

Оглядіві статті

УДК 616.831-006-076-089

Зорин Н.А., Дзяк Л.А., Сирко А.Г., Курпа И.Ю.

Основные тенденции развития стереотаксических технологий в нейроонкологии

Днепропетровская государственная медицинская академия,
Днепропетровская областная клиническая больница им. И.И. Мечникова

Стереотаксические технологии играют важную роль в современной нейроонкологии. Их развитие берет начало со времени применения стереотаксических рамок и стереотаксических расчетов. Совершенствование современных методов нейровизуализации способствовало разработке безрамочного стереотаксиса (БС) и нового направления в нейрохирургии — выполнению вмешательств под визуальным контролем на базе удобных для пользователя интерфейсов [1]. Биопсия ткани опухоли и волюметрическая резекция опухоли (удаление в пределах заранее определенных по данным компьютерной томографии границ) постепенно становятся базовыми методами для большинства нейрохирургов, использующих стереотаксис в повседневной работе. В то же время, в структуре стереотаксических операций, проводимых в нейроонкологии, все большее распространение получает стереотаксическая радиохирургия (СР) [2].

Исследование проведено для оценки хронологии, объема и направлений развития стереотаксиса в нейроонкологии. Выполнен поиск источников информации в компьютерной базе данных медицинской библиотеки MEDLINE за период с 1966 по 2008 г.

За каждый год публикации отбирали по следующим темам: внутричерепной стереотаксис опухолей, функциональный стереотаксис и «прочее». Категорию внутричерепных опухолей затем классифицировали по следующим темам: 1) рамочная биопсия (РБ) или резекция опухолей; 2) безрамочная биопсия или резекция опухолей; 3) брахитерапия; 4) радиохирургия; 5) «прочее». В подкатегорию «прочее» включены статьи по другим видам терапии опухолей с использованием стереотаксиса (химиотерапия, криотерапия, гипертермия, иммунотерапия, фотодинамическая терапия, генная терапия и др.).

С 1966 по 1979 г. на фоне публикаций по функциональному стереотаксису сведения по лечению опухолей с применением стереотаксиса занимали второе место среди всех публикаций по стереотаксической нейрохирургии. В течение 4 лет, с 1980 по 1983 г., ситуация существенно изменилась, и количество публикаций, посвященных стереотаксису опухолей, постоянно увеличивается. К 1984 г. стереотаксис опухолей стал самой популярной темой публикаций по стереотаксической нейрохирургии.

РБ и/или резекции опухолей были преобладающей подкатегорией в период с 1966 по 1993 г. «Золотым веком» публикаций по РБ и/или резекции опухолей стал период с 1984 по 1994 г. С 1994 г. статьи по СР заняли ведущее место в категории стереотаксиса опухолей. За период с 2003 по 2008 г.

СР посвящено 65% публикаций по стереотаксису опухолей.

До изобретения компьютерного томографа основное внимание стереотаксической хирургии было сконцентрировано на гипоталамо-гипофизарной оси, которую можно локализовать с помощью костных ориентиров, установленных по данным рентгенографии черепа. С 1966 по 1970 г. стереотаксис опухолей в основном ограничивался криохирургией, хирургией аденомы гипофиза, брахитерапией [3–5].

С 1976 г. в общеклинической практике стали широко использовать компьютерные томографы первого поколения, затем (примерно с 1978 г.) — сканеры второго поколения. Начиная с 1980 г., широкое распространение получили сканеры третьего поколения с высокой разрешающей способностью. Магниторезонансное сканирование стали использовать в клиниках с середины 80-х годов прошлого столетия. Впервые стала возможной прямая визуализация опухолей в трехмерном изображении, необходимом для точного стереотаксиса. Новая оригинальная томографическая стереотаксическая система Брауна-Робертса-Уэллса — рамка BRW (Brown-Roberts-Wells, компания Radionics, Берлингтон, штат Массачусетс) разработана в США [6]. Серьезным толчком к появлению этой томографической конструкции стала разработка системы N-образного локализатора [7]. К концу 80-х годов рамка BRW приобрела форму центрируемой по дуге системы Космана-Робертса-Уэллса — рамка CRW (Cosman-Robert-Wells), которая по функциональным возможностям аналогична модифицированной системе Тодда-Уэллса (Todd-Wells) и европейским центрируемым по дуге системам, но, по-прежнему была подключена к оригинальной системе расчета координат BRW [2].

