

## СОВРЕМЕННАЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННАЯ НЕЙРОАССИСТЕНЦИЯ В ХИРУРГИИ ДИФFUЗНЫХ ГЛИОМ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННОСТИ

Талыбов Рустам Сабирович<sup>1</sup>✉, Мочалов Вадим Васильевич<sup>1</sup>, Акулов Михаил Михайлович<sup>1</sup>, Клещевникова Татьяна Михайловна<sup>1</sup>, Логинова Наталья Валериевна<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Областная клиническая больница № 2, Тюмень, Россия

<sup>2</sup> Департамент здравоохранения Тюменской области, Тюмень, Россия

✉ talibov\_rs@okb2-tmn.ru

**Аннотация.** Глиомы высокой степени злокачественности представляют собой наиболее распространённые первичные опухоли центральной нервной системы, сопровождающиеся агрессивным течением, неблагоприятным прогнозом и исходом. На долю высокозлокачественных глиом приходится до 60% всех случаев, что подчёркивает их значимость в нейроонкологическом профиле. Хирургическое удаление остаётся главным и эффективным методом лечения, позволяющим улучшить качество жизни пациентам и продлить им жизнь. Имеются сложности в достижении максимального объёма циторедукции, связанные с диффузным характером роста опухоли и отсутствием чётких границ между опухолевыми и здоровыми тканями. С целью предупреждения ограничений в нейрохирургии широко используются интраоперационные методики нейронавигации, такие как флуоресцентная навигация, интраоперационные ультразвуковые, компьютерно-томографические и магнитно-резонансные методики и нейрофизиологический мониторинг. Перечисленные подходы позволяют с высокой точностью идентифицировать границы опухоли, минимизировать резидуальный объём и снизить риск повреждения элoквентных зон мозга. В представленном обзоре мы предприняли попытку систематизировать современные методики интраоперационной нейроассистенции, их технические особенности, значимость, преимущества и ограничения.

**Ключевые слова:** высокозлокачественные глиомы, границы опухоли, интраоперационная нейроассистенция

**Для цитирования:** Современная интраоперационная нейроассистенция в хирургии диффузных глиом высокой степени злокачественности / Р. С. Талыбов, В. В. Мочалов, М. М. Акулов, Т. М. Клещевникова, Н. В. Логинова // Национальный вестник медицинских ассоциаций. 2025. Т. 2, № 1. С. 65-75.

### ВВЕДЕНИЕ

Глиомы являются наиболее распространёнными первичными опухолями головного мозга, из которых злокачественные встречаются примерно в 60% [1]. Согласно мировым эпидемиологическим данным, их частота составляет около 5 пациентов в год на 100 000 тысяч человек [1]. Согласно пятому пересмотру классификации Всемирной Организации Здравоохранения от 2021 года, все глиобластомы относятся к опухолям «дикого типа», а ранее называемые вторичные глиобластомы «мутантного типа» классифицируются как диффузные астроцитомы 4 степени злокачественности [2]. Частота встречаемости глиобластом колеблется в пределах 95%, такие глиомы имеют наихудший прогноз с медианой выживаемости 8 месяцев, несмотря на выполняемый «Stupp-протокол» химио- и лучевой терапии [3]. Эффективность хирургического лечения зависит от резидуального объёма опухолевой ткани. На сегодняшний день выделяют 6 категорий хирургической резекции: биопсия, парциальная, субтотальная, околототальная, тотальная и сверхмаксимальная резекции [4] (рисунок 1).

### РЕЗУЛЬТАТЫ

**Сверхмаксимальная резекция** представляет из себя полное удаление контрастнакапливающего компонента

опухоли с захватом ткани, демонстрирующей гиперинтенсивный сигнал в T2-FLAIR на МРТ [5, 6]. Эффективность методики оценена анализом 876 пациентов и, по мнению авторов, предполагает наибольшую прогностическую значимость [7].

**Тотальная резекция** подразумевает резекцию 100% контрастпозитивной порции глиобластомы. Публикации продемонстрировали, что пациенты с полной резекцией контрастнакапливающей части имели наиболее благоприятный исход, по сравнению с пациентами, у которых резекция была выполнена в пределах 98% [8].

**Околототальная резекция** предполагает резекцию контрастнакапливающей части опухоли в пределах  $\geq 95\%$  с остаточным объёмом опухоли не более 1 см<sup>3</sup>.

**Субтотальная резекция** отражает резекцию контрастируемой части опухоли в пределах  $\geq 80\%$ , с остаточным объёмом опухоли не более 5 см<sup>3</sup>.

**Частичная резекция** предполагает резекцию контрастпозитивной части опухоли в пределах 79% с остаточным объёмом опухоли более 5 см<sup>3</sup>. Частичная резекция направлена, как правило, на устранение масс-эффекта опухоли и компенсацию клинического состояния пациента.

**Биопсия** опухоли целесообразна для гистологической верификации тканевых характеристик.

## MODERN INTRAOPERATIVE TECHNIQUES OF HIGH-GRADE GLIOMA SURGERY

Talybov Rustam S.<sup>1</sup>, Mochalov Vadim V.<sup>1</sup>, Akulov Mikhail M.<sup>1</sup>, Kleschevnikova Tatyana M.<sup>1</sup>, Loginova Natalya V.<sup>2</sup><sup>1</sup> Regional clinical hospital № 2, Tyumen, Russia<sup>2</sup> Department of Health of the Tyumen Region, Tyumen, Russia

✉ talibov\_rs@okb2-tmn.ru

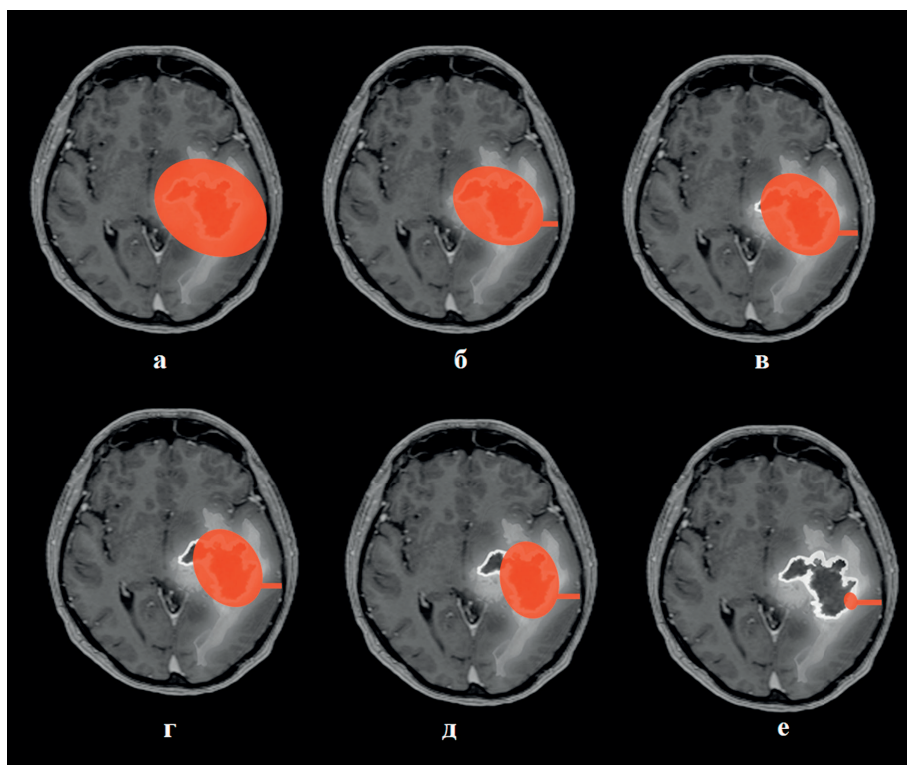
**Abstract.** Diffuse gliomas are the most common primary tumors of the central nervous system, accompanied by an aggressive clinical course, unfavorable prognosis and high mortality. High-grade gliomas account for 60% of all cases, which emphasizes their importance in oncological neurosurgery. Surgical resection remains the only effective treatment method that can prolong patients' lives and improve their quality of life. However, achieving the maximum resection volume is complicated by factors such as the infiltrative nature of tumor growth, the lack of clear demarcation between pathological and healthy tissues, and a high degree of heterogeneity of the tumor structure. Even with the use of modern diagnostic methods, including ultra-high-field magnetic resonance imaging, significant difficulties remain in accurately determining the resection boundaries. To overcome these limitations, intraoperative navigation technologies such as fluorescence imaging, intraoperative CT and MRI, neurophysiological monitoring and ultrasound techniques are used in neurosurgical practice. These approaches allow more accurate determination of tumor boundaries, reduction of the risk of damage to functionally significant areas of the brain and minimization of residual tumor volume. This review presents and systematizes modern intraoperative neuronavigation technologies, their technical features, clinical significance, as well as key advantages and limitations. Particular attention is paid to the comparative analysis of modalities aimed at improving surgical outcomes and meeting the requirements of modern neurosurgery.

