

УДК 616.831-006-089.12

Розуменко В.Д., Розуменко А.В.

## Применение мультимодальной нейронавигации в хирургии опухолей головного мозга

Институт нейрохирургии им. акад. А.П. Ромоданова НАМН Украины, г. Киев

**Вступление.** Современный подход к хирургическому лечению опухолей головного мозга предусматривает увеличение продолжительности жизни оперированных больных и обеспечение ее удовлетворительного качества [1–5].

Применение прогрессивных технологий в диагностике и хирургии опухолей головного мозга значительно расширило возможности выполнения радикальных операций. Вместе с тем, стремление к тотальному удалению опухоли должно быть логически обоснованным, с учетом гистоструктуры, отношения опухоли к функционально важным зонам (ФВЗ) и жизненно значимым отделам мозга, магистральным артериям и венозным коллекторам. Во время планирования хирургического вмешательства, выбора хирургического доступа, определения объема резекции опухоли необходимо учитывать степень риска возникновения послеоперационного неврологического дефицита, обусловленного интраоперационным повреждением ФВЗ мозга [2–5].

Исходя из этих позиций, большинство исследователей придерживаются тактики тотального удаления внемозговых опухолей и максимально возможной резекции внутримозговых опухолей в функционально обоснованных пределах [6–8].

Оптимизация методов хирургического удаления опухолей головного мозга непосредственно связана с возможностями интракраниальной и интрацеребральной ориентации, уточненной топографии опухоли, представлением соотношения опухоли с ФВЗ, что является условием безопасности и эффективности хирургического вмешательства [1, 8, 9].

Соблюдение этих условий при удалении опухолей головного мозга обеспечивает интраоперационное применение нейронавигации. Современные нейронавигационные системы позволяют осуществлять пространственную ориентацию в определенном анатомическом объеме благодаря сопоставлению поверженных ориентиров с контурами соответствующих образований по данным радиографических методов исследования. Любая физическая точка может быть распознана и виртуально отображена нейронавигационной системой на двухмерных и трехмерных изображениях благодаря непрерывному динамическому отслеживанию системой положения хирургических инструментов в пространстве [10, 11].

Инновации в технологиях нейровизуализации и развитие систем хирургической навигации, позволяющих проводить обработку и сопоставление данных различных методов нейровизуализационного исследования, позволили сформировать концепцию мультимодальной нейронавигации. Учитывая данные анатомических и функциональных методов исследования, с помощью нейронавигационных систем возможно проводить планирование хирургического вмешательства и выбор оптимальной тактики удаления интракраниального очага при высокой точности

определения анатомических ориентиров и топографических соотношений в операционном поле [8, 10].

Использование навигационных систем позволяет осуществлять более эффективное, безопасное, полное удаление опухолей, что обеспечивает улучшение качества жизни больных с опухолями полушарий большого мозга [12].

**Материалы и методы исследования.** В исследование включены 140 больных с опухолями полушарий большого мозга, оперированных с применением навигационных технологий. Женщин было 64 (46,6%), мужчин — 76 (53,4%). Возраст больных от 17 до 70 лет, в среднем (45,5±12,5) года. Тактику хирургического лечения планировали с учетом данных комплексного клиничко-неврологического обследования и анализа результатов компьютерной (КТ), магниторезонансной (МРТ) томографии, функциональной МРТ (фМРТ), магниторезонансной венографии (МР-венографии), однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) и, при необходимости, компьютерной электроэнцефалографии (КЭЭГ) в различных сочетаниях.

Базисный топический диагноз устанавливали на основании данных МРТ, которую проводили с помощью томографа Magnetom Concerto (Siemens, Германия) с индукцией магнитного поля 0,2 Тл и Philips Intera 1.5T (Philips, Нидерланды) с индукцией магнитного поля 1,5 Тл. Для контрастного усиления внутривенно вводили препарат Томовист. Обеспечение точности навигационного процесса требовало проведения обследования в соответствии со специальным протоколом, который предусматривал сканирование с постоянной толщиной срезов в диапазоне 1–3 мм, которые не должны перекрывать один другой. Зона сканирования должна охватывать весь мозговой череп (от твердого неба до верхушки конвекса) с кожей. Данные сканирования сохраняли в формате DICOM.

КТ до операции проводили в соответствии с протоколом для навигационного наблюдения с помощью спирального компьютерного томографа Somatom AR STAR PLUS (Siemens, Германия). Для контрастного усиления внутривенно вводили препарат Томогексол.

фМРТ и МР-венографию проводили с помощью томографа Magnetom Vision Plus (Siemens, Германия) с индукцией магнитного поля 1,5 Тл, использовали ЕР1 последовательность (TE 64 мс, TR 1,68 м, матрица изображения 68×128, поле сканирования 200–230 мм, толщина срезов 3 мм). При проведении фМРТ пациенты выполняли специальные тест-задания. Данные фМРТ накладывали на анатомические МРТ изображения с использованием алгоритма мультимодальной регистрации. Проведение фМРТ позволяло идентифицировать зоны активности в сенсомоторной коре и их соотношение с опухолью. С помощью МР-венографии определяли топографию магистральных венозных коллекторов на конвексальной поверхности полушарий большого мозга.

Для проведения ОФЭКТ головного мозга использовали эмиссионную двухдетекторную томографическую гамма-камеру E. Cam (Siemens, Германия) с матрицей 128×128. Исследование проводили с применением туморотропного радиофармпрепарата (РФП)  $^{99m}\text{Tc}$ -пертехнетат и перфузионного РФП гексаметил-пропиленаминоксид, меченного  $^{99m}\text{Tc}$  ( $^{99m}\text{Tc}$ -ГМПАО). Диагностическая доза радиоиндикаторов 370–740 МБк. По результатам ОФЭКТ анализировали интенсивность изображения, степень однородности очага, четкость его контуров.

