

УДК 616.831-006-089.12

Розуменко В.Д., Чувашова О.Ю., Рудица В.И., Розуменко А.В.

## Применение данных магниторезонансной трактографии в нейронавигационном сопровождении хирургических вмешательств при опухолях полушарий большого мозга

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

**Вступление.** Лечение больных по поводу опухолей головного мозга предусматривает комплексный подход, ведущее место при котором занимает хирургический этап [1–3].

Высокая вероятность возникновения или усугубления неврологического дефицита после операции ограничивает возможности резекции опухолей при их распространении на функционально важные зоны (ФВЗ) головного мозга. При планировании операции и удалении внутримозговых опухолей необходимо придерживаться тактики максимально возможной циторедукции в функционально обоснованных пределах [4–9].

Оптимизация объема удаления ткани опухоли непосредственно связана с возможностями дооперационного планирования хирургического вмешательства, уточнением топографии опухоли, получением наиболее полной информации о соотношении опухоли с ФВЗ коры большого мозга и проводящими волокнами белого вещества [7].

В связи с этим заслуживает внимания метод магниторезонансной волоконной трактографии (МР-трактографии), который позволяет неинвазивно визуализировать отдельные проводящие пути белого вещества на всем протяжении в головном мозге. В основе метода лежит определение по диффузионно-тензорным МРТ изображениям (ДТИ) степени анизотропии и направления диффузии молекул воды, что используют в качестве маркера ориентации проводящих путей белого вещества [3, 10, 11]. Использование метода МР-трактографии при опухолевом поражении головного мозга обеспечивает получение информации о нарушении структуры проводящих волокон белого вещества вблизи границ опухоли, что позволяет определить участки инвазии опухоли, а также степень реорганизации волокон под влиянием лечения [12, 13].

**Материалы и методы исследования.** В исследование включены 18 больных с опухолями полушарий большого мозга. Женщин было 6, мужчин — 12. Возраст больных от 22 до 62 лет, в среднем 41,6 года. Состояние больных по шкале Карновски оценено в среднем 68,3 бала.

Базисный топический диагноз устанавливали на основании анализа данных МРТ, проведенной с помощью томографа “Philips Intera 1.5T” (Philips, Нидерланды) с индукцией магнитного поля 1,5 Тл, при контрастном усилении посредством внутривенного введения препарата Томовист (0,2 мл/кг).

Больным проведена стандартная процедура МРТ сканирования в целях определения локализации и структуры очага с использованием аксиальных T1-взвешенных (TR 7,9 мс, TE 3,7 мс, толщина среза 1,2 мм, матрица 240×240) и T2-взвешенных (TR 6700 мс, TE 110 мс, толщина среза 4 мм, матрица 512×512) режимов сканирования.

Для получения диффузионно-взвешенных МРТ изображений применяли спин-эхо и эхо-планарную последовательность (TR 7540 мс, TE 74 мс, толщина среза 2 мм, матрица 128×128) с использованием технологии параллельного сканирования SENSE. Диффузионный градиент формировался в 15 направлениях с b-фактором 800 с/мм<sup>2</sup>.

Компьютерная обработка результатов исследования проведена с помощью программного обеспечения Extended MR Workspace (Philips Medical Systems, Нидерланды) и OsiriX (Open-Source Software).

Подкорковые проводящие пути визуализировали в зависимости от направления принципиального вектора диффузии в ретроградном и ортоградном направлениях для каждого вокселя. Показатель фракционной анизотропии 0,1–0,15, минимальная длина волокна 50–70 мм, угол поворота 20–55° использовали как критерий для формирования трактов. «Области интереса» определяли в белом веществе вокруг зон прохождения трактов на основании данных предшествующего МРТ T1 исследования, они располагались перпендикулярно направлению прохождения волокон тракта [14].

Внутримозговые опухоли локализовались в лобной доле у 10 больных, теменной — у 1, лобно-височной области — у 3, лобно-теменной — у 1, височной доле — у 2, теменно-височной области — у 1. Локальное объемное воздействие или прораствание внутримозговыми опухолями ФВЗ или медианных структур выявлено во всех наблюдениях. Поражение доминантного полушария наблюдали у 9 больных.

