

© А. Ю. Щербук, М. Е. Ерошенко, Ю. А. Щербук, 2015
УДК 616.831.31-006-073.8-08:615.847.8

А. Ю. Щербук^{1, 2}, М. Е. Ерошенко^{1, 2}, Ю. А. Щербук²

ОПТИМИЗАЦИЯ ХИРУРГИЧЕСКОЙ ТАКТИКИ У ПАЦИЕНТОВ С ОПУХОЛЯМИ МОТОРНОЙ ЗОНЫ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА НА ОСНОВЕ ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ И МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТРАКТОГРАФИИ

¹ ГБУЗ «Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический)» (дир. — проф. В. М. Моисеенко); ² кафедра нейрохирургии и неврологии (зав. — чл.-кор. РАН проф. Ю. А. Щербук), медицинский факультет, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет»

Ключевые слова: опухоли головного мозга, моторная зона коры головного мозга, кортико-спинальный тракт, навигационная транскраниальная магнитная стимуляция, магнитно-резонансная трактография

Введение. Хирургия опухолей функционально значимых зон головного мозга до настоящего времени остается сложным вопросом нейрохирургии, связанным с высоким риском нарастания неврологического дефицита и инвалидизации пациентов в послеоперационном периоде. В нейроонкологической практике для улучшения результатов лечения, повышения качества и продолжительности жизни больных все шире применяются высокотехнологичные методы предоперационного планирования, интраоперационной визуализации, ультразвуковой и безрамной интерактивной навигации, нейрофизиологического мониторинга с идентификацией функционально значимых зон мозга [1–6]. Современные технологии нейровизуализации и функциональной диагностики, такие как высокопольная магнитно-резонансная томография (МРТ), магнитно-резонансная трактография (МР-трактография) и навигационная

транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС), на предоперационном этапе определяют расположение моторной коры и волокон белого вещества, а также их пространственное взаимоотношение с опухолью [8, 10, 12, 13, 16, 17]. В зарубежной литературе авторы в основном описывают результаты лечения пациентов, которым предоперационное планирование осуществлялось на основе только навигационной ТМС [9, 11, 14, 15] или только МР-трактографии [7, 18], но практически нет данных о сочетанном применении этих методик. В отечественной литературе данная тема мало изучена, в связи с чем навигационная ТМС и МР-трактография пока не нашли широкого клинического применения в российских нейрохирургических центрах и клиниках.

Цель исследования — оценка значимости навигационной ТМС и МР-трактографии при планировании операции у пациентов с опухолями моторной зоны коры больших полушарий головного мозга.

Материал и методы. Обследование и лечение больных проводилось на базе онконейрохирургического отделения Санкт-Петербургского клинического научно-практического центра специализированных видов медицинской помощи

Сведения об авторах:

Щербук Александр Юрьевич, Ерошенко Максим Евгеньевич (е-mail: max912@mail.ru), Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический), 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, 68А, лит. А;

Щербук Юрий Александрович (е-mail: endos@rambler.ru), кафедра нейрохирургии и неврологии, медицинский факультет, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

(онкологического) в период 2013–2015 гг. Исследование выполнено у 52 пациентов: 18 (34,6%) мужчин и 34 (65,4%) женщины с опухолями, расположенными не далее 1 см от моторной зоны коры одного из полушарий головного мозга. Средний возраст больных составил $(56,8 \pm 12,4)$ года (от 26 до 83 лет).

К моторной зоне коры относили следующие анатомические области: 1) прецентральный извилину лобной доли (первичная моторная кора — поле 4 по Бродману); 2) задние отделы верхней лобной извилины (премоторная кора — поле 6 по Бродману); 3) медиальные отделы верхней лобной извилины (дополнительная моторная кора — поле 8 по Бродману); 4) постцентральный извилину теменной доли (соматосенсорная кора — поля 1, 2, 3 по Бродману).

Пациентам проводили МРТ головного мозга на сверхвысокопольном 3T МР-томографе «Magnetom Verio» («Siemens», Германия) с 32-канальной головной катушкой. МРТ выполняли в следующих режимах: T1- и T2-взвешенные последовательности, 3D-градиент-эхо-последовательность без контрастирования и с контрастированием (магневист, 20 мл), T2 FLAIR и диффузионная тензорная визуализация (DTI). Все данные в формате DICOM передавали на информационный носитель (CD-R).