Внутричерепные опухоли диагностированы у 124 больных, внечерепные — у 16. Поражение доминантного полушария большого мозга отмечено у 73 (52,1%) пациентов.

Внутричерепные опухоли локализовались в лобной доле — у 45 больных, височной — у 25, теменной — у 9, затылочной — у 1. Поражение смежных долей мозга с локализацией в лобно-теменной области выявлено у 12 больных, лобно-височной — у 9, теменно-височной — у 15, теменно-затылочной — у 4, височно-затылочной — у 2, височно-теменно-затылочной — у 2. Распространение в медианные структуры установлено в 38 (30,6%) наблюдениях, локализационное воздействие или прорастание внутричерепных опухолями ФВЗ — в 79 (63,7%).

Внечерепные опухоли располагались в височной области в 3 наблюдениях, лобно-теменной — в 7, теменной — в 3, лобной — в 3.

Для предоперационного планирования и интраоперационного наблюдения использовали систему хирургической нейронавигации StealthStation TREON plus (Medtronic, США).

Данные нейровизуализации, предназначенные для навигационного обеспечения, распределяли на основные и дополнительные. Основные данные МРТ и КТ предназначались для расчета стереотаксических координат и интраоперационного ориентирования. Данные ОФЭКТ, МР-веннографии, фМРТ дополняли основные изображения информацией о локализации опухоли, функциональных и структурных особенностях анатомических образований, прилежащих к очагу поражения. Данные МРТ в T1- и T2-режимах, КТ, МР-веннографии, фМРТ, ОФЭКТ при необходимости совмещали и отображали на мониторе станции в виде комбинированного изображения в различных сочетаниях, в зависимости от информативности полученных результатов и задач исследования. С помощью программного обеспечения навигационной станции "StealthStation Application Software Cranial 5" по данным основного исследования МРТ или КТ осуществляли пространственное моделирование и проводили стереотаксические расчеты. Последовательное предоперационное планирование включало сегментацию и контурирование опухоли, определение зоны распространения перифокального отека, построение объемного топографического изображения рельефа поверхности полушарий большого мозга, конвексительно расположенных сосудов, боковых желудочков, оптимальной траектории и границ хирургического доступа (*рис. 1 цветной вкладки*).

Систему виртуального изображения на мониторе нейронавигационной станции дополняли системой видеомониторинга в режиме реального времени [13].

При планировании тактики хирургического вмешательства и объема удаления опухоли учитывали клинические, топографоанатомические и топографофункциональные особенности, соотношение опухоли с окружающими анатомическими образованиями.

Перед размещением головы пациента в скобе жесткой фиксации типа Mayfield моделировали ее оптимальную позицию на мониторе навигационной станции, учитывая требования визуализации операционного поля, удобство и доступность проведения последующих хирургических манипуляций, недопущение гравитационной дислокации головного мозга. Для устранения вызванного силой притяжения латерального сдвига поверхности мозга голову пациента фиксировали в таком положении, чтобы плоскость операционного поля была приближена к горизонтальной.

На этапе регистрации использовали режим "tracer", включающий сбор «точек» с поверхности кожи головы пациента. Во избежание ошибок, возникающих из-за смещения кожи конвексительной поверхности головы, регистрацию проводили в основном над костными образованиями с тонкой и менее подвижной кожей (фронтоназальная, мастоидальная области) [8, 14]. При регистрации проводили сбор «точек» с захватом конвексительной поверхности головы в количестве 400–425. Точность регистрации определяли по совпадению поверхностных анатомических образований (углы глазной щели, контуры ушной раковины), средней линии головы и коронарного шва.

После регистрации на кожу головы переносили контуры критических краниальных структур, в соответствии с которыми выбирали разрез кожи и проекцию формирования костного окна.

Перед рассечением твердой оболочки головного мозга уточняли топографию венозных синусов и проекцию кортикальных вен, что позволяло избежать их повреждения.

После рассечения твердой оболочки головного мозга сдвиг коры большого мозга составляет в среднем 4,6 мм. Смещение мозга коррелирует с размерами и глубиной расположения опухоли, степенью отека мозга, оно больше при наличии внутричерепных опухолей [15].

Для уменьшения вертикального смещения площадь краниотомии ограничивали зоной проекции локализации опухоли. Площадь экспозиции поверхности мозга должна быть сведена к минимуму, но достаточна для идентификации анатомических структур в зоне хирургического доступа и безопасна для резекции очага поражения. Полученная до операции информация о расположении поверхностных структур мозга и ФВЗ позволяет использовать во время вмешательства ограниченные хирургические доступы.

Вопрос о резектабельности опухоли решали на этапе дооперационного планирования, она была предсказуема во всех ситуациях распространения опухоли в ФВЗ и медианные структуры головного мозга.

Для атравматичного и более полного удаления участков опухоли, прорастающих ФВЗ и медианные структуры, использовали метод лазерной термодеструкции. Под контролем нейронавигации осу-

щевляли лазерное облучение участков опухоли, расположенных вне зон активации, установленных по данным фМРТ. Преимуществами метода лазерной термодеструкции является обеспечение дозированного термического целенаправленного воздействия на опухоль в условиях визуального контроля границ зоны облучения. В качестве источника лазерного излучения использовался полупроводниковый лазер «Лика-хирург» (мощность 18 В, импульсный режим генерации излучения, длина волны 808 нм) (рис. 2 цветной вкладки).