В соответствии с классификацией R. Sawaya [15], выделены две локализационные группы опухолей: поражающие ФВЗ (Grade III) — в 11 наблюдениях, прилежащие к ФВЗ (Grade II) — в 7.

При локализации опухоли в задне-лобной и лобно-височной области проводили трактографию с реконструкцией корково-спинномозгового пути (КСП).

При реконструкции КСП «область интереса» располагалась в аксиальной проекции на уровне подкоркового белого вещества предцентральной извилины и в области ножек мозга. Если вследствие воздействия опухоли визуализация КСП была нарушена, выбирали дополнительную зону в задней ножке внутренней капсулы.

При локализации опухолей в височной, теменно-височной, а также лобно-височной областях доминантного полушария возникала необходимость визуализации крючковидного тракта, верхнего и нижнего продольных трактов.

Для реконструкции верхнего продольного тракта «область интереса» выделяли на корональных срезах на уровне зоны с высокой анизотропией латеральнее

центральных отделов бокового желудочка, вторую область — в месте нисходящей ветви пучка.

Для крючковидного и нижнего продольного трактов «области интереса» располагались в корональной проекции на уровне передней части внутренней капсулы в месте соединения лобной и височной долей, где указанные тракты примыкают один к другому.

С помощью программного обеспечения «StealthStation Application Software Cranial 5» по данным основного исследования МРТ или КТ осуществляли пространственное моделирование. Дооперационное планирование включало сегментацию и контурирование опухоли, определение зоны распространения перифокального отека, построение объемного топографического изображения рельефа поверхности полушарий большого мозга, конвексисто-расположенных сосудов, проводящих путей белого вещества, боковых желудочков, оптимальной траектории и границ хирургического доступа.

При планировании тактики хирургического вмешательства и объема удаления опухоли учитывали клинические особенности, топографоанатомическое и топографо-функциональное соотношение опухоли с окружающими анатомическими образованиями.

Вопрос резектабельности опухоли решали на этапе дооперационного планирования, он был положительным при распространении опухоли в ФВЗ и медианные структуры.

Операции выполняли с применением навигационной системы StealthStation Treon Plus (Medtronic, США).

Для атравматичного и более полного удаления опухоли, распространяющейся в ФВЗ и медианные структуры, использовали метод лазерной термодеструкции. Облучали участки опухоли, граничащие с ФВЗ и подкорковыми проводящими путями. В качестве источника лазерного излучения использовали полупроводниковый хирургический лазер «Лика-хирург» (Украина) (мощность 30 Вт, импульсный режим генерации излучения, длина волны 808 нм).

Объем хирургической резекции опухоли верифицировали по результатам КТ и МРТ.

Функциональный статус больных оценивали в динамике до и после операции с использованием шкалы Карновски.

**Результаты и их обсуждение.** «Тотальное» удаление опухолей произведено 6 больным, «субтотальное» — 12.

По результатам гистологического исследования интраоперационного биопсийного материала глиомы I и II степени анаплазии (WHO) выявлены у 7 больных, III степени анаплазии — у 6, IV степени анаплазии — у 4, ангиокавернома — у 1. Во время и после операции все пациенты живы. Перед выпиской состояние пациентов по шкале Карновски оценено в среднем 84,6 балла.

Метод трактографии может быть использован для визуализации основных проводящих путей белого вещества головного мозга, включающих корково-спинномозговую и корково-бульбарную, верхнюю и нижнюю продольные пучки, а также крючковидный, дугообразный, затылочно-височный, лобно-затылочный пучки, зрительную лучистость, мозолистое тело, пояс и переднюю спайку (*рис. 1 цветной вкладки*) [11, 16].

Количество волокон, которые будут включены в проводящий путь при обработке данных во время проведения МР-трактографии, зависит от выбранных значений фракционной анизотропии, использованного алгоритма и выделенной «области интереса» для реконструкции [5, 17–21].

