

ХИРУРГИЯ В СОЗНАНИИ В НЕЙРООНКОЛОГИИ. ЧАСТЬ 2. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ИНТРАОПЕРАЦИОННОЕ КАРТИРОВАНИЕ

А.Ю. Дмитриев^{1,2}, М.В. Синкин^{1,2}, А.А. Скальная², А.А. Солодов^{1,2}, В.Г. Дашьян^{1,2}

¹ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»; Россия, 129010 Москва, Большая Сухаревская пл., 3;

²ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России; Россия, 127006 Москва, ул. Долгоруковская, 4

Контакты: Александр Юрьевич Дмитриев dmitriev@neurosklif.ru

Хирургию с пробуждением обычно применяют для сохранения речи у больного. С этой целью используют различные тесты, выбор которых зависит от расположения опухоли. У многоязычных пациентов вербальные центры обычно имеют различную локализацию. Картирование каждого из них необходимо для сохранения способности к общению. Для исследования зрения применяют тест с показом цветных точек или рисунков на экране монитора, разделенного на 4 части. Такое тестирование позволяет одновременно оценить функции зрения и речи.

Картирование моторной зоны у больных в сознании позволяет более комплексно оценить двигательную функцию, включая планирование движений, проприоцептивный контроль и равновесие. Электростимуляция чувствительного центра у пациентов в состоянии бодрствования дает возможность дифференцировки разных видов чувствительности.

Картирование и сохранение когнитивных функций, памяти, внимания и способности к калькуляции чисел повышают шанс сохранить профессиональные навыки и качество жизни после операции.

Ключевые слова: хирургия в сознании, краниотомия в сознании, хирургия с пробуждением, картирование, электростимуляция, речь, зрение, когнитивные функции

Для цитирования: Дмитриев А.Ю., Синкин М.В., Скальная А.А. и др. Хирургия в сознании в нейроонкологии. Часть 2. Функциональное интраоперационное картирование. Нейрохирургия 2024;26(1):130–6. DOI: <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-1-130-136>

Awake surgery in neurooncology. Part 2. Functional intraoperative mapping

A. Yu. Dmitriev^{1,2}, M. V. Sinkin^{1,2}, A. A. Skalnaya², A. A. Solodov^{1,2}, V. G. Dashyan^{1,2}

¹N. V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department; 3 Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090, Russia;

²Russian University of Medicine, Ministry of Health of Russia; 4 Dolgorukovskaya St., Moscow 127006, Russia

Contacts: Aleksandr Yuryevich Dmitriev dmitriev@neurosklif.ru

Awake surgery is usually used to save patient's speech. Various tests are applied for this purpose, which selection depends on tumor location. In multilingual patients verbal centers usually have different position. Location of each of them is necessary to keep patient's communication capabilities after operation.

To study vision, tests with presentations of color points or pictures on the screen divided on 4 parts are used. Such testing allows to estimate vision and speech simultaneously.

Mapping of motor area in awake patients allows to evaluate this function more comprehensively including motion planning, proprioceptive control and balance. Stimulation of sensory area in awake patients gives opportunity to differ various types of sensitivity.

Mapping and keeping of cognitive functions, memory, attention and ability of calculation increases chance to save professional skills and quality of life after operation.

Keywords: awake surgery, awake craniotomy, cortical mapping, speech, vision, cognitive functions

For citation: Dmitriev A.Yu., Sinkin M.V., Skalnaya A.A. et al. Awake surgery in neurooncology. Part 2. Functional intra-operative mapping. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2024;26(1):130–6. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-1-130-136>

ВВЕДЕНИЕ

Интраоперационное пробуждение пациента открыло новые возможности для нейромониторинга. В настоящее время краниотомию в сознании используют при операциях, выполняемых в непосредственной близости от функционально значимых центров головного мозга, например моторного и речевого. Вербальный контакт с пациентом и возможность клинической оценки его функционального статуса позволяют более точно картировать расположение этих областей при интраоперационной нейростимуляции.