**Keywords:** diffuse gliomas, high-grade gliomas, degree of resection, intraoperative neuronavigation, surgical treatment of brain tumors

По данным авторов Brown et al., сверхмаксимальная и тотальная резекции увеличивают вероятность 1-летней выживаемости примерно на 61%, а вероятность 2-летней выживаемости примерно на 19%.

Для увеличения продолжительности жизни, повышения эффективности химио- и лучевой терапии у пациентов необходима максимальная циторедукция опухолевой ткани [9-11]. Совокупность данных суждений подчёркивает

важность методик интраоперационной диагностики в определении границ опухоли, а также поиска наиболее надёжных прогностических биомаркеров и их визуализации. Ранее доступ к опухоли предполагался на основе точек путём вычисления глубины залегания опухоли, её расположения от срединной линии или физиологических костных выступов и других ориентиров на томограммах [12]. Предрасположенность к ошибкам переноса измерений со снимков на голову пациента, плохая визуализация опухолевой ткани создавали условия для накопления погрешностей. Искажённая пространственная ориентация в раневом канале препятствовала радикальности хирургического лечения. Стремление к увеличению эффективности нейрохирургии, а также эволюция микрохирургического инструментария привели к появлению интраоперационных навигационных технологий [13], представленных нами ниже.



**Рисунок 1** – Иллюстрация 6 категорий степени резекции в зависимости от объёма оперативного вмешательства. Каждое изображения представляет комбинацию данных постконтрастных T1 ВИ и T2-FLAIR ВИ пациента с глиобластомой в левой височно-островковой области. Оранжевым цветом обозначен объём резекции. (а - сверхмаксимальная резекция, б – тотальная резекция, в – околототальная резекция, г – субтотальная резекция, д – частичная резекция, е – биопсия)

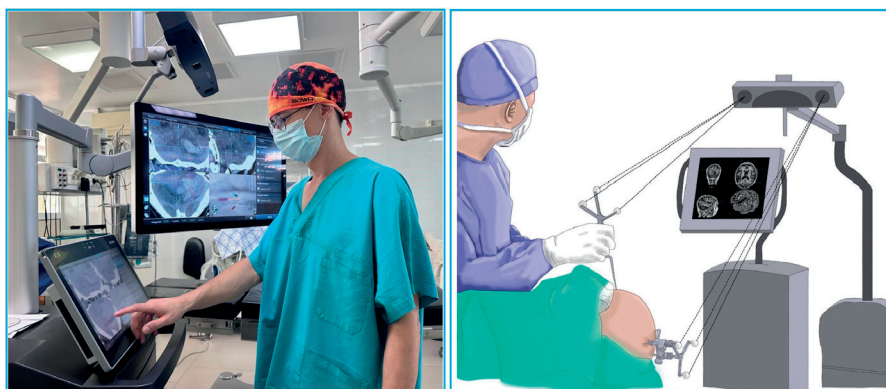
**Рамная и безрамная стереотаксическая навигация.**

Фундамент для интраоперационных нейронавигационных систем заложила рамная стереотаксическая навигация. Первый прообраз стереотаксического аппарата – энцефалометр – был создан в 1889 г. профессором Московского университета Д. Н. Зерновым. Аппарат представлял из себя раму, фиксировавшуюся на голову пациента, и предназначался для анатомических исследований, нейрохирургических операций по заранее определённым координатам на головном мозге человека [14]. На сегодняшний день рамная система используется для классической стереотаксической нейрохирургии, требующей жёсткой привязки головы к ординатам направляющей рамы: биопсия, установка внутримозговых электродов для инвазивной электроэнцефалографии, нейрохирургии тремора при Паркинсонизме (рисунок 2)

Первая безрамная система стереотаксической навигации анонсирована в 1992 г. под коммерческим названием ISG Viewing Wand. В основе системы лежало использование специальных светодиодов, установленных на держателе вблизи головы пациента. Испускаемый свет регистрировался принимающей камерой с отслеживанием координат и интеграцией последних в навигационную систему. Полученные координаты отображались на специализированном дисплее (Рисунок 3). Безрамные системы более удобны в использовании: они не ограничены размерами рамы, обладают большим пространственным разрешением, сохраняют навигацию при смене угла наклона стола или изменении положения головы пациента.



**Рисунок 2** – Планирование стереотаксической биопсии при помощи навигационной рамы



**Рисунок 3** – Планирование операционного приёма при помощи безрамной нейронавигационной станции

Обе системы способны отслеживать движения инструмента в руках нейрохирурга и в реальном времени представлять ему сведения о местоположении.

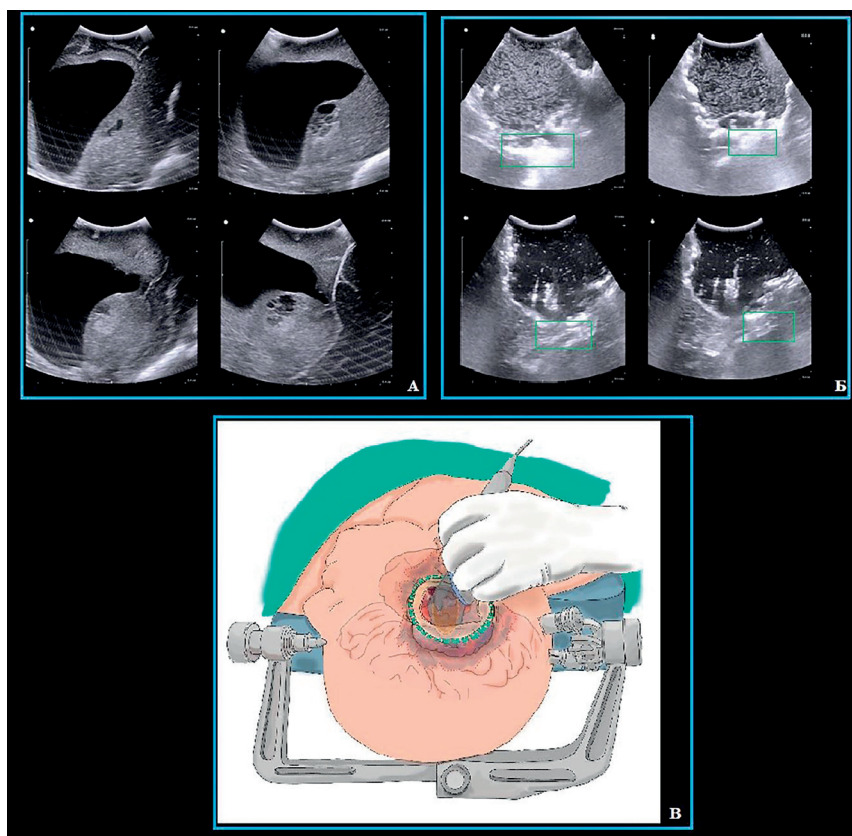
Главным ограничением является расхождение координат после вскрытия твердой мозговой оболочки (ТМО) в результате «феномена смещения мозга» [15]. Поэтому методика используется в минимально инвазивных операциях: биопсия, стереотаксические манипуляции.