До 1980 г. проблема резекции опухолей головного мозга под стереотаксическим наведением была недостаточно исследованной [8]. С 1980 по 1989 г. во всех публикациях, посвященных резекции опухолей, приводили описание использования рамочной технологии. Резекция опухолей под рамочным стереотаксическим наведением включала точечный стереотаксис, при котором действия нейрохирурга были направлены к точке на поверхности мозга или по линейной траектории к более глубоко расположенной точке [9]. Применяли также стереотаксис «с разметкой», при котором по границе томографического изображения опухоли устанавливали катетеры, хирург во время операции резецировал ткань опухоли, расположенную между катетерами [10], и волюметрический стереотаксис, когда трехмерное изображение опухоли в стереотаксическом пространстве выводили

на выносной дисплей микроскопа для дальнейшего осуществления волнометрической резекции [11].

Развитие компьютерной техники способствовало разработке в начале 80-х годов оригинального алгоритма расчета томографических координат рамки BRW с помощью простого портативного компьютера [6]. Однако эти возможности оказались значительно ниже возможностей компьютерной системы, разработанной Р.Дж. Келли и соавторами [11, 12]. Эта идея опередила свое время. Подход Р.Дж. Келли воплотил в жизнь транспарентный доступ через функционально малозначимые области головного мозга, благодаря интегрированию компьютерной, микроскопной, стереотаксической и лазерной систем. Серьезным технологическим прорывом в развитии стереотаксиса опухолей головного мозга стало появление в начале 90-х годов прошлого столетия мощных компьютерных рабочих станций, которые, наряду с надежным программным обеспечением, создавали удобные интерфейсы.

Однако уже в 1990 г. появилась первая статья о безрамочной направленной резекции опухоли [13]. В последующие годы увеличилось число публикаций, посвященных этому новому направлению нейрохирургии. Что же касается рамочной резекции опухолей, то, начиная с 1994 г. количество публикаций, посвященных этому вопросу, заметно уменьшилось. В настоящее время увеличивается количество публикаций, посвященных резекции опухолей с использованием безрамочных стереотаксических систем. Следует отметить, что увеличение числа пациентов, у которых при удалении опухоли использовали безрамочную стереотаксическую систему, происходило скорее за счет тех больных, которые ранее могли быть оперированы с применением интраоперационного ультразвукового сканирования или без интраоперационного визуального сопровождения. При этом число больных, оперированных с использованием рамочной стереотаксической системы, не изменилось.

Хотя визуальное сопровождение БС также начиналось с компьютерной томографии [14], это направление характеризуется ранней интеграцией с магниторезонансной томографией [15, 16]. Естественным дополнением к нейронавигации является интраоперационная магниторезонансная томография (ИОМРТ), первые упоминания о которой в базе данных приведены в 1996 г. [17]. ИОМРТ чаще применяют с нейронавигационными системами, при этом базу томографических данных периодически обновляют, с учетом изменений в мозге, возникающих во время операции. В период с 1999 по 2008 г. публикации, посвященные проблемам ИОМРТ, составляют 18% всех материалов по стереотаксической направленной резекции опухолей [18]. Благодаря простоте регистрации данных волнометрической визуализации, непосредственному интерактивному обновлению, скорости и простому интерфейсу обратной связи с хирургом, свойственному современным нейронавигационным системам, безрамочная стереотаксическая волнометрическая резекция получила широкое распространение. Сегодня эти системы легко адаптируются под задачи нейроонкологов, которые ранее скептически относились к рамочным системам и расчетам. Более того, технологический прогресс способствует развитию современных микрохирургических подходов к объемным процессам различной локализации, при

котором сохраняется неповрежденной окружающая ткань головного мозга. При этом хирург может выделять и резецировать опухоль теми инструментами, с которыми ему удобнее работать.

Самые последние системы основаны преимущественно на пассивных или активных инфракрасных оптических системах слежения. К устройствам наведения относятся зонды и указатели [19], а также операционные микроскопы [14]. В то же время появился метод электромагнитной нейронавигации, технология которого основана на использовании низкочастотного электромагнитного излучателя, помещаемого в операционное поле. В электромагнитное поле заводят гибкий инструмент с датчиком на конце. Это позволяет навигировать шунты, катетеры и гибкие эндоскопы [1].