Первоначально хирургию в сознании использовали лишь для оценки функции речи [1], но по мере совершенствования анестезии, разработки специфических тестов и шкал, а также накопления опыта выполнения подобных операций начали исследовать и другие функции, требующие контакта с больным: зрение, внимание, память, математические расчеты и профессиональные навыки [2, 3]. Общение с пациентом во время основного этапа операции расширяет возможности оценки движений и чувствительности [4]. В обзоре детально рассмотрены методики картирования каждой из этих функций.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЧИ

Согласно современным данным, нейрональная обработка языковой функции представлена в виде двухпоточной системы (модель Hickok–Poerppel) [5]. В основе системы лежит понятие о наличии вентрального и дорсального потоков, которые объединяют разные области коры в единую систему с разграничением функций. Вентральный поток, соединяющий передние и средние отделы височной доли с традиционно представляемой зоной Вернике (задние отделы верхней височной извилины и верхняя височная борозда), обеспечивает спектральный и фонологический анализ поступающей звуковой информации, т. е. распознавание речи и представление о лексических понятиях. Дорсальный поток затем обеспечивает сенсомоторную интеграцию посредством отображения фонологической информации в артикуляционной моторной зоне. Обе части дорсального потока начинаются от области задних отделов верхней височной извилины и перекрываются в промежуточном «узле», который, согласно различным моделям, находится либо в теменной и височной долях вокруг латеральной щели, либо более медиально — в нижней теменной доле. Считают, что дорсальный поток вовлечен не только в слуховую сенсомоторную интеграцию путем сопоставления фонологической информации с артикуляционно-моторными репрезентациями, но и в обработку слуховой

пространственной информации. В итоге одна часть потока приходит в премоторную кору, а вторая — в нижнюю лобную извилину [6]. Вероятно, дорсальный путь слева является доминирующим. До сих пор остается нерешенным вопрос, представлена ли речь билатерально, или существует доминирующее полушарие. Например, прослушивание речи активизирует задние отделы верхней височной извилины в обоих полушариях, а эмоциональная окраска речи воспринимается, вероятно, недоминантным полушарием [7, 8].

Несмотря на длительное применение, концепция операций в сознании с проверкой речевой функции достаточно сильно разнится по анестезиологическому пособию, необходимому техническому оснащению, параметрам прямой электростимуляции и, что наиболее важно, парадигмам (заданиям) для картирования, а также по хирургической тактике [9]. Отбор и интерпретация выполнения интраоперационных речевых заданий требуют углубленного изучения речевой функции конкретного пациента до операции и распознавания многочисленных вариантов нарушений речи, кроме остановки речи (speech arrest) и аномии (невозможность назвать объект) [10]. Несмотря на вариабельное расположение речевых центров мозга, можно выделить наиболее частый вариант их локализации. Электростимуляция данных центров обычно приводит к соответствующим вербальным нарушениям. При воздействии током на покрышечную и треугольную части нижней лобной извилины, а также участки нижней теменной и верхней височной извилин происходит остановка речи. При картировании задних отделов средней лобной извилины и задней части средней и нижней височных извилин наблюдают аномию. Для стимуляции нижней и передней частей прецентральной извилины характерна анартрия. При пропускании тока через супрамаргинальную извилину и задненижнюю часть теменной доли возникают фонетические ошибки. При стимуляции белого вещества на уровне верхней височной извилины и нижних отделов теменной доли наблюдают семантическую парافазии [11, 12].

Помимо корковых центров возможно картирование расположения субкортикальных трактов. Сам факт интраоперационного выявления подкорковых речевых проводящих путей повышает вероятность вербальных нарушений после операции, так как свидетельствует об их близком расположении к месту хирургических манипуляций [11]. Речевые проводящие пути располагаются внутри доброкачественных глиом в 41 % случаев, внутри злокачественных глиом — лишь в 14 % [11].

Задания для картирования формируют на основании проверяемых компонентов речи и их топографической корреляции с участками коры и подкорковых сегментов в зоне операции. На сегодняшний день зачастую используют те же форматы заданий, какие применял в своей работе W. Penfield, — называние предметов и действий, счет, иногда чтение, что далеко не всегда позволяет проверить все домены речи, которые влияют на качество жизни пациента. Нередко нейрохирургические клиники используют собственные разработанные задания, поэтому методика далека от стандартизации [9]. Чаще всего для оценки функции речи применяют тест называния объектов (object naming task), нередко совмещая его с наименованием действий (action naming test) [13]. Тестирование заключается в назывании пациентом предметов или действий, изображения которых ему показывают. Произнесение предложений вместо отдельных слов дает возможность более тщательной оценки — склонения существительных и спряжения глаголов, точности произношения слов, понимания их смысла, правильности связи слов в предложение, а предложений — в рассказ [14]. Помимо тестов во время операции постоянно поддерживают беседу с больным для оценки инициации, понимания и беглости речи, а также памяти и ориентации [15].