**Интраоперационное ультразвуковое исследование (иУЗИ).**

Первым учёным, решившим использовать ультразвуковые волны для исследования размеров желудочков головного мозга, стал австриец Karl Theodore Dussik [16]. Измерения выполнялись по двумерному представлению ослабления интенсивности ультразвуковых волн в тканях и жидкостях человека. Методика получила название «гиперфонография» [16]. Первые сообщения об интраоперационном использовании ультразвукового сканера в нейрохирургии относятся к началу 60-х годов [17, 18], но метод не получил широкого распространения из-за неудовлетворительного качества получаемых изображений.

В результате технических усовершенствований ультразвуковых аппаратов и датчиков, интеграции специализированных сосудистых режимов, а также появления контрастных агентов [16, 19, 20] иУЗИ стало наиболее универсальным и малоинвазивным инструментом визуализации в нейрохирургии. Появление возможности оценки васкуляризации ткани позволило облегчить определение границ злокачественных внутримозговых опухолей [21] (рисунок 4).

Главным преимуществом иУЗИ является её универсальность. Однако стоит отметить и ограничения. Несмотря на высокое разрешение изображений, обеспечиваемое современными высокочастотными датчиками, проникающая способность звуковых волн остаётся недостаточной [22]. При резекции островковых глиом глубоко расположенные лентикюлостриарные артерии не могут быть идентифицированы с помощью доплеровской визуализации, что создаёт определённые трудности. Важнейшим недостатком метода являются акустические артефакты [24], в частности, артефакты акустического усиления. Искажения возникают в результате большой разницы между низким затуханием акустических волн в солевом растворе и высоким затуханием волн в ткани [24]. Артефакты появляются на дне полости резекции сразу после частичного уменьшения объёма опухоли и препятствуют обнару-



**Рисунок 4** – Иллюстрация интраоперационной ультразвуковой визуализации глиобластомы после краниотомии до резекции опухоли (А) и после её резекции (Б), по периферии ложа резекции отмечаются характерные акустические артефакты (зелёные прямоугольники). Схематическая иллюстрация методики интраоперационной ультразвуковой визуализации, красным пунктиром обозначены истинные границы опухоли, жёлтым пунктиром показана видимая с помощью датчика часть глиомы

жению её остаточной части. Существуют сложности, связанные с интерпретацией двумерных (2D) изображений и позиционированием пациента. 2D изображение при УЗИ навигации зависит от ориентации ультразвукового датчика. Получение корректных УЗ-сканов в двух точных ортогональных плоскостях может быть затруднено, особенно при небольших трепанациях черепа. Нейрохирурги часто сталкиваются с проблемами при интерпретации косых сканов [25]. На сегодняшний день в ультразвукографии широко используются контрастные препараты [26], однако нет коммерчески доступной навигационной 3D-системы, сочетающейся с применением контрастных препаратов (contrast enhanced ultrasound – CEUS). Все УЗИ устройства, обеспечивающие сопряжение с CEUS во время операций на головном мозге, являются исключительно двумерными, что, в свою очередь, затрудняет идентификацию наиболее злокачественной части диффузных глиом. Без использования контрастного усиления злокачественная опухолевая ткань и перитуморальный отёк имеют идентичные акустические характеристики, являясь гиперэхогенными [27].

Ряд авторов во главе с Benjamin SaV продемонстрировал получение 3D изображения посредством ультразвукового (УЗ) зонда с последующей калибровкой и корреги-

страцией с 2D изображениями. При этом, процедура сегментации подвержена ошибкам со средним отклонением  $1,33 \pm 0,33$  мм. Во избежание акустических артефактов во время ультразвукографической визуализации, голова пациента должна быть ориентирована горизонтально, что создаёт существенные неудобства при планировании операционного доступа. Лишь дальнейшая разработка сложных алгоритмов сопоставления и реформатирования изображений сможет использовать сканы иУЗИ в качестве анатомического эталона, аналогично КТ и МРТ.

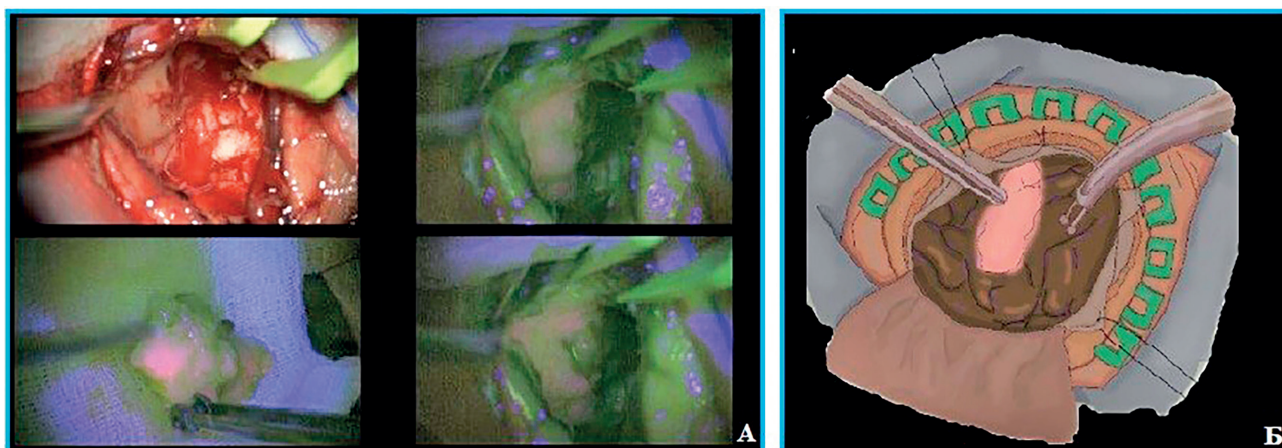
#### **Метаболическая флуоресцентная диагностика с 5-аминолевулиновой кислотой.**

Первые сообщения о клиническом применении диагностических красителей во время удаления опухолей головного мозга опубликованы в США в 1947 году с использованием флуоресцеина [28]. Исследователи описали эффект кумуляции вещества в опухолевой ткани вследствие нарушения гематоэнцефалического барьера. Однако использование флуоресцеина не получило широкого распространения по причине подверженности к артефактам, локальной и общей токсичности.

В конце 90-х годов появились первые материалы о возможности применения эндогенной аминокислоты – 5-аминолевулиновой кислоты (5-АЛК) в онконейрохирургии [29]. 5-АЛК является предшественником протопорфирина IX (PpIX). PpIX участвует в метаболизме гема и обладает фотоактивностью. Работы продемонстрировали повышенное накопление опухолевыми клетками PpIX в присутствии экзогенно введённой 5-АЛК. Избыточное содержание фотоактивного PpIX в клетках злокачественной глиомы позволяет наблюдать однородную фиолетово-красную флуоресценцию злокачественной опухолевой ткани после возбуждения синим светом с длиной волны 405 нм, при этом на краю опухоли обнаруживается розовая флуоресценция. В клетках здорового мозга PpIX накапливается в незначительных количествах или не накапливается вовсе.