В то время, как удельный вес стереотаксической резекции опухолей сместился в сторону безрамочных методов, пункционная биопсия опухолей осталась в области рамочного стереотаксиса. За период с 2003 по 2008 г. публикации, посвященные пункционной биопсии опухолей с использованием БС, составили всего 9,7% от общего числа статей по этой проблеме. В то же время, 80% всех объемных процессов, исследованных с помощью рамочной стереотаксической биопсии, по критериям размеров и локализации могли бы с не меньшим успехом быть обследованы с помощью безрамочного метода [20].

В большинстве работ, вышедших в эти годы, убедительно доказано, что стереотаксическая биопсия является безопасным, надежным и малотравматичным вмешательством для получения биопсийного материала и установления гистологического диагноза. Анализ ее объективных данных позволяет принимать адекватные терапевтические решения.

Начиная с 1994 г., статьи по СР стали занимать ведущие позиции в категории стереотаксиса опухолей. За период с 2003 по 2008 г. СР посвящено 65% всех публикаций по стереотаксису опухолей. Серьезные преобразования коснулись СР и БС благодаря появлению мощных и быстрых компьютерных рабочих станций, а также нового программного обеспечения. Без этого не было бы основы для быстрых и эффективных расчетов, необходимых для сложного планирования с множеством изоцентров в стереотаксической хирургии с использованием гамма-ножа, для дифференцированного взвешенного взаимодействия дуг при СР с использованием линейного ускорителя (LINAC) или многочисленных повторных «пошаговых» взаимодействий и динамических изменений в конфигурациях многолепесткового коллиматора.

Внедрение СР позволило значительно расширить возможности нейроонкологии, особенно в лечении опухоли основания черепа, что до 1987 г. в обычной практике не использовали [2]. Радиохирургия играет ведущую роль в лечении пациентов с множественными метастатическими опухолями головного мозга [21–23] и остается привлекательной альтернативой микрохирургии у пациентов с единичными метастатическими опухолями головного мозга [24, 25]. Ввиду получения более длительного (как минимум, 10–15 лет) катамнестического подтверждения эффективности лечения доброкачественных опухолей головного мозга с помощью СР она стала конкурировать с микрохирургией, став предпочтительным исходным методом лечения многих опухолей при-

емлемых размеров, локализованных на основании черепа. Микрохирургические вмешательства при такой локализации опухолей сопровождаются значительной смертностью и инвалидизацией [26–30]. СР получила широкое распространение в лечении невринома преддверно-улиткового нерва [31], менингиом основания черепа [32, 33], рецидивирующих солидных краниофарингиом [34], рецидивирующих опухолей гипофиза, а также опухолей, врастающих в пещеристый синус [35, 36].

Следует отдельно остановиться на анализе публикаций, посвященных стереотаксической брахитерапии (СБТ). Сведения об этом методе радиоактивного воздействия на опухоли головного мозга появились в литературе достаточно давно. Так, первая публикация в базе данных MEDLINE приведена в 1967 г. [4], первая статья по радиохирургии опухолей — в 1968 г. [5]. С 1982 по 1989 г. статьи по СБТ публиковали также часто, как статьи по СР, а в период с 1982 по 1987 г. — даже чаще. Однако с 1988 г. число публикаций по СБТ стало уменьшаться, что обусловлено стремительными темпами развития оборудования для СР, его внедрением в ведущих нейроонкологических центрах мира.

Статьи, посвященные другим методам лечения внутричерепных опухолей (химиотерапии, криотерапии, гипертермии, иммунотерапии, фотодинамической терапии, генной терапии и др.) с применением стереотаксиса, публикуются с 1966 г. [3]. В отношении методов и способов воздействия акценты сместились с криохирургии (1966–1992 г.) [3, 37] на химиотерапию (1980–2008 г.) [38, 39], гипертермию и фотодинамическую терапию (1985–2002 г.) [40–42], иммунотерапию (1989–1992 г.) [22, 43], генную и/или молекулярную терапию (1994–2008) [44].