При правильном подборе параметров алгоритма во время проведения трактографии отмечена высокая корреляция с данными, полученными при использовании методов субкортикальной электростимуляции (95% — при выявлении КСП, 97% — для речевых путей) [1].

Изменения волокон белого вещества головного мозга, обусловленные опухолевым процессом, могут быть охарактеризованы как дислокация, отек, инфильтрация, деструкция [13]. При оценке состояния проводящих путей в каждой отдельной точке учитывали интенсивность сигнала, сохранность положения и направления волокон [11, 16].

**Дислокация:** зона расположения проводящего пути с нормальным или несколько уменьшенным показателем анизотропии по отношению к контралатеральному пути, но локализована в области с аномальным сигналом T2WI или имеются изменения ориентации волокон.

**Отек:** значительное уменьшение анизотропии волокон при нормальной ориентации на цветовых картах, но проводящие пути расположены в зонах аномального T2WI сигнала.

**Инфильтрация:** незначительное уменьшение анизотропии без дислокации волокон, проводящие пути хорошо идентифицируются на цветовых картах.

**Деструкция:** значительное снижение анизотропии, большинство проводящих путей не идентифицируются на цветовых картах.

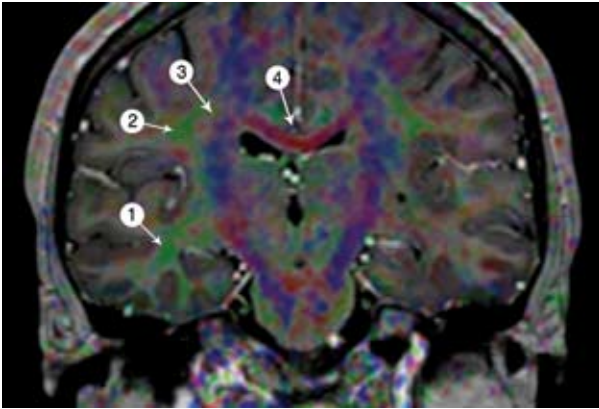
У больных при наличии злокачественной глиомы, большинство волокон проводящих путей, как правило, оттеснены к периферии опухоли и отображаются как инфильтрированные или дислоцированные. Разрыв проводящего пути при злокачественной глиоме обусловлен сочетанием перифокального отека, объемного воздействия опухоли и инфильтрации (*рис. 2 цветной вкладки*) [12].

Для высокодифференцированных глиом характерны инфильтрация и разрыв проводящих путей, а также их дислокация вследствие воздействия опухоли. Кроме того, у большинства больных значительная часть волокон оказывается внутри опухоли [18].

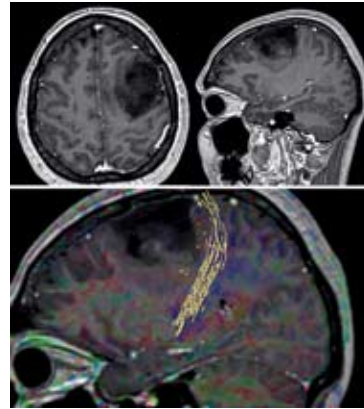
Определение степени поражения опухолью пучков позволяет оценить ее резектабельность, установить границы резекции ткани опухоли и на основании этого выбрать адекватный транскортикальный подход и направление субкортикального доступа (*рис. 3 цветной вкладки*) [1, 21].

На этапе планирования хирургического вмешательства определяют интактные борозды, окружающие опухоль, после чего, в соответствии с контурами проекционных границ опухоли, возможна резекция коркового вещества в приближении к перифокальной зоне (*рис. 4 цветной вкладки*).

