

ЛЕКЦИЯ

© С.А. ВАСИЛЬЕВ, А.А. ЗУЕВ, 2010

**УЛЬТРАЗВУКОВАЯ НАВИГАЦИЯ
В ХИРУРГИИ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА. Часть 1****С.А. Васильев, А.А. Зув**¹ Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В.Петровского РАМН, Москва

Комплексное лечение пациентов с опухолями головного мозга позволяет улучшить качество их жизни, увеличить показатели выживаемости в этой группе больных. Степень удаления опухоли имеет ключевое значение в достижении этих целей. Сонография — один из методов интраоперационной визуализации, позволяющий проводить диагностику в режиме реального времени. Несмотря на достаточную простоту исследования, в нейрохирургических клиниках России она применяется редко. Показано, что интраоперационная сонография — безопасный, технически надежный метод нейронавигации новообразований в режиме реального времени, независимо от размеров и глубины расположения опухоли, исключающий проблемы, связанные со смещением мозга. В первой части описаны история использования сонографии в нейрохирургии и методика ее применения во время операции.

Ключевые слова: опухоль головного мозга, интраоперационная сонография.

Complex treatment of patients with brain tumors allows improving their quality of life and increasing the survival rate for these patients. The maximal tumor removal plays the key role in achievement of these goals. Sonography is one of the intraoperative methods for visualization, which allows performing diagnostics in real-time mode. This method of examination is rare used in neurosurgical departments of Russian hospitals in spite of its enough simplicity. It was demonstrated that intraoperative sonography is safe and technically reliable neuronavigation method of tumors in real-time mode irrespective of tumor sizes and depth of tumor localization, excluding the problems associated with brain dislocation.

First part describes the history of sonography application in neurosurgery and technique of its intraoperative usage.
Key words: brain tumor, intraoperative sonography.

Современная концепция лечения опухолей головного мозга предполагает использование комплексной терапии. Наиболее эффективной тактикой является хирургическая резекция опухоли с последующим проведением адьювантной радиотерапии с учетом степени злокачественности опухоли. Полноценное нейрохирургическое вмешательство у пациентов с опухолями головного мозга обеспечивает регресс неврологической симптоматики, улучшает качество жизни больных и ее продолжительность.

Одним из перспективных методов навигации в хирургии опухолей головного мозга является интраоперационная сонография (ИС).

Применение ультразвука в нейрохирургии

Использование ультразвука в нейрохирургии началось в середине XX века. Ожидалось, что данная методика станет важным инструментом диагностики в нейрохирургии, однако качество изображения, полученное при исследовании, разочаровало исследователей, и до недавнего времени ультразвуковая диагностика не применялась при нейрохирургических операциях [9].

В последние 10—15 лет качество оборудования, чувствительность датчиков и программное обеспечение значительно улучшились, что привело к значительному улучшению качества изображения при ИС, и с 90-х годов XX века ультразвук стал одним из важных методов интраоперационной диагностики в нейрохирургии [3]. В это же время стали проводиться исследования, посвященные возможностям УЗ-сканирования и модернизации метода для использования в хирургии объемных образований головного мозга [6]. Особое внимание исследователей было обращено на возможность проведения УЗ-сканирования в режиме реального времени во время нейрохирургической операции [20], так как использование интраоперационной МРТ показало, что при удалении внутримозговых опухолей сохраняется риск неполного их удаления, особенно если речь идет о глубинных образованиях [10].

Ультрасонография — это быстрый и надежный способ локализации объемного образования, позволяющий определить его характер, снизить операционную травму мозга и определить радикальность удаления в режиме реального времени. Термин «в режиме реального времени» означает, что в какой-то период времени изображение на

¹ Россия, 119992, Москва, Абрикосовский переулок, 2, РНЦХ, нейрохирургическое отделение

мониторе УЗ-аппарата соответствует тому, что происходит под датчиком, поэтому какое-либо смещение структур может быть легко распознано [12].

Для проведения ультразвукографии в настоящее время используются УЗ-сканеры с различным программным обеспечением и возможностью проведения 3D-ультразвукового сканирования. В настоящее время предъявляются следующие требования к УЗ-системе, используемой в нейрохирургической операции: цифровая обработка сигнала, высокое разрешение серой шкалы (менее 1 мм), мультисекторный датчик, небольшие размеры датчика, цветной режим для идентификации сосудов. Бесспорными критериями интраоперационной системы ультразвуковой нейровизуализации является обеспечение качества изображения, достаточного для распознавания объемного образования, сосудов, перифокального отека и нормальной ткани мозга.

Аппаратура для интраоперационного УЗ-исследования мозга

Оптимальными характеристиками обладают небольшие по размеру датчики (от 1 до 3 см) с частотой 4—8 МГц для глубоких новообразований и 10—15 МГц для поверхностных. При использовании датчиков 4—8 МГц оптимальное качество изображения получается на отрезке от 3 до 8 см в глубину, а при использовании датчика 10—15 МГц — до 4 см. Если нет возможности использовать датчик 10—15 МГц для контроля за поверхностными образованиями, можно использовать УЗ-датчик 4—8 МГц, создав между ним и мозгом гелевую подушку толщиной 1 см. При использовании «bug hole» доступов к образованиям головного мозга используются специальные небольшие внутримозговые датчики с углом сканирования 360°. УЗ-датчики 9—12 МГц активно применяются при проведении нейроэндоскопических операций [5] (рис. 1).