Для выявления моторной зоны коры использовали систему навигационной ТМС «Nexstim NBS eXimia 4.2» («Nexstim Oy», Финляндия). Перед исследованием передавали полученные с помощью МРТ анатомические изображения (176 срезов) в станцию «Nexstim», где в автоматическом режиме создавали трехмерную реконструкцию головы пациента. С помощью навигационного модуля, инфракрасной камеры и отражающих сфер, закрепленных на голове пациента, совмещали данные трехмерной реконструкции с поверхностью головы. Стимуляцию моторной зоны коры головного мозга осуществляли 8-образной электромагнитной катушкой с закрепленными на ней отражающими сферами радиусом 50 мм. С помощью станции электромиографии («eXimia 4.2») с 4 каналами для верхних конечностей и 2 каналами для нижних конечностей регистрировали электрическую активность с короткой приводящей мышцы I пальца кисти, приводящей мышцы V пальца кисти, лучевого сгибателя запястья, бицепса плеча, передней большеберцовой мышцы, а также с икроножной мышцей. Результат каждого одиночного стимула отмечали на 3D-реконструкции поверхности мозга пациента и обозначали точкой определенного цвета: серая точка — вызванного моторного ответа не зарегистрировано, белая — зарегистрирован моторный ответ выше 50 мВ. Все точки, в которых был зарегистрирован моторный ответ, представляли собой визуальное отображение коркового представительства определенной группы мышц. После выполнения картирования данные в формате DICOM на информационном носителе (CD-R диске) переносили в нейронавигационную станцию планирования «iPlan Cranial 2.5».

Диффузионно-тензорную визуализацию (DTI) осуществляли во время предоперационной МРТ, используя однокадровую эхо-планарную последовательность. Затем выполняли построение кортико-спинального тракта, принимая за основу данные навигационной ТМС. Реконструированные кортико-спинальные тракты совмещали с анатомической контрастной T1-взвешенной последовательностью. Результаты МР-трактографии конвертировали в DICOM-формат и передавали на планирующую станцию нейронавигационной системы. Для предоперационного пла-

нирования и интраоперационной компьютерной навигации использовали станцию «BrainLab Vector Vision²» («BrainLab AG», Германия). Результаты картирования моторной зоны коры и МР-трактографии совмещали с данными МРТ в станции планирования. Выполняли сегментацию (выделение) интересующих объектов (важных анатомических структур, моторной коры, трактов, границы опухоли) и трехмерную реконструкцию изображений. После выполнения данного этапа проводили тщательную оценку расположения опухоли относительно моторной зоны коры, трактов, анатомических структур. Определяли показания к операции, траекторию доступа и объем резекции.

Результаты и обсуждение. Навигационная ТМС выполнена всем 52 пациентам. У 23 (44,3%) пациентов опухоль располагалась в задних отделах лобной доли: в проекции прецентральной извилины и задних отделов верхней и средней лобной извилин. У 15 (28,8%) больных опухоль находилась преимущественно в теменной доле — в задней центральной извилине. У 14 (26,9%) пациентов новообразование распространялось на лобную и теменную доли (центральные извилины). Судорожных припадков во время и после исследования ни у кого из больных не отмечено. Среднее значение моторного порога покоя составило $(34,7\% \pm 9,3\%)$ (от 11 до 74%) от максимальной интенсивности стимулятора. Все больные были опрошены на предмет неприятных ощущений во время исследования: 3 (5,8%) из них отмечали дискомфорт, 1 (1,9%) — жаловался на легкую головную боль в течение 2 ч после исследования, остальные 48 (92,3%) — не отмечали никаких ощущений. По результатам картирования моторной зоны коры полушария, пораженного опухолевым процессом, у 11 (21,2%) больных отмечено распространение опухоли непосредственно в эту зону, у 15 (28,8%) — к моторной зоне коры прилежал задний полюс опухоли, у 6 (11,5%) — передний полюс, у 20 (38,5%) — было обнаружено близкое (до 10 мм) расположение опухоли к моторной зоне коры.