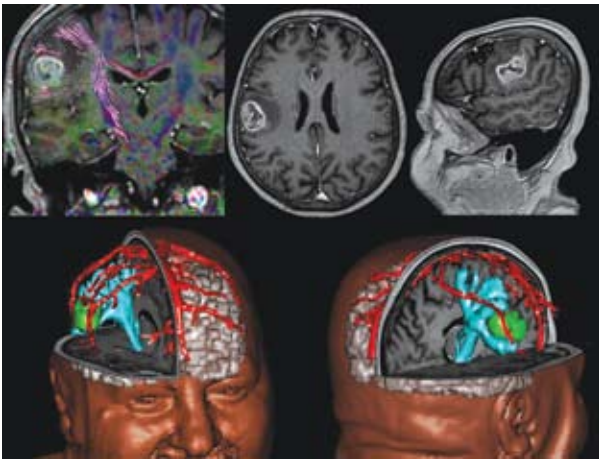
Определение пространственных взаимоотношений опухоли с прилежащими участками коры и подкорковыми проводящими путями позволяет, в зависимости от локализации опухоли и степени ее



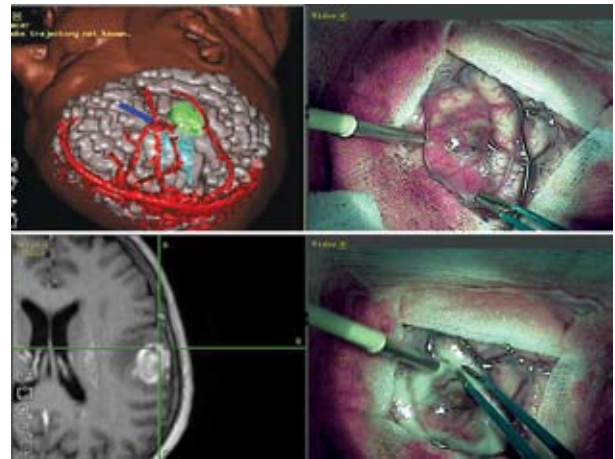
**Рис. 1.** Локализация основных проводящих путей белого вещества. МРТ/ДТИ изображение головного мозга в коронарной плоскости. 1 — нижний продольный и крючковидный пучки; 2 — верхний продольный пучок; 3 — корково-спинномозговой путь; 4 — мозолистое тело.



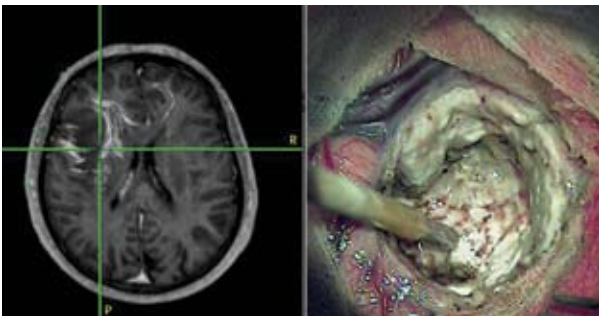
**Рис. 2.** Опухоль (анapластическая астроцитома) предцентральной области. Дислокация и отек корково-спинномозгового пути в месте контакта с опухолью.



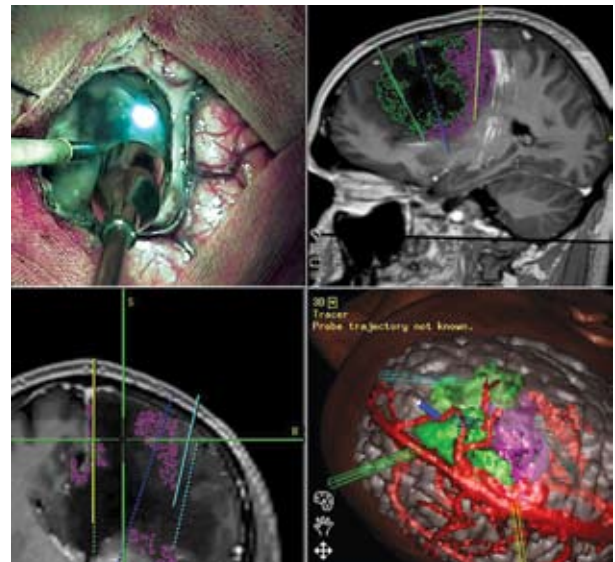
**Рис. 3.** Планирование хирургического вмешательства с визуализацией пространственного взаимоотношения опухоли, корково-спинномозгового пути и конвекситальных вен.