На основании проведенного анализа данных литературы, можно заключить, что стереотаксическая нейрохирургия играет важную роль в улучшении результатов диагностики и лечения опухолей головного мозга. Место стереотаксических методов в онкологии постоянно меняется, что тесно связано с научно-техническим прогрессом. Для каждого стереотаксического метода лечения внутричерепных новообразований существуют свои показания, необходимо проведение дальнейших исследований для обоснования их дифференцированного использования.

Список литературы

1. Microsurgical removal of intraventricular lesions using endoscopic visualization and stereotactic guidance / A.E. Harris, C.G. Hadjipanayis, L.D. Lunsford [et al.] // *Neurosurgery*. — 2005. — V.56. — P.116–120.
2. Linskey M.E. The changing role of stereotaxis in surgical neurooncology / M.E. Linskey // *J. Neurooncol.* — 2004. — V.69. — P.35–54.
3. Stereotaxic hypophyseal cryosurgery in acromegaly and other disorders / A.M. Dashe, D.H. Solomon, R.W. Rand [et al.] // *J.A.M.A.* — 1966. — V.198. — P.591–596.
4. Jadresic A. Stereotaxic pituitary implantation of yttrium-90 and iridium-192 for acromegal / A. Jadresic, M. Poblete // *J. Clin. Endocrinol. Metabol.* — 1967. — V.27. — P.1503–1507.
5. Kjellberg R.N. Proton beam therapy in acromegaly / R.N. Kjellberg, A. Shintani, A.G. Frantz // *New Engl. J. Med.* — 1968. — V.278. — P.689–695.
6. Preliminary experience with Brown–Robert–Wells (BRW) computerized tomography stereotaxic guidance system / M.P. Heilbrun, T.S. Roberts, M.L. Appuzzo [et al.] // *J. Neurosurg.* — 1983. — V.59. — P.217–222.
7. Leksell L. Stereotaxis and tomography: A technical note / L. Leksell, B. Jernberg B. // *Acta Neurochir. (Wien)*. — 1980. — V.52. — P.1–7.
8. Computerized three-dimensional stereotaxic removal of small central nervous system lesions in patients / S. Jacques, C.H. Shelden, G.D. McGann [et al.] // *J. Neurosurg.* — 1980. — V.53. — P.816–820.
9. Imageguided stereotactic surgery: a 10-year evolutionary experience / L.D. Lunsford, R.J. Coffey, T. Cojocar [et al.] // *Stereotact. Funct. Neurosurg.* — 1990. — V.55. — P.375–387.
10. Hassenbusch S.J. Brain tumor resection aided with markers placed using stereotaxis guided by magnetic resonance imaging and computed tomography / S.J. Hassenbusch, J.S. Anderson, P.K. Pillay // *Neurosurgery*. — 1991. — V.28. — P.801–806.
11. Kelly P.J. Computer assisted stereotaxic laser resection of intra-axial brain neoplasms / P.J. Kelly, B.A. Kall, S.J. Goerss // *J. Neurosurg.* — 1986. — V.64. — P.427–439.
12. Kelly P.J. Evolution of contemporary instrumentation for computer-assisted stereotactic surgery / P.J. Kelly, S.J. Goerss, D.F. Kall // *Surg. Neurol.* — 1988. — V.30. — P.204–215.
13. Reinhardt H.F. Interactive sonar-operated device for stereotactic and open surgery / H.F. Reinhardt, H.J. Zweifel // *Stereotact. Funct. Neurosurg.* 1990. — V.54–55. — P.393–397.
14. A FSxic integration of computerized tomographic imaging and the operating microscope / Roberts D.W., Strohhahn J.W., Hatch J.F. [et al.] // *J. Neurosurg.* — 1986. — V.65. — P.545–549.
15. Computer assisted localizer for planning of surgery and intra-operative orientation / G. Laborde, J. Gilbach, A. Harders [et al.] // *Acta Neurochir.* — 1992. — V.119. — P.166–170.
16. A universal system for interactive image-directed neurosurgery / R.J. Maciunas, R.L.Jr. Galloway, J.M. Fitzpatrick [et al.] // *Stereotact. Funct. Neurosurg.* — 1992. — V.58. — P.108–113.
17. Magnetic resonance imaging therapy. Intraoperative MR imaging / T.M. Moriarty, R. Kikinis, F.A. Jolesz [et al.] // *Neurosurg. Clin. N. Am.* — 1996. — V.7. — P.323–331.
18. Pamir M.N. Intraoperative MR imaging: preliminary results with 3 tesla MR system / M.N. Pamir, S. Peker, M.M. Ozek // *Acta Neurochir. Suppl.* — 2006. — V.98. — P.97–100.
19. Use of a frameless, armless stereotactic wand for tumor localization with two-dimensional and three-dimensional neuroimaging / G.H. Barnett, D.W. Kormos, C.P. Steiner [et al.] // *Neurosurgery*. — 1993. — V.33. — P.674–678.
20. Frameless stereotactic brain biopsy procedures using the stealth station: Indications, accuracy and results / J. Gralla, C. Nimsy, M. Buchfelder [et al.] // *Zbl. Neurochir.* — 2003. — Bd.64. — S.166–170.
21. Gamma-knife radiosurgery as an optimal treatment modality for brain metastases from epithelial ovarian cancer / Y.K. Lee, N.Y. Park, J.W. Kim [et al.] // *Gynecol. Oncol.* — 2008. — V.108. — P.505–509.
22. Intratumoral and intraventricular human lymphoblastoid alpha interferon (HLBI) for treatment of glioblastoma multiforme / R. Martinez, J. Vaquero, J. Ramiro [et al.] // *Acta Neurochir. (Wien)*. — 1989. — V.100. — P.46–49.
23. Brain metastases / T.D. Nguyen, L.M. DeAngelis, Y. Narita [et al.] // *Neurol. Clin.* — 2007. — V.25. — P.1173–1192.
24. Frameless stereotactic radiosurgery with a bite-plate: our experience with brain metastases / M. Furuse, T. Aoki, T. Takagi [et al.] // *Minim. Invas. Neurosurg.* — 2008. — V.51. — P.333–335.
25. Radiosurgery followed by planned observation in patients with one to three brain metastases / J. Lutterbach, D. Cyron, R. Henne [et al.] // *Neurosurgery*. — 2008. — V.62. — P.776–784.
26. Banerjee R. Comparison of the surgical and follow-up costs associated with microsurgical resection and stereotactic

