

ИЗ ПРАКТИКИ

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2015

УДАЛЕНИЕ АСТРОЦИТОМЫ ЛЕВЫХ ВИСОЧНОЙ И ОСТРОВКОВОЙ ДОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ПАЦИЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТРАОПЕРАЦИОННОГО КАРТИРОВАНИЯ РЕЧЕВЫХ ЗОН В УСЛОВИЯХ ИНТРАОПЕРАЦИОННОГО ПРОБУЖДЕНИЯ**А.А. Зувев, Н.В. Педяш, Д.С. Иванова, И.С. Куликова, А.Н. Кузнецов**

Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова, Москва

Применение современных медицинских технологий, таких как функциональная МРТ, трактография, интраоперационная сонография, нейронавигация, нейрофизиологическое картирование коры и белого вещества головного мозга у пациента в сознании, значительно уменьшает риск развития послеоперационного неврологического дефицита при удалении опухолей из функционально значимых зон головного мозга. Использование интраоперационного нейрофизиологического картирования коры головного мозга у пациентов в сознании по протоколу asleep-awake-asleep позволяет увеличить радикальность удаления внутримозговых опухолей функционально-значимых речевых зон, при этом значительно снизить риск развития стойкого послеоперационного неврологического дефицита. Однако проведение операций на головном мозге у пациентов в условиях интраоперационного пробуждения требует слаженной работы большой бригады специалистов (нейрохирурга, нейрофизиолога, анестезиолога, нейропсихолога и радиологов). В статье приведен пример успешного лечения пациента с астроцитомой II степени злокачественности левых височной и островковой долей, распространяющейся на речевые зоны.

Ключевые слова: астроцитома головного мозга, нейрофизиологическое картирование коры головного мозга, речевые зоны, интраоперационное пробуждение пациента.

The usage of such current medical technologies as functional MRI, tractography, intraoperative sonography, neuronavigation, neurophysiological mapping of cortex and white matter of brain at patient in conscious lead to significant decrease of risk of postoperative neurological deficit development during removal of brain tumors located in the functionally significant brain areas. The usage of intraoperative neurophysiological mapping of cerebral cortex at patients in conscious using protocol "asleep-awake-asleep" allows increasing the radicality of removal of parenchymal tumors located in language significant areas with significant decrease risk of refractory postoperative neurological deficit development. However the performing of neurosurgical manipulations on brain under condition of "asleep-awake-asleep" protocol requires слаженной работы of a team including neurosurgeon, neurophysiologist, anesthesiologist, neuropsychologist and radiologist. This article presents the clinical case of successful surgical treatment of patient with left temporal and insular astrocytoma (grade II) with infiltration of language zones.

Key words: cerebral astrocytoma, neurophysiological mapping of cerebral cortex, language zones, "asleep-awake-asleep" protocol.

Основной целью хирургического лечения астроцитом головного мозга является максимально возможная резекция опухоли [14]. Тотальное или близкое к тотальному удаление тканей опухоли, а также получение гистологического диагноза являются ключевыми факторами для улучшения качества жизни пациента и увеличения ее продолжительности [7]. Средняя продолжительность жизни пациентов после тотальной резекции астроцитом 1–2-й степени злокачественности примерно на 30 мес больше, чем у пациентов с субтотальной резекцией (средняя продолжительность жизни увеличилась с 61,1 до 90,5 мес) [16, 17]. При локализации опухоли в функционально значимых зонах головного мозга, таких как моторная кора, речевые зоны, подкорковые ядра и

внутренняя капсула, риск развития неврологического дефицита при тотальном удалении достигает 26% [19]. Учитывая высокий риск инвалидизации пациента, крайне важно использовать все имеющиеся в медицине технологии, чтобы выполнить максимально возможную резекцию опухоли, без развития неврологических нарушений. Использование таких технологий, как функциональная МРТ, трактография, интраоперационная сонография, нейронавигация, нейрофизиологическое картирование коры и белого вещества головного мозга позволяет нейрохирургу верифицировать функционально значимые зоны коры головного мозга и волокна, идущие от этих зон в белом веществе, и значительно уменьшить риск развития неврологического дефицита. Ниже

описано наблюдение из практики успешного лечения пациента с астроцитомой Grade II, локализующейся в левых височной и островковой долях, с вовлечением речевых зон. Удаление опухоли из речевых зон проводилось у пациента в сознании (по протоколу *awake-asleep-awake*) после интраоперационного нейрофизиологического картирования коры головного мозга.