**Рис. 4.** Резекция коры при использовании транс-кортикального доступа к опухоли (изображение с монитора нейронавигационной станции).



**Рис. 5.** Зона резекции опухоли граничит с волокнами крючковидного отростка (изображение с монитора нейронавигационной станции).



**Рис. 6.** Лазерная деструкция оставшихся участков опухоли, прилежащих к корково-спинномозговому пути (изображение с монитора нейронавигационной станции).

распространения, выбрать тактику хирургического вмешательства.

При инфильтрации опухолью одной извилины опухоль следует вдоль проекционных волокон, направляющихся в соседнюю извилину. При удалении субкортикальных опухолей, распространяющихся под ФВЗ, обосновано сохранение интактных проводящих путей, происходящих из покрывающих опухоль участков коры [22].

При удалении опухолей лобной доли, граничащих с корково-спинномозговым путем, резекцию следует начинать с дорзальной части опухоли с навигационным контролем проекции расположения пути. Затем по его проекционной границе углубляют раневой канал и удаляют ростральную часть опухоли. При локализации опухоли в теменной области резекцию начинают с ее ростральной части с последующим отдалением в дорзальном направлении вдоль волокон белого вещества и удалением дорзальной части опухоли. При сопоставлении данных трактографии и интраоперационного субкортикального картирования у больных с опухолью лобно-теменной области по данным трактографии зона анатомического распространения проводящих путей и вовлечение их волокон в опухоль более частое [1].

При локализации опухоли в лобно-височной области отмечают дислокацию крючковидного пучка, который проходит из орбитальных отделов лобной доли по дну латеральной щели мозга к полюсу височной доли. При опухолях, распространяющихся из лобной доли, он проходит по задне-нижней границе опухоли. Дислокация и натяжение волокон крючковидного пучка ограничивают резекцию опухоли в медианном направлении. При опухолях, распространяющихся из височной доли, крючковидный пучок располагается в средне-передних отделах доли. Безопасный хирургический подход к опухоли осуществляется со стороны базальных отделов полюса височной доли. При наличии на трактограммах признаков инфильтрации и разрыва крючковидного пучка его функциональная сохранность сомнительна (*рис. 5 цветной вкладки*) [1, 18].

Сложной с хирургической точки зрения является локализация опухоли на стыке теменной, височной и затылочной долей доминантного полушария. ФВЗ, расположенные вдоль дистальных отделов латеральной щели, ограничивают возможность резекции опухоли в направлении височной доли, а проходящий в глубине над латеральной щелью верхний продольный пучок препятствует резекции в медианном направлении и в направлении теменной доли. Верхний продольный пучок достаточно большой, идет из теменной в лобную долю, ответственен за фонемический компонент речи. По данным трактографии, его дислокация и инфильтрация зависят от локализации, размеров и гистологического типа опухоли. При злокачественных опухолях он, как правило, дислоцирован, при доброкачественных — инфильтрирован. Опухоли больших размеров часто дислоцируют и инфильтрируют верхний продольный пучок, при наличии небольших опухолей он не изменен. Кроме того, ответвление верхнего продольного пучка — дугообразный пучок, который огибает задний край латеральной щели, ограничивает возможность резекции в сторону затылочной доли [18].

Возможность определения цели облучения, прецизионность лазерного воздействия позволяют при интраоперационном применении лазерных технологий осуществить контролируемое термическое разрушение оставшихся участков опухоли, распространяющихся в ФВЗ. Использование метода лазерной термодеструкции при удалении ткани опухоли в участках ее активного роста повышает радикальность резекции при условии сохранения смежных структур мозга (*рис. 6 цветной вкладки*).

Безопасная граница резекции ткани опухоли, прилежащей к проводящим путям, должна быть на расстоянии 5–10 мм от них. Однако при выборе по данным нейронавигационного сопровождения границ резекции опухоли следует учитывать интраоперационно возникающее смещение головного мозга. Обусловленная «сдвигом мозга» дислокация проводящих путей происходит в основном вследствие резекции и отека тканей, а также изменения внутричерепного давления. Таким образом, во время операции отмечают смещение белого вещества к центру сформированной резекционной полости, и расстояние от зоны операции до места прохождения проводящих путей белого вещества уменьшается [17–20].