Реконструкция кортико-спинального тракта выполнена 32 (71,1%) пациентам, у которых, по данным картирования, опухоль прилежала к моторной зоне коры или находилась в ее проекции. После построения тракта оценивали его пространственное взаимоотношение с опухолевым узлом. У 8 (25%) пациентов наблюдали инфильтрацию волокон тракта опухолью и его деструкцию, у 6 (18,8%) — новообразование частично инфильтрировало тракт, у 3 (9,4%) — опухоль небольших размеров (около 2 см в диаметре) была расположена в проекции тракта, раздвигая его волокна, у остальных 15 (46,8%) — опухоль оттесняла кортико-спинальный тракт,

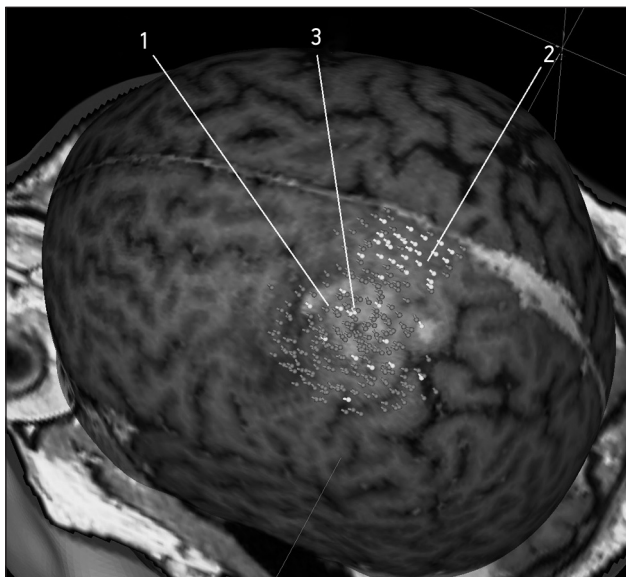


Рис. 1. Фото с экрана станции навигационной ТМС «Nexsim eXimia» после проведения сеанса картирования моторной зоны коры у пациента Т., 61 год.

Опухолевый узел (1) расположен в проекции коркового представительства правой руки (3). Верхний полюс опухоли прилежит к моторной коре, отвечающей за движение правой ноги (2). Белые точки — зона стимуляции, где был получен моторный ответ; серые точки — мониторинга ответа нет

не нарушая его волокна. После картирования моторной зоны коры и МР-трактографии полученные данные тщательно анализировали и решали вопрос о дальнейшей тактике лечения. У 3 (5,8%) больных тактика изменилась кардинально — проведение нейрохирургической операции признали нецелесообразным. По данным навигационной ТМС, опухоль располагалась субкортикально в проекции моторной зоны коры и раздвигала волокна кортико-спинального тракта. Учитывая метастатический характер опухоли с установленным первичным очагом, возраст пациентов, выраженную сопутствующую патологию, размеры образований менее 3 см, высокий риск нарастания двигательных нарушений, пациентов было решено направить на стереотаксическое радиохirurgическое лечение. У 14 (26,9%) больных было принято решение изменить объем запланированной резекции опухоли. Если по данным навигационной ТМС опухоль находилась в проекции моторной зоны коры и кортико-спинальный тракт был инфильтрирован ей (рис. 1), принимали решение о проведении стереотаксической биопсии или субтотального удаления опухоли.

Стереотаксическая биопсия была выполнена у 8 (15,4%) человек, субтотальная резекция — у 6 (11,5%). После проведения операции нарастания