Пациент А., 32 лет, поступил с диагнозом «опухоль левой височной доли головного мозга».

Жалобы при поступлении на периодические судорожные приступы с утратой сознания и нарушениями речи по типу моторной афазии. На фоне полного благополучия впервые возник генерализованный судорожный припадок. Амбулаторно выполнена МРТ головного мозга, при которой выявлено объемное образование левых височной и инсулярной долей головного мозга. После консультации нейрохирурга пациент госпитализирован в НМХЦ им. Н.И. Пирогова для оперативного лечения.

Состояние при поступлении удовлетворительное (по шкале Карновского — 90 баллов). Соматический статус без особенностей. Сознание ясное. Элементы сенсорной афазии, возникающие при длительных функциональных пробах и утомлении. Другой очаговой и менингеальной симптоматики нет. При нейропсихологическом тестировании выявлены элементы речевых нарушений по типу акустико-мнестической и сенсорной афазии, субкомпенсированного уровня (проявляются в сенситизированных условиях), снижение фоновых показателей высшей психической деятельности легкой степени.

При МРТ головного мозга с контрастированием выявлено объемное образование, занимающее всю левую височную долю, распространяющееся в инсулярную область и область внутренней капсулы. Определяется инфильтрация по ходу заднего рога правого бокового желудочка (рис. 1). В области полюса, передних, средних и задних отделов левой височной доли головного мозга определяется объемное образование пониженной плотности на T1, повышенной плотности на T2 и на FLAIR-изображениях. Образование имеет повышенный сигнал на периферии опухоли и сниженный в центре (выделено пунктиром). Размеры образования 84 x 63 x 54 мм, оно располагается в верхней, средней и нижней височных извилинах и смещает лобную и теменную доли кверху, с признаками инфильтрации в инсулярную область и в левую затылочную долю по ходу заднего рога левого бокового желудочка.

Учитывая расположение опухоли в пределах функционально значимых зон головного мозга, больному проведена функциональная МРТ (фМРТ) головного мозга с определением речевых и двигательных центров и диффузионная тензорная магнитно-резонансная трактография (МР-трактография) (рис. 2). По данным этих исследований выявлено, что зона Вернике расположена в задней части верхней височной из-

вилины и угловой извилине в области инфильтрации опухолью; зона Брока расположена в нижней лобной извилине и непосредственно не прилегает к объемному образованию; моторная кора располагается в проекции прецентральной извилины, последняя смещена опухолью кверху и кпереди; область, отвечающая за движения в лице, непосредственно прилегает к объемному образованию.

Учитывая высокий риск развития речевых нарушений после операции по данным фМРТ, было решено провести удаление опухоли из функционально значимых зон головного мозга у пациента в сознании с использованием нейрофизиологического контроля и интраоперационного картирования коры головного мозга.

Больному была выполнена операция: костно-пластическая трепанация в левой лобно-височно-теменной области, субтотальное (85%) микрохирургическое удаление опухоли левых височной и островковой долей головного мозга под нейрофизиологическим контролем с пробуждением пациента (по протоколу *asleep-awake-asleep*). Операцию проводили без использования миорелаксантов.

Определение границ опухоли производили с помощью интраоперационной сонографии и нейронавигации, а определение функционально значимых зон — с использованием интраоперационного нейрофизиологического картирования коры головного мозга.

Нейрофизиологический контроль проводили по следующей схеме: на подготовительном этапе после трепанации черепа и вскрытия твердой мозговой оболочки (ТМО) посредством нейронавигации и данных фМРТ были определены заинтересованные функционально значимые участки коры (зона Брока — нижняя лобная извилина; зона Вернике — задние отделы верхней височной извилины; первичная моторная кора — прецентральная извилина). Картирование функционально значимых зон мозга выполнено в 2 этапа: до пробуждения пациента, методом прямой электростимуляции коры верифицированы моторные зоны, граничащие с образованием, и после пробуждения проведено картирование речевых зон (рис. 3).

Стимуляцию коры головного мозга и регистрацию моторных ответов проводили при помощи аппарата Natus Xltrek protector. Для проведения картирования моторной коры регистрирующие электроды были установлены на группу тестовых мышц: *orbicularis oculi*, *orbicularis oris*, *mentalis*, *abductor digiti minimi* (сила стимула — 0–60 мА, частота 1–2 Гц, пачками по 4 стимула с интервалом 0,05 мс). Учитывая судорожный анамнез пациента, более высокую силу стимула не применяли. При проведении прямой стимуляции биполярным электродом в нижних отделах прецентральной извилины был получен ответ с тестовых мышц *orbicularis oculi*, *orbicularis oris*, *mentalis* справа.