Информация о локализации проводящих путей помогает планировать и осуществлять навигационный контроль хирургического вмешательства, позволяет избежать поражения дислоцированных, а также отечных или инфильтрированных опухолей путей, способствует повышению уверенности при работе в участках, где проходят пучки белого вещества, но по данным трактографии определяется их разрушение [11, 16].

**Выводы.** 1. Метод МР-трактографии позволяет неинвазивно визуализировать проводящие пути белого вещества и оценить степень их поражения при опухолях полушарий большого мозга.

2. Анализ данных МР-трактографии позволяет выбрать оптимальный хирургический подход к опухоли, определить доступные для удаления участки и выполнить резекцию в адекватном объеме с сохранением ФВЗ и проводящих путей белого вещества головного мозга.

3. Удаление внутримозговых опухолей под контролем нейронавигации с использованием данных МР-трактографии обеспечивает условия интраоперационной точности и безопасности хирургического вмешательства, позволяет минимизировать хирургическую травму, способствует снижению риска возникновения неврологического дефицита, что предопределяет эффективность операции и высокое качество жизни больных.

#### Список литературы

1. Present day's standards in microsurgery of low-grade gliomas / L. Bello, E. Fava, G. Carrabba [et al.] // *Advances and technical standards in neurosurgery*; vol.35, Low-Grade Gliomas; ed. J. Schramm. — Wien: Springer-Verlag, 2010. — P.113–158.
2. Simon M. Surgical management of intracranial gliomas / M. Simon, J. Schramm // *Gliomas*; ed. A. Deimling. — Berlin: Springer Verlag, 2009. — P.105–124.
3. Глиомы головного мозга / [Ю.А. Зозуля, И.Г. Васильева, А.Я. Главацкий и др.]; под ред. Ю.А. Зозули. — К.: УИПК «ЕксОБ», 2007. — 630 с.
4. 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. — V.76. — P.677–687.
5. 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-López, F. Talamantes // *Neurosurg. Focus.* — 2010. — V.28. — P.5.
  6. 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. — V.95. — P.735–745.
  7. Motor functional MRI for pre-operative and intraoperative neurosurgical guidance / I.D. Wilkinson, C.A. Romanowski, D.A. Jellinek [et al.] // *Br. J. Radiol.* — 2003. — V.76. — P.98–103.
  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. — NY.: Taylor and Francis, 2006. — P.179–194.
  9. 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. — V.78. — P.230–235.
  10. Diffusion-tensor fiber tractography: intraindividual comparison of 3.0-T and 1.5-T MR imaging / T. Okada, Y. Miki, Y. Fushimi [et al.] // *Radiology.* — 2006. — V.238, N2. — P.668–678.
  11. Tharin S. Neurosurgical treatment planning / S. Tharin, A. Golby // *Handbook of neuro-oncology neuroimaging*; eds. B.H. Newton, A.J. Ferenc. — Acad. Press Title, 2007. — P.181–191.
  12. Imaging in neurooncology / A.H. Jacobs, L.W. Kracht, A. Gossman [et al.] // *Herholz NeuroRx.* — 2005. — V.2, N2. — P.333–347.
  13. White matter tract involvement in brain tumors: a diffusion tensor imaging analysis / Pao Sheng Yen, Beng Tiong Teo, Cheng Hui Chiu [et al.] // *Surg. Neurol.* — 2009. — V.72. — P.464–469.
  14. Clinical significance of preoperative fibre-tracking to preserve the affected pyramidal tracts during resection of brain tumours in patients with preoperative motor weakness / N. Mikuni, T. Okada, R. Enatsu [et al.] // *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* — 2007. — V.78. — P.716–721.
  15. Neurosurgical outcomes in a modern series of 400 craniotomies for treatment of parenchymal tumors / R. Sawaya, M. Hammoud, D. Schoppa [et al.] // *Neurosurgery.* — 1998. — V.42, N5. — P.1044–1055.
  16. Diffusion tensor imaging of cerebral white matter: a pictorial review of physics, fiber tract anatomy, and tumor imaging patterns / B.J. Jellison, A.S. Field, J. Meddow [et al.] // *Am. J. Neuroradiol.* — 2004. — V.25, N3. — P.356–369.
  17. Improved delineation of glioma margins and regions of infiltration with the use of diffusion tensor imaging: an image-guided biopsy study / S.J. Price, R. Jena, N.G. Burnet [et al.] // *Am. J. Neuroradiol.* — 2006. — V.27. — P.1969–1974.
  18. Intraoperative use of diffusion tensor imaging fiber tractography and subcortical mapping for resection of gliomas: technical considerations / L. Bello, A. Castellano, E. Fava [et al.] // *Neurosurg. Focus.* — 2010. — V.28, N2. — P.6.
  19. Intraoperative visualization of the pyramidal tract by diffusion-tensor-imaging-based fiber tracking / C. Nimsky, O. Ganslandt, D. Merhof [et al.] // *Neuroimage.* — 2006. — V.30, N4. — P.1219–1229.
  20. Preoperative and intraoperative diffusion tensor imaging-based fiber tracking in glioma surgery / C. Nimsky, O. Ganslandt, P. Hastreiter [et al.] // *Neurosurgery.* — 2005. — V.56, N1. — P.130–137.
  21. Устюжанина М.К. Трактография головного мозга: метод визуализации проводящих путей на основе диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии (Обзор литературы) / М.К. Устюжанина, В.Е. Синецких // *Диагностическая и интервенционная радиология.* — 2007. — Т.1, №3.
  22. Iliescu B. Tractography for preoperative planning in patients with cerebral tumors in eloquent areas / B. Iliescu, D. Negru, I. Poeta [et al.] // *Roman. Neurosurg.* — 2010. — V.27, N4. — P.413–420.

