальные метки – цензурированные наблюдения. Указаны значения безрецидивной выживаемости в ключевых временных точках

Анализ факторов риска рецидива в основной группе не выявил статистически значимых предикторов. Средний возраст в группе с рецидивом составил $60,3 \pm 3,3$ г. против $56,0 \pm 1,7$ г. без рецидива ($p=0,22$). Морфометрические параметры также не различались: угол SATNaPT $138,4 \pm 3,2^\circ$ против $136,2 \pm 2,0^\circ$ ($p=0,54$), площадь STC $52,6 \pm 5,7$ мм² против $55,4 \pm 4,1$ мм² ($p=0,68$). Логистический регрессионный анализ не выявил независимых предикторов рецидива, что указывает на многофакторность механизмов рецидивирования.

Эффективность метода демонстрируется нижеприведенным клиническим примером.

Клинический пример 1

Пациентка К. 42 г. поступила с жалобами на интенсивные приступообразные стреляющие боли в левой половине лица в зонах V1 и V2 длительностью около 25 лет. Интенсивность боли 8–10 баллов по ВАШ, BNI 2. По данным МРТ (3D-CISS), выявлен НВК слева: верхняя мозжечковая артерия контактировала с корешком тройничного нерва с деформацией, Grade 1. Дополнительно, по данным МСКТ, визуализирована оссификация

петроклиновидной складки слева. МР-морфометрия показала выраженную деформацию: SATNaPT $148,5^\circ$ справа против $123,1^\circ$ слева (разница $25,4^\circ$), площадь устья полости Меккеля $49,3 \text{ мм}^2$ справа против $23,53 \text{ мм}^2$ слева (Рисунок 122).

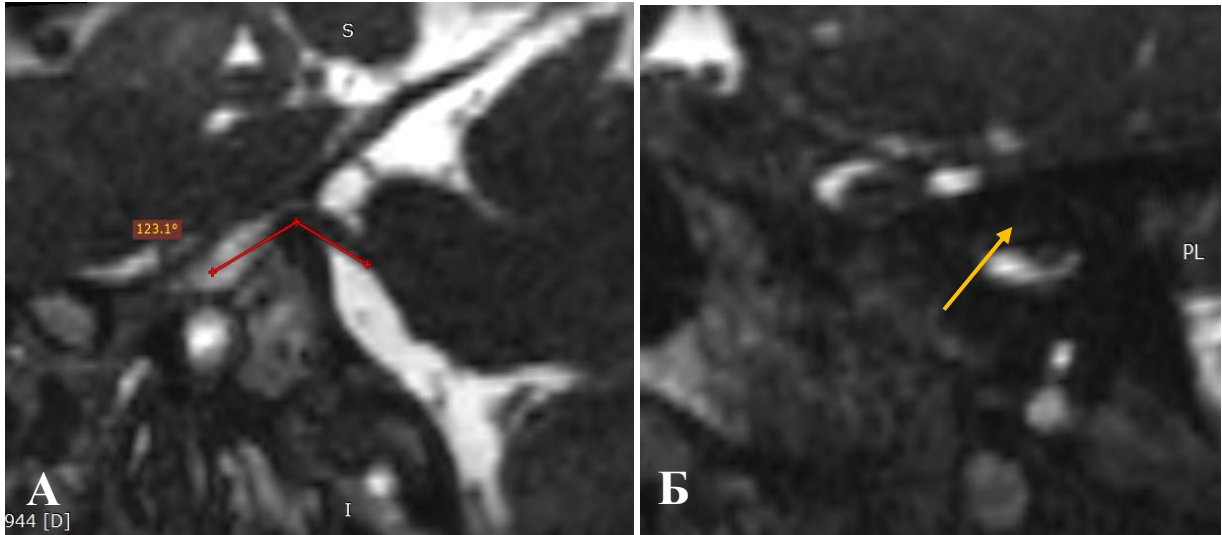


Рисунок 122 – Предоперационная МРТ головного мозга, последовательность 3D-CISS: А – мультипланарные реконструкции, МР-морфометрия; на уровне устья пещеры Меккеля (porus trigeminus) определяется острый угол между корешком тройничного нерва (radix nervi trigemini) и верхним краем пирамиды височной кости (margo superior partis petrosae ossis temporalis), составляющий $123,1^\circ$; Б – визуализация устья полости Меккеля (porus trigeminus)

Пациентке была выполнена модифицированная МВД из ретросигмовидного доступа с эндоскопической визуализацией. Интраоперационно подтвержден конфликт верхней мозжечковой артерии с нервом в зоне REZ. Установлена первая тефлоновая прокладка $3 \times 5 \text{ мм}$ между артерией и нервом. При эндоскопической ревизии (оптика 30° и 70°) визуализирован контакт нерва с верхним краем пирамиды височной кости на фоне оссифицированной петроклиновидной складки. Установлена вторая прокладка $3 \times 5 \text{ мм}$ между нервом и костным краем в области устья полости Меккеля. Кровопотеря 50 мл, продолжительность операции 148 минут (Рисунок 123).

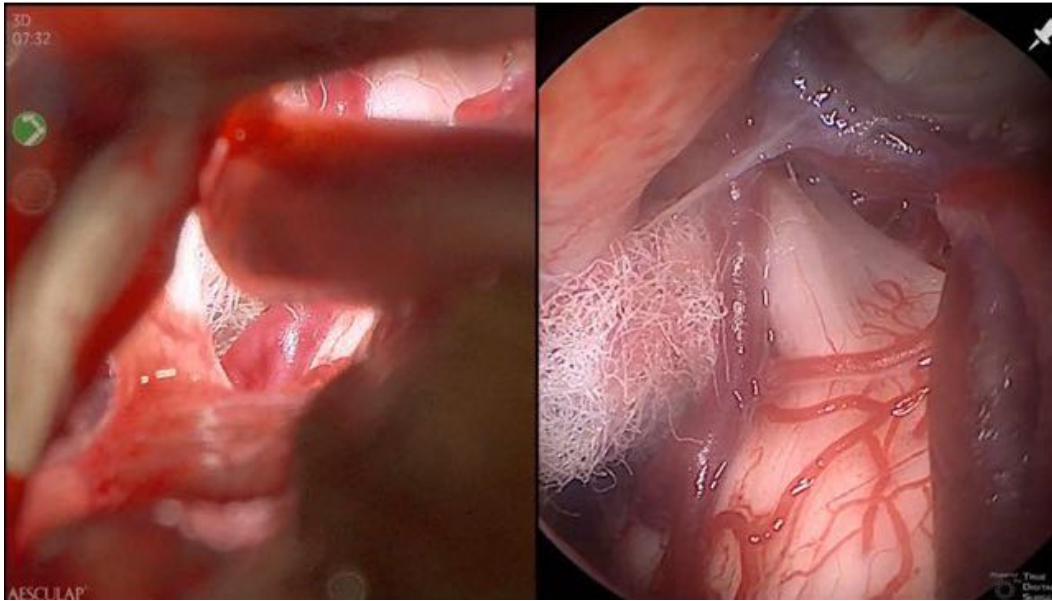


Рисунок 123 – Трехмерное Full HD интраоперационное изображение установленного тefлонового протектора в области устья полости Меккеля (roqus trigeminus)

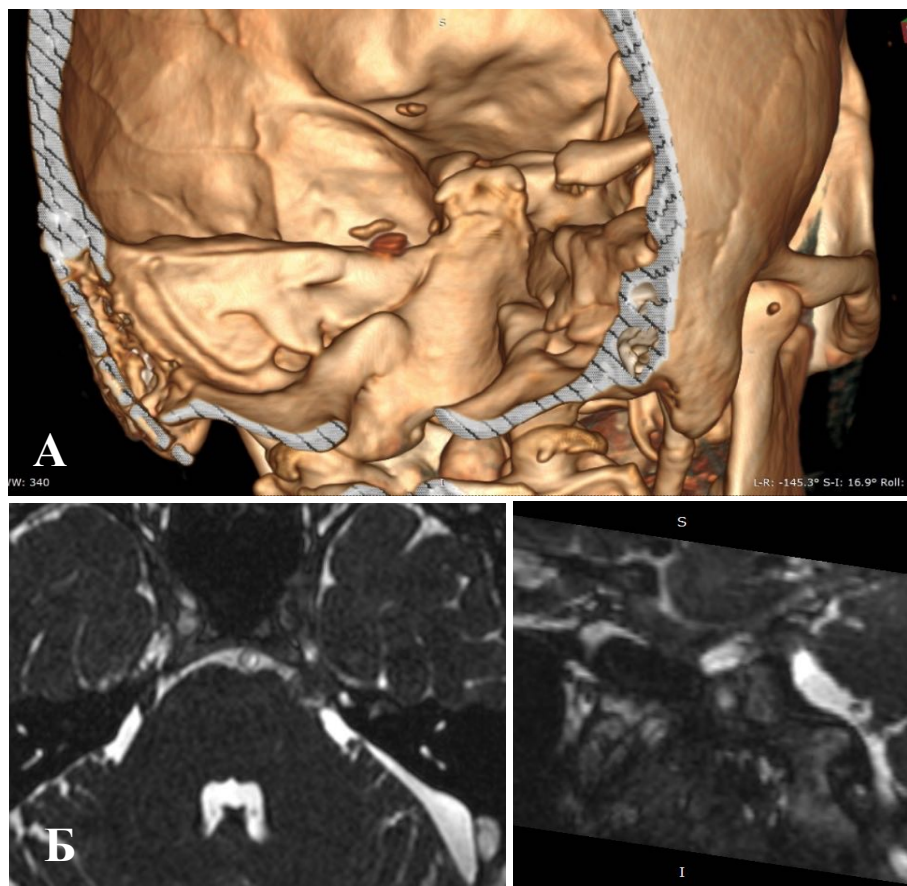


Рисунок 124 – Результаты хирургического лечения: А – трехмерная реконструкция МСКТ в раннем послеоперационном периоде, визуализируется оссификация петроклиновидной складки слева (стрелка), тefлоновая прокладка в области устья пещеры Меккеля (roqus trigeminus); Б – контрольное МРТ на 3 сут. после оперативного лечения

Послеоперационный период без осложнений. Болевой синдром купирован полностью в 1-е сут. (ВАШ 0). Карбамазепин отменен через 4 месяца. При проведении контрольной МСКТ на 3 сут. визуализируется оссификация петроклиновидной складки и тефлоновая прокладка в области устья полости Меккеля. МРТ подтвердила сохранность положения обоих протекторов, отсутствие конфликта, плавную траекторию нерва в зоне *porus trigeminus* (Рисунок 124). Выписана на 14 сут. При контрольном осмотре через 6 мес. боли нет (ВАШ 0, BNI I), антиконвульсанты не принимает, качество жизни значительно улучшилось. Рецидива не отмечено.

Таким образом, морфометрические данные показали, что НТН ассоциирована с уменьшением сагиттального угла нерва при входе в *porus trigeminus* на $8,6^\circ$, что создает острый перегиб нерва в месте контакта с верхним краем пирамиды височной кости. Механическое воздействие костных структур на нерв устраняется посредством размещения протектора в данной зоне. Это позволяет достичь более полной декомпрессии корешка. Модифицированная техника МВД, предусматривающая установку протектора между тройничным нервом и костным краем пирамиды височной кости в области *porus trigeminus*, характеризуется более благоприятными ближайшими исходами. Ключевым преимуществом модифицированной методики является потенциальное снижение частоты рецидивов. Хотя прямое сравнение затруднено различными сроками наблюдения, относительное снижение риска рецидива является клинически значимым результатом. Механизм улучшения результатов при модифицированной методике может быть объяснен устранением не только сосудистой, но и костной компрессии тройничного нерва.

С учетом полученных данных нами был разработан «Алгоритм анатомической диагностики и выбора технологии операции при невралгии тройничного нерва» (Рисунок 125).

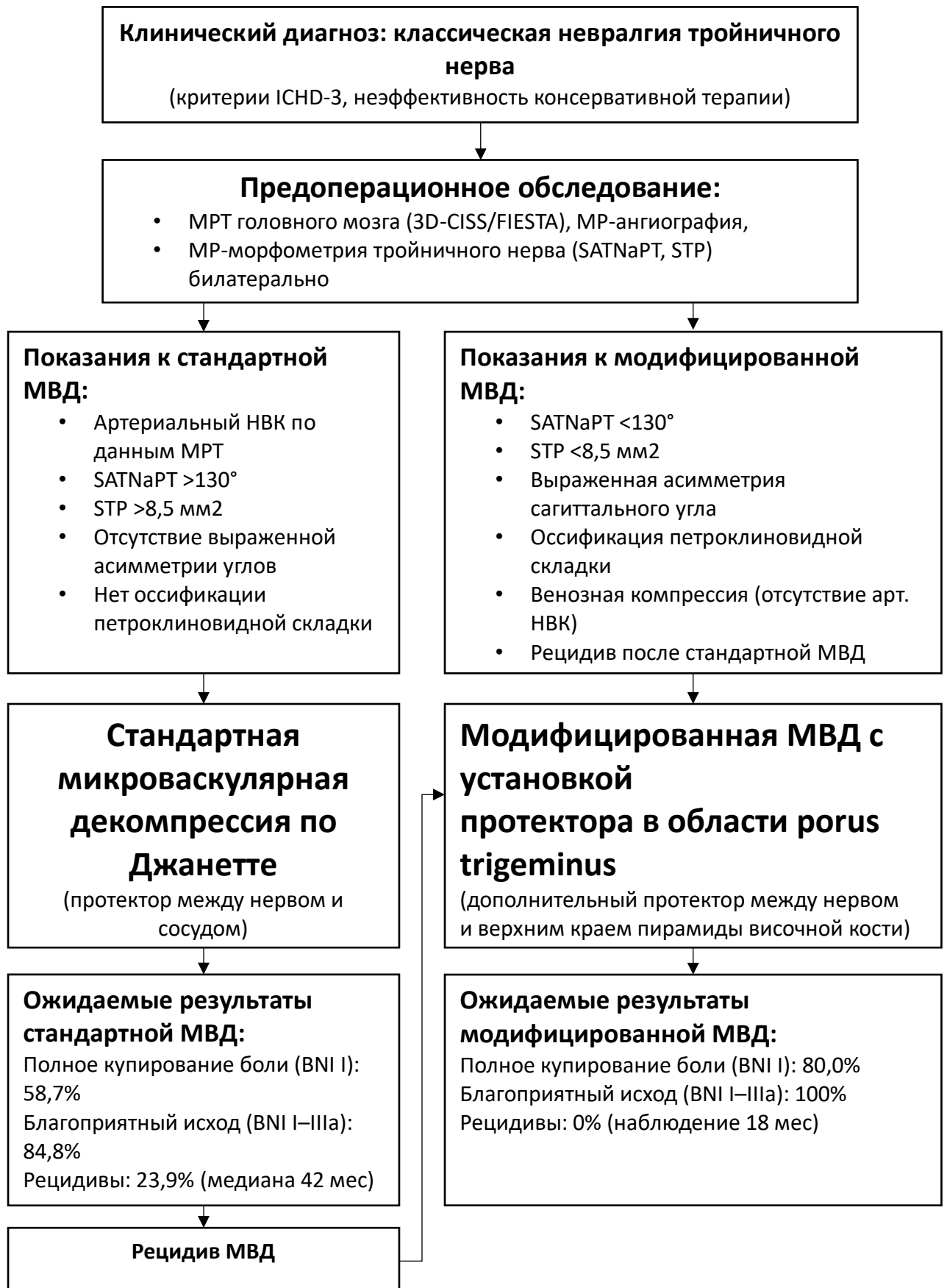


Рисунок 125 – Алгоритм анатомической диагностики и выбора технологии операции при невралгии тройничного нерва

ГЛАВА 6. ФЕТАЛЬНАЯ ХИРУРГИЯ ПРИ ОККЛЮЗИОННОЙ ГИДРОЦЕФАЛИИ ПЛОДА

6.1. Сравнительная эндоскопическая анатомия желудочков мозга при гидроцефалии во внутриутробном периоде и после рождения

Для описания внутриутробной анатомии желудочковой системы плода мы проанализировали видеозаписи фетальной эндоскопической вентрикулоцистерностомии дна III желудочка. Материал включал 3 наблюдения пренатальных вмешательств и 15 операций, выполненных в постнатальном периоде у детей до 1 года.

Эндоскопические вмешательства при гидроцефалии требуют чёткой идентификации анатомических ориентиров желудочковой системы. К ним относятся: сосудистое сплетение (*plexus choroideus*), межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*), зрительное углубление (*recessus opticus*), сосцевидные тела (*corpora mamillaria*), воронкообразный карман (*recessus infundibuli*), верхушка базилярной артерии (*apex arteriae basilaris*), спинка турецкого седла (*dorsum sellae*) [19, 35, 51].

Формирование сосудистого сплетения бокового желудочка (*plexus choroideus ventriculi lateralis*) начинается на ранних этапах эмбриогенеза – приблизительно на 6 нед. гестации. Сосудистая мягкая мозговая оболочка (*pia mater*) инвагинирует в полость развивающегося желудочка через сосудистую щель (*tela choroidea*). Эпендимная выстилка желудочков при этом служит источником эпителиального покрова формирующегося сплетения.

Сосудистое сплетение бокового желудочка (*plexus choroideus ventriculi lateralis*) представляет собой билатеральную структуру С-образной конфигурации, повторяющую контуры желудочковой полости (Рисунок 126).

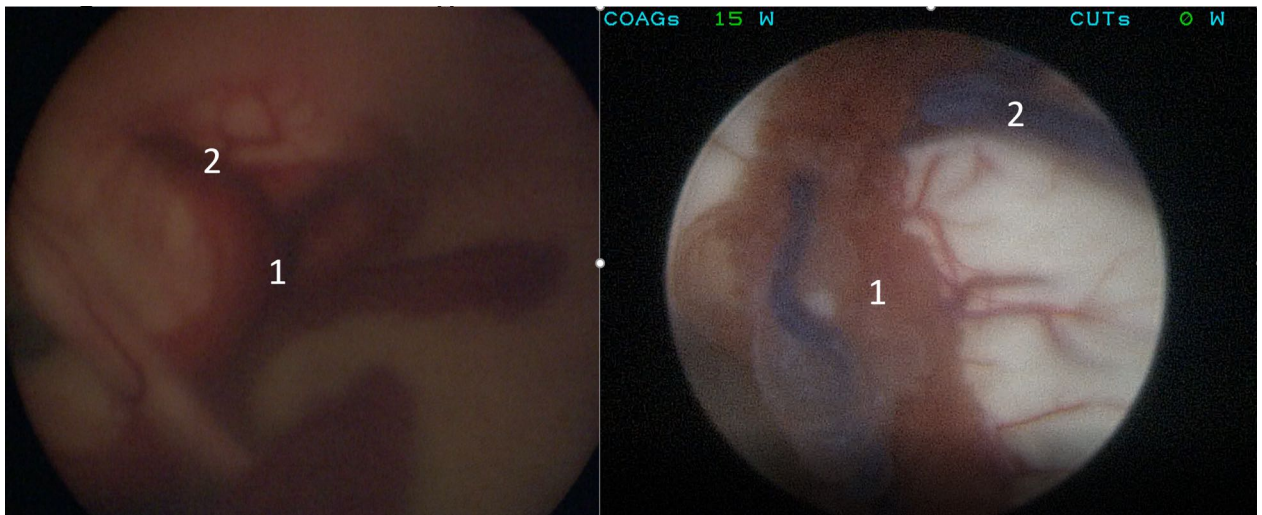


Рисунок 126 – Сосудистое сплетение: сравнительная анатомия во внутриутробном периоде (25–26 нед. гестации) и после рождения (возраст 6 мес.). Слева – внутриутробная эндоскопия; справа – эндоскопическая картина у ребёнка постнатального периода. Сосудистое сплетение визуализируется в виде овоидного пучка, выходящего из межжелудочкового отверстия (*foramen interventriculare*). Топографически сплетение располагается по медиальной стенке желудочка вдоль его дна, занимая пространство между таламусом (*thalamus*) латерально и сводом мозга (*fornix*) медиально. 1 – сосудистое сплетение бокового желудочка (*plexus choroideus ventriculi lateralis*) с верхней хориоидальной веной (*v. choroidea superior*); 2 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata superior*)

Морфологически сплетение характеризуется высокоспециализированной ворсинчатой организацией. Функционально данная структура служит основным продуцентом спинномозговой жидкости в желудочковой системе.

В центральной части (*pars centralis*) сосудистое сплетение занимает нижнемедиальные отделы, прилегая к верхней поверхности таламуса (*thalamus*). В переднем роге (*cornu anterius*) сплетение отсутствует, что обусловлено особенностями эмбрионального развития. Максимальное скопление ворсин формируется в области коллатерального треугольника (*trigonum collaterale*). В нижнем роге (*cornu inferius*) сплетение следует по дну желудочка вдоль гиппокампальной извилины (*gyrus hippocampi*).

Медиальная граница образована сосудистой покрывкой (*tela choroidea*). С латеральной стороны структура прилежит к таламусу, с медиальной – к своду мозга (*fornix*). Верхнелатеральный отдел располагается внутри желудочковой полости. В каудальном направлении сосудистое сплетение продолжается через

межжелудочковые отверстия (*foramina interventricularia*) в сосудистое сплетение III желудочка.

Артериальное кровоснабжение осуществляется из 2 источников. Передняя хороидальная артерия (*a. choroidea anterior*) отходит от внутренней сонной артерии (*a. carotis interna*) и обеспечивает васкуляризацию передних отделов сплетения. Задняя латеральная хороидальная артерия (*a. choroidea posterior lateralis*), являющаяся ветвью задней мозговой артерии (*a. cerebri posterior*), кровоснабжает основную массу сплетения. Между указанными артериями формируются анастомозы. Венозный отток направляется во внутреннюю мозговую вену (*v. cerebri interna*), верхнюю хороидальную вену (*v. choroidea superior*) и вену бокового желудочка (*v. ventriculi lateralis*).

Особенность сосудистого сплетения во внутриутробном периоде в меньшей выраженности ворсинчатости, менее выраженная флотирующая часть сосудистого сплетения.

Межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*), также известное как отверстие Монро (*foramen Monroi*), представляет собой ключевую структуру желудочковой системы мозга, соединяющую боковые желудочки с III желудочком.

Эмбриогенетически на 5–6 нед. гестации происходит формирование из первичной желудочковой системы, дифференцировка из срединного отверстия первичного переднего мозга. Одновременное развитие с формированием мозолистого тела и прозрачной перегородки.

Через это отверстие эндоскоп проводится в III желудочек. Повреждение структур вокруг отверстия Монро (особенно свода) приводит к тяжелым нарушениям памяти, массивному кровотечению (Рисунок 127).

Зрительное углубление (*recessus opticus*) локализуется в передней части дна III желудочка, над зрительным перекрестом (*chiasma opticum*). Данная структура представляет собой выпячивание желудочковой стенки. Формирование зрительного углубления начинается на 8–10 нед. гестации; активный рост происходит на протяжении второго триместра; окончательное созревание завершается к 30–32 нед. В хирургическом отношении данное образование

определяет переднюю границу безопасной зоны при выполнении вентрикулостомии.

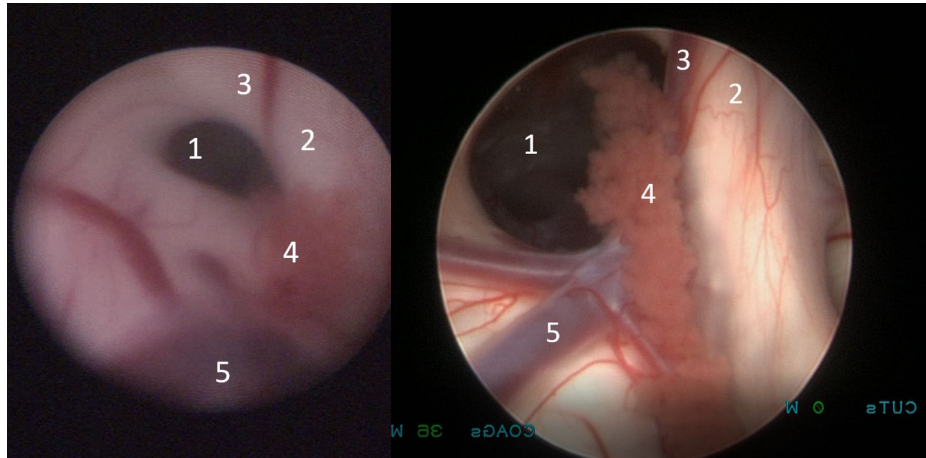


Рисунок 127 – Межжелудочковое отверстие: сравнительная анатомия во внутриутробном периоде (25–26 нед. гестации) и после рождения (возраст 6 мес.). Слева – внутриутробная эндоскопия; справа – эндоскопическая картина у ребёнка постнатального периода. Границы межжелудочкового отверстия определяются следующими структурами: спереди и сверху – столб свода (*columna fornicis*); сзади – передний бугорок таламуса (*tuberculum anterius thalami*); снизу – сосудистое сплетение, огибающее край отверстия. 1 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 2 – столбы свода (*columnae fornicis*) и остатки прозрачной перегородки (*septum pellucidum*); 3 – передняя септальная вена (*v. septi pellucidi anterior*); 4 – сосудистое сплетение бокового желудочка (*plexus choroideus ventriculi lateralis*); 5 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata superior*)

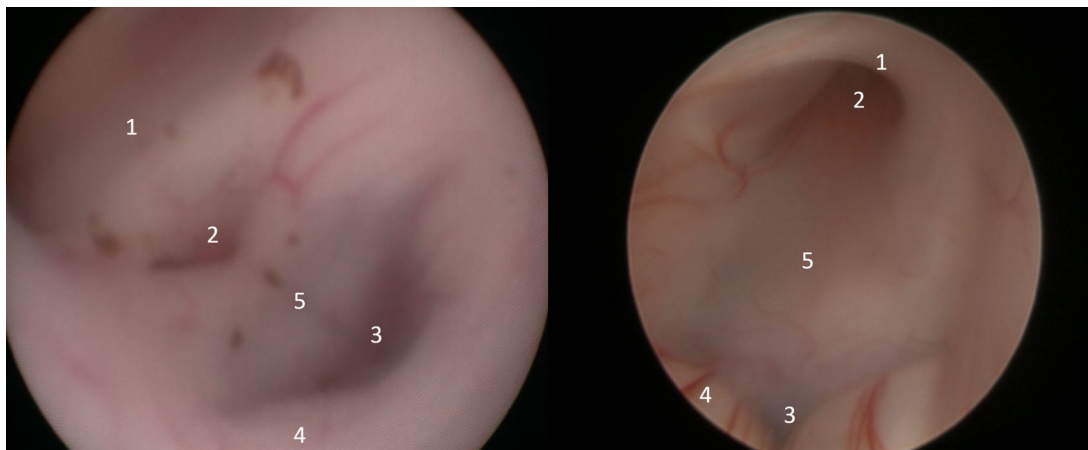


Рисунок 128 – Зрительное углубление: сравнительная анатомия во внутриутробном периоде (25–26 нед. гестации) и после рождения (возраст 6 мес.). Слева – внутриутробная эндоскопия; справа – эндоскопическая картина у ребёнка постнатального периода. 1 – зрительное углубление (*recessus opticus*); 2 – воронкообразный карман (*recessus infundibuli*); 3 – проекция межножковой ямки (*fossa interpeduncularis*); 4 – сосцевидные тела (*corpora mamillaria*); 5 – премамиллярная мембрана (*membrana premamillaris*)

Межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*) во внутриутробном периоде характеризуется специфическими морфометрическими параметрами. Даже при наличии гидроцефалии размеры отверстия остаются относительно небольшими: ширина достигает 2–3 мм, длина – 3–5 мм. У плода отверстие имеет преимущественно овальную форму; в постнатальном периоде конфигурация приобретает более округлые очертания.

Расположение: передняя стенка III желудочка, непосредственно над зрительной хиазмой. Проекция: соответствует уровню основания переднего отдела гипоталамуса. Отношение к соседним структурам:

Сосцевидные тела (*Mamillary Bodies*): 2 четких округлых возвышения на дне III желудочка, формируются из базальной части гипоталамуса на 6–7 нед. гестации. К 10–14 нед. происходит их активная дифференцировка, а к 20–24 нед. они приобретают основные структурные черты. Их размер к концу внутриутробного периода не превышает 1–2 мм в диаметре, форма округлая и менее рельефная по сравнению со взрослым состоянием. Кровоснабжение осуществляется ветвями задней мозговой артерии, при этом капиллярная сеть развита слабо. Являются задней границей безопасной зоны для вентрикулостомии (Рисунок 129).