Объем хирургической резекции опухоли определяли интраоперационно путем сопоставления данных нейронавигации и информации, полученной в режиме реального времени, информации в виде изображений видеомониторинга, а также по результатам послеоперационной КТ.

Функциональный статус пациентов оценивали в динамике до и после операции с использованием шкалы Карнавски.

**Результаты и их обсуждение.** Комплексная оценка данных клинического обследования пациентов и результатов инструментальных исследований (МРТ, КТ, МР-венографии, фМРТ, ОФЭКТ) позволяла определить топографические характеристики опухоли, степень поражения ФВЗ и медианных структур головного мозга, получить представление о гистобиологических особенностях и степени васкуляризации опухоли.

Совмещение данных МРТ, КТ, МР-венографии, фМРТ, ОФЭКТ во всех наблюдениях проведено с высокой точностью с помощью программного обеспечения навигационной станции.

Интраоперационная идентификация структур коры полушарий большого мозга, в частности, центральной борозды, пред- и постцентральных извилин, верхней височной извилины была возможна благодаря сочетанному использованию нейронавигационного обеспечения и видеомониторинга в режиме реального времени. Сопоставление интраоперационных данных видеонаблюдения с результатами нейровизуализации приобретало особое значение при дислокации образований головного мозга вследствие объемного воздействия опухоли (рис. 3 цветной вкладки).

Субтотальное и «тотальное» удаление опухолей произведено у 128 больных, парциальное — у 12.

По результатам гистологического исследования интраоперационного биопсийного материала глиомы I и II степени анаплазии (WHO) диагностированы у 21 больного, анапластические глиомы III степени анаплазии — у 44, глиомы IV степени анаплазии — у 40, метастатические опухоли — у 19, менингиомы — у 16. Во время выполнения и после операции все пациенты живы.

Послеоперационный неврологический дефицит возник у 13 (9,3%) больных. Реабилитационные мероприятия включали проведение ЛФК, массаж, медикаментозную терапию, электромиостимуляцию, лазеротерапию. Уменьшение выраженности неврологического дефицита отмечено у 18 (12,9%) больных, двигательные нарушения сохранялись у 8 (5,7%). Перед выпиской число больных, у которых индекс Карнавски не превышал 70 баллов, уменьшилось с 28 (20%) до 8 (5,7%).

Стратегия хирургического лечения больных с опухолями полушарий большого мозга должна предусматривать оптимизацию объема резекции в целях увеличения продолжительности жизни пациентов с учетом функционального аспекта по сохранению высокого качества их жизни [3, 6, 16].

Установлено, что безрецидивный период и показатели выживаемости больных с опухолями головного мозга зависят от радикальности операции. Принципиально важным является стремление к максимально полному удалению опухоли при условии учета риска возможного возникновения послеоперационного неврологического дефицита. Послеоперационный неврологический дефицит и низкий функциональный статус достоверно влияют на показатели выживаемости больных с опухолями головного мозга различной степени анаплазии [1, 5, 17].

Внедрение КТ и МРТ в 70-х и 80-х годах прошлого столетия открыло широкие возможности для диагностики опухолей головного мозга. Разработка компьютерного обеспечения позволила D.W. Roberts в 1986 г. реализовать концепцию безрамной триангулярной стереотаксии и избежать недостатков стереотаксических рам, связанных с ограничением действий хирурга во время оперативного вмешательства и дискомфортом для пациента [10].

В 1999 г. С. Nimsky и соавторы разработали способ интеграции МРТ и фМРТ изображений для использования в нейронавигационном обеспечении при интракраниальных хирургических манипуляциях. Метод функциональной нейронавигации лег в основу концепции мультимодальной нейронавигации, использующей объединенные данные различных методов нейровизуализации. Следующим этапом в обеспечении прогресса нейронавигации было совмещение анатомических, функциональных и метаболических данных. V. Braun и соавторы в 2001 г. осуществили объединенное использование результатов МРТ, фМРТ и ПЭТ исследований [8, 10].

Современные системы нейронавигации, основанные на использовании пассивной беспроводной оптической триангуляции, позволяют, кроме дооперационного планирования и интраоперационной топографической ориентации, рассчитать траекторию хирургического действия, провести совмещение данных различных исследований в одном изображении, визуализировать «критические» структуры и вести видеомониторинг во время операции [8, 13, 14].

Программное обеспечение системы нейронавигации поддерживает универсальную регистрацию используемых при операции хирургических инструментов.

Применение нейронавигации наиболее эффективно при резекции небольших опухолей, глубоко расположенных опухолей, опухолей основания черепа, вовлечении в процесс ФВЗ мозга, эндоскопическом сопровождении хирургических операций и биопсии, формировании внепроекции доступов, обеспечивающих сохранение тех или иных анатомических образований. Применение нейронавигации менее значимо при поверхностном расположении опухолей, явных визуально определяемых изменениях коры большого мозга, опухолях значительных размеров с дислокацией мозга после краниотомии [8, 9, 11].

Эффективность использования нейронавигационных технологий при хирургическом лечении больных с опухолями головного мозга во многом определяется качеством данных дооперационного нейровизуализационного исследования. При этом следует учитывать происходящую в ходе операции динамическую дислокацию структур мозга.