Одержано 22.04.11

*Розуменко В.Д., Чувашова О.Ю., Рудиця В.І., Розуменко А.В.*

**Використання даних магніторезонансної трактографії у нейронавігаційному супроводі хірургічних втручань при пухлинах півкуль великого мозку**

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

Наведений досвід використання даних магніторезонансної трактографії у діагностиці та хірургічному лікуванні хворих з приводу пухлин півкуль великого мозку. Застосування даних МР-трактографії у доопераційному плануванні хірургічного втручання та інтраопераційній орієнтації з використанням нейронавігації дозволяє уникнути пошкодження функціонально важливих структур головного мозку і знизити ризик виникнення післяопераційного неврологічного дефіциту.

**Ключові слова:** *пухлини головного мозку, МР-трактографія, нейронавігація, функціонально важливі зони головного мозку.*

*Розуменко В.Д., Чувашова О.Ю., Рудиця В.І., Розуменко А.В.*

**Применение данных магниторезонансной трактографии в нейронавигационном сопровождении хирургических вмешательств при опухолях полушарий большого мозга**

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

Приведен опыт использования данных магниторезонансной трактографии в диагностике и хирургическом лечении больных по поводу опухолей полушарий большого мозга. Применение данных МР-трактографии в предоперационном планировании хирургического вмешательства и интраоперационной ориентации с использованием нейронавигации позволяет избежать повреждения функционально важных структур головного мозга и обеспечивает снижение риска возникновения послеоперационного неврологического дефицита.

**Ключевые слова:** *опухоли головного мозга, МР-трактография, нейронавигация, функционально важные зоны головного мозга.*

*Rozumenko V.D., Chuvashova O.Yu., Ruditsa V.I., Rozumenko A.V.*

**MR-tractography in image-guide 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 MR-tractography application for diagnosis and surgical treatment of patients with tumors of cerebral hemispheres was presented. The use of MR-tractography data for preoperative planning and intraoperative orientation with neuronavigation helps to avoid damage of eloquent brain areas and to reduce the risk of postoperative neurological deficit.

**Key words:** *brain tumors, MR-tractography, neuronavigation, eloquent brain areas.*