На следующем этапе больной был пробужден и экстубирован, после чего под наблюдением нейропсихолога выполнял тестовые задания на

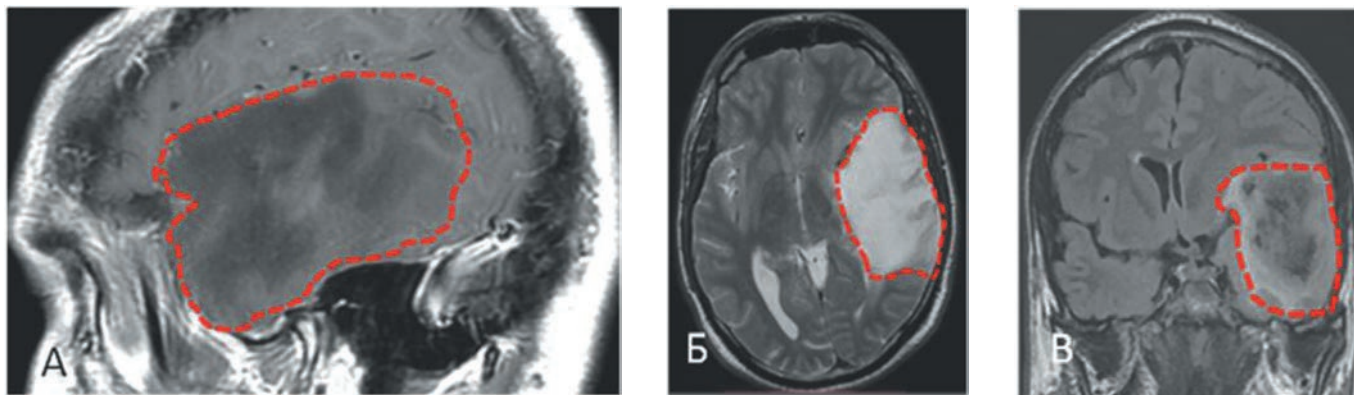


Рис. 1. Данные МРТ-исследования головного мозга больного перед операцией. А — T1-взвешенное изображение в сагиттальной проекции; Б — T2-взвешенное изображение в аксиальной проекции; В — FLAIR-изображение в коронарной проекции.

Fig. 1. Preoperative brain MRI data. A — T1, sagittal view; Б — T2, axial view; В — FLAIR, coronal view.