На основании данных МРТ определяют расположение и размеры опухоли. Близость опухоли к ФВЗ, вовлечение медианных структур мозга и выраженность объемного воздействия учитывают при оценке степени риска выполнения оперативного вмешательства для оптимизации лечебной тактики. Использование данных МРТ, полученных при различных режимах сканирования, позволяет получить информацию об особенностях структуры и размерах опухоли, выявить зоны некроза, кистозный компонент, определить направление роста опухоли и выраженность перифокальной реакции. Комплексная оценка данных МРТ позволяет определить параметры объема безопасной внутренней декомпрессии, возможность радикального удаления опухоли, прогнозировать риск повреждения критических структур мозга, то есть косвенно судить об ожидаемой эффективности хирургического лечения.

Важное значение при применении навигации в нейроонкологии имеет использование данных ОФЭКТ, фМРТ и МР-венографии, использованных в системе нейронавигации и в комплексе с основными изображениями МРТ или КТ не только на этапе планирования, но и интраоперационно [18, 19].

Данные ОФЭКТ дополняли представления о структурных изменениях вещества мозга, отражая степень васкуляризации и гистобиологические характеристики выявленных патологических участков. «Наложение» данных ОФЭКТ на МРТ или КТ изображения повышает информативность каждого метода. Так, способность ОФЭКТ визуализировать участки опухоли, обладающие наибольшей пролиферативной активностью, при совмещении с МРТ и КТ дополняет точную анатомическую топографию очага и его структурные отличительные особенности. Совмещенные МРТ/ОФЭКТ и КТ/ОФЭКТ изображения позволяют определить границу между некротическим компонентом опухоли и участками непораженной ткани, а также дифференцировать ткань опухоли от зоны перифокального отека, оценить степень злокачественности новообразования, что оптимизирует удаление опухоли [20] (*рис. 4 цветной вкладки*).

По результатам фМРТ определяли взаиморасположение опухоли и зон активации, а также степень поражения опухолью ФВЗ. При сравнительном анализе результатов различных методов картирования, проведенном у больных с опухолями, прилегающими к ФВЗ коры большого мозга, установлено, что чувствительность метода фМРТ при выявлении моторной коры составляет 95%. При топографическом сопоставлении зон активации верхней конечности, выявленных по данным дооперационной фМРТ и интраоперационной стимуляции, расхождение показателей составило 3,8 мм [21, 22].

Учет данных МР-венографии о расположении конвексимальных вен по отношению к опухоли позволяет прогнозировать риск, оптимизировать проекцию

и траекторию безопасного транскортикального доступа. Кроме того, венозные коллекторы используют в качестве дополнительных топографических ориентиров и отправных точек навигационного управления во время операции (*рис. 5 цветной вкладки*).

Навигационное планирование хирургического вмешательства включает проецирование локализации и границ распространения опухоли, определение анатомических и функциональных зон высокого риска, их соотношение с экстра/интракраниальными ориентирами и траекторией хирургического доступа.

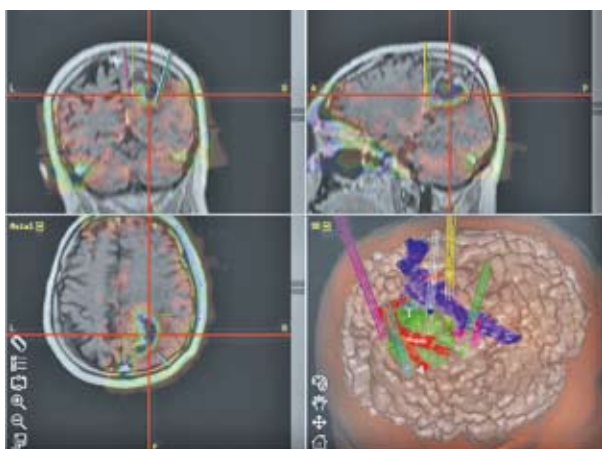
С этой целью проводят объемную реконструкцию МРТ изображений с визуализацией интракраниальных структур. Виртуальное изображение головы пациента дополняется объемной реконструкцией поверхности полушарий большого мозга с четким определением их рельефа, системы желудочков мозга, конвексимальных вен, патологического очага и его составляющих (солидная часть, кистозный компонент, зона некроза, участок кровоизлияния, область перифокального отека), а также участков функциональной активности.

Борозды коры полушарий большого мозга являются важными ориентирами при выявлении критических участков. Объемное воздействие субкортикально расположенных опухолей в области центральных извилин проявляется сглаженностью центральной борозды, уплощением предцентральной и постцентральной извилин, а при проведении фМРТ — уменьшением точек активности [23]. Идентификация ФВЗ при хирургическом вмешательстве обычно затруднена вследствие их дислокации, обусловленной объемным влиянием опухоли или функциональной реорганизацией, что приводит к несоответствию проекции расположения функциональных зон коры и их анатомической топографии [7, 20]. В связи с этим при построении объемных моделей необходимо обращать внимание на изменения коры в проекции опухоли и совпадение расположения ФВЗ с анатомическими структурами. Совмещение данных поверхностной морфологии коры с данными фМРТ повышает значение результатов дооперационного картирования.

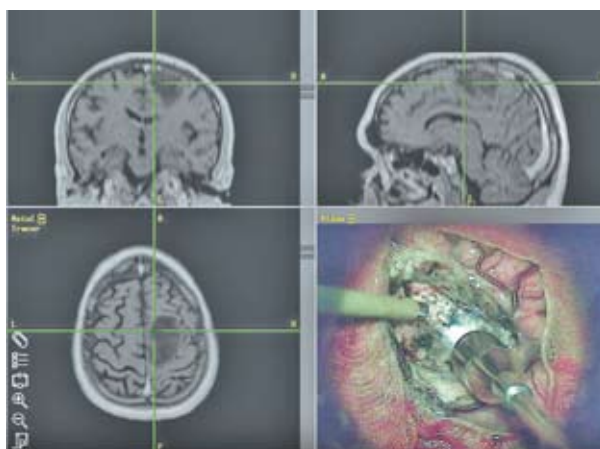
Полученная полная модель с визуализацией анатомических и функциональных структур достаточна для планирования действий хирурга и выбора безопасного хирургического доступа при субкортикальном расположении опухоли.