К факторам, обуславливающим выраженность флуоресценции, относятся: клеточная плотность опухоли, пролиферативная активность опухолевых клеток, неоваскуляризация, а также повышенная проницаемость ГЭБ [30]. Согласно наблюдениям, посвящённым хирургии глиом с 5-АЛК, чувствительность флуоресценции злокачественных глиом составляет – 85%, а специфичность – 82% соответственно [31, 32].

Препарат 5-АЛК представляет из себя смесь для перорального введения из расчёта дозы 20 мг/кг.



**Рисунок 5** – Метаболическая флуоресценция с 5-АЛК злокачественной глиомы под УФ лампой (А). Фиолетово-красная флуоресценция опухолевой ткани после возбуждения синим светом с длиной волны 405 нм. Схематическая иллюстрация свечения злокачественной глиомы после флуоресценции (Б)

Аккумуляция PpIX осуществляется в течение нескольких часов, при этом избыточный уровень PpIX в клетках злокачественной глиомы сохраняется до нескольких дней. Свечение PpIX во время операции происходит посредством специализированной приставки, смонтированной на оптический микроскоп, генерирующей свет необходимой длины волны, который позволяет видеть границы злокачественной глиомы [33] (рисунок 5).

Методика обладает ограничениями в виде ложноположительной и ложноотрицательной флуоресценции. Ложноположительная флуоресценция не связана с опухолевой тканью. Nabavi A. et al. проанализировали более 300 биоптатов злокачественных глиом, из которых в 3,5% случаев наблюдалась флуоресценция в здоровых тканях, окружающих полость резекции [34]. Кроме того, описаны случаи аутофлуоресценции нормальной ткани головного мозга [35].

Существуют препараты, ингибирующие и индуцирующие флуоресценцию, в частности, витамин D усиливает флуоресцентный эффект [36], а дексаметазон и противосудорожные препараты – подавляют [37]. Ложноотрицательная флуоресценция высокозлокачественных глиом связана с диффузным характером роста. Интенсивность светоизлучения зависит от количества опухолевых клеток, а их количество уменьшается с увеличением расстояния от эпицентра диффузной глиомы, что, в свою очередь, и приводит к уменьшению свечения. Поэтому контрастнегативные части опухоли могут не демонстрировать флуоресценции [34, 35, 38]. Также ложноотрицательная флуоресценция может быть связана со структурными барьерами, которые мешают цветовой визуализации. В первую очередь, при небольшой кортикотомии, когда контрастируемый компонент опухоли находится за пределами зон прямой визуализации. Ещё один барьер – скрывание флуоресцирующей ткани кровью. Отсутствие светоизлучения также может быть обусловлено фотообесцвечиванием, которое возникает при длительном воздействии света: > 25 мин при синем свете и > 80 мин при белом свете [39]. Utsuki et al. описали, что некротические части злокачественных глиом имеют

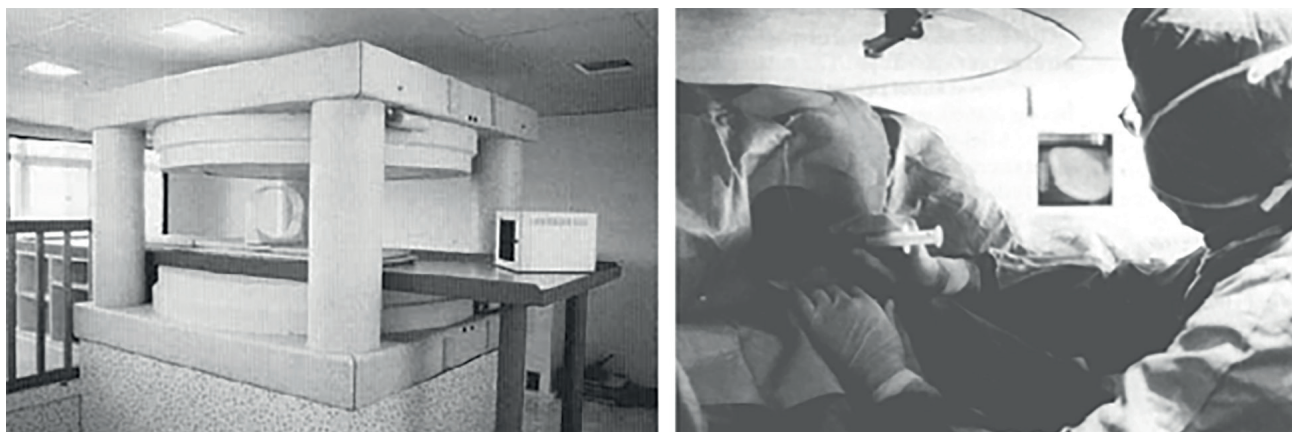
негативную флуоресценцию. Внедрение флуоресценции представляет собой одно из важнейших достижений в нейрохирургическом лечении злокачественных опухолей головного мозга за последнее десятилетие. Метод позволяет интраоперационно визуализировать объём опухоли независимо от нейронавигации и сдвига мозга. На сегодняшний день не выяснена причина отсутствия флуоресцентного эффекта у флуоронегативных глиом высокой степени злокачественности. Эффект встречается в 10-15% у пациентов с ГБ и в 30-35% случаев с анапластическими астроцитомами, по данным разных авторов [39]. Кроме того, до конца не изучена взаимосвязь флуоресценции с такими факторами, как молекулярно-генетический профиль глиомы, время приёма препарата до операции, эффективность в сочетании с противоопухолевыми препаратами. 5-АЛК является дорогостоящим препаратом. В связи с чем актуальным является поиск предикторов эффективности 5-АЛК перед операцией (объём контрастирующейся части опухоли, перфузионные показатели опухоли, индекс накопления метионина по данным ПЭТ и другие).

#### **Интраоперационное использование магнитно-резонансных сканеров.**

Истоки внедрения магнитно-резонансного томографа в операционную комнату изложены группой учёных во главе с немецким профессором медицины Д. Грёнемайером в 1988 году. Система представляла из себя ультранизкопольный сканер открытого типа с постоянным полем 0,064 Тесла (Тл) [40]. Доступ к пациенту во время операции осуществлялся через небольшой горизонтальный зазор, что доставляло массу неудобств и ограничений хирургам во время операции (рисунок 6).

Благодаря анализу ранее описанных открытий и внесения соответствующих корректировок, в 1993 году учёные из больницы Бригхэма в Бостоне (Brigham and women's Hospital) в сотрудничестве с General Electric Medical Systems предложили открытую систему с индукцией 0,5 Тл, по типу «двойного почника» (рисунок 7).

Устройство системы включало два вертикально ориентированных сверхпроводящих магнита с интегрированными радиочастотными катушками в каждый из них.