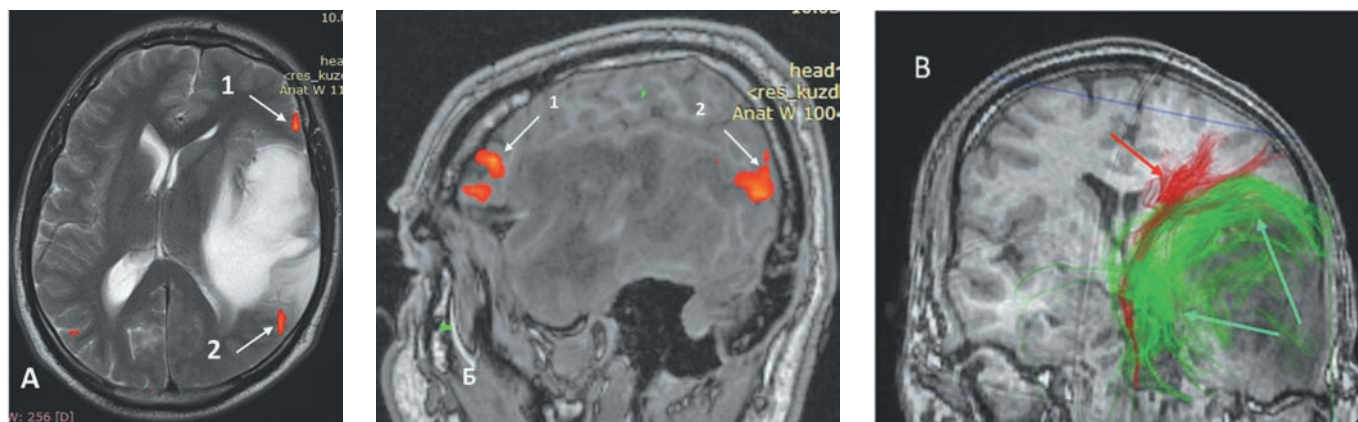


Рис. 2. Функциональная МРТ головного мозга (А и Б) и диффузионная тензорная МР-трактография (В) пациента, выполненные перед операцией: А — T2-ВИ, аксиальная проекция, объемное образование имеет повышенный сигнал; Б — T1-ВИ, сагиттальная проекция, объемное образование имеет пониженный сигнал; зона Вернике (2) отснесена значительно кзади, зона Брока (1) отснесена кпереди. В — T1-ВИ с наложением данных трактографии, коронарная проекция, пирамидный тракт (обозначенный красным цветом и красной стрелкой) смещен медиально, другие тракты (обозначенные зеленым цветом и зелеными стрелками) также отснесены опухолью кверху и кнаружи — функционально значимых трактов в толще объемного образования не определяется.

Fig. 2. Brain functional MRI (A and B) and diffusive tensor MRI - tractography (B) before operation: A — T2 axial view demonstrates the hyperdense mass lesion; Б — T1 sagittal view demonstrates the hypodense mass lesion, Wernicke area (2) is significantly displaced posteriorly, Broca area (1) is displaced anteriorly. B — T1 with the usage of tractography data, coronal view shows that the pyramidal tract (marked by red color and green arrow) is displaced medially as well as other tracts (marked by green color and red arrow) are also moved upward and outward by tumor. There are no functionally significant tracts in the tumor.

оценку речевых функций (рис. 4). На фоне проведения этих тестов осуществляли стимуляцию коры левых височной и лобной долей головного мозга (сила стимула 20—25 мА, частота — 4,7 Гц, пачки по 4 стимула с интервалом 0,05 мс).

Для интраоперационной верификации зоны Вернике были выбраны задания на повтор серий частотных слов по три, позволяющие диагностировать нарушения фонематического слуха и объема слухоречевого восприятия (а также произносительной стороны речи). Процедура интраоперационного речевого тестирования была отработана с пациентом накануне операции, в тестовый набор были включены только задания, доступные для стабильного безошибочного выполнения.

В ходе процедуры картирования на фоне стимуляции коры зоны Вернике при силе стимула

23 мА были зарегистрированы нарушения речи: литеральные парафазии, с заменой звуков по акустической близости, и вербальные парафазии, с заменой слов по акустической близости, характерные для нарушения фонематического слуха.

После верификации зоны Вернике было начато удаление опухоли при непрерывном неврологическом и нейрофизиологическом контроле сохранности речевых функций — речевых нарушений зафиксировано не было. Далее, после удаления опухоли в области речевой зоны, пациент вновь был введен в наркоз, интубирован, и операция завершена под общей анестезией.

При контрольной МРТ головного мозга, выполненной в первые сутки после операции, выявлено, что опухоль удалена субтотально (около 85%). На фоне послеоперационных изменений и

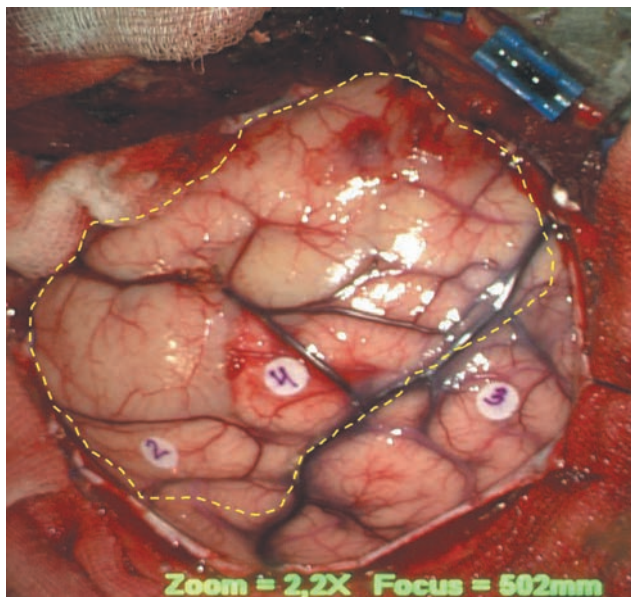


Рис. 3. Интраоперационное фото. Взаимоотношение опухоли с функционально значимыми зонами мозга по данным фМРТ головного мозга и интраоперационного нейрофизиологического картирования головного мозга: желтым пунктиром выделены границы опухоли, определенные с помощью интраоперационной сонографии; стрелками и маркерами 2, 4 обозначена зона Вернике (представленная двумя первичными речевыми зонами, отвечающими за восприятие речи).