В момент выполнения предварительно отобранных исходя из локализации картируемой зоны речевых заданий к коре мозга прикладывают биполярный зонд, подающий электрические импульсы частотой 50 Гц, длительностью 4000 мс, силой тока до 10 мА [16]. Затем отмечают области коры мозга, при стимуляции которых двукратно воспроизводилось клиническое нарушение речи. Активное картирование не проводят при высоком риске развития эпилептического приступа у пациента. Безопасное расстояние от края резекции до центра речи составляет 1–2 см [17].

У многоязычных пациентов при образованиях речевой зоны необходимо картировать все языковые центры, так как их взаиморасположение вариабельно [18]. Солокализация таких вербальных центров относительно друг друга зависит от возраста, в котором человек изучал иностранный язык. Существует зависимость: чем в более раннем возрасте пациент освоил второй язык, тем ближе отвечающий за его восприятие речевой центр располагается к центру родного языка и тем более компактно его расположение. У таких пациентов проще обнаружить оба центра при электро-стимуляции. При выявлении центра речи иностранного языка обычно рядом удается локализовать вербальную зону родного [19].

ПРОВЕРКА ЗРИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Интраоперационная локализация кортикального представительства зрительного анализатора и прово-

дящих путей при хирургии в сознании изучена недостаточно. Главным образом это связано с тем, что многие хирурги считают зрительную зону малозначимой, новые визуальные расстройства не всегда могут быть осознаны пациентом во время операции, а частичные выпадения отдельных участков зрения значительно не инвалидизируют пациента. Одним из способов интраоперационной оценки зрения, предложенным H.S. Nguyen и соавт. (2011), является показ на экране размером 40 × 30 см красных и зеленых точек разного диаметра, возникающих на его противоположных сторонах. Дополнительно лазерным лучом отмечают точку, на которой пациенту необходимо фиксировать взгляд. Красный и зеленый цвета выбраны из-за того, что нарушение их восприятия при повреждении зрительных путей возникает раньше, чем желтого и синего цветов. Кроме того, красный и зеленый цвета хорошо контрастируют между собой. При выполнении нейростимуляции пациент смотрит на экран обоими глазами и сообщает в случае затуманивания точек или их исчезновения. Стимуляцию проводят силой тока 4–5 мА. В этот момент больной отмечает вспышки, иногда сопровождающиеся кратковременной (на 30 с) потерей зрения. Важной технической особенностью является такая установка головодержателя, чтобы он не мешал зрению [2, 20].

Другой способ интраоперационной проверки зрения — показ картинок на экране монитора, разделенного на 4 части. G. Gras-Combe и соавт. (2012), предложившие этот метод, применяли его при электростимуляции зрительной лучистости, но его возможно использовать и при картировании зрительной коры. Каждая часть экрана соответствует четверти поля зрения, а 2 разных изображения располагают по диагонали. Пациент смотрит на красный крест в центре экрана, не зная, в какой момент происходит стимуляция, и при нарушении зрения сообщает об этом. Применение лишь 2 рисунков вместо 4 авторы объясняют преднамеренным допущением возникновения квадрантопии. Выпадение контралатерального изображения при сохранении ипсилатерального свидетельствует о раздражении зрительного пути, тогда как нарушение восприятия обоих рисунков является артефактным. Одновременно с проверкой зрения таким способом можно оценивать и речевую продукцию. Это особенно важно при опухолях височно-теменно-затылочной области, в которой одновременно проходят как зрительные, так и речевые проводящие пути. При подкорковой стимуляции наиболее часто наблюдают размытие видимых изображений (78 %), фосфены (28 %), ощущение тени (14 %) и галлюцинации (7 %). Магнитно-резонансная трактография не подходит для такой операции, поскольку не позволяет определить, какие именно проводящие пути в составе зрительной лучистости несут информацию от оцениваемых четвертей полей зрения. Кроме того, трактография показывает

анатомическое строение проводящих путей, но не их функциональную значимость [21].