Границы операционного «коридора» на виртуальной модели ограничивают линиями, связывающими контуры интрацеребрального очага с поверхностью коры, минимизирующими хирургический доступ [8, 14]. Проецируя патологический очаг на конвексимальную поверхность черепа в соответствии с данными нейровизуализационного обследования и анатомическими ориентирами, определяют оптимальный размер и форму разреза кожи, границы краниотомии.

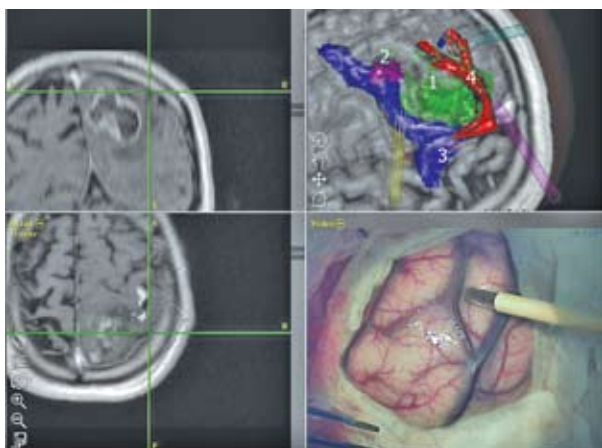
Основной причиной ошибок и несоответствия реального положения анатомических структур их изображению на мониторе навигационной станции является интраоперационная дислокация структур мозга — «сдвиг мозга» (brain shift). Смещение мозга зависит от физических причин: изменения внутричерепного давления при краниотомии, гравитационного влияния при перемене позиции головы, оттока



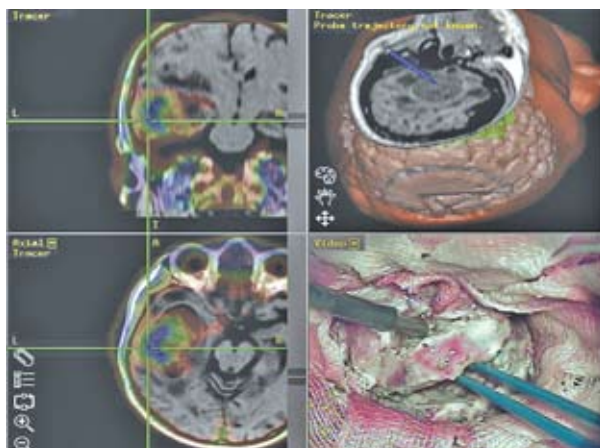
**Рис. 1.** Дооперационное планирование с использованием нейронавигационной станции на основе сочетанных МРТ/ОФЭКТ изображений. 1 — опухоль; 2 — зона функциональной активности; 3 — предцентральная извилина; 4 — прилежащая конвекситапно расположенная вена.



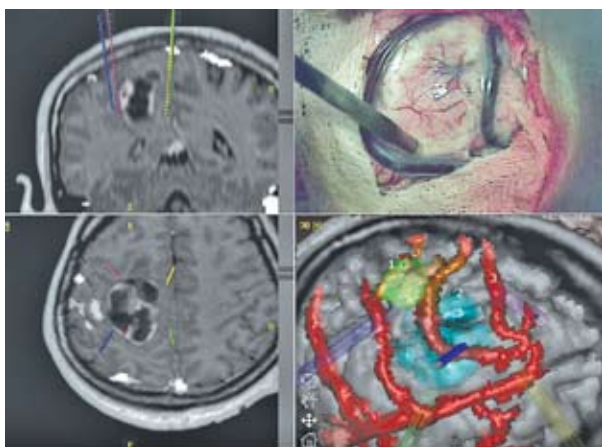
**Рис. 2.** Лазерная термодеструкция ложа удаленной опухоли под контролем нейронавигации и видеомониторинга.



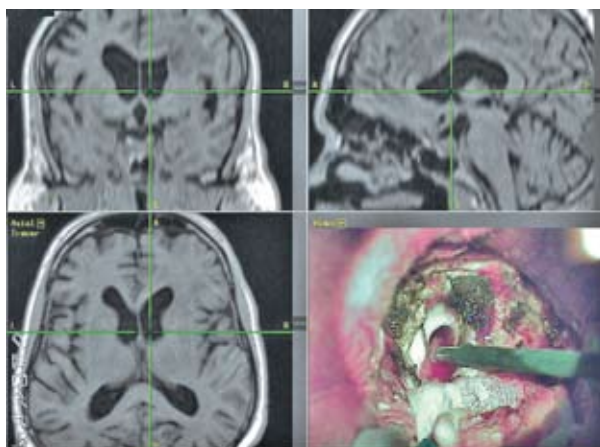
**Рис. 3.** Интраоперационная ориентация с использованием нейронавигации и видеомониторинга. 1 — опухоль; 2 — зона функциональной активности; 3 — предцентральная извилина; 4 — венозные коллекторы.



**Рис. 4.** Удаление внутримозговой опухоли под контролем нейронавигации и видеомониторинга с использованием сочетанных МРТ/ОФЭКТ изображений.