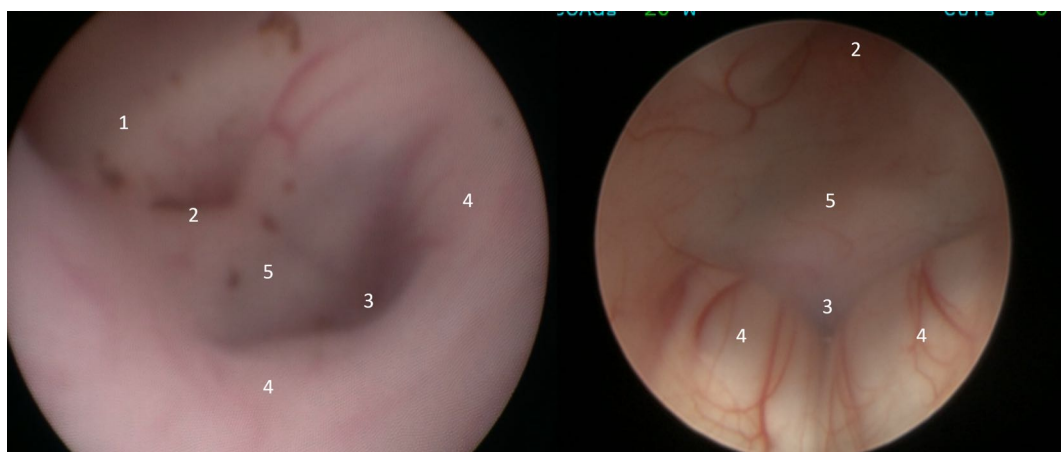


Рисунок 129 – Сосцевидные тела: сравнительная анатомия во внутриутробном периоде (25–26 нед. гестации) и после рождения (возраст 6 мес.). Слева – внутриутробная эндоскопия; справа – эндоскопическая картина у ребёнка постнатального периода. 1 – зрительное углубление (*recessus opticus*); 2 – воронкообразный карман (*recessus infundibuli*); 3 – проекция межножковой ямки (*fossa interpeduncularis*); 4 – сосцевидные тела (*corpora mamillaria*); 5 – премамиллярная мембрана (*membrana premamillaris*)

Инфундибулярный карман (Infundibular Recess): углубление, ведущее к воронке гипофиза (гипофизарной ножке). Расположено сразу за зрительным углублением. Инфундибулярный карман (recessus infundibuli) закладывается на 5–6 нед. как выпячивание дна III желудочка. Связь с гипофизом устанавливается к 7–8 нед., а окончательная дифференцировка завершается к 16–18 нед. Его длина составляет 2–3 мм, ширина – 1–1,5 мм. Карман граничит сверху с гипоталамусом, снизу переходит в гипофизарную ножку, спереди от него расположен зрительный перекрест, а сзади – сосцевидные тела. Это «точка невмешательства». Вентрикулостомия никогда не делается здесь, так как это приведет к повреждению гипоталамо-гипофизарной системы (Рисунок 130).

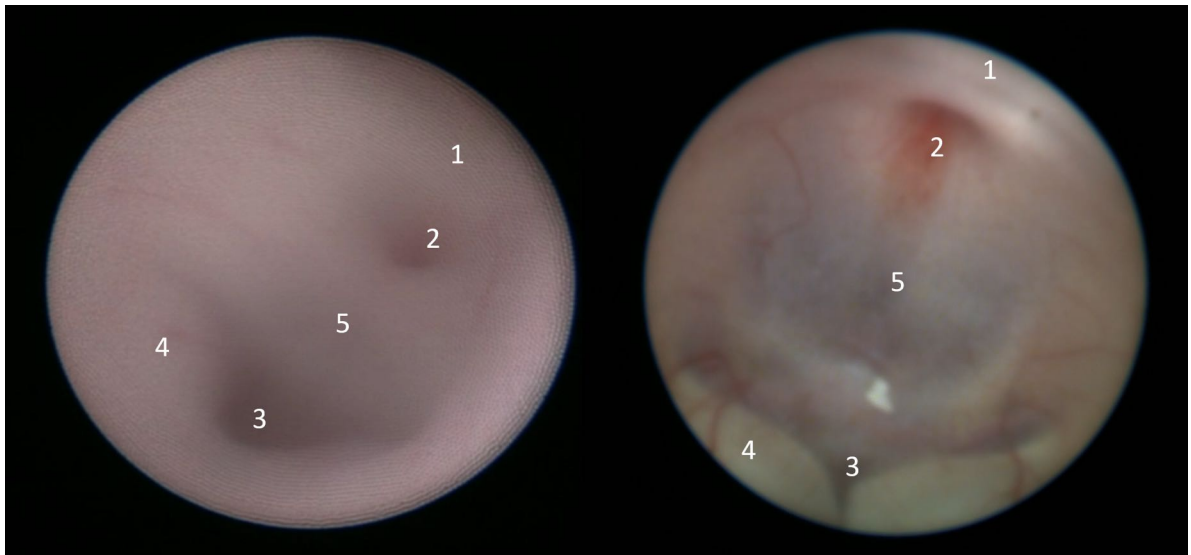


Рисунок 130 – Воронкообразный карман: сравнительная анатомия во внутриутробном периоде (25–26 нед. гестации) и после рождения (возраст 6 мес.). Слева – внутриутробная эндоскопия; справа – эндоскопическая картина у ребёнка постнатального периода. 1 – зрительное углубление (recessus opticus); 2 – воронкообразный карман (recessus infundibuli); 3 – проекция межножковой ямки (fossa interpeduncularis); 4 – сосцевидные тела (corpora mamillaria); 5 – премамиллярная мембрана (membrana premamillaris)

Базиллярная артерия Basilar Artery Apex и спинка турецкого седла не визуализируются до перфорации, но хирург должен мысленно представлять их расположение. Располагаются прямо под дном III желудочка в межножковой цистерне. Апикальный отдел базиллярной артерии образуется при слиянии продольных нервных артерий на 5-й нед. развития. Разделение на задние мозговые

артерии происходит на 6–7 нед., а бифуркация окончательно формируется к 12–14 нед. Диаметр артерии у доношенного плода составляет 0,8–1,2 мм, угол бифуркации – 40–60°. Эластический каркас и мышечный слой развиты слабо, что определяет легкую ранимость инструментами и особую осторожность при манипуляциях вблизи базилярной артерии (Рисунок 131).

Спинка турецкого седла (*dorsum sellae*) проходит хондрофикацию на 8–9 нед., окостенение начинается с 16–20 нед. из нескольких точек, а клиновидно-затылочный синхондроз формируется к 20–24 нед. Ее высота достигает 2–3 мм, толщина – 1–1,5 мм, а угол наклона более вертикальный (70–80°). Спереди от нее находится гипофизарная ямка, сзади – скат, по бокам – верхушки пирамид височных костей, а сверху – кавернозные синусы (Рисунок 132).

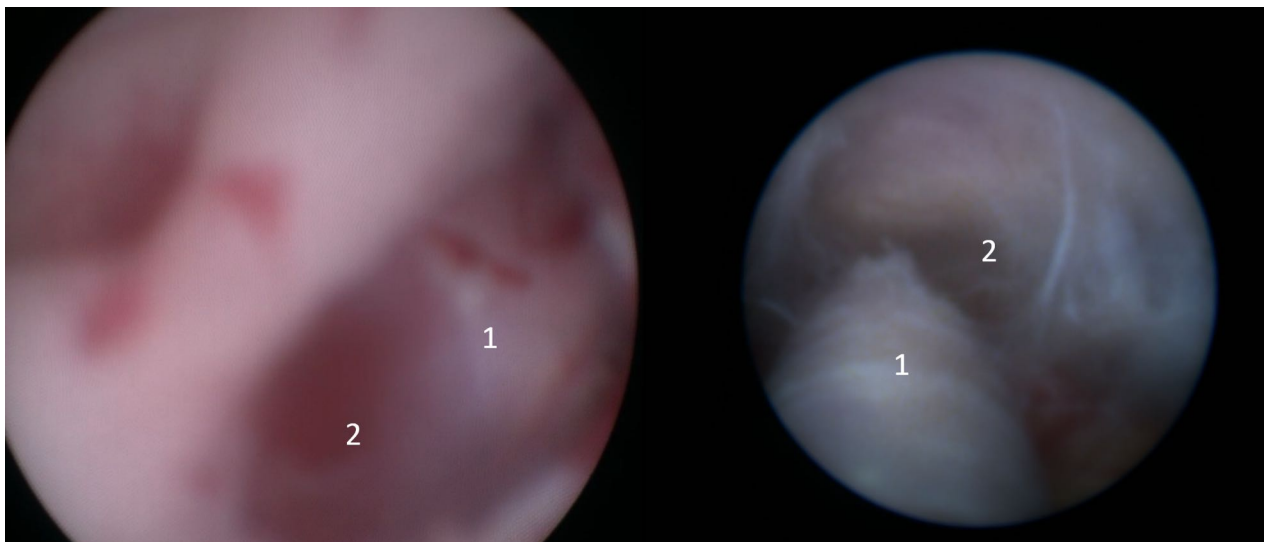


Рисунок 131 – Апикальный отдел базилярной артерии: сравнительная анатомия во внутриутробном периоде (25–26 нед. гестации) и после рождения (возраст 6 мес.). Слева – внутриутробная эндоскопия; справа – эндоскопическая картина у ребёнка постнатального периода. 1 – базилярная артерия (*a. basilaris*); 2 – препонтичная цистерна (*cisterna pontis*)

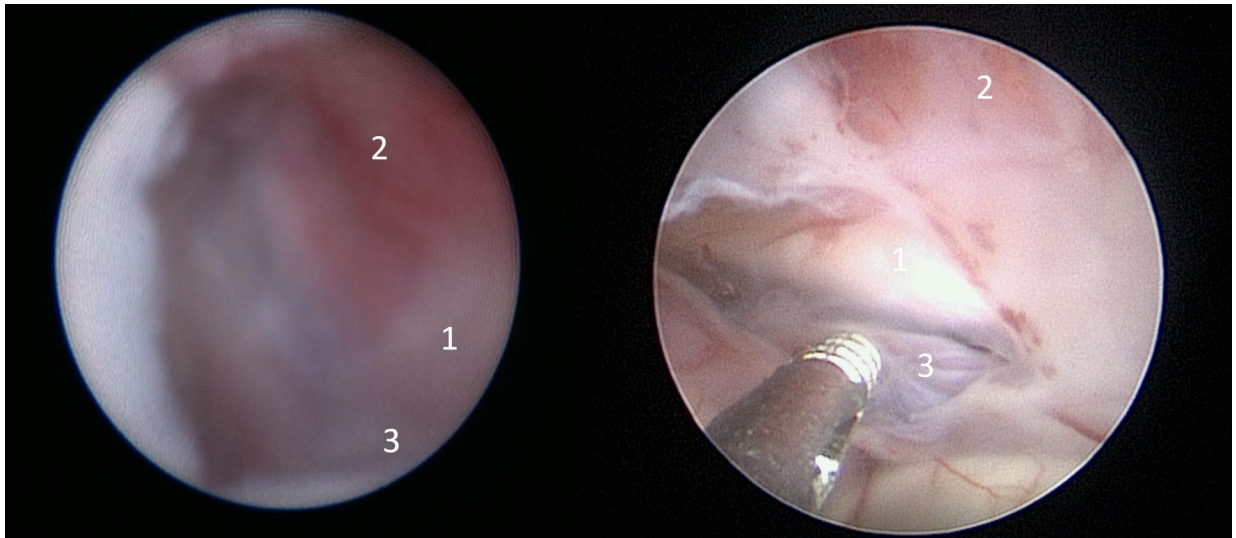


Рисунок 132 – Спинка турецкого седла: сравнительная анатомия во внутриутробном периоде (25–26 нед. гестации) и после рождения (возраст 6 мес.). Слева – внутриутробная эндоскопия; справа – эндоскопическая картина у ребёнка постнатального периода. 1 – спинка турецкого седла (*dorsum sellae*); 2 – воронка гипофиза (*infundibulum hypophysiae*); 3 – базилярная артерия (*a. basilaris*)

Безопасный треугольник вентрикулостомии находится на дне III желудочка между следующими структурами: спереди – зрительное углубление (*Chiasmatic Recess*), сзади – сосцевидные тела (*Mamillary Bodies*). По бокам (мысленно): внутренние сонные артерии и зрительные тракты. Идеальная точка для перфорации находится в средней линии, примерно на полпути между зрительным углублением и сосцевидными телами [4, 19, 51]. Иногда видна истонченная полупрозрачная и часто пульсирующая мембрана («*membrana tuber cinereum*») – это и есть цель. Во внутриутробной хирургии расстояние между сформированными структурами значительно меньше и при формировании стомы необходимо учитывать размеры баллона-катетера (не более 2 F или размер диаметра баллона не > 3 мм.).

Во всех случаях отмечались малые размеры межножковой цистерны с уже сформированной к моменту операции мембраной Лилиеквиста.

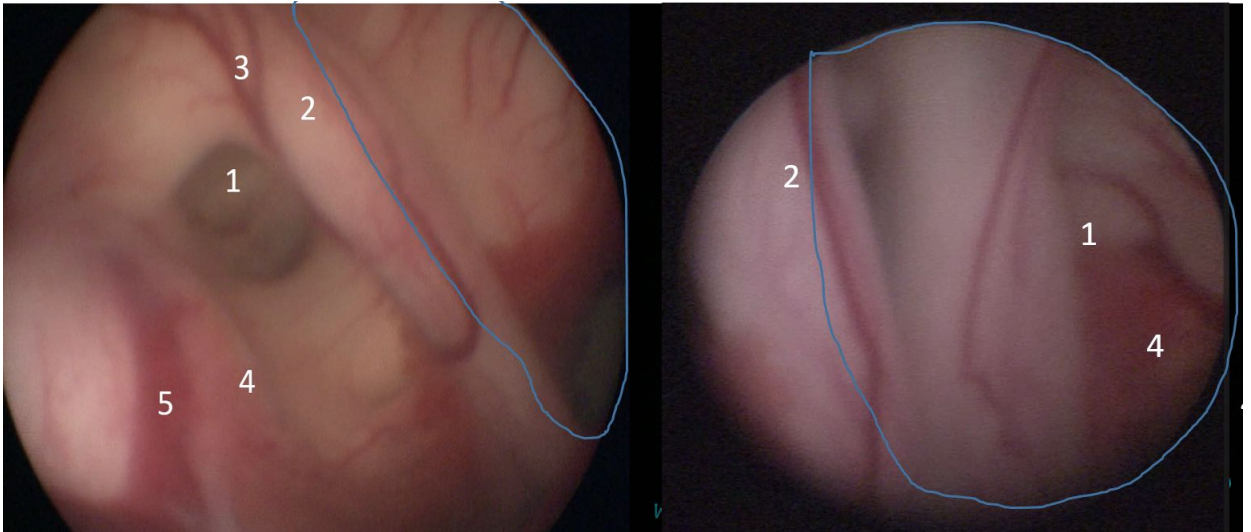


Рисунок 133 – Внутрижелудочковые структуры в проекции прозрачной перегородки: интраоперационная эндоскопия (эндоскоп 1,2 мм). Слева – внутриутробная эндоскопия (клинический случай 1); справа – внутриутробная эндоскопия (клинический случай 4). На обоих изображениях визуализируется агенезия прозрачной перегородки (контуры ожидаемой локализации выделены синим цветом). 1 – межжелудочковое отверстие (*foramen interventriculare*); 2 – столбы свода при отсутствии прозрачной перегородки (*columnae fornicis*); 3 – остатки передней септальной вены (*v. septi pellucidi anterior*); 4 – сосудистое сплетение бокового желудочка (*plexus choroideus ventriculi lateralis*); 5 – таламостриарная вена (*v. thalamostriata superior*)

К особенностям внутриутробной тривентрикулярной окклюзионной гидроцефалии относится особенное строение прозрачной перегородки: агенезия прозрачной перегородки, которая входит в структуру врожденного порока мозга: внутренней окклюзионной гидроцефалии со стенозом водопровода мозга. В наших случаях из 3 операций при тривентрикулярной гидроцефалии агенезия наблюдалась во всех случаях (Рисунок 133).

Таким образом, к 24–28 нед. гестации созревание ключевых анатомических ориентиров желудочковой системы головного мозга завершается. Все структуры, необходимые для выполнения эндоскопических вмешательств при гидроцефалии, отчётливо визуализируются. Незначительные анатомические вариации не препятствуют безопасному проведению эндоскопической вентрикулостомии дна III желудочка.

6.2. Экспериментальная работа

Разработка новых эндоскопических методик требует предварительной экспериментальной апробации на биологических моделях. Анатомическое сходство церебральных структур плода овцы и человека обосновывает выбор данной модели для отработки фетальных нейрохирургических вмешательств.

Протокол исследования и перечень планируемых манипуляций рассмотрены на заседании этического комитета ФГБУ «НИИ ОММ» МЗ РФ; получено одобрение на проведение работы. Экспериментальная серия выполнена в 2016–2017 гг. на плодах беременных овец в сроке гестации 12–15 нед. Все вмешательства проводились в безгазовой среде с использованием УЗ-навигации.

В ходе экспериментов апробированы различные методы достижения гемостаза и ликворостаза: гемостатическая пластина Тахокомб (Никомед), фибрин-тромбиновый клей Ивисел (Джонсон и Джонсон), искусственная твёрдая мозговая оболочка Дураформ (Кодман), лазерная и электрокоагуляция (моно- и биполярная), ирригация тёплым физиологическим раствором, баллонная компрессия (Рисунок 134) [53].

Полученные результаты позволили определить оптимальные способы эндоскопического гемостаза в зависимости от типа кровотечения. При капиллярном кровотечении внутри желудочковой системы наибольшую эффективность продемонстрировала ирригация тёплым физиологическим раствором. Венозное и артериальное кровотечение потребовало применения лазерной коагуляции либо баллонной компрессии. Для окончательного гемостаза и герметизации в зоне пункции бокового желудочка оптимальным средством оказался фибринтромбиновый клей. Гемостатическая пластина Тахокомб и искусственная твёрдая мозговая оболочка значимой эффективности не продемонстрировали: доставка данных материалов к целевой зоне через узкий эндоскопический канал оказалась существенно затруднена.



Рисунок 134 – Экспериментальная эндоскопия плода у беременных овец (12–15 неделя гестации), общий вид лаборатории: слева – операционная, справа – позиционирование УЗ-датчика для интраоперационного трекинга эндоскопа в прямой проекции

За период с 2020 по 2024 гг. была выполнена серия экспериментальных исследований, направленных на разработку и совершенствование методик эндоскопических внутриутробных вмешательств. В рамках данного этапа работы проводилась отработка хирургических навыков на специально разработанной искусственной модели, включающей имитацию головы плода, передней брюшной стенки и матки [32]. Использование данной модели позволило детально изучить и освоить технические приемы, применяемые при использовании полуригидного эмбриоскопа и гибкого управляемого эндоскопа (Рисунок 135, 136).

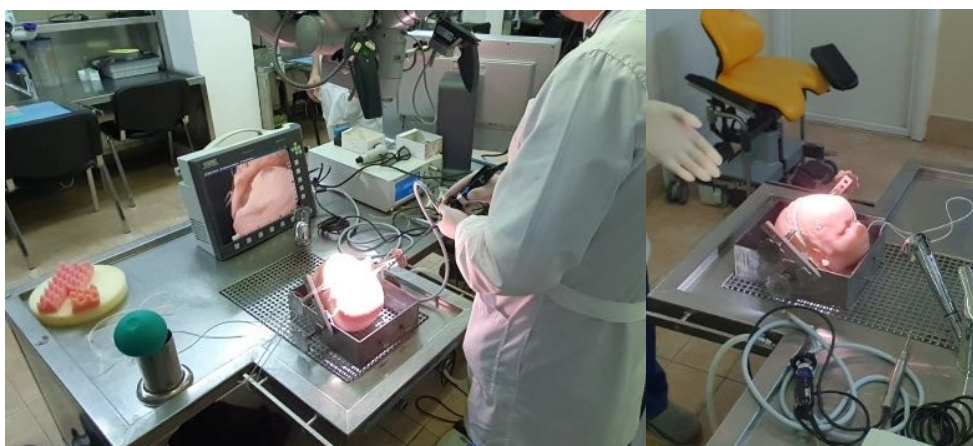


Рисунок 135 – Общий вид лаборатории для отработки навыков на искусственной модели головы плода с гидроцефалией



Рисунок 136 – Вид гибкого управляемого уретероэндоскопа диаметром 2,2 мм, рабочим каналом 1 мм, Boston Scientific (США). Отработка навыка при расположении головы плода в не прямой траектории доступа

Экспериментальная серия продемонстрировала достаточную эффективность монопортального доступа при выполнении внутрижелудочковых вмешательств. Использовался полуригидный эндоскоп с диаметром рабочего канала 1 мм. Необходимым условием являлось расположение головы плода в прямой траектории доступа. Апробация методики проводилась при фенестрации и коагуляции в области дна III желудочка. Полученные результаты свидетельствуют о том, что данный доступ обеспечивает адекватную визуализацию операционного поля и достаточную манёвренность инструмента для выполнения указанных манипуляций [52].

Использование искусственных моделей в матке показали, что при положении головы плода в не прямой траектории доступа (например, доступ через височный или задний рог боковых желудочков) была отработана методика с использованием 3-мм-эндоскопического порта с гибким управляемым уретероэндоскопом диаметром 2,2 мм, рабочим каналом с диаметром 1,0 мм. Это позволило осуществить точное подведение эндоскопа к дну III желудочка через межжелудочковое отверстие, что способствует выполнению операции в неудобной позиции головы плода. Применение управляемого гибкого эндоскопа в данной ситуации продемонстрировало свои преимущества в обеспечении полного проведения операции с использованием лазерного зонда, вентрикулостомических щипцов, катетера Фогарти 2F [39].

Следующий этап работы посвящён изучению анатомии плода при гидроцефалии посредством внутриутробной МРТ. Материал исследования составили 9 беременных женщин; срок гестации варьировал от 23 до 32 нед.

Сканирование выполнялось на аппаратах General Electric Signa HDxt 1,5 Т и Discovery MR750 3,0 Т (GE, США). Протокол предусматривал применение последовательности T2W Single Shot Fast Spin Echo (T2W SSFSE). Параметры сканирования: поле обзора 38–42 см, матрица 320×192, количество усреднений 0,5–1, толщина среза 3–6 мм, межсрезовой промежуток 0–1 мм. Планирование срезов осуществлялось в 3 ортогональных плоскостях относительно плода: аксиальной, сагиттальной и корональной.

Трёхмерные реконструкции формировались с использованием программного обеспечения Radiant, Horos, OsiriX и 3D Slicer. Физические модели изготавливались на 3D-принтере Anet A8 (Shenzhen Anet Technology Co., Ltd.). Трёхмерные модели желудочковой системы, созданные на основе полученных данных, обеспечили визуализацию ключевых анатомических структур. Данные модели позволили оценить объём рабочего пространства при эндоскопических вмешательствах и использовались для предоперационного планирования (Рисунок 137). Анализ серии МРТ-исследований выявил спектр пороков развития головного мозга. Голопрозэнцефалия диагностирована в 2 наблюдениях, внутрижелудочковое кровоизлияние – в 2 случаях. Агенезия прозрачной перегородки (septum pellucidum) отмечена у 6 плодов, агенезия мозолистого тела (corpus callosum) – у 3. Признаки наружной и внутренней заместительной гидроцефалии выявлены в 5 случаях.

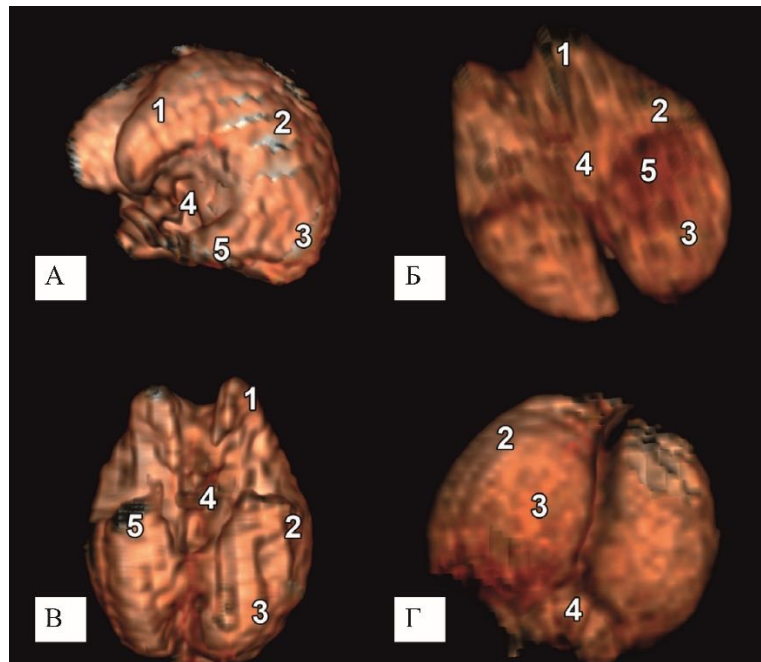


Рисунок 137 – Желудочковая система плода при окклюзионной гидроцефалии (26 нед. гестации), объёмное моделирование: А – вид сбоку; Б, В – вид снизу; Г – вид сзади. 1 – передний рог бокового желудочка (*cornu frontale ventriculi lateralis*); 2 – тело бокового желудочка (*pars centralis ventriculi lateralis*); 3 – задний рог бокового желудочка (*cornu occipitale ventriculi lateralis*); 4 – III желудочек (*ventriculus tertius*); 5 – височный рог бокового желудочка (*cornu temporale ventriculi lateralis*)

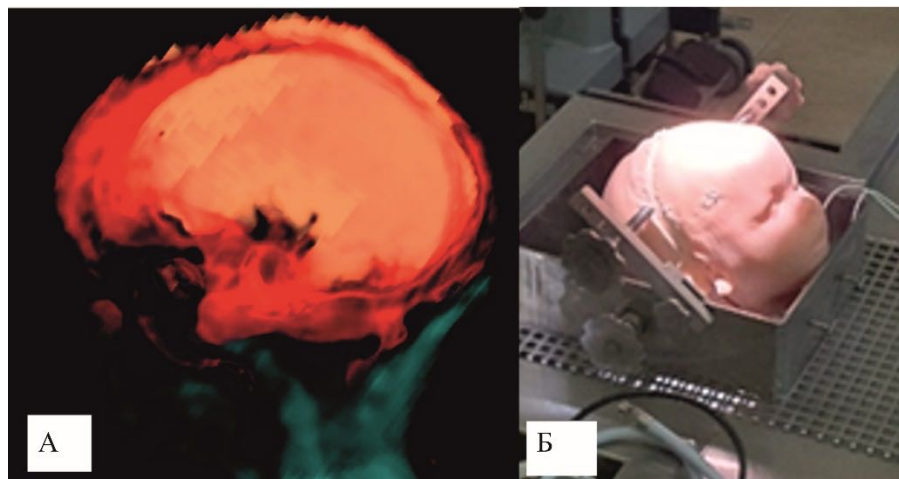


Рисунок 138 – Гидроцефалия плода на 25 нед. гестации – объёмное моделирование соотношения структур головного мозга, мозгового и лицевого черепа, желудочковой системы: А – цифровая модель; Б – модель после 3D-печати

Физические модели головы плода, изготовленные методом 3D-печати, дают возможность изучить пространственные взаимоотношения желудочковой системы с полостью черепа и оценить положение структур относительно матки (Рисунок 138).

6.3. Клиническая часть

На основании комплексного анализа анатомо-топографических особенностей структур желудочковой системы мозга в пренатальном периоде и результатов экспериментальной отработки эндоскопических доступов были разработаны и внедрены в клиническую практику 2 дифференцированные технологии фетальных вмешательств.

Технология 1: фетальная эндоскопическая вентрикулоцистерностомия дна III желудочка.

Показанием к применению данной технологии служит тривентрикулярная окклюзионная гидроцефалия, обусловленная врожденным стенозом водопровода мозга. Суть методики заключается в создании искусственного соустья между полостью III желудочка и межножковой цистерной посредством перфорации его дна. Это позволяет восстановить ликвородинамику в обход окклюзированного силвиева водопровода. Выбор данной мишени обусловлен установленными в анатомической части исследования особенностями: достаточной площадью дна III желудочка, отсутствием в данной области крупных сосудов и критических нервных структур на этапах пренатального развития, что минимизирует риски интраоперационных осложнений.