- radiosurgery for vestibular schwannoma / R. Banerjee, J.P. Moriarty, R.L. Foote // J. Neurosurg. — 2008. — V.108. — P.1220–1224.
27. Beegle R.D. Effect of treatment plan quality on outcomes after radiosurgery for vestibular schwannoma / B.D. Beegle, W.A. Friedman, F.J. Bova // J. Neurosurg. — 2007. — V.107. — P.913–916.
 28. Gamma knife radiosurgery for orbital tumors / M.S. Kim, K. Park, J.H. Kim [et. al.] // Clin. Neurol. Neurosurg. — 2008. — V.110 — P.1003–1007.
 29. Kondziolka D. The principles of skull base radiosurgery / D. Kondziolka, J.C. Flickinger, L.D. Lunsford // Neurosurg. Focus. — 2008. — V.24. — P.11–20.
 30. Leksell L. Stereotaxis and nuclear magnetic resonance / L. Leksell, D. Leksell, J. Schwebel // J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. — 1985. — V.48. — P.14–18.
 31. Hearing preservation after intracranial vestibular schwannoma radiosurgery / A. Niranjana, D. Mathieu, J.C. Flickinger [et al.] // Neurosurgery. — 2008. — V.63. — P.1054–1062.
 32. The selection of the optimal therapeutic strategy for petroclival meningiomas / C.K. Park, H.W. Jung, J.E. Kim [et. al.] // Surg. Neurol. — 2006. — V.66. — P.160–165.
 33. Gamma-knife radiosurgery for cranial base meningiomas: experience of tumor control, clinical course, and morbidity in a follow-up of more than 8 years / I. Zachenhofer, S. Wolfsberger, M. Aichholzer [et. al.] // Neurosurgery. — 2006. — V.58. — P.28–36.
 34. Karavitaki N. Craniopharyngiomas / N. Karavitaki, J.A. Wass // Endocrinol. Metab. Clin. N. Am. — 2008. — V.37. — P.173–193.
 35. Gamma knife radiosurgery for endocrine-inactive pituitary adenomas / R. Liscák, V. Vladyka, J. Marek [et al.] // Acta Neurochir. (Wien). — 2007. — V.149. — P.999–1006.
 36. Milker-Zabel S. Fractionated stereotactic radiation therapy in the management of benign cavernous sinus meningiomas: long-term experience and review of the literature / S. Milker-Zabel, A. Zabel-du Bois, P. Huber // Strahlenther Onkol. — 2006. — Bd.182. — S.635–640.
 37. Cryosurgery re-visited for the removal and destruction of brain, spinal and orbital tumours / J.C. Maroon, G. Onik, M.R. Quigley [et al.] // Neurol. Res. — 1992. — V.14. — P.294–302.
 38. Hassenbusch S.J. Stereotactic injection of DTI-015 into recurrent malignant gliomas: phase I/II trial / S.J. Hassenbusch, E.M. Nardone, V.A. Levin // Neoplasia (New York). — 2003. — V.5. — P.9–16.
 39. Intratumoral microinfusion of nimustine (ACNU) for recurrent glioma / T. Wakabayashi, J. Yoshida, M. Mizuno [et al.] // Brain Tumor Pathol. — 2001. — V.18. — P.23–28.
 40. Stereotactic guided laser-induced interstitial thermotherapy (SLITT) in gliomas with intraoperative morphologic monitoring in an open MR-unit / M.A. Leonardi, C.B. Lumenta, H.K. Gumprecht [et al.] // Minim. Invas. Surg. — 2001. — V.44. — P.37–42.
 41. Powers S.K. Stereotactic intratumoral photodynamic therapy for recurrent malignant brain tumors / S.K. Powers, S.S. Cush, D.L. Walstad // Neurosurgery. — 1991. — V.29. — P.688–696.
 42. Winter A. Microwave hyperthermia for brain tumors / A. Winter, J. Laing, R. Paglione // Neurosurgery. — 1985. — V.17. — P.387–399.
 43. Vaquero J. Intratumoral immunotherapy with interferon-alpha and interleukin-2 in glioblastoma / J. Vaquero, R. Martinez // Neuroreport. — 1992. — V.3. — P.981–983.
 44. Kelly P.J. Stereotactic procedures for molecular neurosurgery / P.J. Kelly // Exp. Neurol. — 1997. — V.144. — P.157–159.