**Рисунок 6** – Первая низкопольная интраоперационная МР-система открытого типа. Адаптировано из работы Grönemeyermd и др. [40]



**Рисунок 7** – Интраоперационная МР-система по типу «двойного пончика». Адаптировано из работы Mislow и др. [41]

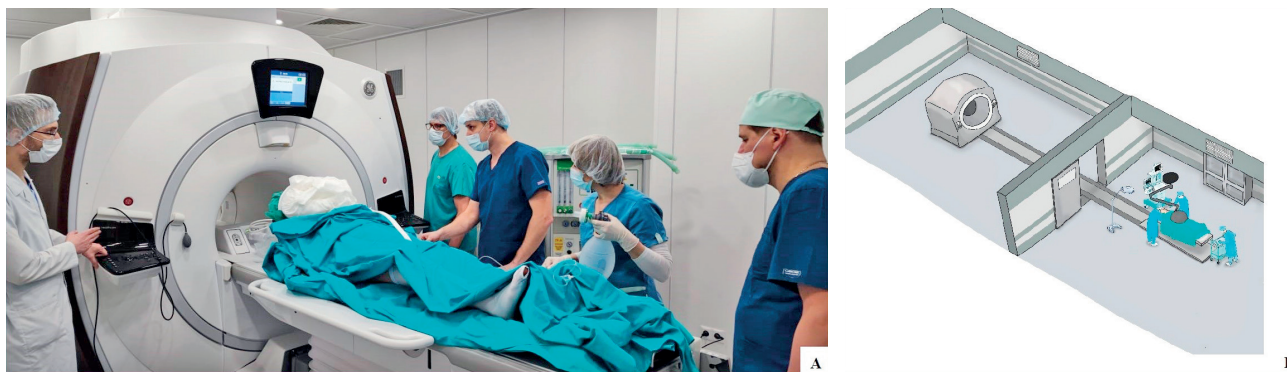
Пространство между катушками в 56 см обеспечивало свободный доступ к пациенту в пределах магнитного поля [41]. Данная конфигурация позволяла хирургам удобно расположить пациента на столе внутри томографа, при этом стол регулировался по двум ортогональным плоскостям, минимизируя ограничения при выборе оперативного доступа. Интраоперационно полученные изображения отображались на мониторах, размещённых в пределах рабочего зазора. В период с 1995 по 1998 г. корпорации Siemens, Hitachi, Medtronic представили свои линейки открытых интраоперационных МР-сканеров с индукцией магнитного поля от 0,12 до 0,3 Тл. Все перечисленные модели были способны получать изображения, взвешенные по T1, T2 и протонной плотности.

Интраоперационный МР томограф позволял корректировать планирование с учётом феномена сдвига срединных структур в реальном времени, но длительно собирал данные, был лишён некоторых базовых (T2-FLAIR) и всех передовых импульсных последовательностей (МР-ангиографии, протонной магнитно-резонансной спектроскопии, диффузионно-тензорной и диффузионно-взвешенной последовательностей, а также перфузионно-взвешенной визуализации), что, в свою очередь, не привело к увеличению радикальности

хирургии и безрецидивного периода у пациентов как с низкозлокачественными, так и с высокозлокачественными глиомами. Необходимо особо отметить исследования Makary M. et al и Hirschberg et al., не нашедших оправданий использования низкопольных систем иМРТ в нейрохирургии, в частности в хирургии злокачественных глиом. Согласно данным авторов, интраоперационное применение низкопольных систем не показало повышения эффективности операции и статистически значимой разницы по сравнению с контрольной группой. Первый высокопольный интраоперационный МР-томограф с индукцией магнитного

поля 1.5 Тл показан в 2005 году под названием «iMRIS». Данная система разработана нейрохирургом Гарнеттом Сазерлендом из Калгари в сотрудничестве с Канадским институтом биодиагностики и основана на сочетании мобильного магнита, способного перемещаться в операционную из соседней экранированной магнитной комнаты по специализированным рельсам [44] (рисунок 8).

Использование высокопольного иМРТ было отражено в многочисленных исследованиях. В 2017 году опубликована работа о применении 1,5 Тл интраоперационного МР сканера в хирургии глиобластом. Исследование включало 114 пациентов, разделённых на 2 группы: с применением иМРТ и без применения иМРТ. По результатам установлено, что пациенты первой группы подверглись тотальной степени резекции глиобластомы в 88,5% случаев, а шестимесячный безрецидивный период был достигнут в 73% случаев. Пациенты второй группы, оперированные без применения иМРТ, получили тотальную резекцию в 44% случаев и показали шестимесячное отсутствие рецидива в 38,9% случаев [45]. Медиана общей выживаемости для пациентов с глиобластомами, у которых использовалось иМРТ, увеличилась до 20 месяцев, за счёт более радикальной резекции по сравнению с 10 месяцами у больных, оперированных без применения иМРТ.



**Рисунок 8** – Иллюстрация высокопольной интраоперационной МР-системы с полной операционной бригадой в составе: нейрохирурга, нейрорентгенолога, нейрореаниматолога, медсестры-анестезистки (А). Схематическая иллюстрация операционной, оснащённой магнитно-резонансным томографом (Б)

Roder et al. на примере ретроспективного анализа данных 117 пациентов с ГБ показал, что иМРТ превосходит комбинацию методов традиционной хирургии с применением 5-АЛК для достижения большего объёма резекции.

Coburger et al. обнаружили, что применение иМРТ имеет большую чувствительность при обнаружении остаточных опухолевых узлов злокачественной глиомы по сравнению с иУЗИ [46], а Ganesh Rao в своей публикации описал иМРТ как золотой стандарт определения степени резекции злокачественных глиом [47].

Однако сложность технологии создаёт не только преимущества, но и недостатки: высокая стоимость (на оборудование операционной затрачивается от 3 до 7 млн долларов США) [48], необходимость обеспечения совместимости хирургического инструмента и систем анестезиологического мониторинга (что жёстко ограничивает внедрение методики в уже существующую операционную комнату), необходимость транспортировки пациента с операционного стола на стол сканера и обратно, значительное увеличение длительности оперативного вмешательства за счёт этапа получения диагностически информативных изображений, который может продолжаться до 120 мин [40]. К существенным ограничениям стоит отнести чувствительность сканера к артефактам от различных факторов, включая движение, металлическую восприимчивость, радиочастотный шум от недостаточно экранированной электроники в операционной [49]. Существуют ограничения, связанные с повторным контрастированием, поскольку повторное выполнение специализированных последовательностей (DWI, PWI, ASL) компрометируется повышенной намагниченностью крови и нарушением ГЭБ.

Кроме того, у всех пациентов должны отсутствовать имплантированные МР несовместимые медицинские устройства (кардиостимуляторы, имплантированные кардиоверторы-дефибрилляторы, генераторы импульсов для глубокой стимуляции головного мозга, стимуляторы блуждающего нерва, баклофеновые помпы и т. д.). Стоит учитывать необходимость обеспечения низкой (рабочей) температуры сканера, что может повлечь развитие гипотермии у пациента и задержку выхода из наркоза.

### Интраоперационное компьютерное томографическое исследование (икТ).

Первое интраоперационное применение компьютерной томографии связано с именем израильского нейрохирурга М. Shalit, который в 1979 году провёл операцию по удалению глиомы на столе компьютерного томографа для удобства контроля объёма и границ зоны резекции [50].

В 1984 г. иКТ была впервые использована для интраоперационной регулировки залегания и коррекции положения электрода относительно глубинных подкорковых структур головного мозга (Ohye C. et al., 1984).

Попытка совмещения операционного зала с помещением для сканирования была предпринята в 1987 г. американским нейрохирургом Дейдом Лансфордом (D. L. Lunsford et al., 1987). Первые томографы имели большие габариты, поэтому, во избежание уменьшения рабочего пространства, их устанавливали не внутри, а рядом с операционным залом, что вынуждало транспортировать пациентов с открытыми ранами на голове, подвергая их дополнительному риску.

Следующим шагом в техническом развитии иКТ-визуализации стала разработка полностью мобильного сканера, который мог использоваться как в операционном зале, так и за его пределами.

Дальнейшее развитие технологии КТ привело к существенному уменьшению размеров сканеров и позволило размещать их непосредственно в операционной. Как следствие, стало возможным выполнение полноценной иКТ (рисунок 9).