Техника проведения операции

Предоперационное планирование траектории доступа осуществлялось на основании данных МРТ и УЗ-сканирования. При головном предлежании плода оптимальная точка введения инструмента определена в левой гипогастральной области (Рисунок 139) [52].

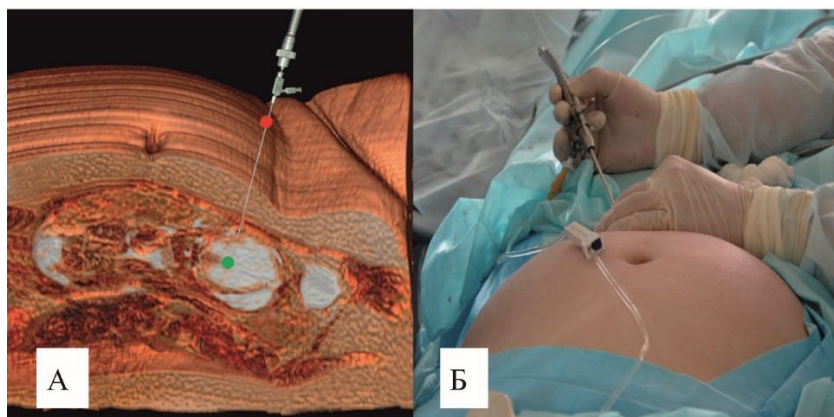


Рисунок 139 – Планирование хирургического доступа при гидроцефалии плода – объёмное моделирование по данным МРТ: А – МРТ беременной в режиме Sag SSFSE, красной точкой обозначена проекция кожного доступа на передней брюшной стенке; Б – положение эндоскопа в процессе вентрикулоскопии

Интраоперационную навигацию эндоскопа проводили под непрерывным УЗ-контролем с одновременной эндоскопической визуализацией. Применяли технику *free hand*, описанную для работы с тонкими эндоскопами [22, 135], что исключало необходимость специальной фиксации головы плода.

Вмешательство выполняли в асептических условиях под общей анестезией беременной. После разреза кожи передней брюшной стенки длиной 3 мм под контролем ультразвука и фетоскопии в амниотическую полость вводили операционный фетоскоп 9 Fg с пирамидальным obturatorом (Рисунок 140).

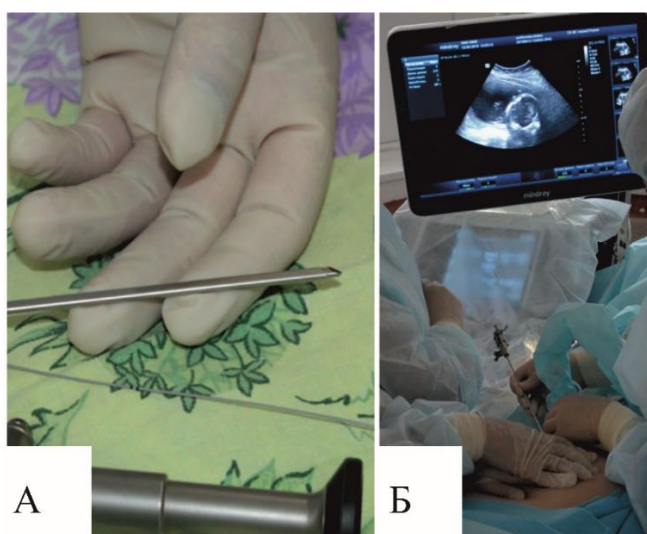


Рисунок 140 – Инструментальное обеспечение и интраоперационная навигация: А – операционный фетоскоп Karl Storz с оболочкой и obturatorом; Б – УЗ-навигация и коррекция положения плода для оптимизации траектории эндоскопической вентрикулоцистерностомии

Газовую инсуффляцию не применяли. Далее инструмент проводили через большой родничок в полость бокового желудочка. Получали бесцветный прозрачный ликвор под давлением 200 мм вод. ст., выполняли забор материала для анализа. После извлечения обтуратора из оболочки устанавливали эндоскоп и визуализировали желудочковую систему. Ориентация в желудочках представляла значительные трудности. Причинами явились нетипичное для нейрохирургической практики положение эндоскопа и головы плода, а также комплекс аномалий развития головного мозга: агенезия крыши III желудочка и прозрачной перегородки, отсутствие межжелудочковых отверстий, изменённый ход вен и атипичное расположение сосудистых сплетений боковых желудочков (Рисунок 141).

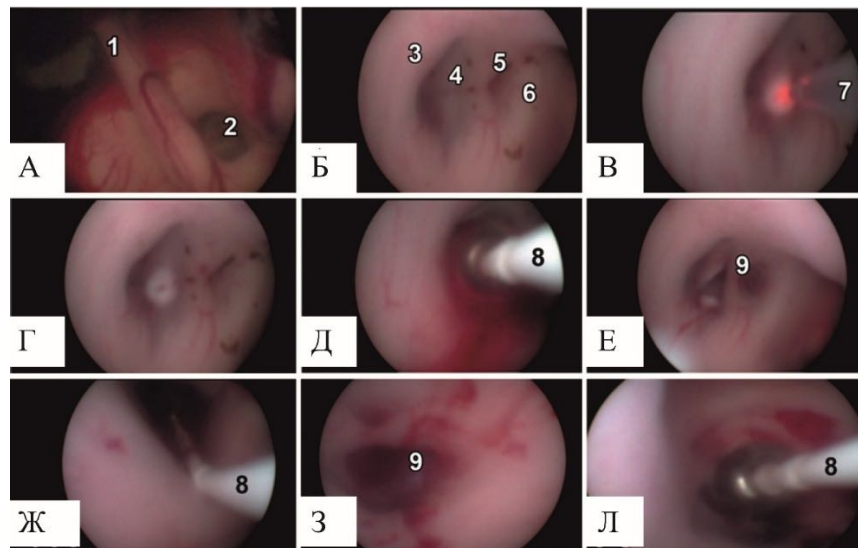


Рисунок 141 – Вентрикулоскопия и вентрикулоцистерностомия дна III желудочка у плода с гидроцефалией – эндоскопическая картина: А – определение анатомических ориентиров (1 – агенезия прозрачной перегородки и свода мозга, визуализируется сосудистое сплетение боковых желудочков; 2 – агенезия крыши III желудочка с визуализацией его дна); Б – дно III желудочка при приближении, основные ориентиры для вентрикулоцистерностомии (3 – сосцевидные тела, *cornua mamillaria*; 4 – премамиллярная мембрана, *membrana premamillaris*; 5 – воронка гипофиза, *infundibulum hypophysis*; 6 – зрительный перекрёст, *chiasma opticum*); В – коагуляция дна III желудочка лазерным зондом (7); Г – зона перфорации после коагуляции; Д – дилатация отверстия баллонным катетером Фогарти 0,7 мм (8); Е – вентрикулостома после первичной дилатации (9); Ж – проведение катетера Фогарти (8) в межножковую цистерну, повторная дилатация; З – вентрикулостома после повторной дилатации (9); И – окончательный гемостаз катетером Фогарти (8)

Идентифицировали основные ориентиры для выполнения эндоскопической вентрикулоцистерностомии дна III желудочка: сосцевидные тела (*cornua mamillaria*), воронка гипофиза (*infundibulum hypophysis*), зрительный перекрёст (*chiasma opticum*), премамиллярная мембрана (*membrana premamillaris*). Лазерным зондом выполняли коагуляцию дна III желудочка в премамиллярной области. Формировали отверстие с первичной дилатацией баллонным катетером Фогарти (диаметр 0,7 мм, длина 40 см). Для обеспечения сообщения с межножковой цистерной катетер проводили через стому, осуществляли повторную дилатацию. После формирования пути оттока ликвора из III желудочка фетоскоп извлекали вместе с баллоном.

УЗ-контроль подтвердил удовлетворительное состояние плода. Все этапы эндоскопической вентрикулоцистерностомии были выполнены в полном объёме с созданием сообщения желудочковой системы с базальными цистернами. На кожу передней брюшной стенки накладывали один шов. Точечная рана на голове плода специального закрытия не требовала ввиду минимальной травматичности доступа тонким эндоскопом, сопоставимой с пункцией боковых желудочков.

Послеоперационный период протекал без осложнений. На протяжении всей беременности проводилось еженедельное наблюдение за пациенткой и плодом. Прогрессирования гидроцефалии не отмечалось.

Клинический пример

Пациентка И. 35 лет. Повторнобеременная, повторнородящая. Срок гестации 25–26 нед. При проведении II скринингового УЗИ выявлен порок развития ЦНС плода: внутриутробная тетраветрикулярная гидроцефалия. МРТ головного мозга плода была выполнена на сроке гестации 23–24 нед. Исследование выявило вентрикуломегалию тяжёлой степени и блок ликвороциркуляции на уровне *aqueductus mesencephali* (Рисунок 142).

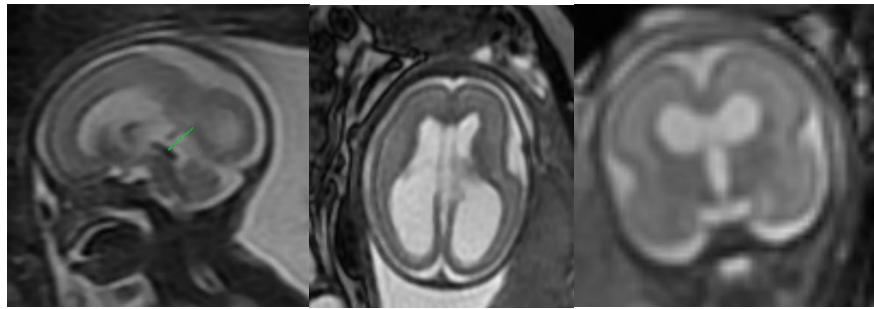


Рисунок 142 – Гидроцефалия плода на 24 нед. гестации, данные МРТ; визуализируется выраженная гидроцефалия тяжёлой степени; блок ликвороциркуляции локализуется на уровне водопровода мозга (aqueductus cerebri) – указан зелёной стрелкой

Учитывая нарастание окклюзионной гидроцефалии на уровне водопровода, выраженной дислокации срединных структур головного мозга и возможных витальных нарушений, консилиум рекомендовал проведение фетоскопической вентрикулоцистернотомии дна III желудочка. В сроке беременности 26 нед. 5 дн. провели фетоскопическую вентрикулоцистернотомию дна III желудочка при тривентрикулярной окклюзионной гидроцефалии у плода, без осложнений.

Далее представлено описание техники операции (Рисунок 143).

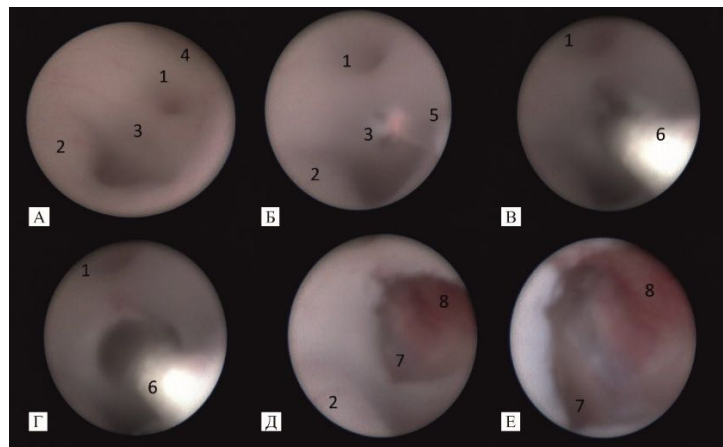


Рисунок 143 – Внутриутробная эндоскопическая вентрикулоцистернотомия дна III желудочка, этапы операции: А – общий вид дна III желудочка; Б – эндоскопическая лазерная фенестрация; В – введение баллон-катетера Фогарти 2F в зону фенестрации; Г – дилатация стомы; Д – эндоскопический вид сформированной стомы; Е – визуализация межножковой цистерны и её содержимого; 1 – воронкообразный карман (recessus infundibuli); 2 – сосцевидные тела (corpore mamillaria); 3 – премамиллярная мембрана (membrana premamillaris); 4 – зрительный перекрест (chiasma opticum); 5 – лазерный зонд; 6 – баллон-катетер Фогарти; 7 – спинка турецкого седла (dorsum sellae); 8 – воронка гипофиза (infundibulum hypophysis)

В послеоперационном периоде проводился ежедневный контроль доплерометрии плода, нейросонография для динамической оценки структур головного мозга, сохраняющая терапия (Рисунок 144).

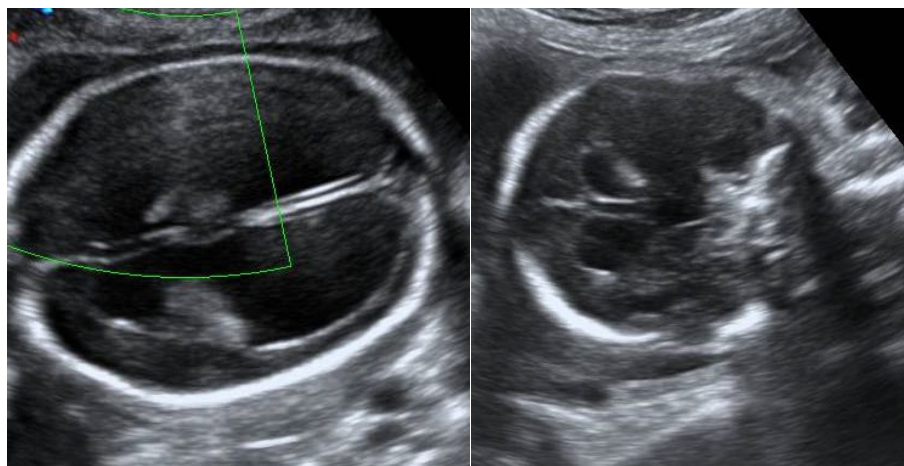


Рисунок 144 – УЗИ плода после операции на сроке 28–29 нед.; отмечается уменьшение желудочковой системы

Учитывая удовлетворительное состояние женщины и плода, мы выписали пациентку под наблюдение амбулаторного звена с рекомендациями о проведении контрольного УЗ-исследования по месту жительства.

В сроке 36–37 нед. пациентка родоразрешилась в плановом порядке способом операции кесарево сечение по материнским показаниям. Родилась доношенная девочка весом 2850 г ростом 47 см, окружность головы 37 см, окружность груди 32 см, 7/8 баллов по шкале Апгар. Переведена в палату адаптации мать и дитя. Ребенок на 11 сут. в удовлетворительном состоянии выписан домой с рекомендациями под наблюдение невролога по месту жительства.

В периоде наблюдения на 3 мес. состояние ребенка было удовлетворительным, с легким гемипарезом слева (4 балла), развитие по возрасту. Проведена контрольная МРТ головного мозга и контрольный осмотр (Рисунок 145).

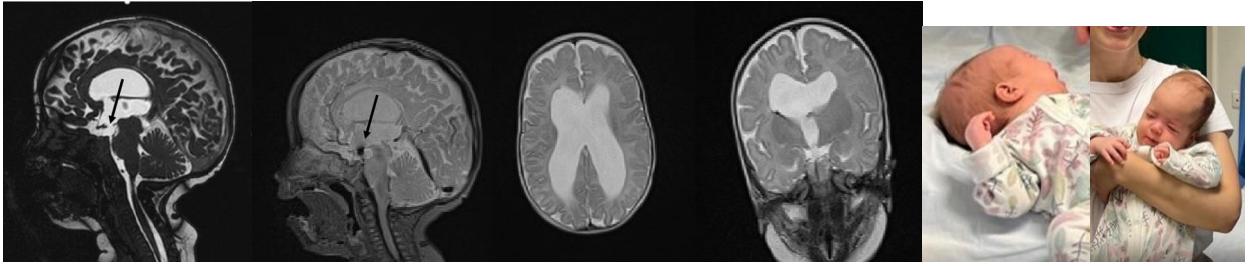


Рисунок 145 – МРТ головного мозга после рождения ребенка в динамике через 3 месяца и контрольный осмотр. По данным МРТ, в режиме TRUF1 визуализируется стома в области дна III желудочка, в ликвородинамическом режиме отмечается выраженный артефакт движения тока спинномозговой жидкости – черные стрелки. На контрольном осмотре отмечается легкий гемипарез слева по центральному типу (4 балла), психомоторное развитие соответствует возрасту

В возрасте 10 мес. на контрольном осмотре ребенок без признаков прогрессирования гидроцефалии. На контрольных МРТ головного мозга стабильное состояние желудочковой системы, развития ребенка по возрасту (Рисунок 146).

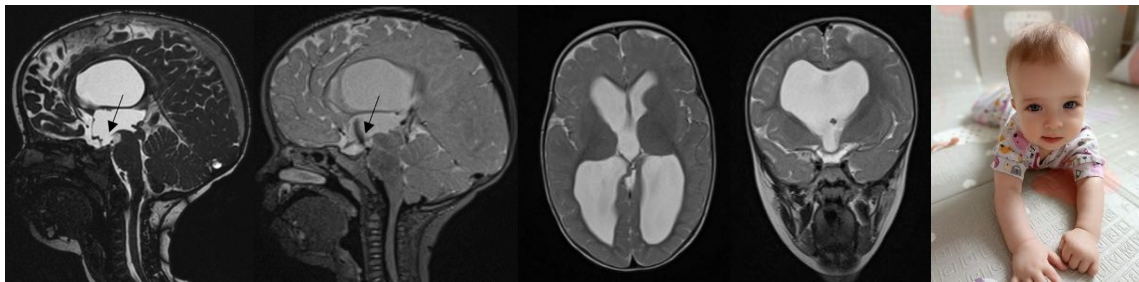


Рисунок 146 – МРТ головного мозга в динамике в возрасте 10 месяцев. По данным МРТ, в режиме TRUF1 визуализируется стома в области дна III желудочка, в ликвородинамическом режиме отмечается выраженный артефакт движения тока спинномозговой жидкости – черные стрелки. На контрольном осмотре отмечается легкий гемипарез слева по центральному типу (4 балла), психомоторное развитие соответствует возрасту

В возрасте 1 г. 10 мес. на контрольном осмотре ребенок без признаков прогрессирования гидроцефалии. На контрольных МРТ головного мозга стабильное состояние желудочковой системы, развитие ребенка по возрасту (Рисунок 147).

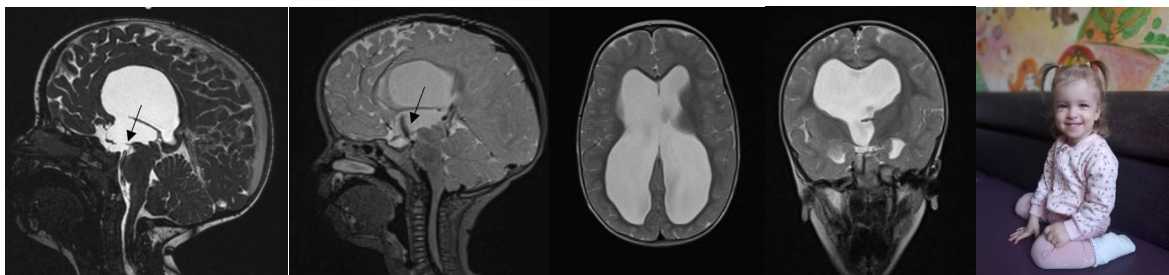


Рисунок 147 – МРТ головного мозга в динамике в возрасте 1 года 10 месяцев. По данным МРТ, в режиме TRUFI сохраняется стома в области дна III желудочка, в ликвородинамическом режиме отмечается выраженный артефакт движения тока спинномозговой жидкости – черные стрелки. На контрольном осмотре отмечается легкий гемипарез слева по центральному типу (4 балла), психомоторное развитие соответствует возрасту

Технология 2: фетальная эндоскопическая септостомия.

Данная технология разработана для коррекции моноventрикулярной окклюзионной гидроцефалии, вызванной врожденным стенозом межжелудочкового отверстия (Монро). Методика заключается в эндоскопическом создании отверстия в прозрачной перегородке, что обеспечивает коммуникацию между боковыми желудочками и выравнивание в них давления. Применение этой техники обосновано данными о том, что прозрачная перегородка в пренатальном периоде представляет собой мембранозную структуру, безопасную для фенестрации, а ее перфорация является патогенетически оправданной для восстановления оттока ликвора из изолированного бокового желудочка.

Описание техники операции

Устанавливают внутривенный катетер для проведения непрерывного токолиза во время операции – инфузия раствора гинипрала 20 мкг + 500 мл физиологического раствора, определяют расположение плода и траекторию введения эндоскопа в желудочковую систему под УЗИ-навигацией так, чтобы точка входа в головку плода располагалась на уровне ипсилатерального коронарного шва, а точка цели – в переднем роге узкого бокового желудочка напротив передней трети прозрачной перегородки. Далее проводят общую анестезию плода: в вену пуповины вводили 0,1 мг ардуана и фентанила из расчёта

20 мкг/кг веса плода. Операцию проводят под УЗ- и фетоскопической навигацией, под эндотрахеальным наркозом в асептических условиях. Под контролем УЗИ по заранее намеченной траектории через переднюю брюшную стенку, стенку матки, амниотическую полость и ипсилатеральный коронарный шов эмбриоскоп 1,2 мм пункционно вводят до переднего рога суженного левого бокового желудочка головного мозга плода (Рисунок 148).



Рисунок 148 – Этап введения эндоскопического порта, общий вид операционной; инструмент проводят по прямой траектории под УЗ-навигацией; направление эндоскопической оболочки: через коронарный шов (*sutura coronalis*) и суженный передний рог бокового желудочка (*cornu frontale ventriculi lateralis*) в проекцию прозрачной перегородки (*septum pellucidum*)

Визуализируют стенки желудочковой системы, сосудистое сплетение, левое межжелудочковое отверстие, переднюю септальную вену, передние отделы прозрачной перегородки (Рисунок 149). Двигаясь кзади эндоскопом по прозрачной перегородке, можно визуализировать задние отделы прозрачной перегородки. После предварительной коагуляции проводят фенестрацию прозрачной перегородки лазером с диаметром 6 мм (диаметр оптического зонда, мощность излучения 20 Вт). Осуществляют эндоскопический и УЗ-контроль сообщения с расширенным правым боковым желудочком и контроль гемостаза в динамике УЗ-контроль через 20 мин. Эмбриоскоп выводится из раны в той же траектории. Проводят динамический контроль ЧСС плода.

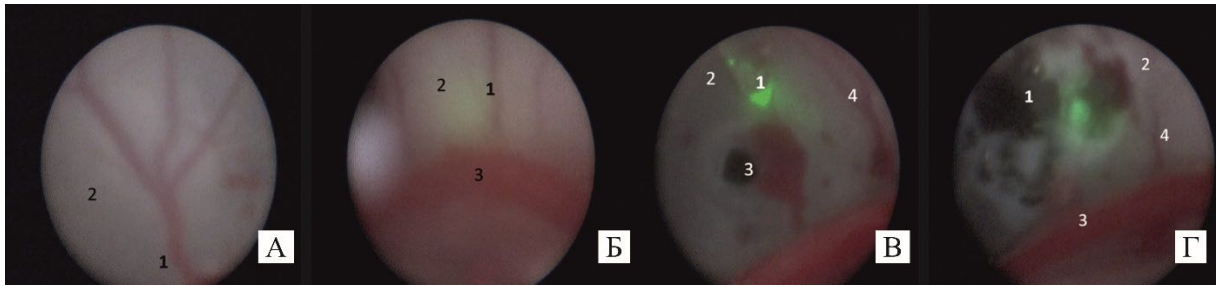


Рисунок 149 – Прозрачная перегородка: эндоскопическая анатомия передних отделов с визуализацией передней септальной вены. Прозрачная перегородка служит основным анатомическим ориентиром при хирургическом лечении гидроцефалии. Вены перегородки, направляющиеся сверху вниз к внутренней вене мозга и венозному углу межжелудочкового отверстия, обеспечивают ориентацию в горизонтальной плоскости. Обозначения: А1 – передняя септальная вена (*v. septi pellucidī anterior*); А2 – прозрачная перегородка (*septum pellucidum*); Б1 – задние септальные вены (*vv. septi pellucidī posteriores*); Б2 – прозрачная перегородка (*septum pellucidum*); В1 – лазерный зонд; В2 – прозрачная перегородка (*septum pellucidum*); В3 – сосудистое сплетение бокового желудочка (*plexus choroideus ventriculi lateralis*); В4 – задние септальные вены (*vv. septi pellucidī posteriores*); Г1 – зона фенестрации прозрачной перегородки (диаметр около 6 мм); Г2 – прозрачная перегородка (*septum pellucidum*); Г3 – сосудистое сплетение бокового желудочка (*plexus choroideus ventriculi lateralis*); Г4 – задние септальные вены (*vv. septi pellucidī posteriores*)

Общие результаты фетальной хирургии в клинической группе исследования

В период с 2018 по 2025 гг. в условиях специализированного перинатального центра III уровня мы провели 4 успешных фетальных нейрохирургических вмешательства по поводу прогрессирующей окклюзионной гидроцефалии. Группа пациентов состояла из 2 плодов мужского пола и 2 – женского пола. Гестационный возраст на момент вмешательства составил 24, 26, 26 и 28 нед. Во всех случаях диагностирована прогрессирующая вентрикуломегалия с признаками внутричерепной гипертензии, по данным фетальной МРТ. У 3 плодов выполняли фетальную эндоскопическую вентрикулоцистерностомию дна III желудочка, в 1 случае была проведена фетальная эндоскопическая септостомия. Выбор методики определялся характером окклюзии и анатомическими особенностями [4, 6, 19, 22].

В 1-м клиническом наблюдении (мужской пол, 28 нед.) с диагнозом тривентрикулярной гидроцефалии вследствие стеноза водопровода мозга выполняли фетальную эндоскопическую вентрикулоцистерностомию. Родоразрешение произошло в сроке 38 нед. Несмотря на технически успешное фетальное вмешательство, в неонатальном периоде потребовалось проведение вентрикулоперитонеального шунтирования с программируемым клапаном. На текущий момент катамнез составляет 6 лет, отмечена стабильная динамика по гидроцефалии, ребенок развивается по возрасту.

Во 2-м случае (женский пол, 26 нед.) с тривентрикулярной гидроцефалией потребовалось выполнение фетальной эндоскопической вентрикулоцистерностомии. Родоразрешение произошло преждевременно в сроке 32 нед. Катамнез составляет 3 г., отмечается стабильная динамика по гидроцефалии, развитие соответствует скорректированному возрасту, необходимость в дополнительных вмешательствах отсутствует.

Третий клинический случай (мужской пол, 24 нед.) с моноventрикулярной гидроцефалией при стенозе межжелудочкового отверстия потребовал проведения фетальной эндоскопической септостомии. Родоразрешение произошло в сроке 38 нед. Катамнез составляет 10 мес. после рождения, наблюдается стабильная динамика, развитие соответствует возрастным нормативам, дополнительные хирургические вмешательства не требовались.

Четвертое наблюдение (мужской пол, 26 нед.) с тривентрикулярной гидроцефалией, при котором была выполнена фетальная эндоскопическая вентрикулоцистерностомия, характеризуется течением нормальной беременности в настоящее время. Пациент находится под динамическим наблюдением, катамнез после операции составляет 1 мес., по данным контрольных УЗ-исследований, отмечается стабилизация состояния.

Анализ представленных клинических наблюдений демонстрирует общую эффективность фетальных вмешательств в 100% случаев, при этом частота последующего шунтирования составила 25%. Все дети, включая пациента с установленным вентрикулоперитонеальным шунтом, развиваются в соответствии

с возрастными нормами. Полученные результаты подтверждают перспективность развития фетальной нейрохирургии и обосновывают необходимость дальнейшего накопления клинического опыта с оптимизацией критериев отбора пациентов для различных видов внутриутробных вмешательств.

6.4. Заключение

Настоящее исследование было посвящено разработке и обоснованию методов фетальной нейрохирургии для лечения внутриутробной гидроцефалии. Актуальность данного направления определяется необходимостью предотвращения необратимых повреждений развивающегося мозга плода, возникающих при прогрессировании гидроцефалии в антенатальном периоде. Проведённая работа объединила детальное изучение анатомии желудочковой системы плода, разработку и апробацию экспериментальных моделей и хирургических методик, а также их первичное клиническое применение.