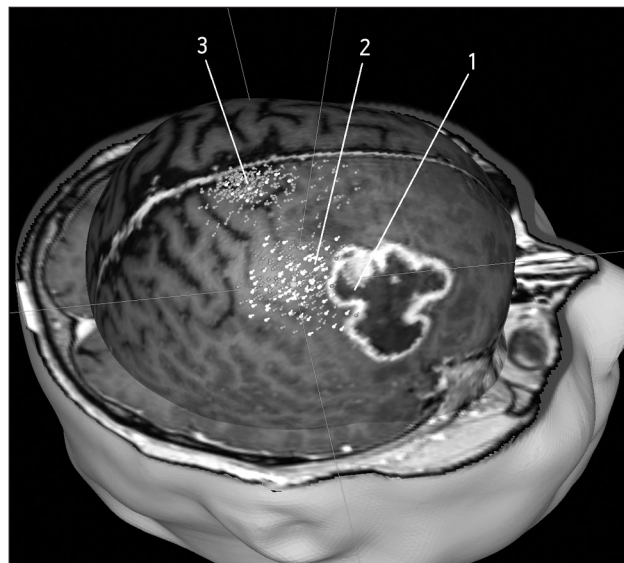


Рис. 2. Фото с экрана станции навигационной ТМС «Nexsim NBS eXimia» после проведения сеанса картирования

моторной зоны коры у пациента И., 68 лет.

Задний полюс опухоли (1) прилежит к моторной зоне коры, отвечающей за движения левой руки (2). Кортиковое представительство мышц левой ноги расположено на отдалении от опухолевого узла (3). Белые точки — зона стимуляции, где был получен моторный ответ, серые точки — моторного ответа не было

парезов не отмечено. В дальнейшем пациенты получали лучевую и химиотерапию. В 15 (28,9%) наблюдениях опухоль не распространялась непосредственно в моторную зону коры (рис. 2), а лишь прилежала к ней и отодвигала волокна кортико-спинального тракта (рис. 3). В этом случае предоперационное планирование на основе навигационной ТМС и МР-трактографии помогло в выборе оптимального направления траектории оперативного доступа.

У 20 (38,4%) пациентов, когда опухоль находилась на расстоянии до 10 мм от моторной зоны коры (рис. 4), результаты навигационной ТМС и МР-трактографии не повлияли на первоначальную тактику хирургического лечения. Однако полученные данные позволили выполнить краниотомию вне функционально значимой зоны, уменьшить размеры краниотомии, а также повысить безопасность хирургической операции.

Выводы. 1. Навигационная транскраниальная магнитная стимуляция является современным, эффективным и безопасным методом картирования моторной зоны коры головного мозга индивидуально у каждого пациента.

2. МР-трактография, основанная на результатах навигационной ТМС, позволяет точно

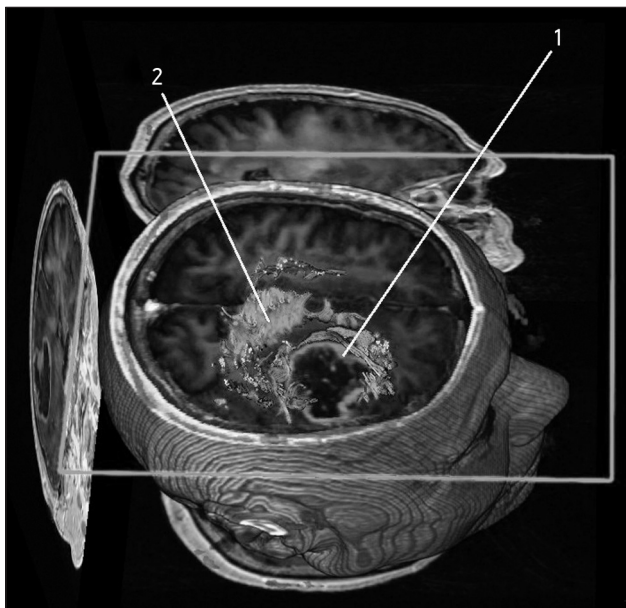


Рис. 3. Результат реконструкции правого кортико-спинального тракта у пациента И., 68 лет (фото с экрана планирующей станции «Siemens Magnetom Verio»).