Несмотря на ионизирующее облучение, применение метода КТ в операционной соответствует хирургическим потребностям в большей степени, чем магнитно-резонансная томография: за счёт меньших временных затрат на получение информативных изображений с высоким пространственным разрешением, отсутствия необходимости транспортировки пациента, превосходящего качества визуализации сосудов при трёхмерной МСКТ-ангиографии и МСКТ-перфузии. Метод предполагает использование аппарата на разных этапах операции: предоперационная подготовка, сканирование после краниотомии для уточнения нейронавигации в условиях

Таблица 1 – Преимущества и недостатки методик интраоперационной нейроассистенции

Тип модальности	Преимущества	Недостатки
Рамная навигация	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Высокая точность в отношении заранее определённых координат</li> <li>– Малоинвазивность</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Узкая направленность применения</li> <li>– Пространственная привязка головы к осям координат ограничена пространством рамы</li> </ul>
Безрамная навигация	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Пространственная привязка головы к осям координат не ограничена размерами операционного поля и положением пациента</li> <li>– Предоперационное трёхмерное планирование доступа с построением оптимальной траектории к опухоли, учётом локализации функционально значимых зон коры (по данным фМРТ)</li> <li>– Отслеживание движений инструмента в режиме реального времени</li> <li>– Высокая скорость работы</li> <li>– Возможность одновременного сопоставления навигации с данными хирургического микроскопа, иУЗИ, предоперационных данных КТ и МРТ исследований для улучшения понимания топографического взаимоотношения опухоли с окружающими структурами</li> <li>– Уменьшение длительности оперативного вмешательства</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Расхождение предоперационно полученных координат после выполнения доступа в результате «феномена смещения мозга»</li> <li>– Высокая стоимость</li> </ul>
иУЗИ	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Неподверженность «феномену смещения мозга»</li> <li>– Возможность использования по необходимости в любой момент оперативного вмешательства</li> <li>– Вариабельность размеров УЗ датчиков с возможностью использования при небольших размерах краниотомии</li> <li>– Высокое разрешение изображений</li> <li>– Возможность использования контрастного усиления</li> <li>– Низкая стоимость, доступность</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Недостаточная проникающая способность излучения для визуализации глубоких структур</li> <li>– Подверженность акустическим артефактам</li> <li>– Необходимость строго горизонтальной фиксации головы пациента</li> <li>– Операторозависимость</li> <li>– Неудобство интерпретации двухмерных изображений</li> </ul>
Флуоресцентная навигация	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Достаточно высокая чувствительность (85%) и специфичность (82%) к высоко злокачественным опухолевым клеткам</li> <li>– Независимость от нейронавигации и «феномена сдвига мозга»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Встречаемость ложноположительной (до 4%) и ложноотрицательной флуоресценции (в 10-15% у пациентов с ГБ и 30-35% случаев с глиомами grade 3 и 4)</li> <li>– Индивидуальная вариабельность наступления эффекта флуоресценции (не обозначены чёткие временные рамки приёма препарата до операции)</li> <li>– Подверженность 5-АЛК влиянию других препаратов</li> <li>– Возможность аллергических реакций</li> <li>– Наличие побочных эффектов (гипотензия, фототоксическая реакция кожи)</li> <li>– Высокая стоимость</li> </ul>
иМРТ	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Высокая чувствительность и специфичность (до 98%) к диффузным глиомам с возможностью дифференцировки ненакапливающего и контрастируемого опухолевых компонентов</li> <li>– Интраоперационное получение данных «продвинутых» последовательностей (ADC, PWI, DTI)</li> <li>– Возможность обновления данных нейронавигации с учётом «феномена сдвига мозга»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Высокая стоимость</li> <li>– Невозможность модернизации существующей операционной комнаты</li> <li>– Необходимость обеспечения совместимости с хирургическим инструментарием, анестезиологическими системами</li> <li>– Необходимость транспортировки пациента</li> <li>– Длительность сбора данных, удлинение времени оперативного вмешательства</li> <li>– Ограничения, связанные с повторным введением парамагнетика</li> <li>– Несовместимость с имплантированными ферромагнитным медицинскими устройствами</li> <li>– Подверженность к артефактам</li> </ul>
иКТ	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Возможность модернизации существующей операционной комнаты</li> <li>– Возможность обновления данных нейронавигации с учётом «феномена сдвига мозга»</li> <li>– Короткое время сбора данных и получение информативных трёхмерных изображений</li> <li>– Возможность проведения контрастных исследований (КТ-ангиография, КТ-перфузия)</li> <li>– Отсутствие необходимости транспортировки пациента с операционного стола</li> <li>– Возможность использования аппарата на разных этапах операции (в том числе п/о контроль)</li> <li>– Отсутствие ограничений, связанных с повторным введением контрастного агента – Возможность исследования других органов и систем в условиях операционной комнаты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Воздействие ионизирующего облучения</li> <li>– Низкая чувствительность и специфичность при нативном исследовании</li> <li>– Ограничения, связанные с небольшой шириной детектора, при выполнении КТ-перфузии</li> </ul>

«феномена смещения мозга», сканирование непосредственно во время операции для оценки степени резекции опухоли, а также после операции в качестве контроля п/о осложнений (Pamir MN., 2011), минуя диагностическое отделение.

В таблице 1 приведены все существующие модальности интраоперационной ассистенции в хирургии злокачественных глиом, с отображением преимуществ и недостатков каждого из методов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном систематическом обзоре обсуждаются возможности и эффективность применения интраоперационных методик нейроассистенции в хирургии высокозлокачественных глиом. Инструменты нейроассистенции способны улучшить подход к предоперационному планированию благодаря возможности подбора индивидуального маршрута и хирургического доступа. Они обладают уникальной способностью интраоперационной корректировки хода операции в режиме реального времени, предотвращая риски дезориентированности в операционном поле. Способны предоставлять информацию о структуре и границах опухоли, предупреждая угрозу недооценки степени резекции и травматизации критически важных структур и функций головного мозга. Перечисленные аргументы, без всякого сомнения, подчёркивают значимость всех приведённых технологий для повышения безопасности пациентов и улучшения результатов хирургических операций. Однако существует ряд ограничений, которые несут технический и экономический характер. Технический характер подразумевает сложности освоения методик, при нерегулярном их использовании и необходимости периодического специализированного обучения персонала. Экономические причины наиболее значимы и предполагают высокую стоимость на комплектацию операционных с перечисленными нейронавигационными инструментами. Однако, благодаря бурной трансформации государственной социально-экономической политики в здравоохранении и развития страховой медицины, ежегодно профильные центры оснащаются современными навигационными технологиями. На наш взгляд, перспективным будущим в хирургии высокозлокачественных глиом является комплексная комбинация всех методов ассистенции в единой операционной с формированием концепции мультимодальной гибридной операционной, а также сочетание всех перечисленных систем с 3D-печатью и VR-технологиями. Комплекс перечисленных технологий имеет революционный потенциал в нейрохирургическом планировании, нейроассистенции и улучшении освоения 3D-анатомии патологии. Совокупность технологий способна демонстрировать точное местоположение патологии вне зависимости от положения пациента,



Рисунок 9 – Иллюстрация операционной комнаты с установленной системой компьютерной томографии на рельсах

типа краниотомии и эффекта смещения мозга, избегать ошибок и осложнений. Также комплекс перечисленных методов нейроассистенции потенциально может быть использован и в других регионах, например, в сосудистой хирургии, шунтирующей хирургии при гидроцефалии, а также в хирургии позвоночника.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCE

1. Редкий случай локализации глиобластомы: инфратенториальное расположение (обзор литературы и клинический случай) / Р. С. Талыбов [и др.]// Радиология – практика. 2024. № 1. С. 9-19. [A rare case of glioblastoma localization: infratentorial location (literature review and clinical case) / R. S. Talibov [et al.]// Radiology – practice. 2024. No. 1. pp. 9-19.(In Russ)]. DOI: 10.52560/2713-0118-2024-1-9-19.
2. Gue, R.; Lakhani, D. A. The 2021 World Health Organization Central Nervous System Tumor Classification: The Spectrum of Diffuse Gliomas. *Biomedicines* 2024, 12, 1349. DOI: 10.3390/biomedicines12061349.
3. Lakomy R., Kazda T., Selingerova I. et al. Real-World Evidence in Glioblastoma: Stupp's Regimen After a Decade. *Front Oncol.* 2020 Jul 3;10:840. DOI: 10.3389/fonc.2020.00840.
4. Karschnia P., Vogelbaum M.A., van den Bent et al. Evidence-based recommendations on categories for extent of resection in diffuse glioma. *Eur J Cancer.* 2021 May;149:23-33. DOI: 10.1016/j.ejca.2021.03.002.
5. Zigiotta L., Annicchiarico L., Corsini F. et al. Effects of supra-total resection in neurocognitive and oncological outcome of high-grade gliomas comparing asleep and awake surgery. *J Neurooncol.* 2020 May;148(1):97-108. DOI: 10.1007/s11060-020-03494-9.p.
6. Molinaro A. M., Hervey-Jumper S., Morshed R. A. et al. Association of Maximal Extent of Resection of Contrast-Enhanced and Non-Contrast-Enhanced Tumor With Survival Within Molecular Subgroups of Patients With Newly Diagnosed Glioblastoma. *JAMA Oncol.* 2020 Apr 1;6(4):495-503. doi: 10.1001/jamaoncol.2019.6143. Erratum in: *JAMA Oncol.* 2020 Mar 1;6(3):444. DOI: 10.1001/jamaoncol.2020.0360.
7. Karschnia P., Vogelbaum M. A., van den Bent M. et al. Evidence-based recommendations on categories for extent of resection in diffuse glioma. *European Journal of Cancer.* 2021; Vol 149: 23-33, DOI:10.1016/j.ejca.2021.03.002.
8. Müller DMJ, Robe PA, Ardon H. et al. Quantifying eloquent locations for glioblastoma surgery using resection probability maps. *J Neurosurg.* 2020 Apr 3;134(3):1091-1101. DOI: 10.3171/2020.1.JNS193049.
9. Line Sagerup Bjorland, Rupavathana Mahesparan, Øystein Fluge et al. Impact of extent of resection on outcome from glioblastoma

- using the RANO resect group classification system: a retrospective, population-based cohort study. *Neuro-Oncology Advances*. 2023 Dec; 5: 27-39. DOI:10.1093/oaajnl/vdad126.
10. Elsheikh, M., Bridgman, E., Lavrador J. P. et al. Association of extent of resection and functional outcomes in diffuse low-grade glioma: systematic review & meta-analysis. *J Neurooncol*. 2022; 160: 717-724. DOI:10.1007/s11060-022-04192-4.
  11. Roh T. H., Kim S. H.. Supramaximal Resection for Glioblastoma: Redefining the Extent of Resection Criteria and Its Impact on Survival. *Brain Tumor Res Treat*. 2023 Jul;11(3):166-172. DOI: 10.14791/btrt.2023.0012.
  12. Young J. S., Morshed R. A., Hervey-Jumper S. L., Berger M. S.. The surgical management of diffuse gliomas: Current state of neurosurgical management and future directions. *Neuro Oncol*. 2023 Dec 8;25(12):2117-2133. doi: 10.1093/neuonc/noad133. Erratum in: *Neuro Oncol*. 2024 Jun 3;26(6):1175. DOI: 10.1093/neuonc/noae083.
  13. Kang D. H. Intraoperative navigation in craniofacial surgery. *Arch Craniofac Surg*. 2024 Oct;25(5):209-216. DOI: 10.7181/acfs.2024.00472.
  14. Azuma R., Baillot Y., Behringer R., Feiner S., Julier S., MacIntyre B. Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications* 2001; Vol: 21,34-47 DOI: 10.1109/38.963459.
  15. Gerard I. J., Kersten-Oertel M., Hall J. A. et al. Brain Shift in Neuronavigation of Brain Tumors: An Updated Review of Intra-Operative Ultrasound Applications. *Front Oncol*. 2021 Feb 8;10:618837. DOI: 10.3389/fonc.2020.618837.
  16. Dussik K. T. Ultraschall-Diagnostik, insbesondere bei Gehirnerkrankungen, mittels Hyperphonographie [Ultrasound diagnostics, especially for brain diseases, using hyperphonography]. *Z Phys Ther Bader Klimanheikd*. 1948 Sep-Oct;1(9-10):140-5. German. PMID: 18128879.
  17. Kane R. A. Intraoperative ultrasonography: history, current state of the art, and future directions. *J Ultrasound Med*. 2004 Nov;23(11):1407-20. DOI: 10.7863/jum.2004.23.11.1407.
  18. Rubin J. M., Mirfakhraee M., Duda E. E. et al. Intraoperative ultrasound examination of the brain. *Radiology*. 1980 Dec;137(3):831-2. DOI: 10.1148/radiology.137.3.6255514.
  19. Moiyadi A.V., Unsgård G. Navigable Ultrasound, 3D Ultrasound and Fusion Imaging in Neurosurgery. In: *Intraoperative Ultrasound (IOUS) in Neurosurgery: From Standard B-Mode to Elastasonography*. Cham, Switzerland: Springer. 2016. 135-45. DOI:10.1007/978-3-319-25268-1\_11.
  20. Kane D., Grassi W., Sturrock R. et al. A brief history of musculoskeletal ultrasound: 'From bats and ships to babies and hips', *Rheumatology*, Volume 43, Issue 7, July 2004, Pages 931-933. DOI: 10.1093/rheumatology/keh004.
  21. Unsgaard G., Rygh O. M., Selbekk T. et al. Intra-operative 3D ultrasound in neurosurgery. *Acta Neurochir (Wien)*. 2006 Mar;148(3):235-53; discussion 253. DOI: 10.1007/s00701-005-0688-y.
  22. Jakola A. S., Berntsen E. M., Christensen P. et al. Surgically acquired deficits and diffusion weighted MRI changes after glioma resection – a matched case-control study with blinded neuroradiological assessment. *PLoS One*. 2014 Jul 3;9(7): e101805. DOI: 10.1371/journal.pone.0101805.
  23. Šteňo A., Buvala J., Babková V. et al. Current Limitations of Intraoperative Ultrasound in Brain Tumor Surgery. *Front Oncol*. 2021 Mar 22;11:659048. DOI: 10.3389/fonc.2021.659048.
  24. Oglat A. A., Alshipli M., Sayah M. A. et al. Artifacts in Diagnostic Ultrasonography. *Journal for Vascular Ultrasound*. 2020;44(4):212-219. DOI:10.1177/1544316720923937.
  25. Del Bene M., DiMeco F., Unsgård G.. Editorial: Intraoperative Ultrasound in Brain Tumor Surgery: State-Of-The-Art and Future Perspectives. *Front Oncol*. 2021 Nov 2;11:780517. DOI: 10.3389/fonc.2021.780517.
  26. Ajmal S. Contrast-Enhanced Ultrasonography: Review and Applications. *Cureus*. 2021 Sep 24;13(9): e18243. DOI: 10.7759/cureus.18243.
  27. Dixon L., Lim A., Grech-Sollars M. et al. Intraoperative ultrasound in brain tumor surgery: A review and implementation guide. *Neurosurg Rev*. 2022 Aug;45(4):2503-2515. DOI: 10.1007/s10143-022-01778-4.
  28. Moore G. E.. Fluorescein as an Agent in the Differentiation of Normal and Malignant Tissues. *Science*. 1947 Aug 8;106(2745):130-1. DOI: 10.1126/science.106.2745.130-a.
  29. Stummer W, Pichlmeier U, Meinel T, Wiestler OD, Zanella F, Reulen HJ; ALA-Glioma Study Group. Fluorescence-guided surgery with 5-aminolevulinic acid for resection of malignant glioma: a randomised controlled multicentre phase III trial. *Lancet Oncol*. 2006 May;7(5):392-401. DOI: 10.1016/S1470-2045(06)70665-9.
  30. Walke, A., Krone, C., Stummer, W. et al. Protoporphyrin IX in serum of high-grade glioma patients: A novel target for disease monitoring via liquid biopsy. *Sci Rep* 14, 4297 (2024). doi 10.1038/s41598-024-54478-y.
  31. Pesaresi, A., La Cava, P., Bonada M. et al. Combined Fluorescence-Guided Surgery with 5-Aminolevulinic Acid and Fluorescein in Glioblastoma: Technical Description and Report of 100 Cases. *Cancers* 2024, 16, 2771. DOI:10.3390/cancers16162771.
  32. Zeppa P., De Marco R., Monticelli M. et al. Fluorescence-Guided Surgery in Glioblastoma: 5-ALA, SF or Both? Differences between Fluorescent Dyes in 99 Consecutive Cases. *Brain Sci*. 2022 Apr 26;12(5):555. DOI: 10.3390/brainsci12050555.
  33. Maragkos G. A., Schüpfer A. J., Lakomkin N. et al. Fluorescence-Guided High-Grade Glioma Surgery More Than Four Hours After 5-Aminolevulinic Acid Administration. *Front Neurol*. 2021 Mar 9;12:644804. DOI: 10.3389/fneur.2021.644804.
  34. Nabavi A., Thurm H., Zountsas B., Pietsch T. et al. 5-ALA Recurrent Glioma Study Group. Five-aminolevulinic acid for fluorescence-guided resection of recurrent malignant gliomas: a phase ii study. *Neurosurgery*. 2009 Dec;65(6):1070-6; discussion 1076-7. DOI: 10.1227/01.NEU.0000360128.03597.C7.
  35. Panciani P. P., Fontanella M., Schatlo B. et al. Fluorescence and image guided resection in high grade glioma. *Clin Neurol Neurosurg*. 2012 Jan;114(1):37-41. DOI: 10.1016/j.clineuro.2011.09.001.
  36. Chen X., Wang C., Teng L. et al. Calcitriol enhances 5-aminolevulinic acid-induced fluorescence and the effect of photodynamic therapy in human glioma. *Acta Oncol*. 2014 Mar;53(3):405-13. DOI: 10.3109/0284186X.2013.819993.
  37. Lawrence J. E., Steele C. J., Rovin R. A. et al. Dexamethasone alone and in combination with desipramine, phenytoin, valproic acid or levetiracetam interferes with 5-ALA-mediated PpIX production and cellular retention in glioblastoma cells. *J Neurooncol*. 2016 Mar;127(1):15-21. DOI: 10.1007/s11060-015-2012-x.
  38. Eljamel S. 5-ALA Fluorescence Image Guided Resection of Glioblastoma Multiforme: A Meta-Analysis of the Literature. *Int J Mol Sci*. 2015 May 7;16(5):10443-56. DOI: 10.3390/ijms160510443.
  39. Rapp M., Kamp M., Steiger H. J., Sabel M. Endoscopic-assisted visualization of 5-aminolevulinic acid-induced fluorescence in malignant glioma surgery: a technical note. *World Neurosurg*. 2014 Jul-Aug;82(1-2): e277-9. DOI: 10.1016/j.wneu.2013.07.002.
  40. Grönemeyermd D. H.W., Seibelmd R. M.M., Seibelmd, A. et al. Future of advanced guidance techniques by interventional CT and MRI. *Minimally Invasive Therapy*. 2009 Jul 10; Pages 251-259. DOI: 10.3109/13645709509152803.
  41. Mislow J. M., Golby A. J., Black P. M.. Origins of intraoperative MRI. *Neurosurg Clin N Am*. 2009 Apr;20(2):137-46. DOI: 10.1016/j.nec.2009.04.002. PMID: 19555875; PMCID: PMC2902263.
  42. Makary M., Chiocca E. A., Ermyny N. et al. Clinical and economic outcomes of low-field intraoperative MRI-guided tumor resection neurosurgery. *J Magn Reson Imaging*. 2011 Nov;34(5):1022-30. Doi: 10.1002/jmri.22739.