Анатомический раздел работы позволил установить ключевые топографические особенности структур желудочковой системы головного мозга в пренатальном периоде, имеющие фундаментальное значение для планирования фетальных нейрохирургических вмешательств. Нами были определены безопасные зоны для выполнения манипуляций в области дна III желудочка и прозрачной перегородки, что позволяет минимизировать риски ятрогенных повреждений критических структур.

Полученные анатомические данные легли в основу разработки искусственной модели головы плода, матки и передней брюшной стенки. После валидации данная модель продемонстрировала эффективность в качестве инструмента для отработки мануальных навыков и хирургических приёмов, оптимизируя тем самым этап освоения фетальной эндоскопической техники.

Переход от симуляционного обучения к экспериментальной работе подтвердил целесообразность и достаточную эффективность монопортального доступа с использованием полуригидного эндоскопа малого диаметра для

выполнения основных этапов внутрижелудочковых операций. Наряду с этим установлена необходимость применения гибкой управляемой эндоскопии в случаях, когда положение головы плода не соответствует прямой траектории доступа.

Совокупность результатов анатомического, экспериментального и симуляционного этапов позволила разработать и внедрить в клиническую практику алгоритм дифференцированного хирургического лечения окклюзионной гидроцефалии у плода. Согласно данному алгоритму, тривентрикулярная гидроцефалия, обусловленная стенозом водопровода мозга, является показанием к фетальной эндоскопической вентрикулоцистерностомии дна III желудочка, тогда как при моновентрикулярной гидроцефалии, вызванной стенозом межжелудочкового отверстия, методом выбора служит фетальная эндоскопическая септостомия.

Практическая реализация разработанных методик предполагает организацию лечения исключительно в условиях акушерских стационаров уровня ШБ. Обязательным условием успешного внедрения является формирование мультидисциплинарной команды специалистов, включающей акушеров-гинекологов, нейрохирургов, неонатологов, генетиков и специалистов смежных профилей.

Таким образом, проведённое исследование обосновывает возможность и безопасность применения фетальной эндоскопической хирургии для лечения окклюзионной гидроцефалии у плода. Разработанные анатомические ориентиры, симуляционные модели и хирургические алгоритмы формируют методологическую базу для дальнейшего развития данного направления перинатальной нейрохирургии.

С учетом полученных данных нами был разработан «Алгоритм дифференцированного хирургического лечения окклюзионной гидроцефалии у плода» (Рисунок 150).



Рисунок 150 - Алгоритм дифференцированного хирургического лечения окклюзионной гидроцефалии у плода

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленное исследование посвящено разработке комплексного анатомического обеспечения малоинвазивной нейрохирургии труднодоступных зон головного мозга на основе интеграции классических, цифровых и прижизненных методов визуализации.

Клиническая анатомия как прикладная научная дисциплина берёт начало со времён Н. И. Пирогова, однако интенсификация её развития пришлась на вторую половину XX столетия [23, 14, 13]. Данные процессы получили институциональное оформление через создание профессиональных объединений клинических анатомов (американской, британской, европейских и российской ассоциаций), а также через появление специализированных научных изданий: англо-американского журнала *Clinical Anatomy*, европейского *Surgical and Radiologic Anatomy*, китайского *Journal of Clinical Anatomy* и российского «Оперативная хирургия и клиническая анатомия» [14, 49]. В рамках развития этого направления И. И. Каган (2018) сформулировал дефиницию клинической анатомии следующим образом: «Клиническую анатомию мы понимаем как совокупность прикладных направлений и разделов современной системной и топографической анатомии, изучающих строение и топографию органов и областей тела человека в условиях нормы и при патологии в интересах различных дисциплин и разделов клинической медицины». Автором также была установлена терминологическая эквивалентность понятий «клиническая» и «прикладная» анатомия [14, 13].

Прогрессивное развитие клинической анатомии детерминируется двумя ключевыми процессами в клинической медицине: широкой имплементацией в клиническую практику методов прижизненной визуализации анатомических структур; разработкой и внедрением инновационных хирургических технологий (малоинвазивных, микрохирургических, эндоскопических, видеоассистированных) [14, 13]. В структуре клинической анатомии по специальностям дифференцируют хирургическую, микрохирургическую, нейрохирургическую, стоматологическую анатомию и иные направления.

Нейрохирургическая анатомия обоснованно признаётся наиболее сложным разделом данной дисциплины.

Хирургия глубинных отделов головного мозга представляет одну из наиболее сложных и динамично развивающихся областей современной нейрохирургии [171, 101, 218, 263]. Патологические очаги, локализованные в подкорковых структурах, желудочковой системе и глубоких отделах белого вещества, продолжают представлять существенную хирургическую проблему, поскольку доступ к ним традиционно требует прохождения через значительный объем функционально важной мозговой ткани. Технологический прогресс последних десятилетий обеспечил переход от концепции крайне труднодоступных локализаций к прецизионным малоинвазивным вмешательствам [66, 65, 72, 109, 262, 167, 108, 234, 165, 166, 214, 101, 218, 263], однако одновременно выявил фундаментальное несоответствие между возможностями современных технологий визуализации и доступностью адекватного анатомического обеспечения [7, 14, 101, 96].

Настоящее исследование направлено на решение критической проблемы современной нейрохирургии: создание специализированного анатомического обеспечения для малоинвазивных технологий нейрохирургии глубинных, труднодоступных образований. Существующая анатомическая база была создана для традиционной микроскопической хирургии на основе изучения фиксированного кадаверного материала, систематизирована в парадигме микрохирургической визуализации и принципиально не отражает специфики восприятия пространственных взаимоотношений при эндоскопии, экзоскопии и стереотаксических вмешательствах [208, 209, 207, 250, 206, 218, 171]. Каждая технология визуализации создаёт уникальные условия восприятия анатомии, требующие особого понимания топографических взаимоотношений структур в соответствующем операционном контексте. Эндоскопическая анатомия характеризуется принципиально иной перспективой восприятия «изнутри наружу», панорамным полем зрения и специфическим восприятием глубины [196, 218]. Систематизированные данные о прижизненной анатомии

внутрижелудочковых и глубинных структур в условиях эндоскопической, экзоскопической и стереотаксической визуализации остаются крайне фрагментарными [65, 73, 109, 98, 171, 218, 219]. Традиционные анатомические описания не учитывают динамические изменения конфигурации желудочков при гидроцефалии, васкулярную пульсацию сосудистого сплетения, циркуляцию ликвора и другие прижизненные феномены, существенно влияющие на интраоперационную картину [154, 155, 208, 209, 207].

Методологически исследование построено на последовательном изучении анатомии труднодоступных зон на 3 уровнях. Первый уровень представлен классической анатомией (диссекцией кадаверного материала с фотофиксацией). Второй уровень включает использование цифровой анатомии, прежде всего КТ и МРТ-диагностики, позволяющей получать прижизненные срезы и проводить объёмную сегментацию структур. Третий уровень составляет прижизненная эндоскопическая визуализация нормы и патологии с фото- и видеодокументированием в реальном времени во время хирургических вмешательств.

Совершенствование классического этапа было достигнуто несколькими методическими решениями. Использование максимально свежего кадаверного материала в необходимом количестве потребовало сложных организационных решений. Технология заливки макропрепарата была доведена до требуемого уровня: систематизированы практические технические решения из ведущих анатомо-нейрохирургических школ разных стран, отработана рецептура силиконовой массы, красителей, средств нагнетания. Качество фотоснимков было обеспечено профессиональной фотоаппаратурой, специальной фотоустановкой и программным обеспечением, позволявшим делать серию снимков с минимальными сдвигами фокуса с последующим созданием синтетического изображения, в котором все точки находились в зоне максимального фокуса и резкости. Представленный в работе фотоматериал демонстрирует информативность полученных нейроанатомических изображений.

Реализация второго этапа была обеспечена использованием современной диагностической аппаратуры. Компьютерный томограф с разрешением 640 срезов, МР-томограф мощностью 3 Тл с полным пакетом анализа и навигационные системы последнего поколения позволили получить качественные данные для цифровой реконструкции.

Особое значение имеет применение принципа тонкой сегментации изображения в нейроанатомии и нейрохирургии. FreeSurfer (программное обеспечение для визуализации мозга, первоначально разработанное Anders Dale (Калифорнийский университет) и соавт.) содержит набор программ для анализа МРТ ткани мозга и является важным инструментом в функциональном картировании мозга. Программа развивалась в области фундаментальной неврологии в рамках международного проекта Human Connectome (HCP) в направлении структуры и функции мозговой деятельности. Интерес нейрохирургов к программе возник в связи с появлением стереотаксиса, что представляет собой прикладной клинический аспект. Технологической основой этого подхода являются методы автоматизированной сегментации томографических изображений, позволяющие выделять интересующие анатомические структуры и создавать их трехмерные реконструкции [181, 210, 236]. Применение FreeSurfer для сегментации передних ядер таламуса и амигдалогиппокампаляльного комплекса позволило количественно определить объемы целевых структур и оптимизировать предоперационное планирование с учетом индивидуальных анатомических особенностей.

Третий этап был представлен прижизненной визуализацией. Классические микроскопы в глубинных структурах имеют ограниченную применимость. Использовались сверхтонкие эндоскопы, экзоскопы либо их сочетание с разрешением 4К и обязательным стереоскопическим зрением (3D). Федеральный центр нейрохирургии (г. Тюмень) располагал полным арсеналом этих технологий, включая 3D-эндоскопию (моно-, бипортальную, сверхтонким игольчатым эндоскопом) и экзоскопию.

Анализ внутрижелудочковых образований выявил принципиальные различия между технологиями визуализации. Макроскопические исследования позволили детализировать С-образную архитектуру бокового желудочка [6, 99, 140, 209]. Стенки желудочков образованы преимущественно таламусом (thalamus), прозрачной перегородкой (septum pellucidum), мозолистым телом (corpus callosum), хвостатым ядром (nucleus caudatus) и сводом (fornix) [99, 209]. Таламус занимает центральное положение в желудочковой системе; тело желудочка (pars centralis), предсердие (atrium) и височный рог (cornu inferius) располагаются по его периферии. Существенное практическое значение имеет тот факт, что интраоперационная нейроэндоскопическая анатомия при объёмных образованиях принципиально отличается от таковой при иных патологических состояниях [65, 109, 98, 218, 219]. Данные различия обусловлены окклюзией интравентрикулярных сообщений и развитием гидроцефалии. Каждая технология визуализации формирует специфические условия восприятия анатомических структур [218, 101, 227, 253, 143]. Эндоскопическая визуализация обеспечивает панорамное поле зрения с перспективой «изнутри наружу» [196, 218]. Работа через ТР, напротив, ограничивает обзор цилиндрическим операционным коридором.

На основании понимания этих принципиальных различий была разработана классификация эндоскопических технологий в хирургии внутрижелудочковых опухолей: чистая эндоскопия при локализации в III желудочке, комбинированная экзоэндоскопия с применением ТР при латеральной локализации, микрохирургическая техника при необходимости широкого доступа [65, 73, 218, 219]. Клинический анализ 49 пациентов выявил закономерности применения различных подходов: эндоскопические операции чаще выполнялись при опухолях III желудочка (44,4%), тогда как микрохирургические и с применением ТР выполнялись при латеральной локализации (81,0 и 73,7% соответственно). Принципиально важным оказался анализ соотношения радикальности удаления и травматичности доступа. Радикальное удаление достигалось у 100% пациентов в эндоскопической группе и у 95,2% при микрохирургии, при использовании ТР доля GTR составила 68,4%, однако у пациентов с диаметром образования менее 30 мм

этот показатель достигал 88,9%. При этом эндоскопические вмешательства характеризовались самой низкой травматичностью: средняя величина доступа до 4 см, средняя кровопотеря 35 мл, пребывание в реанимации 1 сут., послеоперационный койко-день 7 сут. Микрохирургические вмешательства демонстрировали наибольшую травматичность: длина доступа 10 см, средняя кровопотеря 250 мл, пребывание в реанимации 4 сут., послеоперационный койко-день 15 сут., при этом существенная часть больных предъявляла жалобы на послеоперационную краниалгию [272]. Тубулярный ретрактор обеспечивал компромиссные показатели: длина доступа 8 см, средняя кровопотеря 80 мл, пребывание в реанимации 2 сут., послеоперационный койко-день 8 сут. [267, 167, 166, 261, 214, 263]. Эти результаты согласуются с данными систематических обзоров о клинической эффективности малоинвазивных подходов [66, 65, 73, 109, 167, 227, 171, 101, 218] и подтверждают целесообразность их применения при соответствующих локализациях опухолей.

Хирургическое лечение ФРЭ потребовало решения проблемы навигации в области глубинных структур с учетом индивидуальной вариабельности венозной системы и точной локализации целевых мишеней [242, 243, 94, 155, 211, 260, 57, 200]. Деструкция передних ядер таламуса рассматривается как перспективная альтернатива глубинной мозговой стимуляции, теоретически позволяющая избежать необходимости имплантации устройства [231, 192, 82, 144]. Однако одним из факторов, ограничивающих распространение этих методов, являются анатомические особенности области и необходимость работы в непосредственной близости с венозными структурами [40, 231, 253, 155, 236, 200].

Для понимания значимости венозной анатомии в этой области необходимо обратиться к историческому контексту. Концепция венозного угла как важного анатомического ориентира была впервые сформулирована Krausenbühl и Richter в середине XX века при разработке методов церебральной ангиографии [242, 155, 260, 200]. Последующие фундаментальные микроанатомические исследования глубокой венозной системы мозга, выполненные Оно и Rhoton, детально описали вариабельность внутренней вены мозга и её притоков [155]. Разработанная

классификация Türe и соавт., основанная на микрохирургической диссекции кадаверных препаратов, выделяла 4 типа венозного угла в зависимости от расположения соединения передней перегородочной вены и внутренней вены мозга относительно отверстия Монро [260]. Авторы выявили, что в 47,5% случаев это соединение располагается за задним краем отверстия Монро на расстоянии от 3 до 13 мм [242, 260, 200]. Исследования Brzegowy и соавт. с применением МСКТ-ангиографии подтвердили высокую вариабельность венозной анатомии в области III желудочка [242]. Недавно опубликованная классификация Zaczkowski и соавт., основанная на сопоставлении данных взвешенных по магнитной восприимчивости изображений с морфологическими находками, выделяет 5 основных типов внутренней венозной системы с учетом симметричности и расстояния от отверстия Монро [200].

В настоящем исследовании было проведено комплексное изучение анатомии области передних ядер таламуса на основе интеграции кадаверных препаратов, интраоперационной визуализации *in vivo* и данных взвешенных по магнитной восприимчивости МРТ-изображений. Исследование венозного угла на 64 полушариях выявило 3 типа строения по характеру притоков: магистральный билатеральный (43,8%) и унилатеральный (20,3%), смешанный билатеральный (12,5%) и унилатеральный (14,1%), рассыпной билатеральный (3,2%) и унилатеральный (6,1%). Использование взвешенных по магнитной восприимчивости изображений в сочетании с морфологическими исследованиями позволило детально охарактеризовать эти типы по количеству и калибру формирующих притоков. Магистральный тип, выявленный в 64,1% случаев, характеризуется наиболее предсказуемой анатомией с четко идентифицируемыми магистральными венами диаметром 1–2 мм. Смешанный тип с участием дополнительных притоков диаметром менее 0,6–0,8 мм был обнаружен в 26,6% случаев и требует более тщательной оценки венозной архитектоники. Рассыпной тип (9,3% случаев) представляет наиболее сложный вариант анатомии с множественными мелкими притоками.

По вариантам расположения венозного угла относительно передних ядер таламуса были выделены передний (59%), промежуточный (14%) и задний (27%) типы. Критически важным оказалось то, что промежуточный вариант представляет наибольший риск интраоперационного венозного повреждения при стереотаксических доступах, поскольку венозный угол располагается в непосредственной близости от траектории введения электрода к передним ядрам таламуса.

Принципиальным наблюдением, расширяющим существующие классификации, стало установление того, что анатомия венозного угла на кадаверном материале и интраоперационная картина *in vivo* могут кардинально отличаться, что свидетельствует о необходимости обязательного использования прижизненной анатомии в этой зоне [242, 253, 143, 155, 236, 260, 200]. Предложенная классификация, в отличие от работ Türe и соавт., учитывает не только расположение венозного угла относительно отверстия Монро, но и характер формирующих его притоков, а также пространственное соотношение с передними ядрами таламуса как целевой мишенью стереотаксических вмешательств [260, 200]. Это соответствует концептуальному подходу недавней классификации Zaczkowski и соавт., но адаптировано специфически для задач стереотаксической хирургии эпилепсии [200]. Клиническая значимость выделенных типов и вариантов венозного угла определяется необходимостью минимизации риска венозного повреждения, которое может приводить к развитию венозных инфарктов базальных ганглиев с тяжелыми неврологическими последствиями, включая гемиплегию, мутизм и когнитивные нарушения [155, 190, 251]. Идентификация промежуточного варианта расположения венозного угла на этапе предоперационного планирования служит основанием для коррекции траектории введения электрода с выбором более медиальной или краниальной точки входа. При рассыпном типе венозного угла требуется особая осторожность на всех этапах введения электрода в связи с непредсказуемостью расположения мелких венозных притоков [242, 155, 200].

Параллельно с изучением венозной анатомии была проведена количественная характеристика целевых структур с применением технологии персонифицированной цифровой анатомии. Цифровое анатомическое исследование с использованием FreeSurfer у 35 пациентов определило средний объем таламуса 5977 ± 1161 мм³, переднего вентрального ядра 106 ± 25 мм³ (1,7% от объема таламуса). Средний объем амигдалогиппокампаляльного комплекса составил 5149 ± 986 мм³, гиппокампа 3435 ± 765 мм³, миндалевидного тела 1713 ± 369 мм³. Это согласуется с современной концепцией персонализированной цифровой анатомии, предполагающей создание индивидуальных трехмерных моделей анатомических структур (цифровых двойников пациента) [240, 96, 122, 181, 248, 210, 247, 236, 184]. Персонифицированная сегментация обеспечила возможность точной локализации целевых мишеней с учетом индивидуальной вариабельности анатомии, что является критически важным для планирования деструктивных вмешательств.

Для обоснования безопасности деструктивных вмешательств было проведено экспериментальное изучение воздействия 2010 нм тулиевого волоконного лазера на подкорковые ткани. Динамическое нейровизуализационное и гистологическое исследование у крыс продемонстрировало закономерные изменения зоны воздействия. Сразу после абляции преобладали признаки механического повреждения ткани головного мозга, а также умеренные ишемические изменения с явлениями отека и формирующимися некрозами. На 3 сут. доминировал резко выраженный отек с крупными очагами некроза, отмечались ишемические повреждения нейронов и периваскулярные криблоры. На 7 сут. в центре постлучевой зоны появлялась формирующаяся кистозная полость с умеренной макрофагальной инфильтрацией и гемосидерофагами, отек и некрозы сохранялись. На 30 сут. формировалась неистинная киста, отмечались ишемические изменения нейронов по светлому и темному типу, выраженная макрофагальная инфильтрация с гемосидерофагами, признаки неоангиогенеза и незначительно выраженная грануляционная ткань, реактивный глиоз, что свидетельствовало о начале репаративных процессов ткани головного мозга. МРТ-

мониторинг в течение 30 сут. выявил стабилизацию размеров очага абляции с формированием глиального рубца, что подтверждает безопасность и предсказуемость термического воздействия. Эти данные обосновали возможность клинического применения высокоэнергетического лазера для деструкции глубоких структур головного мозга.

На основании проведенных анатомических исследований и экспериментального обоснования были разработаны и внедрены в клиническую практику малоинвазивные методики лечения ФРЭ. Клиническое применение продемонстрировало принципиальное значение объема деструкции и применения высокоэнергетического лазера с видеоэндоскопическим контролем. Стереозендоскопическая лазерная деструкция передних ядер таламуса у 15 пациентов обеспечила средний объем деструкции $1156,1 \pm 236$ мм³ и долю положительных исходов 74% (Engel I 52%, Engel II 22%). Стереотаксическая радиочастотная деструкция передних ядер таламуса у 29 пациентов с меньшим объемом деструкции $312,8 \pm 82,2$ мм³ обеспечила долю положительных исходов 62% (Engel I 42%, Engel II 20%). Статистически значимое различие как в объеме деструкции ($p=0,029$), так и в доле положительных исходов ($p=0,042$) подтверждает преимущество лазерной деструкции. Наблюдалась достоверная корреляционная связь средней силы ($R=0,522$, $p=0,012$) между объемом деструкции и положительным исходом. Аналогичная закономерность была выявлена при деструкции амигдалогиппокампулярного комплекса: стереотаксическая лазерная деструкция у 9 пациентов со средним объемом деструкции $3415,6 \pm 1125$ мм³ обеспечила долю положительных исходов 78% (Engel I 56%, Engel II 22%), тогда как стереотаксическая радиочастотная деструкция у 14 пациентов со средним объемом деструкции $2257,4 \pm 726,6$ мм³ обеспечила 70% положительных исходов (Engel I 42%, Engel II 28%). Стереозендоскопическая лазерная деструкция амигдалогиппокампулярного комплекса у 15 пациентов со средним объемом деструкции $1322,2 \pm 359,0$ мм³ обеспечила долю положительных исходов 58% (Engel I 20%, Engel II 38%). В совокупности группа высокой эффективности (классы I–II по Engel) включила 72% пациентов. Полученные результаты были

сопоставимы с данными крупных проспективных исследований, посвящённых оценке малоинвазивных методов хирургического лечения ФРЭ [231, 192, 82, 144]. Результаты оказались лучше в группах, где применялся высокоэнергетический лазер для более массивной деструкции с видеоэндоскопическим контролем, что подтверждает обоснованность разработанной методики на основе детального изучения анатомии области, персонифицированного планирования с использованием сегментации целевых структур и экспериментального обоснования параметров лазерного воздействия.

Аналогичная методология детального анатомического изучения с интеграцией кадаверных препаратов и прижизненной визуализации была применена при исследовании НТН, которая демонстрирует значимость костно-дуральной компрессии наряду с сосудистой [206, 60, 139]. Невралгия тройничного нерва представляет собой модельную патологию для изучения проблемы анатомического обеспечения малоинвазивной хирургии глубинных структур: хирургическая мишень локализуется в мостомозжечковой цистерне на глубине 4–6 см от поверхности черепа, что требует прецизионного доступа через узкий ретросигмовидный коридор к корешковой зоне входа тройничного нерва [206, 60, 139].

Для понимания теоретической основы исследования необходимо обратиться к историческим аспектам проблемы. Исторически каузальный хирургический подход был сформулирован в двух основополагающих работах 1967 г. Jannetta P. описал устранение артериальной компрессии корешка в мостомозжечковой цистерне, положив начало МВД как этиотропной операции [133]. Malis L. акцентировал механическую роль петрозального гребня и области входа в пещеру Меккеля, где острый костный край способен создавать самостоятельную точку компрессии [149]. Этот дуализм концепции «сосуд vs кость и твёрдая мозговая оболочка» определил направление настоящего исследования.

Морфометрический анализ МРТ-данных 46 пациентов с НТН и 23 пациентов КГ с гемифасциальным спазмом выявил, что сагиттальный угол тройничного нерва на уровне *porus trigeminus* на стороне боли ($136,7 \pm 1,7^\circ$) был статистически значимо

меньше, чем в КГ ($145,3 \pm 3,0^\circ$), разница составила $8,6^\circ$ ($p = 0,004$). Это создаёт острый перегиб нерва в месте контакта с верхним краем пирамиды височной кости, формируя зону максимальной деформации и компрессии. Площадь сечения нерва на уровне *porus trigeminus* на стороне боли ($8,24 \pm 0,56 \text{ мм}^2$) была значимо меньше, чем в КГ ($10,58 \pm 0,85 \text{ мм}^2$), разница составила $2,34 \text{ мм}^2$ ($p = 0,009$), что отражает атрофические изменения в зоне максимальной компрессии. Таким образом, зона *porus trigeminus* является критической для формирования устойчивого перегиба траектории тройничного нерва; вклад костно-дурального компонента в этой зоне может быть сопоставим с сосудистым и объясняет часть отдалённых рецидивов после стандартной МВД.

Современные морфологические исследования и обзорные работы подтверждают, что корешок после выхода из моста огибает верхушку пирамиды и пересекает острый край у *porus trigeminus*; неблагоприятная геометрия острых углов петрозального гребня, костные шпоры и оссификация могут поддерживать клинику при минимальном сосудистом конфликте и требуют адресной хирургической коррекции [70, 252, 161, 173]. Кадаверные исследования показали, что средняя ширина устья тригеминальной полости составляет $7,3\text{--}7,6 \text{ мм}$, высота $2,2\text{--}4,2 \text{ мм}$ [252, 183, 177, 173]. Kimball D. с соавт. продемонстрировали, что у приблизительно 20% взрослых задняя петроклиновидная дуральная складка полностью оссифицирована, что способно суживать *porus trigeminus* и создавать потенциальную компрессию [185].

На основании полученных данных была разработана модифицированная техника МВД с дополнительной установкой тефлонового протектора (толщина $0,5\text{--}1,0 \text{ мм}$, размер $3 \times 5 \text{ мм}$) между цистернальным сегментом тройничного нерва и верхним краем каменистой части пирамиды височной кости в зоне максимального перегиба при входе в *porus trigeminus*. Была создана технология экзоэндоскопической визуализации с интеграцией непрерывного видеопотока от цифрового хирургического экзоскопа AEOS и ригидного нейроэндоскопа 0° в единый 3D Full HD монитор с синхронизацией по временной метке и наложением навигационных данных в реальном времени [130, 63, 263].

Стандартная МВД у 46 пациентов обеспечила снижение интенсивности боли на 7,1 балла ($p < 0,001$), купирование боли у 67,4% пациентов, благоприятный исход у 84,8% пациентов. Частота рецидивов составила 23,9% при медиане наблюдения 42,1 мес. Модифицированная техника с установкой протектора у 15 пациентов в 2024–2025 гг. продемонстрировала отсутствие рецидивов при наблюдении 18 мес., полное купирование боли было достигнуто у 80,0% пациентов. Хотя катамнез модифицированной методики оказался пока недостаточным для окончательных выводов, полученные результаты подтверждают теоретическую обоснованность устранения костно-дурального компонента компрессии в дополнение к сосудистой декомпрессии [60, 139, 222, 194, 173].

Отдельным направлением исследования стала фетальная нейрохирургия, которая демонстрирует значительный прогресс в применении малоинвазивных технологий при лечении гидроцефалии [4, 64, 115, 239, 233]. Систематический обзор Murray C. и соавт. (2025) оценил опыт хирургических вмешательств при фетальной гидроцефалии у 172 участников [233]. Долгосрочные результаты оказались противоречивы, при сочетании гидроцефалии с иными аномалиями нормальное развитие не было зарегистрировано ни у одного ребенка [233, 282]. Из 113 участников с истинно изолированной гидроцефалией 55,8% сообщили о нормальном развитии, 7,1% имели легкие развивающие трудности, и 37,2% имели умеренные или тяжелые развивающие трудности [233]. Первые публикации о нейроэндоскопических операциях при окклюзионной гидроцефалии у плода появились в 2003 г., однако послеоперационные осложнения привели к заключению о преждевременности внедрения [22, 114]. Экспериментальные работы Peiro J. L. и коллег на 50 моделях гидроцефалии у плода овец продемонстрировали техническую осуществимость эндоскопической вентрикулостомии дна III желудочка с общим успехом в 64% случаев [113].

Развитие фетальной нейрохирургии существенно ограничивается дефицитом прикладных анатомических данных, специфичных для малоинвазивных внутриутробных вмешательств [114, 239, 113, 282]. Традиционные

нейроанатомические описания формировались преимущественно на основе изучения фиксированных кадаверных препаратов применительно к микрохирургическим доступам [206, 154, 203, 251, 275, 278]. Особенности прижизненной эндоскопической визуализации у плода в данных описаниях не учитываются.

В настоящем исследовании проведён сравнительный эндоскопический анализ анатомии желудочков головного мозга. Материалом послужили наблюдения 3 плодов, которым выполнялась фетальная вентрикулоцистерностомия, и 15 детей первого года жизни, оперированных в постнатальном периоде. Идентифицированы ключевые анатомические ориентиры желудочковой системы: сосудистое сплетение, межжелудочковое отверстие, зрительное углубление, сосцевидные тела, воронкообразный карман, верхушка базилярной артерии, спинка турецкого седла [114, 239, 113]. Были установлены безопасные зоны: область дна III желудочка кпереди от сосцевидных тел и кзади от зрительного углубления для вентрикулоцистерностомии, зона прозрачной перегородки для септостомии. Изучение этих структур желудочковой системы мозга в пренатальном периоде потребовало дополнительных экспериментальных исследований на животных для отработки хирургических приемов проведения гемостаза и ликворостаза, а также создания 3D-моделей для предоперационного планирования и определения объема рабочего полостного пространства для внутриутробных эндоскопических операций [96, 116, 184].