**Рис. 5.** Осуществление транскортикального доступа под контролем нейронавигации. 1 — зона функциональной активности верхней конечности; 2 — опухоль; 3 — венозные коллекторы.



**Рис. 6.** Хирургические манипуляции под контролем нейронавигации и видеомониторинга во время удаления интравентрикулярной части опухоли.

спинномозговой жидкости из ликвороносных путей, компрессии желудочков, отека мозга, ретракции и уменьшения объема опухоли при ее удалении. Смещение структур мозга является непрерывным динамичным процессом, происходящим в различных отделах головного мозга и не поддающимся четкому моделированию. Величина смещения головного мозга может достигать 10–24 мм во время операции [15, 24].

Интраоперационные изменения, обусловленные деформацией и смещением головного мозга, ведущие к ошибкам в локализации при применении нейронавигации, можно предусмотреть на этапе дооперационного планирования и устранить без значительного влияния на ход операции [11].

Для преодоления ошибок системы нейронавигации предложено использование интраоперационной МРТ, трехмерного ультразвукового исследования, видеомониторинга, математических моделей, модификации методов дооперационного радиологического исследования, адекватных методов резекции опухолей [15].

Нейронавигационные системы благодаря использованию видеомониторинга обеспечивают возможность регистрации интраоперационных изображений операционного поля с экрана станции. Наличие системы видеонаблюдения в режиме реального времени позволяет обнаружить расхождение между виртуальным изображением на экране монитора и реальной интраоперационной ситуацией, а также осуществить коррекцию последующих хирургических манипуляций.

Если после обнажения поверхности мозга отек извилин не позволяет определить топографические ориентиры опухоли, для обнаружения корковых ориентиров используют нейронавигационный зонд. На поверхности мозга, руководствуясь данными дооперационного планирования, локализуют предцентральную и постцентральную извилины, центральную борозду и участки функциональной активности. Сочетание анатомической информации и данных о функциональной принадлежности визуализированных участков коры, интегрированных в нейронавигационной системе, позволяют выбрать адекватную зону и площадь безопасного транскортикального доступа [1, 7].

На этапе выделения опухоли для определения соотношений с окружающими анатомическими структурами возможно проведение компьютерной автоматической секции объемной модели в аксиальной и/или сагиттальной плоскостях либо в плоскости, перпендикулярной хирургической траектории.

Глубинные структуры, подкорковые ядра, участки полушарий большого мозга, расположенные вдоль основания черепа, серпа смещаются в меньшей степени, чем поверхностные структуры. Поэтому во время удаления опухолей, характеризующихся медианным распространением, при менее выраженном смещении структур мозга возможно рассчитать расстояние до системы желудочков, подкорковых ядер, внутренней капсулы и более адекватно определить объем резекции (*рис. 6 цветной вкладки*).

Смещение ложа удаленной опухоли соответствует ее объему, дислокации срединных структур и

величине сдвига поверхности коры, установленных до операции [15].

На протяжении всего этапа удаления опухоли для обеспечения точности действия навигации повторно проверяют соответствие локализации реальных анатомических и виртуальных структур, фиксированных системой видеомониторинга.

Во время удаления опухоли определяют «функциональный лимит» ее резекции, что позволяет избежать травматизации ФВЗ. При этом следует учитывать опасность интраоперационной деструкции не только сенсомоторной коры, но и ассоциативных зон и корково-спинномозговых волокон, то есть прилежащего к опухоли белого вещества. Субкортикальное поражение ассоциировано с высоким риском устойчивого послеоперационного неврологического дефицита [1, 2, 7, 16].

Большинство исследователей подтверждают целесообразность сохранения безопасной зоны шириной 5–10 мм вокруг зон активации, выявленных по данным дооперационных методов картирования [16, 25].

В нашем исследовании сочетанное применение методов нейровизуализации, неинвазивного картирования коры полушарий большого мозга и нейронавигационного контроля, видеомониторинга и современных хирургических технологий позволило осуществлять резекцию опухолей ФВЗ с обеспечением высокого качества жизни пациентов.

**Выводы.** 1. Мультимодальная нейронавигация позволяет интегрировать дооперационные данные нейровизуализационных методов исследования (КТ, МРТ, фМРТ, МР-венографии, ОФЭКТ, КЭЭГ) и интраоперационную информацию, что оптимизирует возможности хирургического лечения больных с опухолями головного мозга.

1. Качественно новый уровень навигационного контроля процесса удаления опухоли и сопутствующих дислокационных изменений обеспечивает видеомониторинг хирургических действий в режиме реального времени.

2. Интраоперационное использование нейронавигации требует активной позиции нейрохирурга в оценке динамически возникающих и изменяющихся хирургических ситуаций для коррекции ранее избранной хирургической тактики.

3. Использование нейронавигационных систем для дооперационного планирования хирургического доступа и интраоперационного контроля манипуляций хирурга у больных с опухолями полушарий большого мозга позволяет обеспечить точность и безопасность действия хирурга, минимизировать тяжесть хирургической травмы, повысить радикальность удаления опухоли, снизить риск возникновения послеоперационного неврологического дефицита, улучшить качество жизни больных.

#### Список литературы

1. Motor functional MRI for preoperative and intraoperative neurosurgical guidance / I.D. Wilkinson, C.A. Romanowski, D.A. Jellinek [et al.] // Brit. J. Radiol. — 2003. — N76. — P.98–103.
2. Awake craniotomy for aggressive resection of primary gliomas located in eloquent brain / F.B. Meyer, L.M. Bates, S.J. Goerss [et al.] // Mayo Clin. Proc. — 2001. — N76.