Нарушение полей зрения во многих странах является противопоказанием для вождения автомобиля, что снижает качество жизни пациентов. Поэтому преднамеренное вызывание гемианопсии оправдано лишь при резекции глиом затылочной доли из-за более высокой радикальности операции. При расположении же опухоли в височно-теменно-затылочной области следует попытаться сохранить все поля зрения. Это относится ко всем опухолям, включая глиомы низкой степени злокачественности. Полное излечение при резекции таких новообразований обычно невозможно, поэтому главная цель операции — предотвращение малигнизации новообразования. Сохранение зрения на несколько лет является важным для качества жизни больного [21].

ТЕСТИРОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ

Вновь возникающие когнитивные нарушения во время хирургии в сознании важно дифференцировать от усталости пациента. Для правильной интерпретации результатов необходимо участие смежных профильных специалистов (невролог, нейропсихолог). По данным J. Vreepmunt и соавт. (2018), возникающие после операции легкие и умеренные когнитивные расстройства регрессируют чаще, чем очаговые неврологические дисфункции, а динамика грубых когнитивных и неврологических нарушений не различается. Повышение радикальности резекции опухоли за счет появления новых легких и умеренных когнитивных нарушений остается предметом дискуссии [22].

При удалении глиом лобных долей может пострадать внимание, при инвазии крючкового пучка — узнавание лиц знаменитостей, при опухолях островковой доли — называние наименований предметов и память. Правильный набор тестов, позволяющих оценивать эти функции до и во время операции, необходим для предотвращения когнитивных расстройств. Это тесты на узнавание известных лиц, задержку реакции (тест Струпа), визуально-пространственные и мыслительные задачи [23].

S.S. Chakravarthi и соавт. (2019) после операции по удалению объемных образований III желудочка у 4 (33 %) из 11 больных наблюдали когнитивные нарушения. Наиболее часто они развивались при поражении более его 2/3 и вовлечении в процесс лимбической системы, мамиллоталамических трактов, передней спайки, стенки гипоталамуса и свода. По мнению авторов, хирургия с пробуждением у таких пациентов позволяет предупредить нарастание интеллектуальных нарушений после операции. А при применении порта из-за небольших размеров хирургического доступа оперативное вмешательство возможно проводить, полностью отказавшись от наркоза [24].

ПРОВЕРКА ВНИМАНИЯ, ПАМЯТИ И КАЛЬКУЛЯЦИИ ЧИСЕЛ

По данным С.А. Racine и соавт. (2015), у 92 % больных с объемными образованиями головного мозга даже при отсутствии очаговых неврологических нарушений имеются нарушения внимания, памяти, повышение тревожности и раздражительности. По их мнению, такая высокая частота поведенческих нарушений связана с распространенной локализацией этих центров в головном мозге, в связи с чем данные расстройства возникают при любом расположении опухоли. Стандартный неврологический осмотр и даже базовые нейрокогнитивные тесты (такие как Монреальская когнитивная шкала, МоСА) неспособны выявить данные расстройства. Для этого требуется более углубленное тестирование. После хирургического вмешательства чаще всего нарушаются память, настроение, нарастают беспокойство, депрессия, раздражительность, что приводит к снижению качества жизни. Сохранение этих функций при хирургическом вмешательстве может улучшить функциональный исход [3].

Работ по интраоперационному картированию высших корковых функций при хирургии в сознании очень мало. Это связано с технической сложностью выполнения, значительным удлинением основного этапа хирургического вмешательства и сложностью различения развивающегося функционального нарушения и усталости больного. Особенный интерес представляет картирование центров мозга, отвечающих за профессиональную деятельность больного [4, 25, 26].

Резекция глиом передних отделов поясных извилин может привести к нарушению исполнительных функций, которые включают планирование действия, выбор цели, принятие решения и оценку результата. Расстройства этих функций не так очевидны, как нарушения движений или речи. M. Wager и соавт. (2013) предложили применять тест Струпа при хирургии в сознании у таких больных. При возможности тотальной резекции опухоли (особенно низкой степени злокачественности) с сохранением движений и речи результатами теста можно пренебречь, а исполнительными функциями пожертвовать. В этом случае радикальная резекция позволяет увеличить выживаемость и сохранить качество жизни. С другой стороны, при невозможности тотального или субтотального удаления опухоли целесообразно сохранение любых значимых центров, так как дополнительная (но заведомо неполная) резекция глиомы не влияет на продолжительность жизни, но снижает ее качество. Примечательно, что в половине наблюдений с положительным тестом Струпа очаг располагался на противоположной стороне, что говорит о высокой пластичности данных высших корковых функций [27]. Такого же мнения придерживаются H. Duffau и соавт. (2010), которые считают, что

необходимость сохранения высших корковых функций зависит от гистологического типа опухоли и возраста больного. При глиомах низкой степени злокачественности у молодых пациентов с учетом длительной предполагаемой продолжительности жизни следует стремиться их сохранить. При глиобластомах это не является обязательным [4].