Fig. 3. Intraoperative image. The relationships between tumor and functionally significant brain areas according to fMRI data and intraoperative neurophysiological mapping of cerebral cortex: yellow dotted lines show the margins of tumor, detected with the usage of intraoperative sonography; arrows and markers 2 and 4 indicate Wernicke area presented as two primary language zones which are responsible for speech reception.



Рис. 4. Интраоперационное фото. После пробуждения больного на операционном столе во время проведения интраоперационного нейрофизиологического картирования.
Fig. 4. Intraoperative image presents the intraoperative awakening of patient during intraoperative neurophysiological mapping.

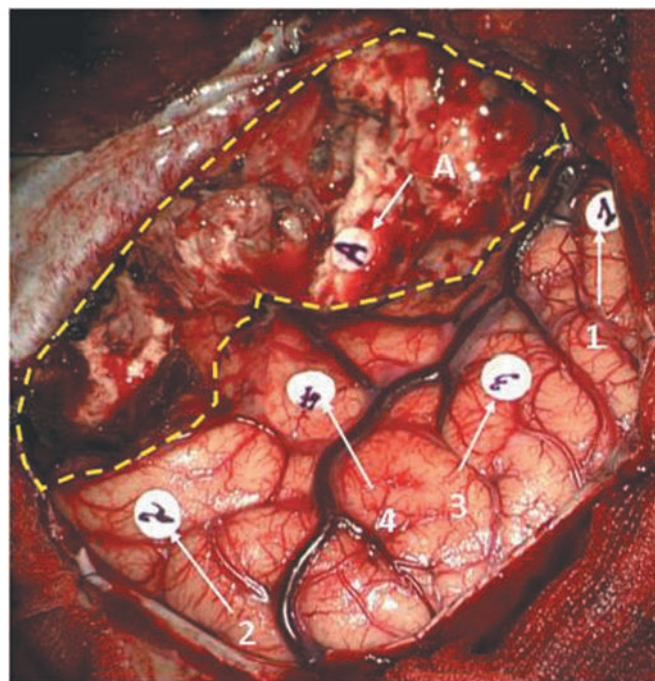


Рис. 5. Интраоперационное фото. Состояние после удаления опухоли. Желтым пунктиром обозначены края резекционной полости. А — нижний рог левого бокового желудочка, вскрывшийся во время удаления опухоли; 2, 4 — сохранившаяся зона Вернике; 1 — зона Брока; 3 — нижние отделы моторной коры.

Fig. 5. Intraoperative image after tumor removal. Yellow dotted lines show the margins of tumor resection. A — inferior horn of left lateral ventricle which was opened during tumor removal; 2, 4 — the preserved Wernicke area; 1 — Broca area; 3 — inferior parts of motor cortex.

перифокального отека определяется остаточная опухолевая ткань в области островковой доли и внутренней капсулы головного мозга (рис. 6).

В раннем послеоперационном периоде у пациента развились незначительные преходящие нарушения речи по типу сенсорной афазии. При нейропсихологическом тестировании через 1 нед после оперативного вмешательства определялись элементы акустико-мнестической афазии с преобладанием амнестического компонента легкой степени; элементы сенсорной афазии. Снижение фоновых показателей высшей психической деятельности легкой степени.

При контрольном осмотре через 4 мес явления афазии регрессировали. Эпизоды судорог в послеоперационном периоде не повторялись.

Обсуждение

Обширная резекция и открытая биопсия при лечении пациентов с доброкачественными астроцитомами обеспечивают большую точность диагностики над стереотаксической биопсией. В этом случае степень злокачественности глиомы определяется в ее наиболее агрессивном участке, что позволяет вовремя назначить адъювантную терапию при необходимости, и увеличить про-