Разработанная искусственная модель головы плода с имитацией матки и передней брюшной стенки позволила отработать хирургические навыки использования полуригидного и гибкого управляемого эндоскопов. Экспериментально была подтверждена целесообразность монопортального доступа с полуригидным эндоскопом малого диаметра при прямой траектории и необходимость гибкой управляемой эндоскопии при непрямой траектории доступа [113].

Полученные результаты позволили разработать алгоритм дифференцированного хирургического лечения окклюзионной гидроцефалии у

плода. Фетальная ЭВЦС III показана при тривентрикулярной гидроцефалии, обусловленной стенозом водопровода мозга. При моноventрикулярной гидроцефалии вследствие стеноза межжелудочкового отверстия методом выбора служит фетальная эндоскопическая септостомия.

Разработанный и впервые в мире успешно внедренный в клиническую практику метод фетальной эндоскопической септостомии при моноventрикулярной окклюзионной гидроцефалии плода, а также метод эндоскопической вентрикулоцистерностомии дна III желудочка при тривентрикулярной гидроцефалии плода позволили проводить лечение гидроцефалии на ранних стадиях, во втором триместре. В период 2018–2025 гг. было выполнено 4 успешных фетальных нейрохирургических вмешательства (гестационный возраст 24–28 нед.). Эффективность методик составила 100% во внутриутробном периоде и 75% в отношении отсутствия необходимости дополнительных операций после рождения. Все дети развиваются в соответствии с возрастными нормами (катамнез от 10 мес. до 6 лет). Достижение 100% технического успеха при частоте последующего шунтирования 25% и нормальном психомоторном развитии всех детей подтверждает перспективность развития фетальной нейрохирургии при условии тщательного отбора пациентов и применения разработанных алгоритмов дифференцированного хирургического лечения [4, 64, 115, 239, 233, 113, 282].

Объединяющей методологией для всех исследованных патологий являются методы современной клинической анатомии. Ключевыми моментами безопасной нейрохирургии разной степени инвазивности в зонах труднодоступной локализации являются: предоперационное планирование с использованием DICOM-файлов высокого разрешения, создание «цифрового двойника пациента», сегментирование, 3D-модели [240, 96, 122, 181, 248, 210, 247, 236, 184]; стереотаксическая навигация [253, 143, 82, 134, 130]; интраоперационная прижизненная анатомия (3D+4K), экзоскопия и эндоскопия, беспроводный видеострим [111, 150, 126, 171, 180, 89]; интраоперационный КТ-контроль;

использование сосудистого контроля и высокоэнергетического лазерного гемостаза.

В заключительной части обсуждения необходимо рассмотреть вопрос оценки рисков нейрохирургических вмешательств. В нейрохирургии, как и в любой хирургической специальности, определяющим является результат операции: жив ли больной, каков риск летального исхода (показатель послеоперационной летальности); нет ли осложнений, каков их риск (частота интра- и послеоперационных осложнений); каковы последствия операции, насколько пациент здоров (качество жизни после операции).

В различных отраслях хирургии постоянно предпринимаются попытки оценить и прогнозировать результат операции. Однако чаще всего это склоняется в сторону оценки риска летального исхода, и преимущественно это анестезиологические шкалы [3, 15, 3, 30]. Известна и широко применяется шкала МНОАР (Операционно-анестезиологический риск по классификации Московского научного общества анестезиологов–реаниматологов) [15]. Шкала представляет собой балльную систему подсчёта вероятного риска осложнений на основе оценки 3 показателей: общего состояния больного, предстоящего объёма и характера операции, варианта анестезии. Недостатком данной шкалы (как и всех аналогичных шкал) в отношении оценки риска нейрохирургической операции является то, что собственно объём и характер операции занимает незначительное место, а оценка весьма примитивна.

Наиболее близкое решение, касающееся осложнений нейрохирургических операций, было описано авторами [24]. Они предложили 18 нейрохирургам список основных видов осложнений в нейрохирургии, всего 51 пункт, где специалистам необходимо было определить числовой эквивалент значимости данного явления (100% как максимальный балл). Однако шкала имеет существенные недостатки: носит ретроспективный характер (оценка по уже свершившемуся осложнению); критерии разноплановые и не относятся непосредственно к нейрохирургии (реанимационные, организационные, фармакотерапия), а собственно детали самой нейрохирургической операции (от анатомии областей до технического оснащения),

что лежит в основе возможных осложнений, отсутствуют. По сути, отсутствует возможность прогноза и профилактики осложнений. Не учитывается такой важный фактор, как опыт и навыки нейрохирурга. Принципиально не учитывается анатомия доступа. Методика выполнения большинства нейрохирургических доступов описана в фундаментальных работах [206, 203, 213, 216]. Встречаются попытки систематизации доступов у отечественных авторов [16, 28, 29, 50]. Авторы справедливо отмечают, что некоторые нейрохирургические доступы по сложности исполнения могут даже превосходить технику основного этапа [16]. Однако с позиции клинической нейрохирургии и клинической анатомии как сугубо прикладных наук более первоочередной задачей является анализ доступа с позиции клинического риска операции и минимизации данных рисков. Такой корреляции топографо–анатомических и клинических связей в доступной литературе не обнаружено.

Ключом к успеху нейрохирургической операции является доступ: нахождение *зелёных коридоров* (наиболее функционально безопасных зон) для хирургического воздействия (нейроанатомия); минимализация геометрических размеров данных коридоров (желательность малых и сверхмалых доступов); обеспечение чёткого и непрерывного визуального контроля (визуализационная нейроанатомия *in vivo*).

В доступной литературе не обнаружено адекватной комплексной оценки объективной безопасности (опасности) нейрохирургического доступа и нейрохирургической операции, не обнаружено попытки объединить интегральный ранг трудности доступа (анатомия + величина + технологичность + травматичность + опасность (вероятность и тяжесть осложнений)).

Таким образом, актуальной является задача создания шкалы оценки риска нейрохирургической операции, в основе которой лежит объективная оценка трудности нейрохирургического доступа (труднодоступных зон, «опасных» структур на пути) как основного фактора риска нейрохирургической операции. Объективная оценка факторов риска позволяет определить, какие из факторов и за счёт чего можно уменьшить или нивелировать, то есть осуществлять управление

рисками нейрохирургической операции. «Шкала оценки уровней достоверности доказательств для методов профилактики, лечения, медицинской реабилитации» [12, 26] допускает основываться на мнении экспертов. Это начальный уровень достоверности доказательств, но его не минует ни одно исследование и технология. Следующие уровни, повышающие её достоверность, определяются масштабом клинических исследований работы данного способа оценки в практике [12, 26].

На основании опыта данной диссертационной работы предложена цифровая шкала прогнозирования риска и управления рисками предстоящей нейрохирургической операции (приложение 1). Шкала состоит из 5 основных разделов. Каждый из разделов содержит группу факторов риска, которые являются решающими в определении риска операции: жизненно опасных и жизненно неопасных интраоперационных и послеоперационных осложнений. Четыре из 5 категорий связаны непосредственно с анатомическими факторами, одна категория с техникой операции. Суммарное максимальное численное значение факторов риска принято за 100. При планировании нейрохирургической операции нейрохирург отмечает в таблице соответствующие факторы риска предполагаемой операции. Кроме факторов риска в каждой категории и подкатегории указаны конкретные технические средства, хирургические и диагностические технологии, операционные приёмы, которые могут нивелировать, снижать данные риски операций. После отметки факторов риска нейрохирург отмечает соответствующие факторы уменьшения риска операции исходя из имеющихся технических и технологических средств и его навыков. Таким образом, нейрохирург может не только количественно определить риск предстоящей конкретной операции, но и управлять этими рисками (снижать их) за счёт подбора необходимого конкретного оборудования, пред-, интра- и послеоперационного применения определённых технологий. Разница между интегральными показателями риска и показателем снижения риска отражает техническую и технологическую возможность уменьшения риска операции, то есть возможность управления рисками. Кроме того, учитывается опыт нейрохирурга, который выполняет операцию, исходя из числа выполненных им аналогичных операций.

Данный подход позволяет объективно оценить, в каком учреждении, с каким оснащением и какими специалистами целесообразно выполнять предстоящую операцию для минимизации риска. Это инструмент организации нейрохирургической помощи, оценки оснащённости нейрохирургических центров и объективизации уровня сложности вмешательства.

Таким образом, настоящее исследование решает критическую проблему современной нейрохирургии: создание специализированного анатомического обеспечения для малоинвазивных технологий хирургии глубинных структур головного мозга. Проведенное комплексное анатомо-клиническое исследование интегрировало кадаверную анатомию с данными прижизненной визуализации и интраоперационными находками, восполнив фундаментальный разрыв между технологическим прогрессом малоинвазивных методов и доступностью адекватного анатомического обеспечения [267, 240, 167, 227, 253, 96, 143, 122, 261, 263]. Систематизация прижизненной эндоскопической анатомии желудочков головного мозга, разработка классификации венозного угла с учетом задач стереотаксической хирургии, внедрение технологии персонифицированной цифровой анатомии, экспериментальное обоснование безопасности высокоэнергетической лазерной деструкции и детальное изучение анатомии зон компрессии тройничного нерва создали необходимую основу для безопасного применения разработанных малоинвазивных методик. Клиническое внедрение этих методик при хирургическом лечении внутрижелудочковых опухолей, ФРЭ, НТН и фетальной окклюзионной гидроцефалии продемонстрировало их эффективность и подтвердило обоснованность избранного подхода, основанного на интеграции фундаментальных анатомических исследований с современными технологиями визуализации, навигации и персонифицированного планирования. Полученные результаты открывают перспективы дальнейшего развития малоинвазивной нейрохирургии глубинных, труднодоступных образований на основе продолжения систематизации прижизненной анатомии и совершенствования методов персонифицированного планирования вмешательств.

ВЫВОДЫ

1. Эффективность и безопасность нейрохирургических вмешательств при патологии труднодоступных локализаций обеспечивается интеграцией классических топографо-анатомических данных с методами прижизненной клинической анатомии. Последние включают персонифицированную МР-морфометрию критических зон, FreeSurfer-сегментацию глубинных структур, недоступных прямой визуализации, а также предоперационное 3D-моделирование на основе DICOM-файлов высокого разрешения с созданием цифрового двойника пациента. Интраоперационный этап требует применения стереотаксического планирования, экзоэндоскопической визуализации в формате 3D/4K с непрерывным видеостримигом, высокоэнергетического лазерного гемостаза и прецизионного сосудистого контроля. Реализация данного комплексного подхода обеспечивает персонализированный выбор оптимальной хирургической технологии с учётом индивидуальных анатомических особенностей пациента, и минимизацию интраоперационных рисков.

2. При хирургическом лечении объемных образований внутрижелудочковых локализаций установлена прямая зависимость между размерами доступа и травматичностью вмешательства. Эндоскопический доступ обеспечивает минимальную травматичность (средняя длина разреза 1 см, кровопотеря 35 мл, пребывание в ОРИТ 1 сут., послеоперационный койко-день 7) при сопоставимой радикальности удаления небольших медианных образований, особенно у детей. Микрохирургический доступ характеризуется максимальной травматичностью (средняя длина разреза 14 см, кровопотеря 250 мл, пребывание в ОРИТ 4 сут., послеоперационный койко-день 15) и достоверно более высокой частотой послеоперационных неврологических осложнений, оставаясь методом выбора для крупных и латеральных опухолей. Применение ТР обеспечивает промежуточные показатели (средняя длина разреза 4,8 см, кровопотеря 80 мл, пребывание в ОРИТ 2 сут., послеоперационный койко-день 8) и оптимально при образованиях малого и среднего размера с приоритетом тканесбережения.

3. Анатомия венозного угла (зона слияния передней септальной и таламостриарной вен) – критического ориентира безопасности при стереотаксических вмешательствах на передних ядрах таламуса – характеризуется выраженной индивидуальной вариабельностью. По данным кадаверной диссекции, МР-венографии и интраоперационной эндоскопии *in vivo* выделены типы строения: магистральный (64%, наиболее часто билатеральный – 44%), рассыпной (9%) и смешанный (27%); варианты расположения относительно отверстия Монро: передний (60%), промежуточный (18%) и задний (22%). Промежуточный вариант создает максимальный риск венозного повреждения при стереотаксическом доступе. Выявлены существенные различия визуализации венозных структур между кадаверной анатомией и прижизненной картиной *in vivo*, что обосновывает необходимость обязательной предоперационной МР-венографии и интраоперационного эндоскопического контроля венозного угла при стереотаксических вмешательствах на таламусе.

4. При морфологическом исследовании у крыс на 30-е сутки после абляции формируется неистинная киста, отмечаются ишемические изменения нейронов по светлому и темному типу, выраженная макрофагальная инфильтрация с гемосидерофагами, признаки неоангиогенеза и незначительно выраженная грануляционная ткань, реактивный глиоз, что свидетельствует о начале репаративных процессов ткани головного мозга.

5. Устье полости Меккеля (*porus trigeminus*) является критической анатомической зоной максимальной деформации тройничного нерва при невралгии, обусловленной контактом с верхним краем пирамиды височной кости. На стороне болевого синдрома выявлено уменьшение сагиттального угла нерва на уровне *porus trigeminus* на $8,6 \pm 1,7^\circ$ и редукция площади поперечного сечения на 17,1% в цистернальном сегменте и на 13,4% в зоне *porus trigeminus* относительно контралатеральной стороны. Асимметрия угловых параметров с формированием острого угла на стороне конфликта в сочетании с атрофией нерва подтверждают патогенетическую роль перегиба и компрессии нерва на костном крае при входе в полость Меккеля, что обосновывает необходимость дополнительной декомпрессии

костно-дурального конфликта для улучшения результатов хирургического лечения.

6. Применение высокоэнергетического лазера в сочетании с эндоскопическим интраоперационным контролем обеспечивает достижение необходимого объема деструкции эпилептогенной зоны при повышении точности и безопасности вмешательства. При хирургическом лечении ФРЭ установлено преимущество стереоэндоскопической лазерной термодеструкции с видеоконтролем перед радиочастотной абляцией. При воздействии на передние ядра таламуса (верификация мишени методом FreeSurfer-сегментации) достигнут достоверно больший объем деструкции ($1156,1 \pm 236$ мм³ против $312,8 \pm 82,2$ мм³, $p=0,029$) и более высокая доля положительных исходов (74% против 62%, $p=0,042$) с корреляционной связью средней силы между объемом деструкции и клиническим результатом ($R=0,522$, $p=0,012$). При деструкции амигдалогиппокампального комплекса стереотаксическая лазерная термодеструкция обеспечила максимальный объем воздействия ($3415,6 \pm 1125$ мм³) и наилучшие клинические результаты (78% положительных исходов, $p=0,029$).

7. Модифицированная техника МВД с установкой дополнительного тефлонового протектора в области *forus trigeminus* устраняет сосудистую и костно-дуральную компрессию тройничного нерва, обеспечивая благоприятный исход у 100% пациентов против 93,5% при стандартной методике, полное купирование болевого синдрома у 80,0% против 58,7%, отсутствие рецидивов при медиане наблюдения 18 мес. против 23,9% рецидивов при стандартной МВД при медиане наблюдения 42 мес.

8. Идентифицирован безопасный треугольник для эндоскопической вентрикулоцистерностомии дна III желудочка у плода, ограниченный спереди зрительным углублением, сзади сосцевидными телами, латерально внутренними сонными артериями и зрительными трактами, при этом расстояния между анатомическими структурами в пренатальном периоде значительно меньше по сравнению с постнатальным, что ограничивает максимально допустимый диаметр эндоскопического инструментария до 1,2–2,0 мм и размер баллона дилатации до 3

мм. Экспериментальная отработка на беременных овцах (12–15 нед. гестации) в безгазовой среде с УЗ-навигацией подтвердила эффективность гемостатических материалов (Тахокомб, Ивисел, Дураформ) и техники баллонной дилатации катетером Фогарти ($d=0,7$ мм) для безопасного проведения внутриутробных эндоскопических вмешательств.

9. Фетальная эндоскопическая вентрикулоцистерностомия дна III желудочка при тривентрикулярной гидроцефалии и фетальная эндоскопическая септостомия при моновентрикулярной гидроцефалии, выполненные на сроке гестации 24–28 нед., обеспечили декомпрессию желудочковой системы в 100% случаев во внутриутробном периоде. Постнатальное вентрикулоперитонеальное шунтирование потребовалось в 25% случаев. Катамнестическое наблюдение до 6 лет продемонстрировало отсутствие неврологических нарушений и нормальное психомоторное развитие во всех случаях, включая пациента с установленным шунтом.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Хирургические вмешательства на глубинных структурах головного мозга рекомендуется начинать с предоперационного создания цифрового анатомического двойника пациента на основе DICOM-файлов высокого разрешения. Автоматизированную сегментацию рекомендуется выполнять в специализированных программных средах: Brainlab Elements, FreeSurfer, Slicer 3D. Полученные трехмерные реконструкции анатомических структур следует использовать для планирования траекторий доступа и расчёта границ безопасных зон.

2. Интраоперационно рекомендуется прием интеграции цифрового хирургического экзоскопа и ригидной нейроэндоскопии в единый 3D Full HD видеопоток с бесшовным переключением для непрерывного визуального контроля на всех этапах вмешательства. При операциях с риском сосудистых осложнений обязательно применение высокоэнергетического лазерного гемостаза и интраоперационного КТ-контроля с шагом среза 0,5 мм для верификации положения инструментов и отсутствия интракраниальных кровоизлияний.

3. Для количественной оценки риска планируемой нейрохирургической операции рекомендуется использование цифровой шкалы прогнозирования риска (приложение 1), включающей 5 категорий факторов риска с максимальным суммарным значением 100 баллов: глубина доступа (удельный вес 20), сосудистые структуры в зоне операции (удельный вес 25), черепные нервы, размер образования и техника операции. Для каждого фактора риска определены технологические и методологические способы его снижения с количественной оценкой эффективности в процентах. При суммарном риске более 60 баллов показано применение всего комплекса снижающих риск технологий, включая предоперационное цифровое моделирование (снижение риска на 5%), стереотаксическую навигацию (снижение на 20%), 3D/4К-эндоскопию (снижение на 15%).

4. При расчетном риске операции более 60 баллов по предложенной шкале и отсутствии в лечебном учреждении технологических возможностей для снижения риска (цифровое моделирование, стереотаксическая навигация, экзоэндоскопическая визуализация, интраоперационный КТ-контроль, высокоэнергетический лазер) рекомендуется перевод пациента в нейрохирургический центр более высокого уровня. Дополнительным критерием для перевода следует считать недостаточный опыт нейрохирурга: при операциях высокого риска желательно выполнение оперирующим хирургом не менее 50 аналогичных вмешательств для снижения индивидуального коэффициента риска.

5. При объемных образованиях внутрижелудочковых локализаций для выбора хирургической методики следует руководствоваться размерами образования, локализацией и возрастом пациента. Эндоскопическое удаление показано при медианных образованиях III желудочка и сосудистых сплетений боковых желудочков диаметром до 30 мм, преимущественно у детей и молодых пациентов. Микрохирургическое удаление показано при латеральных опухолях боковых желудочков и образованиях диаметром более 30 мм независимо от локализации. Доступ с применением ТР показан при образованиях диаметром 20–30 мм латеральной и медианной локализации с выраженными ликвородинамическими нарушениями.

6. При НТН показана предоперационная МР-морфометрия с обязательным измерением сагиттального угла (SATNaPT) и площади поперечного сечения (STP) тройничного нерва на уровне устья полости Меккеля (porus trigeminus) билатерально. Диагностически значимыми критериями костно-дуральной компрессии в области porus trigeminus являются выраженная асимметрия сагиттального угла, $SATNaPT < 130^\circ$ и $STP < 8,5 \text{ мм}^2$ (комбинация критериев обладает AUC 0,81, чувствительностью 78% и специфичностью 89%).

7. При хирургическом лечении НТН с морфометрическими признаками костно-дуральной компрессии показана модифицированная техника МВД с применением экзоэндоскопической визуализации (интеграция цифрового хирургического экзоскопа и ригидной нейроэндоскопии 30° и 70° в единый 3D Full

HD видеопоток) для прецизионной ревизии области устья полости Меккеля (porus trigeminus) и установки дополнительного протектора между цистернальным сегментом V нерва и верхним краем пирамиды височной кости после стандартной МВД.

8. При планировании стереотаксических вмешательств на передних ядрах таламуса при ФРЭ с генерализованными и мультифокальными формами, а также при мезиальной темпоральной эпилепсии с верифицированным склерозом гиппокампа для стереоэндоскопической лазерной деструкции амигдалогиппокампального комплекса, предоперационно рекомендуется выполнение персонифицированной автоматизированной сегментации целевых структур в программе FreeSurfer для определения индивидуальной анатомии передних ядер таламуса и амигдалогиппокампального комплекса, которые требуют точного таргетирования при невозможности прямой визуализации на стандартной МРТ, а также обязательное определение типа строения и варианта расположения венозного угла по данным МР-венографии в режиме TOF. С учетом высокого риска фатального венозного кровотечения при промежуточном варианте расположения венозного угла (14% случаев), когда венозное слияние находится на уровне передних ядер таламуса, рекомендуется обязательная модификация траектории доступа; при переднем варианте (59% случаев) вмешательство может выполняться стандартным доступом, при заднем варианте (27%) рекомендуется планирование траектории с учетом умеренного риска венозного повреждения. Интраоперационно показан непрерывный видеоэндоскопический контроль через ригидный нейроэндоскоп 0° для верификации венозных структур, коррекции траектории в режиме реального времени и визуального мониторинга процесса высокоэнергетической лазерной деструкции целевых структур.

9. При выявлении окклюзионной гидроцефалии плода с прогрессирующей вентрикуломегалией и признаками внутричерепной гипертензии показана госпитализация в перинатальный центр III уровня для проведения определения показаний к фетальному эндоскопическому вмешательству на сроке 22–32 нед. беременности. При тривентрикулярной

гидроцефалии вследствие стеноза водопровода показана фетоскопическая вентрикулоцистерностомия дна III желудочка, при моновентрикулярной гидроцефалии вследствие стеноза межжелудочкового отверстия—фетоскопическая септостомия.

10. Рекомендуются к использованию разработанные практические алгоритмы: алгоритм выбора операционного метода при внутрижелудочковых опухолях III и боковых желудочков; алгоритм выбора способа диагностики и способа малоинвазивного лечения у пациентов с височной эпилепсией; алгоритм дифференцированного хирургического лечения окклюзионной гидроцефалии у плода.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- ВАШ – визуальная аналоговая шкала
- ГМ – головной мозг
- ДИ – доверительный интервал
- КГ – контрольная группа
- КТ – компьютерная томография
- МВД – микроваскулярная декомпрессия
- МР – магнитно-резонансный
- МРТ – магнитно-резонансная томография
- МСКТ – мультиспиральная компьютерная томография
- НБК – нейроваскулярный конфликт
- НТН – невралгия тройничного нерва
- ОГ – основная группа
- ОПЦ – отрицательная прогностическая ценность
- ОШ – отношение шансов
- ППЦ – положительная прогностическая ценность
- РЧА – радиочастотная абляция
- Тл – тесла
- ТМО – твердая мозговая оболочка
- ТР – тубулярный ретрактор
- УЗИ – ультразвуковое исследование
- ФРЭ – фармакорезистивная эпилепсия
- ЦНС – центральная нервная система
- 3D – трехмерный
- 3D-CISS – трехмерная последовательность Constructive Interference in Steady State (конструктивная интерференция в устойчивом состоянии)
- 3D-TOF – трехмерная последовательность Time-of-Flight (время пролета)
- AR – Augmented Reality (дополненная реальность)

ASA – American Society of Anesthesiologists (классификация Американского общества анестезиологов)

aTRoA – аксиальный тригемино-понтный угол

aTRPtA – аксиальный тригемино-петрозный угол

AUC – Area Under Curve (площадь под ROC-кривой)

BNI – Barrow Neurological Institute Pain Intensity Score (шкала интенсивности боли Неврологического института Барроу)

Brain shift – смещение мозга

FIESTA – Fast Imaging Employing Steady-state Acquisition (быстрое получение изображений с использованием устойчивого состояния)

H Porus – высота porus trigeminus

ICHD–3 – International Classification of Headache Disorders, 3rd edition (Международная классификация головных болей, 3-е издание)

L TN – длина цистернального сегмента тройничного нерва

MPR – MultiPlanar Reconstruction (мультипланарные реконструкции)

MRA – магнитно-резонансная ангиография

REZ – Root Entry Zone (зона входа корешка в мост)

ROC – Receiver Operating Characteristic (операционная характеристика приемника)

S Porus – площадь porus trigeminus

S TP – площадь поперечного сечения нерва в зоне porus trigeminus

SATNaPT – сагиттальный угол тройничного нерва на уровне porus trigeminus

SEM – Standard Error of the Mean (стандартная ошибка среднего)

SPACE – Sampling Perfection with Application optimized Contrasts using different flip angle Evolution

STC – площадь поперечного сечения нерва в цистернальном сегменте

sTRoA – сагиттальный тригемино-понтный угол

sTRPtA – сагиттальный тригемино-петрозный угол

SWI – Susceptibility Weighted Imaging (взвешенное по магнитной восприимчивости изображение)

TE – Time of Echo (время эхо)

TOF – Time-Of-Flight (время пролета)

TR – Time of Repetition (время повторения)

V1 – первая (глазная) ветвь тройничного нерва

V2 – вторая (верхнечелюстная) ветвь тройничного нерва

V3 – третья (нижнечелюстная) ветвь тройничного нерва

VISTA – Volume ISotropic Turbo spin echo Acquisition

W Porus – ширина porus trigeminus

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айрапетов, К. Г. Возможности высокотехнологичной микронейрохирургии внутричерепных опухолей сложной локализации с исходно высоким хирургическим риском / К. Г. Айрапетов // Клиническая практика. – 2017. – № 1. – С. 58–61.
2. Айрапетов, К. Г. Новые подходы в диагностике, профилактике и лечении метастатического поражения головного мозга у онкологических больных : дис. ... д-ра мед. наук : 14.01.14 / Айрапетов Камо Геворгович. – Ростов-на-Дону, 2006. – 541 с.
3. Аксенова, Н. Н. Маннгеймский перитонеальный индекс в прогнозировании послеоперационных осложнений у больных перитонитом / Н. Н. Аксенова, Ф. Р. Ахмеров, М. В. Малеев // Общая реаниматология. – 2009. – Т. 5, № 1. – С. 32–36.
4. Аль Захрани, А. А. Оптимизация нейроэндоскопических методов лечения гидроцефалии у плодов и новорожденных на основе топографо-анатомических данных, цифровой и 3D-анатомической моделей : дис. ... канд. мед. наук : 3.1.10 / Аль Захрани Абдулрахман Али Х. – Москва, 2023. – 174 с.
5. Анатомические особенности передней комиссуры головного мозга применительно к хирургии фармакорезистентных форм эпилепсии / А. А. Суфианов, Е. С. Маркин, И. С. Шелягин [и др.] // Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал). - 2022. - Т. 6. - № 4. - С. 44-51.
6. Анатомия межножковой цистерны головного мозга / А. А. Суфианов, Ю. А. Якимов, И. С. Шелягин [и др.] // Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал). - 2021. - Т. 5. - № 3. - С. 46-54.
7. Анатомия экстратемпоральной части лицевого нерва / А. А. Суфианов, М. М. Ячкуринских, Ш. Маханбетхан [и др.] // Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал). - 2021. - Т. 5. - № 4. - С. 32-41.