Одержано 11.03.10

Зорин М.О., Дзяк Л.А., Сірко А.Г., Кирпа І.Ю.

Основні тенденції розвитку стереотаксичних технологій в нейроонкологіїДніпропетровська державна медична академія,
Дніпропетровська обласна клінічна лікарня ім. І.І. Мечникова

В теперішній час стереотаксичні технології посідають важливе місце у лікуванні пухлин головного мозку. Наведений аналіз розвитку стереотаксичної нейрохірургії та підвищення її ролі у хірургічній нейроонкології. Здійснений пошук в базі даних MEDLINE за 1966–2008 рр. з аналізом щорічних тенденцій.

Ключові слова: пухлини головного мозку, біопсія, стереотаксис, нейроонкологія, брахітерапія, радіохірургія.

Зорин Н.А., Дзяк Л.А., Сірко А.Г., Кирпа И.Ю.

Основные тенденции развития стереотаксических технологий в нейроонкологииДнепропетровская государственная медицинская академия,
Днепропетровская областная клиническая больница им. И.И. Мечникова

В настоящее время стереотаксические технологии занимают важное место в лечении опухолей головного мозга. Приведен анализ развития стереотаксической нейрохирургии и повышения ее роли в хирургической нейроонкологии. Выполнен поиск в базе данных MEDLINE за 1966–2008 гг. с анализом ежегодных тенденций.

Ключевые слова: опухоли головного мозга, биопсия, стереотаксис, нейроонкология, брахитерапия, радиохирургия.

Zorin M.O., Dzyak L.A., Sirko A.G., Kirpa I.Yu.

Basic tendencies of development of stereotactic technologies in neurooncologyDnipropetrovsk State Medical Academy,
Dnipropetrovsk regional clinical hospital the name after I.I. Mechnikov

In our days stereotactic technologies take an important place in brain tumors treatment. The analysis of stereotactic neurosurgery development and its role increasing in neurooncology is given. A search in data base MEDLINE between 1966–2008 years with annual tendencies analysis was done.

Key words: brain tumors, biopsy, stereotaxics, neurooncology, brachytherapy, radiosurgery.