Опухолевый узел (1) в правой лобной доле инфильтрирует правый кортико-спинальный тракт (2), частично разрушает и оттесняет его волокна кзади

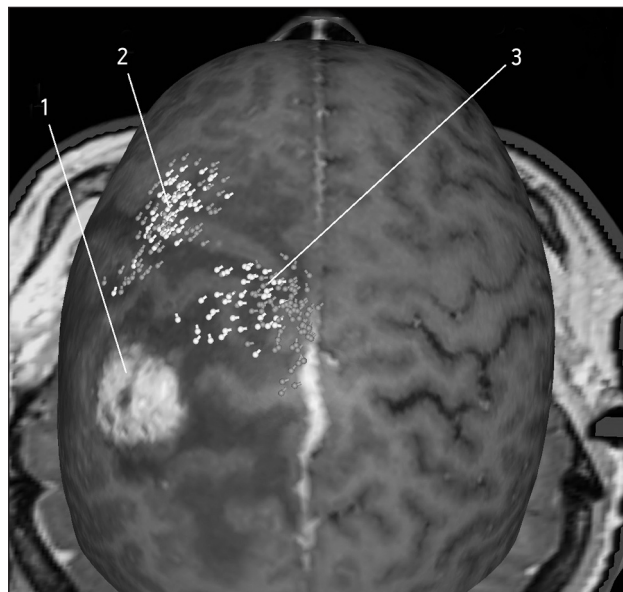


Рис. 4. Трехмерная МР-реконструкция головного мозга пациента Г., 67 лет, после выполнения навигационной ТМС.

Корковое представительство мышц правой руки (2) определяется в проекции средних отделов левой прецентральной извилины (поле 4 по Бродману). Моторная зона коры, ответственная за движение правой ноги (3), расположена на расстоянии 8 мм от верхнего полюса опухоли (1).

Белыми точками отмечены зоны, где был зафиксирован моторный ответ на стимуляцию, серые точки — ответа не было

локализовать ход волокон кортико-спинального тракта.

3. Совмещение данных навигационной ТМС и МР-трактографии в нейронавигационной станции дает возможность на предоперационном этапе визуализировать пространственное взаимоотношение функционально значимых зон головного мозга с опухолевым узлом.

4. Полученные данные свидетельствуют о высокой значимости навигационной ТМС и МР-трактографии в диагностике и выборе оптимальной тактики лечения больных с опухолями моторной зоны коры головного мозга, включающей стереотаксическое радиохирургическое лечение, стереотаксическую биопсию, субтотальную резекцию опухоли, а также ее радикальное удаление.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баарс Б., Гейдж Н. Мозг, познание, разум: введение в когнитивные нейронауки: в 2 ч. / Под ред. Б. Баарса, Н. Гейдж; пер. с англ. под ред. проф. В. В. Шульговского. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2014. Ч. 1. 544 с.
2. Баарс Б., Гейдж Н. Мозг, познание, разум: введение в когнитивные нейронауки: в 2 ч. / Под ред. Б. Баарса, Н. Гейдж; пер. с англ. под ред. проф. В. В. Шульговского. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2014. Ч. 2. 464 с.
3. Коновалов А. Н., Потапов А. А., Гаврилов А. Г. и др. Современные технологии в нейрохирургии // Современные техноло-
- гии и клинические исследования в нейрохирургии / Под ред. А. Н. Коновалова. М., 2012. Т. I. С. 55–111.
4. Лошаков В. А., Пицхелаури Д. И., Кобяков Г. Л. и др. Глиомы // Современные технологии и клинические исследования в нейрохирургии / Под ред. А. Н. Коновалова. М., 2012. Т. II. С. 15–38.
5. Труфанов Г. Е., Рамешвили Т. Е., Дергунова Н. И. и др. Совмещенная позитронно-эмиссионная и компьютерная томография (ПЭТ-КТ) в диагностике опухолей головного мозга. СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2005. 93 с.
6. Щербук Ю. А., Щербук А. Ю. Современные организационные, хирургические и реабилитационные технологии в нейроонкологии. СПб.: СПбГУ, 2014. 263 с.
7. Bello L., Riva M., Fava E. et al. Tailoring neurophysiological strategies with clinical context enhances resection and safety and expands indications in gliomas involving motor pathways // Neuro Oncol. 2014. Vol. 16. P. 1110–1128.
8. Forster M. T., Senft C., Hattingen E. et al. Motor cortex evaluation by nTMS after surgery of central region tumors: a feasibility study // Acta Neurochir. (Wien). 2012. Vol. 154. P. 1351–1359.
9. Frey D., Schilt S., Strack V. et al. Navigated transcranial magnetic stimulation improves the treatment outcome in patients with brain tumors in motor eloquent locations // Neuro Oncol. 2014. Vol. 16. P. 1365–1372.
10. Frey D., Strack V., Wiener E. et al. A new approach for corticospinal tract reconstruction based on navigated transcranial stimulation and standardized fractional anisotropy values // Neuroimage. 2012. Vol. 62. P. 1600–1609.
11. Krieg S. M., Sabih J., Bulubasova L. et al. Preoperative motor mapping by navigated transcranial magnetic brain stimulation