8. Возможности безрамной биопсии опухолей головного мозга глубинной и труднодоступной локализации и влияние ее результатов на стратегию лечения / А. В. Шабунин, А. В. Горожанин, Д. В. Вакатов [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2019. – Т. 15, № 2. – С. 312–317.
9. Гейманович, А. И. Опухоли центральной нервной системы / А. И. Гейманович. / Под ред. проф. А. И. Геймановича, проф. Л. И. Смирнова. — Херсон : Гос. мед. изд-во УССР, 1936. — 695 с.
10. Дмитриева, Ю. С. Применение системы EuroSCORE для оценки операционного риска в кардиохирургии (обзор литературы) / Ю. С. Дмитриева // Бюллетень НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН. – 2011. – Т. 12, № 1. – С. 14–23.
11. Егоров, Б. Г. К вопросу о путях и перспективах дальнейших исследований по нейроонкологии головного мозга / Б. Г. Егоров // Вопросы нейрохирургии. – 1967. – № 5. – С. 34–38.
12. Журавлева, Н. И. Обзор методик оценки достоверности научных доказательств и убедительности рекомендаций, применяемых при разработке клинических рекомендаций в РФ / Н. И. Журавлева, Л. С. Шубина, О. А. Сухоруких // Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 34–41. DOI: 10.17749/2070–4909.2019.12.1.34–41.
13. Каган, И. И. Клиническая анатомия в современной морфологии и медицине / И. И. Каган // Медицинское образование и профессиональное развитие. – 2011. – № 2 (4). – С. 27–35.
14. Каган, И. И. Современные аспекты клинической анатомии XXI века / И. И. Каган // Оперативная хирургия и клиническая анатомия. – 2018. – № 4. – С. 33–40.
15. Классификация МНОАР (Операционно-анестезиологический риск по классификации Московского Научного Общества Анестезиологов-Реаниматологов) : [сайт]. – URL: <https://mnoar.ru/shkala-mnoar> (дата обращения: 10.11.2024).
16. Классификация оперативных доступов к структурам черепа и головного мозга / Б. В. Гайдар, В. Е. Парфенов, Е. Н. Кондаков [и др.] // Нейрохирургия. – 2011. – № 4. – С. 16–21.

17. Коновалов, А. Н. Магнитно-резонансная томография в нейрохирургии / А. Н. Коновалов, В. Н. Корниенко, И. Н. Пронин. – Москва. : Видар, 1997. – 472 с.
18. Корейша, Л. А. О принципах лечения внутримозговых опухолей / Л. А. Корейша // Вопросы нейрохирургии. – 1961. – № 4. – С. 9–14.
19. Линия ската как важный анатомический ориентир при выполнении эндоскопической вентрикулоцистерностомии дна III желудочка / А. А. Альзахрани, С. С. Дыдыкин, А. А. Суфианов [и др.] // Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал). - 2023. - Т. 7. - № 4. - С. 5-14.
20. Лященко, Д. Н. Новые данные по топографической анатомии сердца в раннем плодном периоде онтогенеза человека как морфологическая основа прижизненной диагностики плода / Д. Н. Лященко, Л. О. Шаликова // Астраханский медицинский журнал. – 2011. – Т. 6, № 2. – С. 257–258.
21. Лященко, Д. Н. Скелетотопия и проекционная анатомия сердца и внутрисердечных структур человека в раннем плодном периоде онтогенеза / Д. Н. Лященко, Л. О. Шаликова // Вестник новых медицинских технологий. – 2011. – Т. 18, № 2. – С. 126–128.
22. Малоинвазивная техника эндоскопической вентрикулоцистерностомии дна III желудочка у детей с окклюзионной гидроцефалией / А. А. Суфианов, Г. З. Суфианова, Ю. А. Якимов [и др.] // Вестник Авиценны. - 2019. - Т. 21. - № 3. - С. 400-407.
23. Малыхина, В. В. Методы изучения анатомии: со времён Пирогова до наших дней / В. В. Малыхина, Г. Е. Яковлев // Вестник оперативной хирургии и топографической анатомии. – 2020. – Т. 1, № 1 (1). – С. 36–41.
24. Многомерная экспертиза как инструмент формирования шкалы оценки тяжести осложнений в нейрохирургии / А. Ф. Нечаева, Д. А. Гуляев, М. Е. Плинер [и др.] // Российский нейрохирургический журнал им. проф. А. Л. Поленова. – 2021. – № 3. – С. 5–11.
25. Морфометрический анализ топографо-анатомических взаимоотношений между овальным отверстием и другими структурами основания

череп в аспекте экзоэндоскопической анатомии гассерова узла / Р. А. Суфианов, С. С. Дыдыкин, М. Р. Маматханов, Н. А. Гарифуллина // Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал). - 2025. - Т. 9. - № 3. - С. 12-22.

26. Об утверждении порядка и сроков разработки клинических рекомендаций, их пересмотра, типовой формы клинических рекомендаций и требований к их структуре, составу и научной обоснованности включаемой в клинические рекомендации информации : Приказ Минздрава России от 28 февраля 2019 г. № 103н : [в ред. от 08.05.2019]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201905080038> (дата обращения: 13.11.2024).

27. Одномоментное выполнение эндоскопической вентрикулоцистерностомии дна III желудочка, акведуктопластики, фенестрации супрацерелллярной кисты при окклюзионной гидроцефалии у ребенка первого месяца жизни / А. А. Суфианов, Р. Р. Рустамов, Ю. А. Якимов [и др.] // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. - 2021. - Т. 100. - № 5. - С. 194-198.

28. Оперативные доступы в нейрохирургии. Т. 1. Голова / под ред. Б. В. Гайдара. – Санкт-Петербург: СпецЛит, 2015. – 239 с.

29. Оперативные доступы в хирургии черепа и головного мозга / Б. В. Гайдар, В. Е. Парфенов, Д. А. Гуляев [и др.] // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2011. – Т. 2 (34). – С. 210–213.

30. Определение степени операционного риска при операциях реваскуляризации миокарда по методике EuroSCORE/ Р. Самалавичюс, И. Мисюрене, К. Урбонас [и др.] // Проблемы здоровья и экологии. – 2007. – № 1. – С. 66–73.

31. Оценка эффективности эндоскопической вентрикулоцистерностомии дна третьего желудочка с использованием полуригидного игольчатого эндоскопа у детей с гидроцефалией и сопутствующей фармакорезистентной эпилепсией: результаты компьютерной томографической перфузии головного мозга и частотно-временного анализа электроэнцефалограммы / А. А. Суфианов, Г. З. Суфианова, А.

Г. Шапкин [и др.] // Эпилепсия и пароксизмальные состояния. - 2021. - Т. 13. - № 4. - С. 349-358.

32. Патент RU 213757 U1, Российская Федерация, МПК G09B 23/28 (2006.01). Имитация головы пациента : № 2021100874 : заявл. 18.01.2021 : опубл. 28.09.2022 / Суфианов Р. А. // <https://patents.google.com/patent/RU213757U1/ru?q=213757>

33. Патент RU 2705895 C1, Российская Федерация, МПК A61M 1/00 (2006.01). Хирургический инструмент для аспирации и ирригации жидкости в операционной полости : № 2019108354 : заявл. 22.03.2019 : опубл. 12.11.2019 / Суфианов А. А., Суфианов Р. А., Суфианова Г. З. // <https://patents.google.com/patent/RU2705895C1/ru?q=2705895>

34. Патент RU 2713150 C1, Российская Федерация, МПК A61B 17/00 (2006.01). Способ хирургического лечения фармакорезистентной первично и вторично генерализованной эпилепсии : № 2019104913 : заявл. 20.02.2019 : опубл. 03.02.2020 / Суфианов А. А., Суфианова Г. З., Суфианов Р. А. // <https://patents.google.com/patent/RU2713150C1/ru?q=2713150>

35. Патент RU 2718466 C1, Российская Федерация, МПК A61B 17/94 (2006.01). Способ выполнения эндоскопической вентрикулоцистерностомии дна третьего желудочка у детей с гидроцефалией : № 2018145887 : заявл. 21.12.2018 : опубл. 08.04.2020 / Суфианов А. А., Рустамов Р. Р., Якимов Ю. А., Суфианов Р. А. // <https://patents.google.com/patent/RU2718466C1/ru?q=2718466>

36. Патент RU 2729392 C1, Российская Федерация, МПК A61B 1/00 (2006.01), A61B 17/94 (2006.01). Способ выполнения эндоскопической кистоцистерностомии арахноидальной кисты средней черепной ямки миниатюрным нейроэндоскопом : № 2019126361 : заявл. 20.08.2019 : опубл. 06.08.2020 / Суфианов А. А., Суфианов Р. А., Якимов Ю. А., Абдумажитова М. М. // <https://patents.google.com/patent/RU2729392C1/ru?q=2729392>

37. Патент RU 2818626 C1, Российская Федерация, МПК G09B 23/28 (2006.01). Симулятор для освоения навыков выполнения пункции овального отверстия черепа : № 2023129697 : заявл. 16.11.2023 : опубл. 03.05.2024 / Суфианов

Р. А., Гарифуллина Н. А., Суфианов А. А. // <https://patents.google.com/patent/RU2818626C1/ru?q=2818626>

38. Патент RU 2824710 C1, Российская Федерация, МПК А61В 18/12 (2006.01). Персонифицированный направитель радиочастотных игл для моно- и биполярной радиочастотной абляции гассерова узла : № 2023126134 : заявл. 11.10.2023 : опубл. 13.08.2024 / Суфианов Р. А., Гарифуллина Н. А., Суфианов А. А. // <https://patents.google.com/patent/RU2824710C1/ru?q=2824710>

39. Повторная эндоскопическая вентрикулоцистерностомия дна III желудочка, роль усовершенствованных мини-инвазивных инструментов при выполнении данной операции / А. А. Суфианов, Р. Р. Рустамов, Ю. А. Якимов [и др.] // Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. - 2020. - № 1. - С. 21-32.

40. Проводящие пути белого вещества височной доли: клинко-анатомическое исследование применительно к хирургии фармакорезистентной структурной фокальной эпилепсии / А. А. Суфианов, И. С. Шелягин, К. Симфукве [и др.] // Эпилепсия и пароксизмальные состояния. - 2022. - Т. 14. - № 3. - С. 242-253.

41. Путалова, И. Н. Метод препарирования в изучении анатомии человека / И. Н. Путалова, Э. И. Борзяк // Астраханский медицинский журнал. – 2012. – Т. 7, № 4. – С. 214–216.

42. Роль новой технологии объемной визуализации в оториноларингологии / С. Э. Фариков, Ю. Ю. Русецкий, Н. Д. Чучуева, О. В. Чернова // Российская оториноларингология. – 2021. – Т. 20, № 2. – С. 85–90.

43. Рустамов, Р. Р. Топографо-анатомическое обоснование использования шунтоскопа при выполнении эндоскопической вентрикулоцистерностомии дна III желудочка при лечении гидроцефалии у детей : дис. ... канд. мед. наук : 14.01.18 / Рустамов Рахмонжон Равшанович. – Москва, 2021. – 175 с.

44. Савченко, А. Ю. Дифференцированное лечение больных с опухолями головного мозга труднодоступной локализации / А. Ю. Савченко, Н. С. Захарова, Ю. В. Лалов // Нейрохирургия. – 2006. – № 1. – С. 11–15.

45. Симуляционное обучение и моделирование в нейрохирургии / Д. Е. Закондырин, Е. М. Трунин, А. В. Колсанов [и др.]. – Самара : ИД «Би Групп», 2023. – 189 с.
46. Созон–Ярошевич, А. Ю. Анатомо-клинические обоснования хирургических доступов к внутренним органам / А. Ю. Созон-Ярошевич. – Ленинград : Медгиз, 1954. – 180 с.
47. Созон–Ярошевич, А. Ю. Теория и практика доступов в полость черепа / А. Ю. Созон-Ярошевич // Вопросы нейрохирургии. – 1954. – № 6. – С. 3–8.
48. Суфианов, А. А. Стереотаксическая биопсия и лазерная абляция ганглиоглиомы тулиевым лазером: клинический видеослучай / А. А. Суфианов, И. С. Шелягин, Р.А. Суфианов // Сеченовский вестник. - 2022. - Т. 13. - № 2. - С. 30-33.
49. Чемезов, С. В. К юбилею заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора И. И. Кагана / С. В. Чемезов // Оперативная хирургия и клиническая анатомия. – 2019. – Т. 3, № 2. – С. 42–44.
50. Эволюция хирургических доступов к передней и средней черепным ямкам: от расширенной краниотомии к супраорбитальному keyhole-доступу / Р. С. Джинджихадзе, О. Н. Древаль, В. А. Лазарев, И. О. Богданович // Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н. Н. Бурденко. – 2016. – Т. 80, № 3. – С. 99–105. – DOI: 10.17116/neiro201680399-105.
51. Эндоскопическая анатомия желудочков головного мозга применительно к эндоскопической хирургии области дна III желудочка / Р. А. Суфианов, Р. Р. Рустамов, А. А. Альзахрани, О. В. Кытько // Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал). - 2022. - Т. 6. - № 3. - С. 24-34.
52. Эндоскопическая внутриутробная вентрикулоцистерностомия при гидроцефалии у плода на 28-й неделе беременности / А. А. Суфианов, Н. В. Башмакова, Н. В. Косовцова [и др.] // Педиатрия. Журнал им. Г. Н. Сперанского. - 2020. - Т. 99. - № 1. - С. 24-31.

53. Эндоскопия для достижения шунтнезависимого состояния при лечении синдрома щелевидных желудочков / А. А. Суфианов, Р. Р. Рустамов, Ю. А. Якимов [и др.] // Вестник Авиценны. - 2020. - Т. 22. - № 1. - С. 45-55.
54. A flexible endoscope–assisted interhemispheric transcallosal approach through the contralateral ventricle for the removal of a third ventricle craniopharyngioma: A technical report / S. Yano, T. Hide, N. Shinojima [et al.] // *Surgical Neurology International*. – 2015. – Vol. 6, Suppl. 2. – P. S113–116. DOI: 10.4103/2152–7806.153653. PMID: 25883855.
55. A prospective, multicenter study of cardiac–based seizure detection to activate vagus nerve stimulation / P. Boon, K. Vonck, K. van Rijekevorsel [et al.] // *Seizure*. – 2015. – Vol. 32. – P. 52–61. DOI: 10.1016/j.seizure.2015.08.011.
56. A randomized trial of prenatal versus postnatal repair of myelomeningocele / N. S. Adzick, E. A. Thom, C. Y. Spong [et al.] // *New England Journal of Medicine*. – 2011. – Vol. 364. – № 11. – P. 993–1004. DOI: 10.1056/NEJMoa1014379. PMID: 21306277.
57. A randomized, controlled trial of surgery for temporal–lobe epilepsy / S. Wiebe, W. T. Blume, J. P. Girvin, M. Eliasziw // *New England Journal of Medicine*. – 2001. – Vol. 345, № 5. – P. 311–318. DOI: 10.1056/NEJM200108023450501.
58. Access to the posterior medial temporal lobe structures in the surgical treatment of temporal lobe epilepsy / D. D. Spencer, S. S. Spencer, R. H. Mattson [et al.] // *Neurosurgery*. – 1984. – Vol. 15, № 5. – P. 667–671. DOI: 10.1227/00006123–198411000–00005.
59. Advanced needle neuroendoscopy technique in the treatment of pineal cyst / A. A. Sufianov, I. A. Iakimov, S. Makhanbetkhan [et al.] // *Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management*. - 2020. – Vol. 22. - P. 100776.
60. Advances in diagnosis, classification, pathophysiology, and management of trigeminal neuralgia / L. Bendtsen, J. M. Zakrzewska, T. B. Heinskou [et al.] // *The Lancet Neurology*. – 2020. – Vol. 19, № 9. – P. 784–796.

61. An unusual finding of the Porus trigeminus: Case report with histological findings / S. Banerjee, J. Iwanaga, A. S. Dumont, R. S. Tubbs // *Anatomia, Histologia, Embryologia*. – 2023. – Vol. 52, № 4. – P. 645–648.
62. Anatomic, qualitative, and quantitative evaluation of the variants of the infratentorial supracerebellar approach to the posteroinferior thalamus / H. de Oliveira Manduca Palmiero, D. J. F. Solla, L. B. Dos Santos [et al.] // *Neurosurgical Review*. – 2021. – Vol. 44, № 4. – P. 2309–2318.
63. Anatomic–functional approach to multimodal motor mapping in diffuse glioma surgery: hierarchical networks / J. P. Lavrador, V. García–Milán, F. Marchi [et al.] // *Brain Structure and Function*. – 2025. – Vol. 230, № 6. – P. 103. DOI: 10.1007/s00429–025–02963–z. PMID: 40526141.
64. Antenatal management of fetal neurosurgical diseases / S. Cavalheiro, M. D. S. da Costa, J. N. Mendonça [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2017. – Vol. 33, № 7. – P. 1125–1141. DOI: 10.1007/s00381–017–3442–x. PMID: 28281078.
65. Application of neuroendoscopy to intraventricular lesions / P. Cappabianca, G. Cinalli, M. Gangemi [et al.] // *Neurosurgery*. – 2008. – Vol. 62, Suppl. 2. – P. 575–597. DOI: 10.1227/01.neu.0000316262.74843.dd. PMID: 18596446.
66. Barber, S. M. Neuroendoscopic resection of intraventricular tumors: a systematic outcomes analysis / S. M. Barber, L. Rangel–Castilla, D. Baskin // *Minimally Invasive Surgery*. – 2013. – Vol. 2013. – P. 898753. DOI: 10.1155/2013/898753. PMID: 24191196.
67. Beghi, E. The Epidemiology of Epilepsy / E. Beghi // *Neuroepidemiology*. – 2020. – Vol. 54, № 2. – P. 185–191. DOI: 10.1159/000503831.
68. Bipolar, high-voltage, long-duration pulsed radiofrequency ablation of the gasserian ganglion for the treatment of trigeminal neuralgia in a patient with a cardiac implantable electronic device: illustrative case / A. A. Sufianov, N. A. Garifullina, A. G. Shapkin [et al.] // *Journal of Neurosurgery: Case Lessons*. – 2024. – Vol. 7. – № 4.
69. Branstetter, B. F. The Sagittal Angle of the Trigeminal Nerve at the Porus Trigeminus is a Radiologic Predictor of Surgical Outcome in Microvascular Decompression for Classical Trigeminal Neuralgia / B. F. Branstetter, R. F. Sekula //

Neurosurgery. – 2024. – Vol. 94, № 3. – P. 524–528. DOI: 10.1227/neu.0000000000002671.

70. Brinzeu, A. Role of the petrous ridge and angulation of the trigeminal nerve in the pathogenesis of trigeminal neuralgia, with implications for microvascular decompression / A. Brinzeu, C. Dumot, M. Sindou // *Acta Neurochirurgica*. – 2018. – Vol. 160, № 5. – P. 971–976.

71. Carrau, R. L. Transnasal transsphenoidal endoscopic surgery of the pituitary gland / R. L. Carrau, H. D. Jho, Y. Ko // *Laryngoscope*. – 1996. – Vol. 106. P. 914– 918.

72. Chaichana, K. L. Minimally Invasive Surgeries for Deep–Seated Brain Lesions / K. L. Chaichana, S. Grewal, A. Quiñones–Hinojosa // *Schmidek & Sweet Operative Neurosurgical Techniques*. 7th ed. – Philadelphia : Elsevier, 2022. – P. 203–208.e1.

73. Chowdhry, S. A. Intraventricular neuroendoscopy: complication avoidance and management / S. A. Chowdhry, A. R. Cohen // *World Neurosurgery*. – 2013. – Vol. 79, № 2, Suppl. – P. S15.e1–10. DOI: 10.1016/j.wneu.2012.02.030.

74. Clinical and anatomical analysis of the epileptogenic spread patterns in focal cortical dysplasia patients / A. A. Sufianov, P. Gonzalez-Lopez, K. Simfukwe [et al.] // *Surgical Neurology International*. - 2023. - Vol. 14. – P. 291.

75. Clinical Results and Quality of Life After Transcortical Versus Transcallosal Resection of Adult Lateral and Third Ventricle Lesions: Long-Term Outcome / M. AlSharif, R. Stroop, M. Scholz [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2023. – Vol. 179. – P. e194–e200. DOI: 10.1016/j.wneu.2023.08.050. PMID: 37611805

76. Comparative effectiveness and safety of image guidance systems in surgery: a preclinical randomised study / P. Pratt, H. J. Marcus, A. Hughes-Hallett [et al.] // *The Lancet*. – 2015. – Vol. 385, Suppl. 1. – P. S64. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)60379-8.

77. Comparison Between Transcortical and Interhemispheric Approaches to the Atrium of Lateral Ventricle Using Combined White Matter Fiber Dissections and Magnetic Resonance Tractography / I. A. Muftah Lahirish, E. H. Middlebrooks, V. M. Holanda [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2020. – Vol. 138. – P. e478–e485.

78. Comparison of endoscope– versus microscope–assisted resection of deep–seated intracranial lesions using a minimally invasive port retractor system / C. S. Hong, D. M. Prevedello, J. B. Elder // *Journal of Neurosurgery*. – 2016. – Vol. 124, № 3. – P. 799–810. DOI: 10.3171/2015.1.JNS141113. PMID: 26315005.

79. Comparison of sagittal angle of trigeminal nerve at porus trigeminus between responders and non-responders to microvascular decompression surgery in patients with trigeminal neuralgia / S. Ansari, B. H. Mu, E. R. Basappa [et al.] // *Current Problems in Diagnostic Radiology*. – 2025. – Vol. 54. – № 5. – P. 585–589.

80. Comparison of the effects of transcortical and transcallosal removal of intraventricular tumours / G. Geffen, A. Walsh, D. Simpson, M. Jeeves // *Brain*. – 1980. – Vol. 103, № 4. – P. 773–788. DOI: 10.1093/brain/103.4.773. PMID: 7437889.

81. Completely endoscopic resection of intraparenchymal brain tumors / A. B. Kassam, J. A. Engh, A. H. Mintz, D. M. Prevedello // *Journal of Neurosurgery*. – 2009. – Vol. 110, № 1. – P. 116–123. DOI: 10.3171/2008.7.JNS08226. PMID: 18950265.

82. Computer-assisted stereotaxic laser resection of intra–axial brain neoplasms / P. J. Kelly, B. A. Kall, S. Goerss, F. Earnest 4th // *Journal of Neurosurgery*. – 1986. – Vol. 64, № 3. – P. 427–439. DOI: 10.3171/jns.1986.64.3.0427. PMID: 3005528.

83. Corpus callosotomy / A. A. Asadi–Pooya, A. Sharan, M. Nei, M. R. Sperling // *Epilepsy & Behavior*. – 2008. – Vol. 13, № 2. – P. 271–278. DOI: 10.1016/j.yebeh.2008.04.020.

84. Cushing, H. The establishment of cerebral hernia as a decompressive measure for inaccessible brain tumors; with the description of intermuscular methods of making the bone defect in temporal and occipital regions / H. Cushing // *Surgery, Gynecology & Obstetrics*. – 1905. – Vol. 1. – P. 297–314.

85. Cushing, H. *The Pituitary Body and Its Disorders: Clinical States Produced by Disorders of the Hypophysis Cerebri*. – Philadelphia ; London : J.B. Lippincott Company, 1912. – 369 p.

86. Dandy, W. E. An operation for the removal of pineal tumors / W. E. Dandy // *Surgery, Gynecology & Obstetrics*. – 1921. – Vol. 33. – P. 113–119.

87. Dandy, W. E. Extirpation of the pineal body / W. E. Dandy // *Journal of Experimental Medicine*. – 1915. – Vol. 22, № 2. – P. 237–246.
88. Deep brain stimulation of the subthalamic nucleus for the treatment of Parkinson's disease / A. L. Benabid, S. Chabardes, J. Mitrofanis, P. Pollak // *Lancet Neurology*. – 2009. – Vol. 8, № 1. – P. 67–81. DOI: 10.1016/S1474-4422(08)70291-6.
89. Definition of drug resistant epilepsy: consensus proposal by the ad hoc Task Force of the ILAE Commission on Therapeutic Strategies / P. Kwan, A. Arzimanoglou, A. T. Berg [et al.] // *Epilepsia*. – 2010. – Vol. 51, № 6. – P. 1069–1077. DOI: 10.1111/j.1528-1167.2009.02397.x.
90. Designing and clinical application of a 3d-printed personalized model of a radiofrequency needle guide with a maxillary fixator for puncture of the gasserian ganglion for trigeminal neuralgia treatment / A. A. Sufianov, N.A. Garifullina, A. N. Zyryanov [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. - 2025. - Vol. 142. - № 5. - P. 1256-1262.
91. Diffusion MRI fiber tractography of the brain / B. Jeurissen, M. Descoteaux, S. Mori, A. Leemans // *NMR in Biomedicine*. – 2019. – Vol. 32, № 4. – P. e3785. DOI: 10.1002/nbm.3785.
92. Diffusion tensor imaging with tractography in surgical resection of brainstem cavernous malformations: a systematic review and meta-analysis / M. M. Al-Salihi, M. S. Al-Jebur, Y. Al-Salihi [et al.] // *International Journal of Neuroscience*. – 2024. – Vol. 134. – № 10. – P. 1075–1097.
93. Direct visualization of deep brain stimulation targets in Parkinson disease with the use of 7-tesla magnetic resonance imaging / Z. H. Cho, H. K. Min, S. H. Oh [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. – 2010. – Vol. 113, № 3. – P. 639–647. DOI: 10.3171/2010.3.JNS091385.
94. Early surgical therapy for drug-resistant temporal lobe epilepsy: a randomized trial / J. Jr. Engel, M. P. McDermott, S. Wiebe [et al.] // *JAMA*. – 2012. – Vol. 307, № 9. – P. 922–930. DOI: 10.1001/jama.2012.220.
95. Efficacy and safety of stereotactic radiosurgery for petroclival meningiomas: A systematic review and Meta-Analysis / B. Hajikarimloo, S. M. Tos, I.

Mohammadzadeh [et al.] // *Acta Neurologica Belgica*. — 2025. — 19 May. — DOI: 10.1007/s13760-025-02805-z. — Epub ahead of print.

96. Efficacy of transcranial magnetic stimulation targets for depression is related to intrinsic functional connectivity with the subgenual cingulate / M. D. Fox, R. L. Buckner, M. P. White [et al.] // *Biological Psychiatry*. — 2012. — Vol. 72, № 7. — P. 595–603. DOI: 10.1016/j.biopsych.2012.04.028.

97. Electrical stimulation of the anterior nucleus of thalamus for treatment of refractory epilepsy / R. Fisher, V. Salanova, T. Witt [et al.] ; SANTE Study Group // *Epilepsia*. — 2010. — Vol. 51, № 5. — P. 899–908. DOI: 10.1111/j.1528-1167.2010.02536.x. PMID: 20331461.

98. El-Ghandour, N. M. Endoscopic treatment of third ventricular colloid cysts: a review including ten personal cases / N. M. El-Ghandour // *Neurosurgical Review*. — 2009. — Vol. 32, № 4. — P. 395–402. DOI: 10.1007/s10143-009-0208-2. PMID: 19593605.

99. Embryologie et anatomie fondamentale du ventricule latéral / M. Baroncini, J. Peltier, J. P. Lejeune, D. Le Gars // *Neurochirurgie*. — 2011. — Vol. 57, № 4–6. — P. 141–150. DOI: 10.1016/j.neuchi.2011.09.007. PMID: 22030164.

100. Endoscopic anatomy of the skull base explored through the nose / D. Solari, C. Chiaramonte, A. Di Somma [et al.] // *World Neurosurgery*. — 2014. — Vol. 82, № 6, Suppl. — P. S164–S170. — DOI: 10.1016/j.wneu.2014.08.005. — PMID: 25496629.

101. Endoscopic and exoscopic surgery for brain tumors / Y. Sasagawa, S. Tanaka, M. Kinoshita, M. Nakada // *International Journal of Clinical Oncology*. — 2024. — Vol. 29, № 10. — P. 1399–1406. DOI: 10.1007/s10147-024-02529-9. PMID: 38976183.

102. Endoscopic interhemispheric disconnection for intractable multifocal epilepsy: surgical technique and functional neuroanatomy / A. A. Sufianov, I. A. Iakimov, E. S. Markin [et al.] // *Operative Neurosurgery*. - 2020. - Vol. 18. - № 2. - P. 145-157.

103. Endoscopic surgery for the antenatal treatment of myelomeningocele: the CECAM trial / D. A. Pedreira, N. Zanon, K. Nishikuni [et al.] // *American Journal of*

Obstetrics and Gynecology. – 2016. – Vol. 214, № 1. – P. 111.e1–111.e11.: 10.1016/j.ajog.2015.09.065. PMID: 26470824.

104. Endoscopic treatment of middle cranial fossa arachnoid cysts in children: surgical results of 65 cases / R. A. Sufianov, M. M. Abdumazhitova, R. R. Rustamov [et al.] // World Neurosurgery. – 2021. – Vol. 158. – P. 681–688.