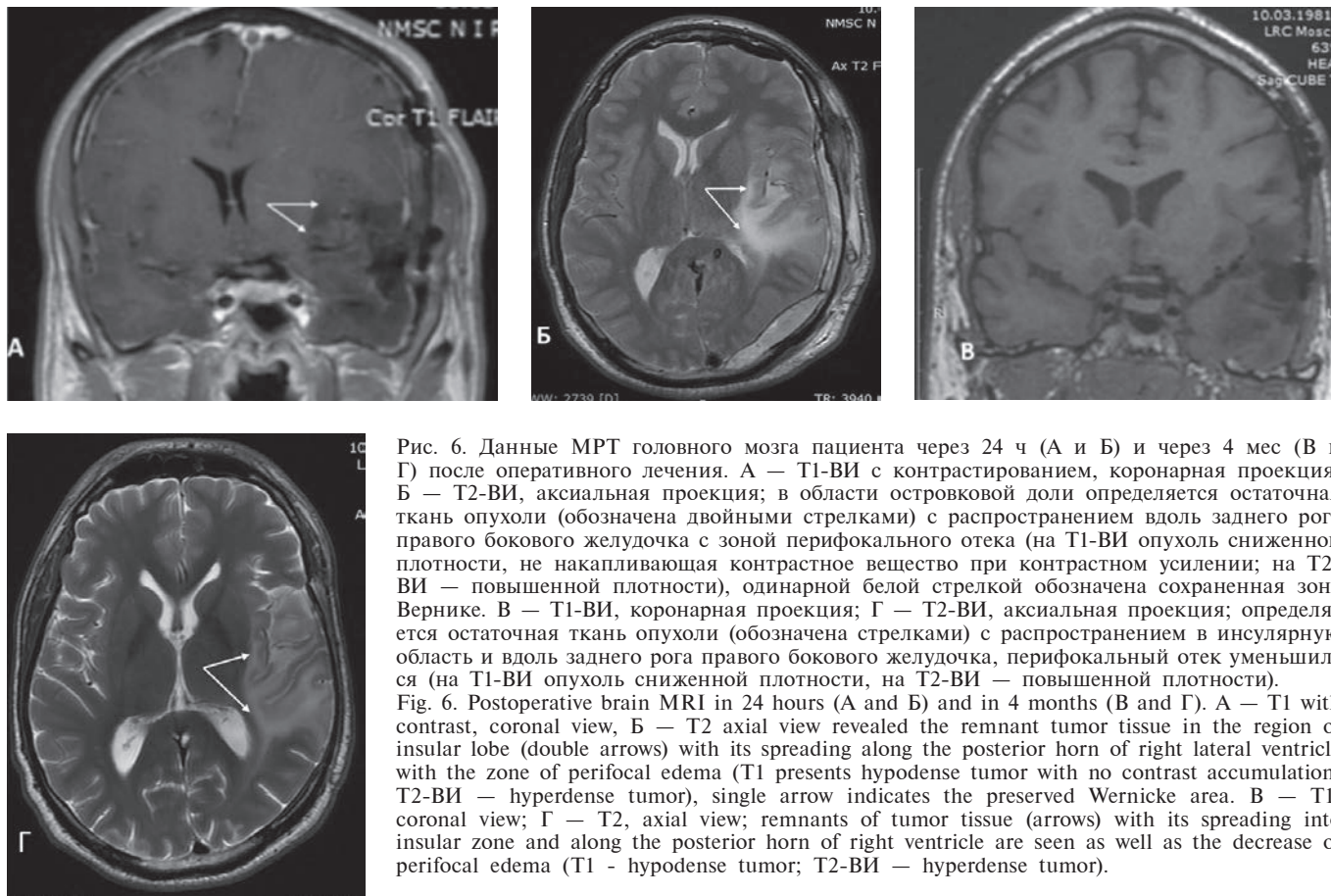


Рис. 6. Данные МРТ головного мозга пациента через 24 ч (А и Б) и через 4 мес (В и Г) после оперативного лечения. А — Т1-ВИ с контрастированием, коронарная проекция, Б — Т2-ВИ, аксиальная проекция; в области островковой доли определяется остаточная ткань опухоли (обозначена двойными стрелками) с распространением вдоль заднего рога правого бокового желудочка с зоной перифокального отека (на Т1-ВИ опухоль сниженной плотности, не накапливающая контрастное вещество при контрастном усилении; на Т2-ВИ — повышенной плотности), одиночной белой стрелкой обозначена сохраненная зона Вернике. В — Т1-ВИ, коронарная проекция; Г — Т2-ВИ, аксиальная проекция; определяется остаточная ткань опухоли (обозначена стрелками) с распространением в инсулярную область и вдоль заднего рога правого бокового желудочка, перифокальный отек уменьшился (на Т1-ВИ опухоль сниженной плотности, на Т2-ВИ — повышенной плотности).