А.Д. Рупра и соавт. в 2 работах первыми описали расположение корковых и подкорковых центров калькуляции чисел в правой теменной доле у 5 правшей по результатам нейростимуляции. Корковые очаги, отвечающие за сложение и умножение, были обнаружены в угловой и надкраевой извилинах, межтеменной борозде, нижней и верхней теменной долях правого полушария. Подкорковые арифметические центры наблюдали лишь в верхней теменной доле. В этих работах не выполняли тест на доминантность полушария, однако отсутствие речевых нарушений при нейростимуляции правой теменной доли косвенно свидетельствовало о преобладании левого полушария. Авторы не резецировали эти функционально значимые центры и не выявили нарушений арифметических навыков после операции. Однако, учитывая распределенный характер локализации в мозге центров математических вычислений, неясно, повлечет ли резекция правой теменной доли математические дисфункции [28, 29].

Хирургия в сознании позволяет локализовать центр визуально-пространственного восприятия. Он располагается в лобной, височной, теменной долях и в подкорковых ядрах недоминантного полушария. При его повреждении возникает унилатеральная пространственная агнозия, проявляющаяся в игнорировании левой части пространства, что значительно инвалидизирует пациента. Для обнаружения центра во время нейростимуляции больного просят показать середину 20-сантиметрового отрезка. Ее смещение более чем на 6,5 мм вправо свидетельствует о раздражении данного центра мозга [30].

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ КОРЫ

При стимуляции двигательного центра в сознании могут возникнуть непроизвольные сокращения мышц, ускорение или прекращение движений [31].

Несмотря на то что картирование первичной моторной коры можно выполнять и у больных в состоянии наркоза, хирургия в сознании имеет дополнительные преимущества. В формировании движений принимает участие не только первичная двигательная кора. Дополнительная моторная зона участвует в планировании произвольных движений. Также движения связаны с получением проприоцептивной информации от конечностей, визуальным контролем и чувством равновесия. Для оценки этих функций требуется постоянная связь с пациентом, что выполнимо лишь

при нахождении его в сознании во время операции [4].

При операциях в сознании силу тока для картирования первичной двигательной коры выставляют ниже, чем при наркозе, обычно она не превышает 5–7 мА при использовании стимуляции с частотой 50 Гц по методу Пенфилда [17, 32]. Порог возникновения мышечного ответа увеличивается при злокачественных опухолях и массивном перифокальном отеке, а стимуляция меньшей силой тока при хирургии в сознании реже провоцирует интраоперационные судороги [12]. Безопасное расстояние от места резекции до первичной двигательной коры — 0,5 см [17].

КАРТИРОВАНИЕ СЕНСОРНОЙ КОРЫ

В литературе уделено мало внимания электростимуляции этой функциональной зоны при хирургии в сознании. Использование фазово-реверсивных соматосенсорных вызванных потенциалов позволяет лишь локализовать центральную извилину, но не получить точную информацию об организации сенсорной коры. Пациент в сознании способен отличить поверхностную чувствительность от глубокой, что дает возможность точно определить участки коры и таламокортикального пути, ответственные за соответствующую чувствительность [4].

ОСОБЕННОСТИ АНЕСТЕЗИОЛОГИЧЕСКОГО ПОСОБИЯ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ИНТРАОПЕРАЦИОННОМ КАРТИРОВАНИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Основной задачей анестезиологического пособия при хирургии в сознании является обеспечение условий для выполнения нейрофизиологического мониторинга и хирургии при сохранении максимальных безопасности и комфорта для пациента.