- P.677–687.
3. Keles G.E. Low-grade hemispheric gliomas in adults: A critical review of extent of resection as a factor influencing outcome / G.E. Keles, K.R. Lamborn, M.S. Berger // *J. Neurosurg.* — 2001. — N95. — P.735–745.
  4. Treatment outcomes and prognostic factors in patients with supratentorial low-grade gliomas / S.A. Ho, J.T. Lui, C.C. Huang [et al.] // *Br. J. Radiol.* — 2005. — N78. — P.230–235.
  5. Weir B. The relative significance of factors affecting postoperative survival in astrocytomas, grades 3 and 4 / B. Weir // *J. Neurosurg.* — 1973. — N38. — P.448–452.
  6. Independent association of extent of resection with survival in patients with malignant brain astrocytoma / M.J. McGirt, K.L. Chaichana, M. Gathinji [et al.] // *Neurosurgery.* — 2009. — N110. — P.156–162.
  7. González-Darder J.M. Multimodal navigation in the functional microsurgical resection of intrinsic brain tumors located in eloquent motor areas: role of tractography / J.M. González-Darder, P. González-Lopez, F. Talamantes // *Neurosurg. Focus.* — 2010. — N28. — P.5.
  8. Surgical navigation systems for the resection of intracranial gliomas / M.W. McDermott, D. Binder, S. Kunwar [et al.] // *Computer-Assisted Neurosurgery*; eds. G.H. Barnett, R.J. Maciunas, D.W. Roberts. — N.Y.: Taylor and Francis, 2006. — P.179–194.
  9. Image-guided resection of high-grade glioma: patient selection factors and outcome / N. Scottlitofsky, A.M. Bauer, R.S. Kasper [et al.] // *Neurosurg. Focus.* — 2006. — N20. — P.16.
  10. Enchev Y. Neuronavigation: geneology, reality, and prospects / Y. Enchev // *Neurosurg. Focus.* — 2009. — N27. — P.11.
  11. Preoperative planning and intraoperative guidance in modern neurosurgery: a review of 300 cases / J. Wadley, N. Dorward, N. Kitchen [et al.] // *Ann. Roy. Coll. Surg. Engl.* — 1999. — N81. — P.217–225.
  12. Impact of neuronavigation and image-guided extensive resection for adult patients with supratentorial malignant astrocytomas: a single-institution retrospective study / M. Kurimoto, N. Hayashi, H. Kamiyama [et al.] // *Minim. Invas. Neurosurg.* — 2004. — N47. — P.278–283.
  13. Пат. 43428 Україна, МПК А61В10/00. Система хірургічної нейронавігації / В.Д. Розуменко (Україна). — №u200904255; заявл. 29.04.09; опубл. 10.08.09. Бюл. №15.
  14. Применение навигационной системы Stealth Station® Treon®Plus в хирургии внутричерепных менингиом / А.Г. Сирко, Н.А. Зорин, Ю.Е. Новик [и др.] // *Укр. нейрохірург. журн.* — 2010. — №1 — С.39–46.
  15. Postimaging brain distortion: magnitude, correlates, and impact on neuronavigation / N. Dorward, O. Alberti, B. Velani [et al.] // *Neurosurg. Focus.* — 1999. — N6. — Article 4.
  16. Gil-Robles S. Surgical management of World Health Organization Grade II gliomas in eloquent areas: the necessity of preserving a margin around functional structures / S. Gil-Robles, H. Duffau // *Neurosurg. Focus.* — 2010. — V.28, N2. — P.8.
  17. Keles G.E. The effect of extent of resection on time to tumor progression and survival in patients with glioblastoma multiforme of the cerebral hemisphere / G.E. Keles, B. Anderson, M.S. Berger // *Surg. Neurol.* — 1999. — N52. — P.371–379.
  18. Пат. 40967 Україна, МПК А61В8/00. Спосіб функціонального маркування рухової зони кори при пухлинах ділянки центральних звивин головного мозку / В.Д. Розуменко, А.П. Хорошун, А.В. Розуменко (Україна). — №u200814864; заявл. 23.12.08; опубл. 27.04.09. Бюл. №8.
  19. Пат. 31583 Україна, МПК А61В8/13. Спосіб діагностики пухлин головного мозку при застосуванні суміщених МРТ- та ОФЕКТ-зображень / В.Д. Розуменко, С.С. Макеєв, О.Ю. Чувашова [та ін.] (Україна). — №u200714747; заявл. 26.12.07; опубл. 10.04.08. Бюл. №7.
  20. Розуменко В.Д. Комплексне застосування методів інтраскопічної діагностики для обстеження нейроонкологічних хворих / В.Д. Розуменко, С.С. Макеєв, О.Ю. Чувашова // *Укр. радіол. журн.* — 2002. — N1. — С.86–88.
  21. Pirotte B. Comparison of functional MR imaging guidance to electrical cortical mapping for targeting selective motor cortex areas in neuropathic pain: a study based on intraoperative stereotactic navigation / B. Pirotte, C. Neugroschl, T. Metens // *Am. J. Neuroradiol.* — 2005. — N26. — P.2256–2266.
  22. Functional magnetic resonance imaging is more reliable than somatosensory evoked potential or mapping for the detection of the primary motor cortex in proximity to a tumor / N. Shinoura, R. Yamada, Y. Suzuki [et al.] // *Stereotact. Funct. Neurosurg.* — 2007. — N85. — P.99–105.
  23. Чувашова О.Ю. Исследование зон активности двигательных функций у больных с глиомой, действующей на сенсомоторные отделы полушарий мозга / О.Ю. Чувашова // *Укр. нейрохірург. журн.* — 2004. — №3. — С.43–49.
  24. Quantification of, visualization of and compensation for brain shift using intraoperative magnetic resonance imaging / C. Nimsky, O. Ganslandt, S. Cerny [et al.] // *Neurosurgery.* — 2000. — N47. — P.1070–1080.
  25. Чувашова О.Ю. Ефективність передопераційного фМРТ визначення зони рухової активації кори півкуль великого мозку у попередженні рухових порушень при хірургії внутрішньомозкових пухлин / О.Ю. Чувашова, В.Д. Розуменко // *Укр. нейрохірург. журн.* — 2009. — №4. — С.69–73.