43. Hirschberg H, Samset E, Hol PK, Tillung T, Lote K. Impact of intraoperative MRI on the surgical results for high-grade gliomas. *Minim Invasive Neurosurg*. 2005 Apr;48(2):77-84. doi: 10.1055/s-2004-830225.
44. Hushek SG, Martin AJ, Steckner M, Bosak E, Debbins J, Kucharzyk W. MR systems for MRI-guided interventions. *J Magn Reson Imaging*. 2008 Feb;27(2):253-66. doi: 10.1002/jmri.21269.
45. Marongiu A, D'Andrea G, Raco A. 1.5-T Field Intraoperative Magnetic Resonance Imaging Improves Extent of Resection and Survival in Glioblastoma Removal. *World Neurosurg*. 2017 Feb;98:578-586. doi: 10.1016/j.wneu.2016.11.013.
46. Coburger J, Scheuerle A, Thal DR, Engelke J, Hlavac M, Wirtz CR, König R. Linear array ultrasound in low-grade glioma surgery: histology-based assessment of accuracy in comparison to conventional intraoperative ultrasound and intraoperative MRI. *Acta Neurochir (Wien)*. 2015 Feb;157(2):195-206. doi: 10.1007/s00701-014-2314-3.
47. Rao G. Intraoperative MRI and Maximizing Extent of Resection. *Neurosurg Clin N Am*. 2017 Oct;28(4):477-485. doi: 10.1016/j.nec.2017.05.003.
48. Chicoine MR, Lim CC, Evans JA, Singla A, Zipfel GJ, Rich KM, Dowling JL, Leonard JR, Smyth MD, Santiago P, Leuthardt EC, Limbrick DD, Dacey RG. Implementation and preliminary clinical experience with the use of ceiling mounted mobile high field intraoperative magnetic resonance imaging between two operating rooms. *Acta Neurochir Suppl*. 2011;109:97-102. doi: 10.1007/978-3-211-99651-5\_15.
49. Masuda Y, Akutsu H, Ishikawa E, Matsuda M, Masumoto T, Hiyama T, Yamamoto T, Kohzaki H, Takano S, Matsumura A. Evaluation of the extent of resection and detection of ischemic lesions with intraoperative MRI in glioma surgery: is intraoperative MRI superior to early postoperative MRI? *J Neurosurg*. 2019 Jul 1;131(1):209-216. doi: 10.3171/2018.3.JNS172516.
50. M N Shalit, Y Israeli, S Matz, M L Cohen Intra-operative computerized axial tomography *Surg Neurol* 1979 May;11(5):382-4.

Информация об авторах.

---

**Сведения об авторах и дополнительная информация**

Талыбов Рустам Сабирович – к. м. н., заместитель главного врача по развитию науки и инновациям ГБУЗ ТО «Областная клиническая больница № 2», talibov\_rs@okb2-tmn.ru.

Мочалов Вадим Васильевич – заведующий отделением лучевой диагностики, ГБУЗ ТО «Областная клиническая больница № 2».

Акулов Михаил Михайлович – врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики, ГБУЗ ТО «Областная клиническая больница № 2».

Клещевникова Татьяна Михайловна – директор ГБУЗ ТО «Областная клиническая больница № 2».

Логонова Наталья Валериевна – к. м. н., директор департамента здравоохранения Тюменской области.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.