Важны предоперационная оценка состояния больного, разъяснение ему основных этапов операции. Пациенты должны быть информированы о возможности возникновения ощущений или интраоперационного пробуждения во время некоторых этапов операции, так как глубина анестезии может быть уменьшена во время электрокортикографии [33]. Во время моторного картирования на контралатеральной половине лица, в руке и/или ноге могут происходить непроизвольные мышечные сокращения или затруднение движений. При сенсорном картировании определяют, есть ли у пациента аномальные ощущения, например парестезии. Во время стимуляции коры головного мозга в функционально значимых участках мозга у пациента вызываются речевые нарушения, такие как прекращение речи, экспрессивная или репрессивная афазия. Пациент должен быть подготовлен к таким ситуациям. Частой причиной

неудачи при краниотомии в сознании является плохая коммуникация с пациентом во время операции, поэтому необходимы постоянный контакт с больным, эмпатия и предупреждение психологического дискомфорта [31, 34, 35].

Выбор анестетиков для проведения общей анестезии осуществляют с учетом их воздействия на электрическую активность головного мозга. В большинстве случаев совместное использование противоэpileптических и анестетических препаратов потенцирует седативный эффект. Следует учитывать, что некоторые антиконвульсанты (карбамазепин, фенитоин, фенобарбитал) обладают выраженными энзиминдуцирующими свойствами, что может приводить к изменению продолжительности и выраженности действия различных медикаментов вследствие снижения их плазменной концентрации [36].

Правильное использование анестетиков и тщательное титрование дозы, а также эффективная связь между нейрохирургом, нейрофизиологом и анестезиологом имеют важное значение для оптимизации эффективности мониторинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хирургию с пробуждением все чаще используют в нейроонкологии. Выявление и сохранение вербальных центров и речевых проводящих путей улучшают социальную адаптацию больных после операции. Интраоперационное картирование при сохранении сознания позволяет оценить зрение, провести комплексный анализ двигательной, чувствительной сфер и высших корковых функций. Вопрос о возможности сохранения когнитивных способностей остается дискуссионным и во многом зависит от гистологического типа опухоли. Попытка предотвращения их повреждения целесообразна при глиомах низкой степени злокачественности и предполагаемой высокой продолжительности жизни.

Еще одним преимуществом картирования головного мозга в сознании является возможность сохранения отдельных профессиональных навыков, что особенно актуально для пациентов трудоспособного возраста. Однако данную возможность редко используют на практике из-за удлинения операции и сложности оценки этих функций.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Ojemann G., Ojemann J., Lettich E., Berger M. Cortical language localization in left, dominant hemisphere. An electrical stimulation mapping investigation in 117 patients. *J Neurosurg* 1989;71(3): 316–26. DOI: 10.3171/jns.1989.71.3.0316
- Nguyen H.S., Sundaram S.V., Mosier K.M., Cohen-Gadol A.A. A method to map the visual cortex during an awake craniotomy. *J Neurosurg* 2011;114(4):922–6. DOI: 10.3171/2010.11.JNS101293