Fig. 6. Postoperative brain MRI in 24 hours (A and B) and in 4 months (B and Г). A — T1 with contrast, coronal view, Б — T2 axial view revealed the remnant tumor tissue in the region of insular lobe (double arrows) with its spreading along the posterior horn of right lateral ventricle with the zone of perifocal edema (T1 presents hypodense tumor with no contrast accumulation; T2-ВИ — hyperdense tumor), single arrow indicates the preserved Wernicke area. B — T1, coronal view; Г — T2, axial view; remnants of tumor tissue (arrows) with its spreading into insular zone and along the posterior horn of right ventricle are seen as well as the decrease of perifocal edema (T1 - hypodense tumor; T2-ВИ — hyperdense tumor).

должительность и качество жизни этих пациентов. При стереотаксической биопсии диагностическая ценность составляет около 90%, так как опухоль может содержать области с меньшим количеством злокачественных клеток, и проведение биопсии из этих зон опухоли может приводить к диагностическим ошибкам. В серии из 64 пациентов, перенесших стереотаксическую биопсию с последующей более обширной резекцией, R.Sawaya обнаружил, что окончательный диагноз после резекции значительно отличался, что привело к изменению тактики лечения у 53% пациентов [19].

Известно, что строение извилин и борозд человеческого мозга стереотипно, однако функциональные зоны имеют нейроанатомическую изменчивость даже среди типичных пациентов [1, 6, 18]. Так, во время выполнения корковой стимуляции у пациентов при резекции глиом A.Quinones-Hinojosa и соавт. выявили значительную вариабельность в расположении речевых зон по отношению к анатомическим ориентирам (до 4 см) [11]. Корковые представительства речи являются сложными и имеют множество важных представительств в лобной, височной и теменной долях доминантного полушария головного мозга. Несмотря на то что расположение важных речевых зон очень изменчиво, размеры их ограничены и, как правило, не очень большие. В самом большом опубликованном исследовании, при интра-

операционном картировании лобной доли у 151 пациента, N. Sanai и соавт. выявили первичную речевую кору только у 92 (60,9%) [15]. Наличие внутримозговой опухоли еще более меняет функциональную анатомию коры головного мозга, так как приводит к функциональной реорганизации и переназначению неврологических функций в другие области коры головного мозга. Лучшим доказательством этого является то, что в отличие от ишемического инсульта, глиомы низкой степени злокачественности редко приводят к развитию острых неврологических нарушений [4, 10]. В ряде исследований показано, что у пациентов с врожденной левосторонней височной эпилепсией речевой центр также мигрирует в правое полушарие или имеет двусторонние представительства [2, 8, 9, 20]. S. Robles и соавт. сообщили о 2 больных, у которых расположение речевых зон коры головного мозга изменилось после проведенной операции в течение 1 года (эти изменения выявлены при повторных операциях), что позволило выполнить двухэтапное радикальное хирургическое лечение пациентов с опухолями в речевых зонах головного мозга [13].

В 1961 г. Penfield впервые ввел метод прямой стимуляции коры головного мозга для оценки двигательной функции в клинических условиях [3]. В настоящее время нейрофизиологический контроль широко используют в нейрохирургической практике и активно развивают. По данным

Т. Reithmeier и соавт., использование нейрофизиологического картирования коры головного мозга позволяет снизить частоту развития речевых нарушений после удаления внутримозговых опухолей в 2 раза по сравнению с такими же операциями без нейрофизиологического контроля: с 29 до 14% [12]. По данным Н. Duffau и соавт., данный метод позволяет увеличить радикальность удаления опухоли с 6 до 25% и снизить частоту неврологического дефицита с 17 до 6% [5].

Заключение

Развитие послеоперационного неврологического дефицита у пациента с опухолью головного мозга значительно снижает качество его жизни. Выявление и сохранение во время операции функционально значимых моторных и речевых зон головного мозга имеет большое значение в лечении этих больных и улучшении их качества жизни. Использование интраоперационного нейрофизиологического картирования коры головного мозга позволяет увеличить радикальность удаления внутримозговых опухолей функционально-значимых зон и значительно снизить риски развития стойкого послеоперационного неврологического дефицита.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Зуев Андрей Александрович — канд. мед. наук, врач-нейрохирург высшей категории, зав. 2-м нейрохирургическим отделением Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.

Педяш Никита Витальевич — врач-нейрохирург 2-го нейрохирургического отделения Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.

Иванова Дарья Сергеевна — канд. мед. наук, врач-невролог 1-й категории, зав. кабинетом нейрофункциональных методов исследования нервной системы Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.

Куликова Ирина Сергеевна — нейропсихолог отделения медицинской реабилитации Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.