105. Endoscopically assisted exoscopic surgery for microvascular decompression of the trigeminal nerve with intraoperative use of indocyanine green / R. A. Sufianov, N. A. Garifullina, A. Sh. Magomedova [et al.] // Surgeries. - 2024. - Vol. 5. - № 2. - P. 172–183.

106. Epilepsy in adults / R. D. Thijs, R. Surges, T. J. O'Brien, J. W. Sander // Lancet. – 2019. – Vol. 393, № 10172. – P. 689–701. DOI: 10.1016/S0140–6736(18)32596–0.

107. Evaluation of surgical freedom for microscopic and endoscopic transsphenoidal approaches to the sella / A. M. Elhadi, D. A. Hardesty, H. A. Zaidi [et al.] // Neurosurgery. – 2015. – Vol. 11, Suppl. 2. – P. 69–78.

108. Exoscope-assisted microsurgical removal of thalamic tumor-an ergonomic approach: 3-dimensional operative video / L. A. B. Borba, R. A. Sufianov, M. S. Rassi [et al.] // Operative Neurosurgery. - 2023. - Vol. 24. - № 5. - P. 379.

109. Exoscopic Microsurgery: A Change of Paradigm in Brain Tumor Surgery? Comparison with Standard Operative Microscope / A. Di Cristofori, F. Graziano, C. B. Rui [et al.] // Brain Sciences. – 2023. – Vol. 13, № 7. – P. 1035. DOI: 10.3390/brainsci13071035. PMID: 37508967.

110. Exoscopic removal of the fourth ventricle choroid plexus papilloma with use of a midline suboccipital osteoplastic craniotomy / R. A. Sufianov, I. A. Gaysin, Iu.A. Iakimov, A. A. Sufianov // Neurosurg Focus Video. – 2024. - Vol. 10. - № 1. - P. 14.

111. Exoscopic versus Microscopic Surgery in 5–ALA–Guided Resection of High–Grade Gliomas / G. Garufi, A. Conti, B. Chaurasia, S. M. Cardali // Journal of Clinical Medicine. – 2024. – Vol. 13, № 12. – P. 3493. DOI: 10.3390/jcm13123493.

112. Experience of comprehensive training of neurosurgeons / A. A. Sufianov, I. A. Iakimov, M. R. Gizatullin [et al.] // *Virtual Technologies in Medicine*. - 2020. - Vol. 1. - № 4. - P. 18-21.
113. Fetal Endoscopic Third Ventriculostomy Is Technically Feasible in Prenatally Induced Hydrocephalus Ovine Model / J. L. Peiro, S. Duru, B. Fernandez-Tome [et al.] // *Neurosurgery*. – 2023. – Vol. 92, № 6. – P. 1303–1311. DOI: 10.1227/neu.0000000000002361. PMID: 36762899.
114. Fetal hydrocephalus – prenatal treatment / S. Cavalheiro, A. F. Moron, S. T. Zymberg, P. Dastoli // *Child's Nervous System*. – 2003. – Vol. 19, № 7–8. – P. 561–573. DOI: 10.1007/s00381–003–0772–7. PMID: 12942339.
115. Fetal neurosurgery / S. Cavalheiro, M. D. S. da Costa, M. M. Barbosa [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2023. – Vol. 39, № 10. – P. 2899–2927. DOI:10.1007/s00381-023-06109-6.
116. Fetal, Neonatal and Pediatric Neuroradiology / S. F. Kralik, N. K. Desai, A. Meoded, T. A. G. M. Huisman. – Philadelphia : Elsevier, 2023. – 923 p.
117. Fetoscopic versus Open Repair for Spina Bifida Aperta: A Systematic Review of Outcomes / L. Joyeux, A. C. Engels, F. M. Russo [et al.] // *Fetal Diagnosis and Therapy*. – 2016. – Vol. 39, № 3. – P. 161–171. DOI: 10.1159/000443498. PMID: 26901156.
118. Graham, D. Corpus callosotomy outcomes in pediatric patients: A systematic review / D. Graham, M. M. Tisdall, D. Gill // *Epilepsia*. – 2016. – Vol. 57, № 7. – P. 1053–1068. DOI: 10.1111/epi.13408.
119. Hopkins, H. A Flexible Fibrescope, using Static Scanning / H. Hopkins, N. Kapany // *Nature*. – 1954. – Vol. 173. – P. 39–41. DOI: 10.1038/173039b0.
120. Hopkins, H. H. A Theoretical and Experimental Study of Lens Centring Errors and Their Influence on Image Quality / H. H. Hopkins, H. J. Tiziani // *British Journal of Applied Physics*. – 1966. – Vol. 17, № 1. – P. 33–54. DOI: 10.1088/0508–3443/17/1/303.

121. Horsley, V. The Structure and Functions of the Cerebellum Examined by a New Method / V. Horsley, R. H. Clarke // *Brain*. – 1908. – Vol. 31, № 1. – P. 45–124. DOI: 10.1093/brain/31.1.45.

122. Houlihan, L. M. Volume of Surgical Freedom: The Most Applicable Anatomical Measurement for Surgical Assessment and 3Dimensional Modeling / L. M. Houlihan, D. Naughton, M. C. Preul // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. – 2021. – Vol. 9. – P. 628797.

123. Hounsfield, G. N. Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system / G. N. Hounsfield // *British Journal of Radiology*. – 1973. – Vol. 46, № 552. – P. 1016–1022. DOI: 10.1259/0007–1285–46–552–1016.

124. ILAE classification of the epilepsies: Position paper of the ILAE Commission for Classification and Terminology / I. E. Scheffer, S. Berkovic, G. Capovilla [et al.] // *Epilepsia*. – 2017. – Vol. 58, № 4. – P. 512–521. DOI: 10.1111/epi.13709.

125. Imaging of Neurovascular Compression Syndromes: Trigeminal Neuralgia, Hemifacial Spasm, Vestibular Paroxysmia, and Glossopharyngeal Neuralgia / S. Haller, L. Etienne, E. Kovari [et al.] // *American Journal of Neuroradiology*. – 2016. – Vol. 37, № 8. – P. 1384–1392.

126. Infratentorial supracerebellar resection of a pineal tumor using a high definition video exoscope (VITOM®) / A. N. Mamelak, D. Drazin, A. Shirzadi [et al.] // *Journal of Clinical Neuroscience*. — 2012. — Vol. 19, № 2. — P. 306–309. — DOI: 10.1016/j.jocn.2011.07.014. — PMID: 22079141.

127. Intra-operative 3D ultrasound in neurosurgery / G. Unsgaard, O. M. Rygh, T. Selbekk [et al.] // *Acta Neurochirurgica*. – 2006. – Vol. 148, № 3. – P. 235–253. DOI: 10.1007/s00701–005–0688–y.

128. Intraoperative magnetic resonance imaging to reduce the rate of early reoperation for lesion resection in pediatric neurosurgery / M. N. Shah, J. R. Leonard, G. Inder [et al.] // *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. – 2012. – Vol. 9, № 3. – P. 259–264. DOI: 10.3171/2011.12.PEDS11227.

129. Intraoperative MRI guidance and extent of resection in glioma surgery: a randomised, controlled trial / C. Senft, A. Bink, K. Franz [et al.] // *Lancet Oncology*. – 2011. – Vol. 12, № 11. – P. 997–1003. DOI: 10.1016/S1470–2045(11)70196–6.

130. Intraoperative MRI-guided resection of glioblastoma multiforme: a systematic review / P. L. Kubben, K. J. ter Meulen, O. E. Schijns [et al.] // *Lancet Oncology*. – 2011. – Vol. 12, № 11. – P. 1062–1070. DOI: 10.1016/S1470–2045(11)70130–9.

131. Intraoperative Neurophysiologic Monitoring Improves Neurologic Outcomes in Eloquent Brain Areas and Aids in Increasing the Volume of Resected Glioma: Current Results Compared With Historical Controls / E. Ilgaz Aydinlar, R. Sari, P. Yalinay Dikmen, İ. Elmaci // *Journal of Clinical Neurophysiology*. – 2025. – Vol. 42, № 4. – P. 343–349.

132. Intraventricular endoscopic surgery for pediatric hypothalamic hamartomas: surgical series and literature meta-analysis / G. Cossu, R. A. Sufianov, M. Messerer [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2025. – P. 124–129.

133. Jannetta, P. J. Arterial Compression of the Trigeminal Nerve at the Pons in Patients with Trigeminal Neuralgia / P. J. Jannetta // *Journal of Neurosurgery*. – 1967. – Vol. 26, № 1, Pt. 2. – P. 159–162.

134. Kelly, P. J. Computer-interactive stereotactic resection of deep-seated and centrally located intraaxial brain lesions / P. J. Kelly, B. A. Kall, S. J. Goerss // *Applied Neurophysiology*. – 1987. – Vol. 50, № 1–6. – P. 107–113. DOI: 10.1159/000100693.

135. Kohl, T. Percutaneous minimally invasive fetoscopic surgery for spina bifida aperta. Part I: surgical technique and perioperative outcome / T. Kohl // *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. – 2014. – Vol. 44, № 5. – P. 515–524. DOI: 10.1002/uog.13430. PMID: 24891102.

136. Konakondla, S. Simulation training in neurosurgery: advances in education and practice / S. Konakondla, R. Fong, C. M. Schirmer // *Advances in Medical Education and Practice*. – 2017. – Vol. 8. – P. 465–473. DOI: 10.2147/AMEP.S113565.

137. Kriss, T. C. History of the operating microscope: from magnifying glass to microneurosurgery / T. C. Kriss, V. M. Kriss // *Neurosurgery*. — 1998. — Vol. 42, № 4. — P. 899–908. — DOI: 10.1097/00006123-199804000-00116. — PMID: 9574655.

138. Kurze, T. Microtechniques in neurological surgery / T. Kurze // *Clinical Neurosurgery*. — 1964. — Vol. 11. — P. 128–137. DOI: 10.1093/neurosurgery/11.cn_suppl_1.128.

139. Lambriu, G. Trigeminal neuralgia: a practical guide / G. Lambriu, J. Zakrzewska, M. Matharu // *Practical Neurology*. — 2021. — Vol. 21, № 5. — P. 392–402.

140. Lateral ventricle tumors: surgical strategies according to tumor origin and development – a series of 72 cases / V. A. D'Angelo, M. Galarza, D. Catapano [et al.] // *Neurosurgery*. — 2005. — Vol. 56, № 1, Suppl. — P. 36–45. PMID: 15799791.

141. Lauterbur, P. C. Image formation by induced local interactions: examples employing nuclear magnetic resonance / P. C. Lauterbur // *Nature*. — 1973. — Vol. 242, № 5394. — P. 190–191. DOI: 10.1038/242190a0.

142. Lawton, M. T. The contralateral transcallosal approach: experience with 32 patients / M. T. Lawton, J. G. Golfinos, R. F. Spetzler // *Neurosurgery*. — 1996. — Vol. 39, № 4. — P. 729–734. DOI: 10.1097/00006123-199610000-00016. PMID: 8880765.

143. Lead-DBS v2: Towards a comprehensive pipeline for deep brain stimulation imaging / A. Horn, N. Li, T. A. Dembek [et al.] // *NeuroImage*. — 2019. — Vol. 184. — P. 293–316. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2018.08.068.

144. Long-term efficacy and safety of thalamic stimulation for drug-resistant partial epilepsy / V. Salanova, T. Witt, R. Worth [et al.] ; SANTE Study Group // *Neurology*. — 2015. — Vol. 84, № 10. — P. 1017–1025. DOI: 10.1212/WNL.0000000000001334. PMID: 25663221.

145. Long-term outcome of microvascular decompression for typical trigeminal neuralgia with autologous muscle: an analysis of 1025 patients from a developing country / M. Ashraf, F. Sajjad, S. S. Hussain [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. — 2024. — Vol. 141, № 3. — P. 849–859.

146. Maehara, T. Surgical outcome of corpus callosotomy in patients with drop attacks / T. Maehara, H. Shimizu // *Epilepsia*. – 2001. – Vol. 42, № 1. – P. 67–71. doi: 10.1046/j.1528-1157.2001.081422.x. PMID: 11207787.

147. Magnetic Resonance Tractography and Intraoperative Direct Electrical Stimulation in Eloquent Area Glioma Surgery for 102 Cases: A Tertiary Care Center Experience From Northwest India / S. K. Sahoo, M. Mohanty, S. Y. S. Emanee [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2023. – Vol. 172. – P. e655–e666.

148. Malekpour, M. Making the "inoperable" tumors "operable": Harvey Cushing's contributions to the surgery of posterior fossa tumors / M. Malekpour, A. A. Cohen–Gadol // *Neurosurgical Focus*. – 2014. – Vol. 36, № 4. – P. E15.

149. Malis, L. I. Petrous ridge compression and its surgical correction / L. I. Malis // *Journal of Neurosurgery*. — 2007. — Vol. 107, № 1. — P. 220–224. — PMID: 17639899. (republication 1967)

150. Mamelak, A. N. Initial clinical experience with a high-definition exoscope system for microneurosurgery / A. N. Mamelak, T. Nobuto, G. Berci // *Neurosurgery*. – 2010. – Vol. 67, № 2. – P. 476–483.

151. Management outcome of the transcallosal, transforaminal approach to colloid cysts of the anterior third ventricle: an analysis of 78 cases / N. P. Symss, R. Ramamurthi, S. M. Rao [et al.] // *Neurological India*. – 2011. – Vol. 59, № 4. – P. 542–547. DOI: 10.4103/0028–3886.84334. PMID: 21891930.

152. Meckel's Cave / P. A. Sabancı, F. Batay, E. Civelek [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2011. – Vol. 76, № 3–4. – P. 335–341.

153. Microendoscopic transventricular deep brain stimulation of the anterior nucleus of the thalamus as a safe treatment in intractable epilepsy: A feasibility study / G. Poulen, A. Rolland, E. Chan–Seng [et al.] // *Revue Neurologique*. – 2022. – Vol. 178, № 9. – P. 886–895. DOI: 10.1016/j.neurol.2022.03.023. PMID: 36153255.

154. Microsurgical anatomy of the choroidal fissure / S. Nagata, A. L. Jr. Rhoton, M. Barry // *Surgical Neurology*. – 1988. – Vol. 30, № 1. – P. 3–59. DOI: 10.1016/0090–3019(88)90180–2. PMID: 3394010.

155. Microsurgical anatomy of the deep venous system of the brain / M. Ono, A. L. Jr. Rhoton, D. Peace, R. J. Rodriguez // *Neurosurgery*. – 1984. – Vol. 15, № 5. – P. 621–657. DOI: 10.1227/00006123-198411000-00002. PMID: 6504279.

156. Microsurgical anatomy of the transcallosal anterior interforneal approach to the third ventricle / R. Siwanuwatn, P. Deshmukh, I. Feiz-Erfan [et al.] // *Neurosurgery*. – 2005. – Vol. 56, № 2, Suppl. – P. 390–396. PMID: 15794835.

157. Microsurgical resection of tumors of the lateral and third ventricles: operative corridors for difficult-to-reach lesions / U. Cikla, K. I. Swanson, A. Tumturk [et al.] // *Journal of Neuro-Oncology*. – 2016. – Vol. 130, № 2. – P. 331–340. DOI: 10.1007/s11060-016-2126-9. PMID: 27235145.

158. Microvascular decompression for primary trigeminal neuralgia: long-term effectiveness and prognostic factors in a series of 362 consecutive patients with clear-cut neurovascular conflicts who underwent pure decompression / M. Sindou, J. Leston, E. Decullier, F. Chapius // *Journal of Neurosurgery*. – 2007. – Vol. 107, № 6. – P. 1144–1153.

159. Microvascular decompression for trigeminal neuralgia due to vertebrobasilar artery compression: a systematic review and meta-analysis / D. T. Di Carlo, N. Benedetto, W. Marani [et al.] // *Neurosurgical Review*. – 2022. – Vol. 45, № 1. – P. 285–294.

160. Microvascular Decompression for Trigeminal Neuralgia: A Prospective, Multicenter Study / Y. Mizobuchi, S. Nagahiro, A. Kondo [et al.] // *Neurosurgery*. – 2021. – Vol. 89, № 4. – P. 557–564.

161. Middle fossa approach for a petrous apex bony spur causing trigeminal neuralgia: illustrative case / F. Hamrick, S. Colby, W. T. Couldwell, S. Rahimpour // *Journal of Neurosurgery: Case Lessons*. – 2024. – Vol. 8, № 21. – P. CASE24321.

162. Milligan, B. D. Morbidity of transcallosal and transcortical approaches to lesions in and around the lateral and third ventricles: a single-institution experience / B. D. Milligan, F. B. Meyer // *Neurosurgery*. – 2010. – Vol. 67, № 6. – P. 1483–1496. DOI: 10.1227/NEU.0b013e3181f7eb68. PMID: 21107179.

163. Mincione, A. VITOM 3D System in Parotid Gland Surgery / A. Minicone, D. Lepera, L. Rizzi // *J Craniofac Surg.* – 2021. – Vol. 32, № 2. – P. e138-e141, DOI: 10.1097/scs.00000000000006875

164. Minimally Invasive Endoscopic Supracerebellar–Infratentorial Surgery of the Pineal Region: Anatomical Comparison of Four Variant Approaches / H. A. Zaidi, A. M. Elhadi, T. Lei [et al.] // *World Neurosurgery.* – 2015. – Vol. 84, № 2. – P. 257–266.

165. Minimally invasive surgery for benign intraventricular tumors: state of the art, present and future perspective / M. Iacoangeli, M. Gladi, A. Di Rienzo [et al.] // *Journal of Neurosurgical Sciences.* – 2012. – Vol. 56, № 4. – P. 287–302.

166. Minimally invasive trans–portal resection of deep intracranial lesions / S. M. Raza, P. F. Recinos, J. Avendano [et al.] // *Minimally Invasive Neurosurgery.* – 2011. – Vol. 54, № 1. – P. 5–11. DOI: 10.1055/s–0031–1273734. PMID: 21509723.

167. Minimally Invasive Transsulcal Resection of Intraventricular and Periventricular Lesions Through a Tubular Retractor System: Multicentric Experience and Results / J. K. Eliyas, R. Glynn, C. G. Kulwin [et al.] // *World Neurosurgery.* – 2016. – Vol. 90. – P. 556–564. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.12.100. PMID: 26805678.

168. Moldenhauer, J. S. Fetal surgery for myelomeningocele: After the Management of Myelomeningocele Study (MOMS) / J. S. Moldenhauer, N. S. Adzick // *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine.* – 2017. – Vol. 22, № 6. – P. 360–366. DOI: 10.1016/j.siny.2017.08.004. PMID: 28838848.

169. Monfared, A. Cranial base approaches to inaccessible intracranial tumors / A. Monfared, S. Agrawal, R. K. Jackler // *Current Opinion in Neurology.* – 2007. – Vol. 20, № 6. – P. 726–731.

170. Monitoring of muscle motor evoked potentials during cerebral aneurysm surgery: intraoperative changes and postoperative outcome / A. Szelényi, D. Langer, K. Kothbauer [et al.] // *Journal of Neurosurgery.* – 2006. – Vol. 105, № 5. – P. 675–681. DOI: 10.3171/jns.2006.105.5.675.

171. Montemurro, N. The Exoscope in Neurosurgery: An Overview of the Current Literature of Intraoperative Use in Brain and Spine Surgery / N. Montemurro, P.

Perrini, V. Mangini [et al.] // *Journal of Clinical Medicine*. – 2021. – Vol. 11, № 1. – P. 223. DOI: 10.3390/jcm11010223.

172. Morota, N. *Brainstem Surgery: Functional Surgical Anatomy with the Use of an Advanced Modern Intraoperative Neurophysiological Procedure* / N. Morota, V. Deletis // *Advances and Technical Standards in Neurosurgery*. – 2023. – Vol. 48. – P. 21–55.

173. *MRI Findings in Trigeminal Neuralgia without Neurovascular Compression: Implications of Petrous Ridge and Trigeminal Nerve Angles* / H. Zhong, W. Zhang, S. Sun, Y. Bie // *Korean Journal of Radiology*. – 2022. – Vol. 23, № 8. – P. 821.

174. *Multiple subpial transection for intractable partial epilepsy: an international meta-analysis* / S. S. Spencer, J. Schramm, A. Wyler [et al.] // *Epilepsia*. – 2002. – Vol. 43, Suppl. 2. – P. 141-145. doi: 10.1046/j.1528-1157.2002.28101.x. PMID: 11903459.

175. *Nerve atrophy and a small cerebellopontine angle cistern in patients with trigeminal neuralgia: Clinical article* / S. Park, S. Hwang, J. Park [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. – 2009. – Vol. 110, № 4. – P. 633–637.

176. *Nerve Atrophy and a Small Trigeminal Pontine Angle in Primary Trigeminal Neuralgia: A Morphometric Magnetic Resonance Imaging Study* / J. Cheng, J. Meng, W. Liu [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2017. – Vol. 104. – P. 575–580. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.05.057.

177. *Neural interconnections between portio minor and portio major at the porus trigeminus: Application to failed surgical treatment of trigeminal neuralgia* / R. S. Tubbs, C. J. Griessenauer, E. Hogan [et al.] // *Clinical Anatomy*. – 2014. – Vol. 27, № 1. – P. 94–96.

178. *Neuroimaging of Meckel's cave in normal and disease conditions* / A. Malhotra, L. Tu, V. B. Kalra [et al.] // *Insights into Imaging*. – 2018. – Vol. 9, № 4. – P. 499–510.

179. *Neuronavigation-Guided Corticospinal Tract Mapping in Brainstem Tumor Surgery: Better Preservation of Motor Function* / Z. Li, M. Wang, L. Zhang [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2018. – Vol. 116. – P. e291–e297.

180. Nishiyama, K. From exoscope into the next generation / K. Nishiyama // *J Korean Neurosurg Soc.* – 2017.- Vol. 60, № 3. – P. 289–293. DOI:10.3340/jkns.2017.0202.003
181. nnU-Net: a self-configuring method for deep learning-based biomedical image segmentation / F. Isensee, P. F. Jaeger, S. A. A. Kohl [et al.] // *Nature Methods.* – 2021. – Vol. 18, № 2. – P. 203–211. DOI: 10.1038/s41592-020-01008-z.
182. Oertel, J. The use of the exoscope for intracranial aneurysm surgery / J. Oertel, M. R. Gaab // *Acta Neurochirurgica.* – 2021. – Vol. 163, № 9. – P. 2451–2453. DOI: 10.1007/s00701-021-04839-7.
183. Ogut, E. Reappraisal of the types of trigeminal porus and importance in surgical applications / E. Ogut, K. Armagan, C. Barut // *Surgical and Radiologic Anatomy.* – 2021. – Vol. 43, № 7. – P. 1169–1178.
184. Optimizing cerebrovascular surgical and endovascular procedures in children via personalized 3D printing / P. Weinstock, S. P. Prabhu, K. Flynn [et al.] // *Journal of Neurosurgery: Pediatrics.* – 2015. – Vol. 16, № 5. – P. 584–589. DOI: 10.3171/2015.3.PEDS14677. PMID: 26230460.
185. Ossification of the Posterior Petroclinoid Dural Fold: A Cadaveric Study with Neurosurgical Significance / D. Kimball, H. Kimball, P. Matusz [et al.] // *Journal of Neurological Surgery Part B: Skull Base.* – 2015. – Vol. 76, № 4. – P. 272–277.
186. Outcome of open transcortical approach in the management of intraventricular lesions / S. Mazher, M. Imran, J. Ashraf [et al.] // *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan.* – 2013. – Vol. 23, № 12. – P. 857–861. PMID: 24304988.
187. Outcomes of microvascular decompression for trigeminal neuralgia with purely venous compression: A systematic review and meta-analysis / P. Soni, T. Potter, P. P. Soni [et al.] // *Clinical Neurology and Neurosurgery.* – 2020. – Vol. 198. – P. 106230.
188. Pascual, J. M. Harvey Cushing and pituitary Case Number 3 (Mary D.): the origin of this most baffling problem in neurosurgery / J. M. Pascual, R. Prieto // *Neurosurgical Focus.* – 2016. – Vol. 41, № 1. – P. E6.

189. Patients with idiopathic trigeminal neuralgia have a sharper-than-normal trigeminal-pontine angle and trigeminal nerve atrophy / S. M. Ha, S. H. Kim, E. H. Yoo [et al.] // *Acta Neurochirurgica*. – 2012. – Vol. 154, № 9. – P. 1627–1633.

190. Pendl, G. Surgery of tumours of the lateral ventricle / G. Pendl, E. Oztürk, K. Haselsberger // *Acta Neurochirurgica*. – 1992. – Vol. 116, № 2–4. – P. 128–136. DOI: 10.1007/BF01540865. PMID: 1502946.

191. Potential of performing a microvascular free flap reconstruction using solely a 3D exoscope instead of a conventional microscope. /A. A. Piatkowski, X. H. A. Keuter, R. M. Schols [et al.] // *J Plast Reconstr Aesthetic Surg*. - 2018. - Vol. 71, № 11. – P.1664-1678. DOI:10.1016/j.bjps.2018.07.032

192. Practice parameter: temporal lobe and localized neocortical resections for epilepsy: report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology, in association with the American Epilepsy Society and the American Association of Neurological Surgeons / J. Jr. Engel, S. Wiebe, J. French [et al.] // *Neurology*. – 2003. – Vol. 60, № 4. – P. 538–547. DOI: 10.1212/01.wnl.0000055086.35806.2d.

193. Prenatal diagnosis and postnatal management of congenital unilateral hydrocephalus for stenosis of the foramen of Monro / P. Spennato, G. Saccone, A. Fratta [et al.] // *Radiology Case Reports*. – 2021. – Vol. 16, № 9. – P. 2530–2533. DOI: 10.1016/j.radcr.2021.06.011. PMID: 34257792.

194. Prognostic Impact and Post-operative Evaluation of Volumetric Measurement of the Cerebellopontine Cistern in Trigeminal Neuralgia Using 3 Tesla Magnetic Resonance Imaging / Y. Obata, Y. Kawano, Y. Tanaka, T. Maehara // *Neurologia medico-chirurgica*. – 2018. – Vol. 58, № 2. – P. 71–78.

195. Purely endoscopic biportal and monoportal removal of the choroid plexus papilloma of the third ventricle with bilateral spread to the lateral ventricles / A.A. Sufianov, I.A. Gaysin, Iu.A. Iakimov, R.A. Sufianov // *Neurosurg Focus Video*. – 2023. Vol. 8. - № 2. – P. 7.

196. Purely endoscopic resection of colloid cysts / J. D. Greenlee, C. Teo, A. Ghahreman, B. Kwok // *Neurosurgery*. – 2008. – Vol. 62, № 3, Suppl. 1. – P. 51–55. DOI: 10.1227/01.neu.0000317373.00018.6f. PMID: 18424967.

197. Purely neuroendoscopic management of choroid plexus tumors in children / R. A. Sufianov, A. A. Sufianov, P. Spennato [et al.] // *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. – 2025. - Vol. 35. - № 5. – P. 467-479.

198. Quantitative analysis of exposure and surgical maneuverability of three purely endoscopic keyhole approaches to the floor of the third ventricle / C. Zhang, Z. Yan, X. Wang [et al.] // *Journal of Neurosurgical Sciences*. – 2024. – Vol. 68, № 3. – P. 327–337.

199. Quantitative analysis of the working area and angle of attack for the retrosigmoid, combined petrosal, and transcochlear approaches to the petroclival region / R. Siwanuwatn, P. Deshmukh, E. G. Figueiredo [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. – 2006. – Vol. 104, № 1. – P. 137–142.

200. Radiological and anatomical evaluation of the internal venous system in the context of access to the third ventricle – proposal of a new classification / K. Zaczkowski, P. Łabętowicz, M. Podstawka [et al.] // *Acta Neurochirurgica*. – 2025. – Vol. 167, № 1. – P. 23. DOI: 10.1007/s00701–025–06431–9. PMID: 39853456.

201. Reconsideration of the resection strategy of eloquent brain metastasis in the era of postoperative stereotactic radiotherapy: a comparative analysis with non–eloquent metastasis / L. Häni, D. Nasiri, A. Gächter [et al.] // *Journal of Neuro–Oncology*. – 2025. – Vol. 174, № 2. – P. 439–448. DOI: 10.1007/s11060–025–05075–0. PMID: 40408062.

202. Reliable navigation registration in cranial and spine surgery based on intraoperative computed tomography / B. Carl, M. Bopp, B. Saß [et al.] // *Neurosurgical Focus*. – 2019. – Vol. 47, № 6. – P. E11. DOI: 10.3171/2019.8.FOCUS19621.