- Racine C.A., Li J., Molinaro A.M. et al. Neurocognitive function in newly diagnosed low-grade glioma patients undergoing surgical resection with awake mapping techniques. *Neurosurgery* 2015;77(3):371–9; discussion 379. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000779
- Duffau H. Awake surgery for nonlanguage mapping. *Neurosurgery* 2010;66(3):523–8; discussion 528–9. DOI: 10.1227/01.NEU.0000364996.97762.73
- Hickok G., Poeppel D. Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition* 2004;92(1–2):67–99. DOI: 10.1016/j.cognition.2003.10.011
- Chang E.F., Raygor K.P., Berger M.S. Contemporary model of language organization: an overview for neurosurgeons. *J Neurosurg* 2015;122(2):250–61. DOI: 10.3171/2014.10.JNS132647
- Hickok G., Poeppel D. The cortical organization of speech processing. *Nat Rev Neurosci* 2007;8(5):393–402. DOI: 10.1038/nrn2113
- Imaizumi S., Mori K., Kiritani S. et al. Vocal identification of speaker and emotion activates different brain regions. *Neuroreport* 1997;8(12):2809–12. DOI: 10.1097/00001756-199708180-00031
- Sefcikova V., Sporrer J.K., Ekert J.O. et al. High interrater variability in intraoperative language testing and interpretation in awake brain mapping among neurosurgeons or neuropsychologists: an emerging need for standardization. *World Neurosurg* 2020;141:e651–e60. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.05.250
- Talacchi A., Santini B., Casartelli M. et al. Awake surgery between art and science. Part II: language and cognitive mapping. *Funct Neurol* 2013;28(3):223–39. DOI: 10.11138/FNeur/2013.28.3.223
- Bello L., Gallucci M., Fava M. et al. Intraoperative subcortical language tract mapping guides surgical removal of gliomas involving speech areas. *Neurosurgery* 2007;60(1):67–80; discussion 80–2. DOI: 10.1227/01.NEU.0000249206.58601.DE
- Spena G., Nava A., Cassini F. et al. Preoperative and intraoperative brain mapping for the resection of eloquent-area tumors. A prospective analysis of methodology, correlation, and usefulness based on clinical outcomes. *Acta Neurochir (Wien)* 2010;152(11):1835–46. DOI: 10.1007/s00701-010-0764-9
- Rofes A., Miceli G. Language mapping with verbs and sentences in awake surgery: a review. *Neuropsychol Rev* 2014;4(2):185–99. DOI: 10.1007/s11065-014-9258-5
- Ohlerth A.K., Valentin A., Vergani F. et al. The verb and noun test for peri-operative testing (VAN-POP): standardized language tests for navigated transcranial magnetic stimulation and direct electrical stimulation. *Acta Neurochir* 2020;162(2):397–406. DOI: 10.1007/s00701-019-04159-x
- Жуков В.Ю., Горайнов С.А., Буклина С.Б. и др. Интраоперационное картирование длинных ассоциативных трактов в хирургии глиом доминантной по речи лобной доли. Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко 2018;82(5):5–20. DOI: 10.17116/neiro2018820515
Zhukov V.Yu., Goryaynov S.A., Buklina S.B. et al. Intraoperative mapping of long association fibers in surgery of gliomas of the speech-dominant frontal lobe. *Zhurnal Voprosy neirokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2018;82(5):5–20. (In Russ.). DOI: 10.17116/neiro2018820515
- Garrett M.C., Pouratian N., Liao L.M. Use of language mapping to aid in resection of gliomas in eloquent brain regions. *Neurosurg Clin N Am* 2012;23(3):497–506. DOI: 10.1016/j.nec.2012.05.003