- improves outcome for motor eloquent lesions // *Neuro Oncol.* 2014. Vol. 16. P. 1274–1282.
12. Krieg S.M., Shibani E., Buchmann N. et al. Presurgical navigated transcranial magnetic brain stimulation for recurrent gliomas in motor eloquent areas // *Clin. Neurophysiol.* 2013. Vol. 124, № 3. P. 522–527.
 13. Nimsy C., Ganslandt O., Hastreiter P. et al. Preoperative and intraoperative diffusion tensor imaging-based fiber tracking in glioma surgery // *Neurosurgery.* 2005. Vol. 56. P. 130–138.
 14. Ottenhausen M., Krieg S. M., Meyer D., Ringel F. Functional preoperative and intraoperative mapping and monitoring: increasing safety and efficacy in glioma surgery // *Neurosurg. Focus.* 2015. Vol. 38, № 1. P. E3.
 15. Picht T., Schulz J., Hanna M. et al. Assessment of the influence of navigated transcranial magnetic stimulation on surgical planning for tumors in or near the motor cortex // *Neurosurgery.* 2012. Vol. 70, № 5. P. 1248–1257.
 16. Takahashi S., Vajkoczy P., Picht T. Navigated transcranial magnetic stimulation for mapping the motor cortex in patients with rolandic brain tumors // *Neurosurg. Focus.* 2013. Vol. 34, № 4. P. E3.
 17. Tarapore P.E., Tate M.C., Findlay A.M. et al. Preoperative multimodal motor mapping: a comparison of magnetoencephalography imaging, navigated transcranial magnetic stimulation, and direct cortical stimulation // *J. Neurosurg.* 2012. Vol. 117. P. 354–362.
 18. Wu J.S., Zhou L.F., Tang W.J. et al. Clinical evaluation and follow-up outcome of diffusion tensor imaging-based functional neuronavigation: a prospective, controlled study in patients with gliomas involving pyramidal tracts // *Neurosurgery.* 2007. Vol. 61. P. 935–949.

Поступила в редакцию 17.06.2015 г.

A.Yu.Shcherbuk^{1, 2}, M.E.Eroshenko^{1, 2}, Yu.A.Shcherbuk²

OPTIMIZATION OF SURGICAL APPROACH IN PATIENTS WITH TUMORS OF MOTOR ZONE OF THE CEREBRAL CORTEX ON THE BASIS OF TRANSCRANIAL MAGNETIC STIMULATION AND MAGNETIC RESONANCE TRACTOGRAPHY

¹ Saint-Petersburg clinical research-practical center of specialized types of medical aid (oncological); ² Medical faculty of Saint-Petersburg State University

Preoperative planning on the basis of combined data of navigated transcranial magnetic stimulation and MR-tractography give an opportunity to choose an optimal treatment approach in each clinical case. There were performed the examinations in 52 patients with tumors situated in projection of central gyrus. The neurosurgical interference was admitted as inappropriate in 3 (5,8%) patients. The volume of planned operation was reduced in 14 (26,9%) cases. The examination of 15 (28,9%) patients allowed choice of the correct access trajectory. The navigated transcranial magnetic stimulation assisted in performance of more safe removal of neoplasms closed to the functionally meaningful zones of the brain in 20 (38,4%).

Key words: *tumors of the brain, motor zone of the cerebral cortex, corticospinal tract, navigated transcranial magnetic stimulation, magnetic resonance tractography*