203. Rengachary, S. Principles of neurosurgery / S. Rengachary, R. Ellenbogen 2nd ed. – St. Louis : Mosby, 2004. – 880 p.

204. Repeat microvascular decompression for recurrent idiopathic trigeminal neuralgia: Clinical article / N. A. Bakker, J. M. Dijk, S. Immenga [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. – 2014. – Vol. 121, № 4. – P. 936–939.

205. Resection of intra- and paraventricular malignant brain tumors using fluorescein sodium–guided neuroendoscopic transtubar approach / M. Kutlay, M. O. Durmaz, A. Kırık [et al.] // *Clinical Neurology and Neurosurgery*. – 2021. – Vol. 207. – P. 106812. DOI: 10.1016/j.clineuro.2021.106812. PMID: 34280673.

206. Rhoton, A. L. Jr. *Cranial anatomy and surgical approaches* / A. L. Rhoton Jr. - Illinois : Lippincott Williams & Wilkins, 2007. – 746 p.

207. Rhoton, A. L. Jr. *Microsurgical anatomy of the third ventricular region* / A. L. Jr. Rhoton // *Surgery of the Third Ventricle* / ed. M. L. J. Apuzzo. – Baltimore : Williams & Wilkins, 1998. – P. 89–158.

208. Rhoton, A. L. Jr. *The cerebrum. Anatomy* / A. L. Jr. Rhoton // *Neurosurgery*. – 2007. – Vol. 61, № 1, Suppl. – P. 37–118. DOI: 10.1227/01.NEU.0000255490.88321.CE. PMID: 18813175.

209. Rhoton, A. L. Jr. *The lateral and third ventricles* / A. L. Jr. Rhoton // *Neurosurgery*. – 2002. – Vol. 51, № 4, Suppl. – P. S207–271. PMID: 12234450.

210. Ronneberger, O. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation / O. Ronneberger, P. Fischer, T. Brox // *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 9351 / eds. N. Navab, J. Hornegger, W. Wells, A. Frangi. – Cham : Springer, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-24574-4_28.

211. Ryvlin, P. *Epilepsy surgery in children and adults* / P. Ryvlin, J. H. Cross, S. Rheims // *Lancet Neurology*. – 2014. – Vol. 13, № 11. – P. 1114–1126. DOI: 10.1016/S1474-4422(14)70156-5.

212. *Sagittal Angle of the Trigeminal Nerve at the Porus Trigemini: A Novel Measurement to Distinguish Different Causes of Classic Trigeminal Neuralgia* / B. F. Branstetter, N. Reddy, K. Patel, R. Sekula // *American Journal of Neuroradiology*. – 2022. – Vol. 43, № 10. – P. 1460–1463.

213. Sander, Connolly, Jr.E. *Fundamentals of operative techniques in neurosurgery* / Jr.E. Sander Connolly. – Thieme, New York, Stuttgart. – 2010. – 883 p.

214. Sankhla, S. K. *Endoneurosurgical Resection of Parenchymal and Intraventricular Lesions Using Tubular Retraction System* / S. K. Sankhla, A. Warade, G.

M. Khan // *Advances and Technical Standards in Neurosurgery*. – 2024. – Vol. 53. – P. 79–92.

215. Sarubbo, S. Tractography in brain tumor surgery: current clinical impact and future challenges / S. Sarubbo, F. Vergani, J. Y. Yang // *Brain Structure and Function*. – 2025. – Vol. 230, № 6. – P. 93.

216. Schmidek, H.H. *Schmidek & Sweet Operative neurosurgical techniques. Indications, methods and results*/H.H. Schmidek, D.W. Roberts. –Phil.: Saunders. –2005. –2880 p.

217. Schroeder, H. W. Endoscope–assisted microsurgery of epidermoid tumors of the cerebellopontine angle / H. W. Schroeder, J. Oertel, M. R. Gaab // *Journal of Neurosurgery*. – 2004. – Vol. 101, № 2. – P. 227–232. DOI: 10.3171/jns.2004.101.2.0227.

218. Schroeder, H. W. General principles and intraventricular neuroendoscopy: endoscopic techniques / H. W. Schroeder // *World Neurosurgery*. – 2013. – Vol. 79, № 2, Suppl. – P. S14.e23–28. DOI: 10.1016/j.wneu.2012.02.031. PMID: 22381832.

219. Schroeder, H. W. Intraventricular tumors / H. W. Schroeder // *World Neurosurgery*. – 2013. – Vol. 79, № 2, Suppl. – P. S17.e15–19. DOI: 10.1016/j.wneu.2012.02.023. PMID: 22381840.

220. Sex–dependent posterior fossa anatomical differences in trigeminal neuralgia patients with and without neurovascular compression: a volumetric MRI age– and sex–matched case–control study / F. A. Hardaway, K. Holste, G. Ozturk [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. – 2020. – Vol. 132, № 2. – P. 631–638.

221. Shunt dependency in supratentorial intraventricular tumors depends on the extent of tumor resection / N. Teske, M. Chiquillo–Domínguez, B. Skrap [et al.] // *Acta Neurochirurgica*. – 2023. – Vol. 165, № 4. – P. 1053–1064.

222. Significance of neurovascular contact in classical trigeminal neuralgia / S. Maarbjerg, F. Wolfram, A. Gozalov [et al.] // *Brain*. – 2015. – Vol. 138, № 2. – P. 311–319.

223. Simulation–based Education for Endoscopic Third Ventriculostomy: A Comparison Between Virtual and Physical Training Models / G. E. Breimer, F. A. Haji,

V. Bodani [et al.] // *Operative Neurosurgery*. – 2017. – Vol. 13, № 1. – P. 89–95. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001317. PMID: 28931258.

224. Solari, D. Surgical approach to pituitary tumors / D. Solari, L. M. Cavallo, P. Cappabianca // *Handbook of Clinical Neurology*. — 2014. — Vol. 124. — P. 291–301. — DOI: 10.1016/B978-0-444-59602-4.00019-8. — PMID: 25248594.

225. Souweidane, M. M. Endoscopic resection of solid intraventricular brain tumors / M. M. Souweidane, N. Luther // *Journal of Neurosurgery*. – 2006. – Vol. 105, № 2. – P. 271–278. DOI: 10.3171/jns.2006.105.2.271. PMID: 17219833.

226. Spetzler, R. F. The quiet revolution: retractorless surgery for complex vascular and skull base lesions / R. F. Spetzler, N. Sanai // *Journal of Neurosurgery*. – 2012. – Vol. 116, № 2. – P. 291–300. DOI: 10.3171/2011.8.JNS101896.

227. Stereotactically guided endoscopic port surgery for intraventricular tumor and colloid cyst resection / J. A. Engh, L. D. Lunsford, D. V. Amin [et al.] // *Neurosurgery*. – 2010. – Vol. 67, № 3, Suppl. Operative. – P. 198–204. DOI: 10.1227/01.NEU.0000382974.81828.F9. PMID: 20679929.

228. Stereotactically Guided Microsurgical Approach for Deep-Seated Eloquenty Located Lesions / J. Thorsteinsdottir, S. Siller, B. N. Harapan [et al.] // *Journal of Clinical Medicine*. – 2025. – Vol. 14. – P. 4175.

229. Stereotaxic Apparatus for Operations on the Human Brain / E. A. Spiegel, H. T. Wycis, M. Marks, A. J. Lee // *Science*. – 1947. – Vol. 106, № 2754. – P. 349–350. DOI: 10.1126/science.106.2754.349.

230. Subchoroidal approach to the third ventricle. Microsurgical anatomy / M. Cossu, F. Lubinu, G. Orunesu [et al.] // *Surgical Neurology*. – 1984. – Vol. 21, № 4. – P. 325–331. DOI: 10.1016/0090-3019(84)90109-5. PMID: 6701763.

231. Surgical Approaches to the Thalamus in Relation to the White Matter Tracts of the Cerebrum / O. Baran, S. Baydin, A. Gungor [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2019. – Vol. 128. – P. e1048–e1086.

232. Surgical approaches to tumours of the lateral ventricles in the dominant hemisphere / A. Santoro, M. Salvati, A. Frati [et al.] // *Journal of Neurosurgical Sciences*. – 2002. – Vol. 46, № 2. – P. 60–65. PMID: 12232550.

233. Surgical interventions for fetal hydrocephalus: systematic review / C. Murray, K. Nicolaidis, C. Bleil [et al.] // *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. – 2025. – Vol. 66, № 4. – P. 413–421. DOI: 10.1002/uog.29310. PMID: 39275151.

234. Surgical Management of Deep-Seated Metastatic Brain Tumors Using Minimally Invasive Approaches / K. Gassie, K. Alvarado–Estrada, P. Bechtle, K. L. Chaichana // *Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery*. – 2019. – Vol. 80, № 3. – P. 198–204.

235. Temporal lobectomy: long–term seizure outcome, late recurrence and risks for seizure recurrence / A. M. McIntosh, R. M. Kalnins, L. A. Mitchell [et al.] // *Brain*. – 2004. – Vol. 127, Pt. 9. – P. 2018–2030. DOI: 10.1093/brain/awh221.

236. Thalamus Optimized Multi Atlas Segmentation (THOMAS): fast, fully automated segmentation of thalamic nuclei from structural MRI / J. H. Su, F. T. Thomas, W. S. Kasoff [et al.] // *NeuroImage*. – 2019. – Vol. 194. – P. 272–282. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.03.021.

237. The benefit of image guidance for the contralateral interhemispheric approach to the lateral ventricle / C. Fronda, D. Miller, C. Kappus [et al.] // *Clinical Neurology and Neurosurgery*. – 2008. – Vol. 110, № 6. – P. 580–586. DOI: 10.1016/j.clineuro.2008.02.024. PMID: 18423851.

238. The clinicopathologic spectrum of focal cortical dysplasias: a consensus classification proposed by an ad hoc Task Force of the ILAE Diagnostic Methods Commission / I. Blümcke, M. Thom, E. Aronica [et al.] // *Epilepsia*. – 2011. – Vol. 52, № 1. – P. 158–174. DOI: 10.1111/j.1528–1167.2010.02777.x.

239. The Conundrum of Mechanics Versus Genetics in Congenital Hydrocephalus and Its Implications for Fetal Therapy Approaches: A Scoping Review / A. Herzeg, B. Borges, L. N. Diafos [et al.] // *Prenatal Diagnosis*. – 2024. – Vol. 44, № 11. – P. 1354–1366. DOI: 10.1002/pd.6654.

240. The creation of a brain atlas for image guided neurosurgery using serial histological data / M. M. Chakravarty, G. Bertrand, C. P. Hodge [et al.] // *NeuroImage*. – 2006. – Vol. 30, № 2. – P. 359–376. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2005.09.041.

241. The Integration of 3D Virtual Reality and 3D Printing Technology as Innovative Approaches to Preoperative Planning in Neuro-Oncology / P. González-López, A. Kuptsov, C. Gómez-Revuelta [et al.] // *Journal of Personalized Medicine*. – 2024. – Vol. 14, № 2. – P. 187. DOI: 10.3390/jpm14020187.

242. The Internal Cerebral Vein: New Classification of Branching Patterns Based on CTA / K. Brzegowy, M. P. Zarzecki, A. Musiał [et al.] // *American Journal of Neuroradiology*. – 2019. – Vol. 40, № 10. – P. 1719–1724. DOI: 10.3174/ajnr. A6200. PMID: 31488502.

243. The long-term outcome of adult epilepsy surgery, patterns of seizure remission, and relapse: a cohort study / J. de Tisi, G. S. Bell, J. L. Peacock [et al.] // *Lancet*. – 2011. – Vol. 378, № 9800. – P. 1388–1395. DOI: 10.1016/S0140-6736(11)60890-8.

244. The posterior interhemispheric transparieto-occipital fissure approach to the atrium of the lateral ventricle: a fiber microdissection study with case series / A. Panteli, A. Güngör, Z. Fırat [et al.] // *Neurosurgical Review*. – 2022. – Vol. 45, № 2. – P. 1663–1674.

245. The Role of 3D Exoscope Systems in Neurosurgery: An Optical Innovation / B. Fiani, R. Jarrah, D. W. Griep, J. Adukuzhiyil // *Cureus*. – 2021. – Vol. 13, № 6. – P. e15878. DOI: 10.7759/cureus.15878. PMID: 34327102.

246. The Stereotactic Intracerebral Hemorrhage Underwater Blood Aspiration (SCUBA) technique for minimally invasive endoscopic intracerebral hemorrhage evacuation / C. P. Kellner, A. G. Chartrain, D. A. Nistal [et al.] // *Journal of Neurointerventional Surgery*. – 2018. – Vol. 10, № 8. – P. 771–776. DOI: 10.1136/neurintsurg-2017-013719. PMID: 29572265.

247. The Virtual Brain: a simulator of primate brain network dynamics / P. Sanz Leon, S. A. Knock, M. M. Woodman [et al.] // *Frontiers in Neuroinformatics*. – 2013. – Vol. 7. – P. 10. DOI: 10.3389/fninf.2013.00010. PMID: 23781198.

248. The Virtual Epileptic Patient: Individualized whole-brain models of epilepsy spread / V. K. Jirsa, T. Proix, D. Perdikis [et al.] // *NeuroImage*. – 2017. – Vol. 145, Pt. B. – P. 377–388. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2016.04.049. PMID: 27477535.

249. Three-dimensional 4K resolution video microscope in an orbitozygomatic approach for skull base tumor / K. Ujifuku, S. Baba, K. Yoshida [et al.] // *Interdisciplinary Neurosurgery*. – 2021. – Vol. 26. – P. 101315. DOI: 10.1016/j.inat.2021.101315.

250. Three-dimensional microsurgical and tractographic anatomy of the white matter of the human brain / J. C. Fernández-Miranda, A. L. Jr. Rhoton, J. Alvarez-Linera [et al.] // *Neurosurgery*. – 2008. – Vol. 62, № 6, Suppl. 3. – P. 989–1026. DOI: 10.1227/01.neu.0000333767.05328.49.

251. Timurkaynak, E. Microsurgical anatomy and operative approaches to the lateral ventricles / E. Timurkaynak, A. L. Jr. Rhoton, M. Barry // *Neurosurgery*. – 1986. – Vol. 19, № 5. – P. 685–723. DOI: 10.1227/00006123-198611000-00001. PMID: 3785618.

252. Topography and morphometry of the porus trigeminus / M. Ciołkowski, M. Sharifi, P. Krajewski, B. Ciszek // *Neurologia I Neurochirurgia Polska*. – 2006. – Vol. 40, № 3. – P. 173–178.

253. Toward defining deep brain stimulation targets in MNI space: A subcortical atlas based on multimodal MRI, histology and structural connectivity / S. Ewert, P. Plettig, N. Li [et al.] // *NeuroImage*. – 2018. – Vol. 170. – P. 271–282. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2017.05.015.

254. Tractography and the connectome in neurosurgical treatment of gliomas: the premise, the progress, and the potential / F. Henderson, K. G. Abdullah, R. Verma, S. Brem // *Neurosurgical Focus*. – 2020. – Vol. 48, № 2. – P. E6.

255. Transuterine Ultrasound-Guided Fetal Embolization of Vein of Galen Malformation, Eliminating Postnatal Pathophysiology / D. B. Orbach, L. E. Wilkins-Haug, C. B. Benson [et al.] // *Stroke*. – 2023. – Vol. 54, № 6. – P. e231–e232. DOI: 10.1161/STROKEAHA.123.043421. PMID: 37572297.

256. Trinh, V. T. Surgery for primary supratentorial brain tumors in the United States, 2000–2009: effect of provider and hospital caseload on complication rates / V. T. Trinh, J. M. Davies, M. S. Berger // *Journal of Neurosurgery*. – 2015. – Vol. 122, № 2. – P. 280–296. DOI: 10.3171/2014.9.JNS131648.

257. Tubbs, R. S. The foramen of Monro: a review of its anatomy, history, pathology, and surgery / R. S. Tubbs, P. Oakes, I. S. Maran [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2014. – Vol. 30, № 10. – P. 1645–1649. DOI: 10.1007/s00381-014-2512-6. PMID: 25079886.

258. Tumors of the lateral and third ventricle: surgical management and outcome analysis in 42 cases / S. M. Elwatidy, A. A. Albakr, A. A. Al Towim, S. H. Malik // *Neurosciences*. – 2017. – Vol. 22, № 4. – P. 274–281. DOI: 10.17712/nsj.2017.4.20170149. PMID: 29057852.

259. Tumours of the lateral ventricle. A retrospective review of 112 cases operated upon 1970–1997 / H. Z. Gökalp, N. Yüceer, E. Arasil [et al.] // *Neurosurgical Review*. – 1998. – Vol. 21, № 2–3. – P. 126–137. DOI: 10.1007/BF02389318. PMID: 9795947.

260. Türe, U. The transcallosal–transforaminal approach to the third ventricle with regard to the venous variations in this region / U. Türe, M. G. Yaşargil, O. Al–Mefty // *Journal of Neurosurgery*. – 1997. – Vol. 87, № 5. – P. 706–715. DOI: 10.3171/jns.1997.87.5.0706. PMID: 9347979.

261. Use of a minimally invasive tubular retraction system for deep–seated tumors in pediatric patients / P. F. Recinos, S. M. Raza, G. I. Jallo, V. R. Recinos // *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. – 2011. – Vol. 7, № 5. – P. 516–521. DOI: 10.3171/2011.2.PEDS10515. PMID: 21529192.

262. Use of Tubular Retractor for Resection of Deep–Seated Cerebral Tumors and Colloid Cysts: Single Surgeon Experience and Review of the Literature / D. G. Eichberg, S. Buttrick, G. D. Brusko [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2018. – Vol. 112. – P. e50–e60. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.12.023. PMID: 29253697.

263. Use of Vycor Tubular Retractors in the Management of Deep Brain Lesions: A Review of Current Studies / S. Z. Shapiro, K. A. Sabacinski, S. A. Mansour [et al.] // *World Neurosurgery*. – 2020. – Vol. 133. – P. 283–290. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.08.217. PMID: 31505282.

264. Usefulness of endoscope-assisted surgery under exoscopic view in skull base surgery: A technical note / S. Yano, F. Hiraoka, H. Morita [et al.] // *Surgical Neurology*

International. – 2022. – Vol. 13. – P. 30. DOI: 10.25259/SNI_965_2021. PMID: 35242396.

265. Usefulness of intraoperative ultrasound for cortical dysplasia type I treatment - a single-center experience / A. A. Sufianov, K. Simfukwe, Iu. A. Iakimov [et al.] // *Surgical Neurology International*. - 2023. - Vol. 14. - P. 62.

266. Usefulness of three-dimensional navigable intraoperative ultrasound in resection of brain tumors with a special emphasis on malignant gliomas / A. V. Moiyadi, P. M. Shetty, A. Mahajan [et al.] // *Acta Neurochirurgica*. – 2013. – Vol. 155, № 12. – P. 2217–2225. DOI: 10.1007/s00701-013-1881-z.

267. Utility of tubular retractors to minimize surgical brain injury in the removal of deep intraparenchymal lesions: a quantitative analysis of FLAIR hyperintensity and apparent diffusion coefficient maps / E. D. Bander, S. H. Jones, I. Kovanlikaya, T. H. Schwartz // *Journal of Neurosurgery*. – 2016. – Vol. 124, № 4. – P. 1053–1060. DOI: 10.3171/2015.4.JNS142576.

268. Validation of specially designed and artificial intelligence-based 3D head model for training of gasserian ganglion puncture / R. A. Sufianov, N. A. Garifullina, A. N. Zyryanov [et al.] // *Sechenov Medical Journal*. - 2025. - Vol. 16. - № 3. - P. 17-30.

269. Visual field defects after temporal lobe resection: a prospective quantitative analysis / T. S. Hughes, B. Abou-Khalil, P. J. Lavin [et al.] // *Neurology*. – 1999. – Vol. 53, № 1. – P. 167–172. DOI: 10.1212/wnl.53.1.167. PMID: 10408554.

270. Visual field deficits after epilepsy surgery: a new quantitative scoring method / R. H. G. J. van Lanen, M. C. Hoeberigs, N. J. C. Bauer [et al.] // *Acta Neurochirurgica*. – 2018. – Vol. 160, № 7. – P. 1325–1336. DOI: 10.1007/s00701-018-3525-9. PMID: 29572432.

271. VITOM 3D: Preliminary Experience in Cranial Surgery / Z. Rossini, A. Cardia, D. Milani [et al.] // *World Neurosurg*.-2017.-Vol.107.-P.663–668. DOI:10.1016/j.wneu.2017.08.083

272. VITOM® 3D system in surgeon microsurgical vascular training: our model and experience. / V. D. Palumbo, S. Fazzotta, G. Damiano [et al.] // *J Vasc Access*. – 2018. – Vol. 19, № 1- P. 108–109. DOI:10.5301/jva.5000825

273. Wen, H. T. Transchoroidal approach to the third ventricle: an anatomic study of the choroidal fissure and its clinical application / H. T. Wen, A. L. Jr. Rhoton, E. de Oliveira // *Neurosurgery*. – 1998. – Vol. 42, № 6. – P. 1205–1217. DOI: 10.1097/00006123-199806000-00001. PMID: 9632178.

274. Working area and angle of attack in three cranial base approaches: pterional, orbitozygomatic, and maxillary extension of the orbitozygomatic approach / L. F. Gonzalez, N. R. Crawford, M. A. Horgan [et al.] // *Neurosurgery*. — 2002. — Vol. 50, № 3. — P. 550–557. PMID: 11841723.

275. Yamamoto, I. Microsurgery of the third ventricle: Part I. Microsurgical anatomy / I. Yamamoto, A. L. Jr. Rhoton, D. A. Peace // *Neurosurgery*. – 1981. – Vol. 8, № 3. – P. 334–356. DOI: 10.1227/00006123-198103000-00006. PMID: 7242883.

276. Yamashiro, K. J. Fetal myelomeningocele repair: a narrative review of the history, current controversies and future directions / K. J. Yamashiro, D. L. Farmer // *Translational Pediatrics*. – 2021. – Vol. 10, № 5. – P. 1497–1505. DOI: 10.21037/tp-20-87. PMID: 34046415.

277. Yaşargil, M. G. Intracranial microsurgery / M. G. Yaşargil // *Clinical Neurosurgery*. – 1970. – Vol. 17. – P. 250–256.

278. Yaşargil, M. G. *Microneurosurgery*. Vol. 1. – Stuttgart : Thieme, 1984. – 371 p.

279. Yaşargil, M. G. Surgery of intraventricular tumors / M. G. Yaşargil, S. I. Abdulrauf // *Neurosurgery*. – 2008. – Vol. 62, № 6, Suppl. 3. – P. 1029–1040. DOI: 10.1227/01.neu.0000333768.12951.9a. PMID: 18695523.

280. Yaşargil, M. G. Surgical approaches to "inaccessible" brain tumors / M. G. Yaşargil, G. F. Cravens, P. Roth // *Clinical Neurosurgery*. – 1988. – Vol. 34. – P. 42–110.

281. Zakrzewska, J. M. Trigeminal neuralgia / J. M. Zakrzewska, M. E. Linskey // *BMJ*. – 2014. – Vol. 348. – P. g474. DOI: 10.1136/bmj.g474.

282. Zamłyński, M. Isolated Fetal Ventriculomegaly: Diagnosis and Treatment in the Prenatal Period / M. Zamłyński, O. Zhemela, A. Olejek // *Children*. – 2024. – Vol. 11, № 8. – P. 957. DOI: 10.3390/children11080957.

283. Zuev, S. E. Skull base meningiomas: development of treatment methods. / S. E. Zuev, A. S. Tokarev // Neyrokhirurgiya (Russian Journal of Neurosurgery) – 2021; vol. 23, № 3/ - P. 93–103. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2021-23-3-93-103.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – ЦИФРОВАЯ ШКАЛА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

Таблица А.1 – Факторы риска

| Категория | Подкатегория (*ее особенности) | Значение фактора риска, баллы | Фактор, снижающий риск | Снижение фактора риска, % доля в | Итоговое значение риска |
|--|--|--|--|---|-------------------------------|
| Глубина доступа (уд. вес 20) | К поверхностным структурам (кортекс) | 5 | Интраоперационный нейромониторинг | 7 | |
| | *Прецентральная извилины | 5 | Предоперационная трактография/перфузия | 7 | |
| | | | Высококачественная 3D/4К- микровизуализация (микроскоп, экзоскоп) | 20 | |
| | К глубинным структурам | 10 | Предоперационное цифровое моделирование и сегментация (цифровой двойник пациента) | 5 | |
| | | | Предоперационное 3D- моделирование (3D- двойник пациента) | 5 | |
| | | | Стереотаксис | 20 | |
| | | | Эндоскопия 3D/4К | 15 | |
| Нахождение в зоне доступа/ операции сосудистых структур (уд. вес 25) | Артериальные (внутренняя сонная, базилярная, передняя, средняя, задняя мозговые, позвоночная) | 15 | Предоперационное цифровое моделирование/ сегментация (цифровой двойник пациента) | 5 | |
| | | | Предоперационное 3D- моделирование (3D- двойник пациента) | 5 | |
| | | | Контроль сонной артерии на шее (турникет, временный клипс) | 30 | |
| | | | Интраоперационный КТ/МРТ-контроль | 15 | |
| | | | КТ/МРТ-контроль в первые 12 ч. после операции | 10 | |
| | | | | | |

Продолжение таблицы А.1

| | | | | | |
|--|--|----|--|----|--|
| | Венозные (внутренняя яремная; синусы (сигмовидный, кавернозный, продольный; вена Галена) | 10 | Высокоэнергетический лазер | 10 | |
| | | | Контактные гемостатики (клей, пластины) | 20 | |
| | | | Высокопроизводительный аспиратор-ирригатор | 10 | |
| | | | Интраоперационный КТ-контроль | 15 | |
| | | | КТ-контроль в первые 12 ч. после операции | 10 | |
| Нахождение в зоне доступа черепно-мозговых нервов (уд. вес 15) | II пара – зрительный нерв | 4 | Интраоперационный нейромониторинг | 20 | |
| | V пара – тройничный нерв | 1 | Высококачественная 3D/4К-микровизуализация (микроскоп, экзоскоп, эндоскоп) | 20 | |
| | VII пара – лицевой нерв | 1 | | | |
| | IX пара – языкоглоточный нерв | 1 | | | |
| | X пара – блуждающий нерв | 1 | | | |
| | I пара – обонятельный нерв | 1 | Непрерывный визуальный контроль (бесшовный стрим) | 10 | |
| | III пара – глазодвигательный нерв | 1 | | | |
| | IV пара – блоковый нерв | 1 | | | |
| | VI пара – отводящий нерв | 1 | Ультразвуковой деструктор кости | 20 | |
| | VIII пара – преддверно-улитковый нерв | 1 | | | |
| | XI пара – добавочный нерв | 1 | Стереотаксис | 20 | |
| | XII пара – подъязычный нерв | 1 | | | |
| Близость витальных зон (уд. вес 30) | Внутренняя капсула мозга, витальные центры | 30 | Интраоперационный нейромониторинг | 10 | |
| | | | Высококачественная 3D/4К-микровизуализация | 20 | |

Продолжение таблицы А.1

| | | | | | | |
|--|------------------------------------|---|--|--|----|--|
| Риски ранних послеоперационных осложнений (уд. вес 10) | Ликворея | 4 | Обязательная тщательная пластика твердой мозговой оболочки | 50 | | |
| | | | Использование герметизирующих клеев и пластин | 30 | | |
| | Внутренние кровотечения и гематомы | 4 | | Высокоэнергетический лазер | 10 | |
| | | | | Интраоперационно-контактные гемостатики (клей, пластины) | 20 | |
| | | | | Контрольная пауза перед закрытием раны | 10 | |
| | | | | Интраоперационный КТ/МРТ-контроль | 15 | |
| | | | | КТ/МРТ-контроль в первые 12 ч. после операции | 15 | |
| | Нагноения и менингиты | 2 | | Использование <i>сверхчистых</i> операционных | 30 | |
| | ИТОГО: СУММА 1–5 | | | ИТОГО: СУММА 1–5 С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ, СНИЖАЮЩИХ РИСК | | |

Таблица А.2 – Шкала влияния специализированного опыта нейрохирурга на риск операции

| Число именно таких операций, выполненных нейрохирургом | Коэффициент изменения фактора риска |
|--|-------------------------------------|
| 1-я операция | 1,20 |
| 2–10 | 1,05 |
| 11–100 | 1,00 |
| 101–200 | 0,9 |
| > 200 | 0,8 |