17. Trinh V.T., Fahim D.K., Shah K. et al. Subcortical injury is an independent predictor of worsening neurological deficits following awake craniotomy procedures. *Neurosurgery* 2013;72(2):160–9. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31827b9a11
18. Giussani C., Roux F.E., Lubrano V. et al. Review of language organisation in bilingual patients: what can we learn from direct brain mapping? *Acta Neurochir (Wien)* 2007;149(11):1109–16; discussion 1116. DOI: 10.1007/s00701-007-1266-2
19. Walker J.A., Quiñones-Hinojosa A., Berger M.S. Intraoperative speech mapping in 17 bilingual patients undergoing resection of a mass lesion. *Neurosurgery* 2004;54(1):113–7; discussion 118. DOI: 10.1227/01.neu.0000097270.95721.3b
20. Šteňo A., Karlik M., Mendel P. et al. Navigated three-dimensional intraoperative ultrasound-guided awake resection of low-grade glioma partially infiltrating optic radiation. *Acta Neurochir (Wien)* 2012;154(7):1255–62. DOI: 10.1007/s00701-012-1357-6
21. Gras-Combe G., Moritz-Gasser S., Herbet G., Duffau H. Intraoperative subcortical electrical mapping of optic radiations in awake surgery for glioma involving visual pathways. *J Neurosurg* 2012;117(3):466–73. DOI: 10.3171/2012.6.JNS111981
22. Brennum J., Engelmann C.M., Thomsen J.A., Skjøth-Rasmussen J. Glioma surgery with intraoperative mapping – balancing the onco-functional choice. *Acta Neurochir (Wien)* 2018;160(5):1043–50. DOI: 10.1007/s00701-018-3521-0
23. Satoer D., Visch-Brink E., Dirven C., Vincent A. Glioma surgery in eloquent areas: can we preserve cognition? *Acta Neurochir* 2016;158(1):35–50. DOI: 10.1007/s00701-015-2601-7
24. Chakravarthi S.S., Kassam A.B., Fukui M.B. et al. Awake surgical management of third ventricular tumors: a preliminary safety, feasibility, and clinical applications study. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 2019;17(2):208–26. DOI: 10.1093/ons/opy405
25. De Witte E., Satoer D., Colle H. et al. Subcortical language and non-language mapping in awake brain surgery: the use of multimodal tests. *Acta Neurochir* 2015;157(4):577–88. DOI: 10.1007/s00701-014-2317-0
26. Duffau H. The challenge to remove diffuse low-grade gliomas while preserving brain functions. *Acta Neurochir (Wien)* 2012;154(4):569–74. DOI: 10.1007/s00701-012-1275-7
27. Wager M., Du Boisgueheneuc F., Pluchon C. et al. Intraoperative monitoring of an aspect of executive functions: administration of the Stroop test in 9 adult patients during awake surgery for resection of frontal glioma. *Neurosurgery* 2013;72(2 Suppl Operative):ons169–80; discussion ons180–1. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31827b9a11
28. Puppa A.D., De Pellegrin S., d'Avella E. et al. Right parietal cortex and calculation processing: intraoperative functional mapping of multiplication and addition in patients affected by a brain tumor. *J Neurosurg* 2013;119(5):1107–11. DOI: 10.3171/2013.6.JNS122445
29. Puppa A.D., De Pellegrin S., Lazzarini A. et al. Subcortical mapping of calculation processing in the right parietal lobe. *J Neurosurg* 2015;122(5):1038–41. DOI: 10.3171/2014.10.JNS14261
30. Bartolomeo P., Thiebaut de Schotten M., Duffau H. Mapping of visuospatial functions during brain surgery: a new tool to prevent unilateral spatial neglect. *Neurosurgery* 2007;61(6):E1340. DOI: 10.1227/01.neu.0000306126.46657.79
31. Duffau H., Mandonnet E. The “onco-functional balance” in surgery for diffuse low-grade glioma: integrating the extent of resection with quality of life. *Acta Neurochir (Wien)* 2013;155(6):951–7. DOI: 10.1007/s00701-013-1653-9
32. Zelitzki R., Korn A., Arial E. et al. Comparison of motor outcome in patients undergoing awake vs general anesthesia surgery for brain tumors located within or adjacent to the motor pathways. *Neurosurgery* 2019;85(3):E470–E6. DOI: 10.1093/neuros/nyz007
33. Khu K.J., Doglietto F., Radovanovic I. et al. Patients' perceptions of awake and outpatient craniotomy for brain tumor: a qualitative study. *J Neurosurg* 2010;112(5):1056–60. DOI: 10.3171/2009.6.JNS09716
34. Лубнин А.Ю., Синбухова Е.В., Куликов А.С., Кобяков Г.Л. Ощущения пациентов и их удовлетворенность при проведении краниотомии в сознании. Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко 2020;84(5):89–101. DOI: 10.17116/neiro20208405189
35. Hansen E., Seemann M., Zech N. et al. Awake craniotomies without any sedation: the awake-awake-awake technique. *Acta Neurochir (Wien)* 2013;155(8):1417–24. DOI: 10.1007/s00701-013-1801-2
36. Bayram A.K., Yan Q., Isitan C. et al. Effect of anesthesia on electrocorticography for localization of epileptic focus: Literature review and future directions. *Epilepsy Behav* 2021;118:107902. DOI: 10.1016/j.yebeh.2021.107902

Вклад авторов

А.Ю. Дмитриев: разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста статьи;
М.В. Синкин, А.А. Скальная, А.А. Солодов: разработка дизайна исследования, редактирование текста статьи;
В.Г. Дашьян: редактирование текста статьи.

Authors' contributions

A.Yu. Dmitriev: developing the research design, reviewing publications of the article's theme, article writing;
M.V. Sinkin, A.A. Skalnaya, A.A. Solodov: developing the research design, article editing;
V.G. Dashyan: article editing.

ORCID авторов / ORCID of authors

А.Ю. Дмитриев / A.Yu. Dmitriev: <https://orcid.org/0000-0002-7635-9701>
М.В. Синкин / M.V. Sinkin: <https://orcid.org/0000-0001-5026-0060>
А.А. Скальная / A.A. Skalnaya: <https://orcid.org/0000-0001-5938-9194>
А.А. Солодов / A.A. Solodov: <https://orcid.org/0000-0002-8263-1433>
В.Г. Дашьян / V.G. Dashyan: <https://orcid.org/0000-0002-5847-9435>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 25.05.2022. **Принята к публикации:** 24.10.2023.

Article received: 25.05.2022. **Accepted for publication:** 24.10.2023.