Кузнецов Алексей Николаевич — академик РАЕН, д.м.н., профессор, руководитель клиники патологии мозгового кровообращения, первый заместитель генерального директора Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Branco D.M., Coelho T.M., Branco B.M., et al. Functional variability of the human cortical motor map: electrical stimulation findings in perirolandic epilepsy surgery// Clin Neurophysiology. — 2003 — №20 — p. 17–25.

2. Brazdil M., Chlebus P., Mikl M., et al. Reorganization of language-related neuronal networks in patients with left temporal lobe epilepsy — an fMRI study// European Journal of Neurology. — 2005 — №12 — p. 268–275.
3. De Benedictis A., Moritz-Gasser S., Duffau H. Awake mapping optimizes the extent of resection for low-grade gliomas in eloquent areas// Neurosurgery. — 2010 — №66 — p. 1074–1084.
4. Desmurget M., Bonnetblanc F., Duffau H. Contrasting acute and slow-growing lesions: a new door to brain plasticity// Brain. — 2007 — №130 — p. 898–914.
5. Duffau H., Lopes M., Arthuis F., et al. Contribution of intraoperative electrical stimulations in surgery of low grade gliomas: a comparative study between two series without (1985–96) and with (1996–2003) functional mapping in the same institution// Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry. — 2005 — №76 — p. 845–851.
6. Farrell D.F., Burbank N., Lettich E., et al. Individual variation in human motor-sensory (rolandic) cortex// Clin Neurophysiol. — 2007 — №24 — p. 286–93.
7. Garrett M.C., Pouratian N., Liau L.M. Use of Language Mapping to Aid in Resection of Gliomas in Eloquent Brain Regions// Neurosurg Clin N Am. — 2012 — №23 — p. 497–506.
8. Janszky J., Mertens M., Janszky I., et al. Left-sided interictal epileptic activity induces shift of language lateralization in temporal lobe epilepsy: an fMRI study// Epilepsia. — 2006 — №47 — p. 921–927.
9. Lehericy S., Biondi A., Sourour N., et al. Arteriovenous brain malformations: is functional MR imaging reliable for studying language reorganization in patients? Initial observations// Radiology. — 2002 — №223 — p. 672–682.
10. Lucas T.H., Drane D.L., Dodrill C.B., et al. Language reorganization in aphasics: an electrical stimulation mapping investigation// Neurosurgery. — 2008 — №63 — p. 487–497.
11. Quinones-Hinojosa A., Ojemann S.G., Sanai N., et al. Preoperative correlation of intraoperative cortical mapping with magnetic resonance imaging landmarks to predict localization of the Broca area// Neurosurgery. — 2003 — №99 — p. 311–318.
12. Reithmeier T., Krammer M., Gumprecht H., et al. Neuronavigation combined with electrophysiological monitoring for surgery of lesions in eloquent brain areas in 42 cases: a retrospective comparison of the neurological outcome and the quality of resection with a control group with similar lesions// Minimally Invasive Neurosurgery. — 2003 — №46 — p. 65–71.
13. Robles S.G., Gatignol P., Lehericy S., et al. Long-term brain plasticity allowing a multistage surgical approach to World Health Organization grade II gliomas in eloquent areas// Neurosurgery. — 2008 — №109 — p. 615–624.
14. Sanai N., Berger M.S. et al. Glioma extent of resection and its impact on patient outcome// Neurosurgery. — 2008 — №62 — p. 753–764.
15. Sanai N., Mirzadeh Z., Berger M.S. Functional outcome after language mapping for glioma resection// The New England journal of medicine. — 2008 — №358 — p. 18–27.
16. Sanai N., Polley M.Y., Berger M.S. Insular glioma resection: assessment of patient morbidity, survival, and tumor progression// Neurosurgery. — 2010 — №112 — p. 1–9.
17. Sanai N., Polley M.Y., McDermott M.W., et al. An extent of resection threshold for newly diagnosed glioblastomas// Neurosurgery. — 2011 — №115 — p. 3–8.
18. Sanes J.N., Donoghue J.P., Thangaraj V., et al. Shared neural substrates controlling hand movements in human motor cortex// Science. — 1995 — №268 — p. 1775–1777.
19. Sawaya R. Extent of resection in malignant gliomas: a critical summary// Neuro-Oncology. — 1999 — №42 — p. 303–305.
20. Vikingstad E.M., Cao Y., Thomas A.J., et al. Language hemispheric dominance in patients with congenital lesions of eloquent brain// Neurosurgery. — 2000 — №47 — p. 562–570.