Одержано 05.06.10

Розуменко В.Д., Розуменко А.В.

### Застосування мультимодальної нейронавігації в хірургії пухлин головного мозку

Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України, м. Київ

Наведений досвід застосування мультимодальної нейронавігації при хірургічному лікуванні хворих з пухлинами головного мозку. Мультимодальна нейронавігація дозволяє одночасно використовувати дані різних методів нейровізуалізації для доопераційного планування хірургічного втручання та інтраопераційної орієнтації під час видалення пухлин головного мозку. Застосування нейронавігації в нейроонкології сприяє підвищенню радикальності хірургічного втручання, дозволяє уникнути пошкодження функціонально важливих структур головного мозку, забезпечує зниження ризику виникнення неврологічного дефіциту.

**Ключові слова:** пухлини головного мозку, хірургічне лікування, мультимодальна нейронавігація, функціонально важливі зони головного мозку.

*Розуменко В.Д., Розуменко А.В.*

### **Применение мультимодальной нейронавигации в хирургии опухолей головного мозга**

Институт нейрохирургии им. акад. А.П. Ромоданова НАМН Украины, г. Киев

Приведен опыт применения мультимодальной нейронавигации при хирургическом лечении больных с опухолями головного мозга. Мультимодальная нейронавигация позволяет одновременно использовать данные различных методов нейровизуализации для дооперационного планирования хирургического вмешательства и интраоперационной ориентации при удалении опухолей головного мозга. Применение нейронавигации в нейроонкологии способствует повышению радикальности хирургического вмешательства, позволяет избежать повреждения функционально важных структур головного мозга, обеспечивает снижение риска возникновения послеоперационного неврологического дефицита.

**Ключевые слова:** *опухоли головного мозга, хирургическое лечение, мультимодальная нейронавигация, функционально важные зоны головного мозга.*

*Rozumenko V.D., Rozumenko A.V.*

### **Multimodal neuronavigation using in surgery of brain tumors**

Institute of Neurosurgery named after acad. A.P. Romodanov  
of National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kiev

The experience of multimodal neuronavigation using at patients with brain tumors surgical treatment is presented. Multimodal neuronavigation allows simultaneous using of different neuroiradiological methods' data for surgical intervention planning before operation and intraoperative orientation at brain tumors resection. The use of neuronavigation in neurooncology allows to improve tumor resection, to avoid damage of functionally important brain areas, and to reduce the risk of postoperative neurological deficit.

**Key words:** *brain tumors, surgical treatment, multimodal neuronavigation, functionally important brain areas.*

---

#### **Комментарий**

*к статье Розуменко В.Д., Розуменко А.В. «Применение мультимодальной нейронавигации в хирургии опухолей головного мозга».*

Работа посвящена одному из перспективных направлений нейрохирургии в лечении опухолей головного мозга — оптимизации оперативной техники путем использования нейронавигационных технологий. В Украине это направление не получило должного распространения, его применяют лишь в отдельных центрах. Однако можно с уверенностью сказать, что за ним будущее. Тот, кто хоть раз выполнил операцию по удалению внутримозговой опухоли с использованием нейронавигации, несомненно, оценит ее преимущества. До внедрения нейронавигации в нейрохирургическую практику нейрохирургу во время выполнения операции приходилось опираться на личный опыт, интуицию, пространственное восприятие структур мозга, невидимых при определении границ трепанационного окна и выборе траектории энцефалотомии. Следовательно, субъективный фактор во многом определял исход операции. Нередко это приводило к тому, что опухоль либо удаляли нерадикально, либо вообще не обнаруживали во время операции. Особенно это касается опухолей, не прорастающих кору большого

мозга. При расположении опухоли вблизи функционально важных зон (ФВЗ) мозга особое значение имеет планирование подхода к опухоли и четкое определение границы, переход за которую неизбежно влечет грубые неврологические расстройства. В этом отношении работа особенно актуальна, поскольку в планирование операции включали не только данные МРТ или СКТ, но и результаты таких методов, как фМРТ, МР-венография, ОФЕКТ. Такой мультимодальный подход несомненно повышает точность планирования и выполнения операции. Использование нейронавигационных систем позволяет свести влияние субъективного фактора до минимума, повысить радикальность операции и максимально сохранить ФВЗ мозга. Интересен разработанный авторами метод определения объема хирургической резекции опухоли путем сопоставления данных нейронавигации и полученной в режиме реального времени информации в виде изображений видеомониторинга, передаваемого на станцию от операционного микроскопа. Работа представляет научный интерес и полезна для практической нейрохирургии.

*Н.А. Зорин, доктор мед. наук, профессор  
кафедры нервных болезней и нейрохирургии  
Днепропетровской государственной медицинской академии*