Методика интраоперационного УЗ-исследования мозга

Перед исследованием датчик стерилизуют или погружают в стерильный латексный чехол со стерильным гелем внутри, провод от датчика помещают в стерильный «рукав».

После выполнения краниотомии проводится сонография через твердую мозговую оболочку (ТМО), при которой визуализируется объемное образование и окружающие анатомические структуры. Контуры опухоли определяют в двух взаимоперпендикулярных плоскостях, после чего измеряют 3 максимальных диаметра опухолевого узла (длина, ширина и глубина). После вскрытия ТМО, основываясь на знаниях функциональной анатомии, определяют расстояние до объемного образования от различных кортикальных точек и кортикальных сосудов. Такая информация крайне необходима при планировании наименее травматичного пути к опухоли, проведения биопсии или пункции различных образований. Данное исследо-

вание может выполняться неоднократно во время проведения хирургических манипуляций. Перед удалением опухоли сканируют все окружающие его сосуды при помощи доплерографического и сосудистого режимов, что позволяет определить афферентные и эфферентные сосуды опухоли и рассчитать место проведения кортикотомии, траекторию доступа к этому образованию. При глубинном расположении опухоли для определения угла доступа УЗ-сканирование должно проводиться в двух взаимоперпендикулярных плоскостях. После визуализации образования к нему может быть подведен гиперэхогенный зонд, по которому осуществляется доступ к опухоли.

Качество изображения зависит от вида датчика, используемого при проведении сонографии, положения датчика по отношению к резекционной плоскости, положения пациента на операционном столе и некоторых других факторов.

При проведении УЗ-навигации в режиме реального времени во время выполнения оперативного вмешательства по поводу опухоли головного мозга возможно проведение как «открытых» операций, так и «закрытых». Под «открытыми» операциями понимаются операции, когда производится стандартная краниотомия, а затем под контролем зрения производится удаление объемного образования. «Закрытые» операции — когда операция производится через микрокраниотомию (диаметром не более 3 см) с помощью УЗ-аспиратора, а ориентация в операционной ране производится при помощи интраоперационной ультразвукографии через этот трепанационный дефект или через дополнительное костное окно небольшого диаметра. Такая методика возможна лишь в том случае, когда хирург уверен, что образование низковаскуляризовано (данный факт можно подтвердить при помощи доплерографии, при которой выявляются сосуды диаметром до 1 мм и крупнее) [4].



Рис. 1. Пример ультразвукового аппарата и датчиков для проведения интраоперационной сонографии: а — аппарат B-K Medical Pro Focus; б — конвексные датчики с частотой 5—10 МГц и 5—8 МГц для аппарата B-K Medical Pro Focus. Fig. 1. Sample of ultrasound device and transducers for intraoperative sonography: A - device B-K Medical Pro Focus, B — convex transducers with frequency 5 — 10 MHz and 5 — 8 MHz for device B-K Medical Pro Focus.

Применяемая аппаратура для ИС должна отвечать следующим требованиям: возможность использования аппарата в малых операционных, мобильность аппарата, большой и подвижный экран (хирург может визуально оценить изображение с большого расстояния и под разными углами), компактные датчики, обладающие достаточной длиной кабеля (около 2 м), возможность стерилизации датчиков и кабеля.

Во время проведения интраоперационной сонографии необходимо оценивать следующие эхопризнаки:

- экзогенность опухоли (гипо-, изо-, гиперэхогенность);
- четкость границ опухоли (четкие, умеренно четкие, нечеткие);
- наличие или отсутствие перифокального отека;
- ровность контуров опухоли (ровные, не ровные);
- васкуляризация опухоли (наличие или отсутствие сосудов в объемном образовании).

Положение датчика

Положение датчика во время операции является крайне важным фактором для получения оптимального изображения на экране сканера, а также для контроля за хирургическими манипу-

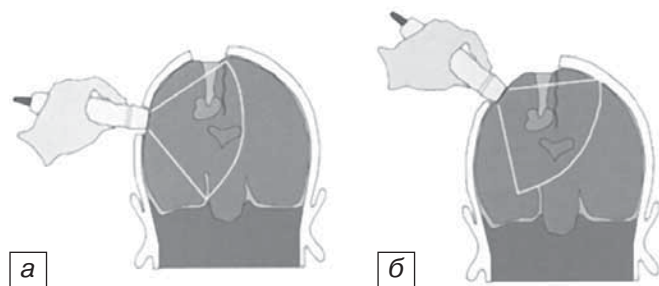


Рис. 2. Положение датчика во время интраоперационной сонографии (по G. Unsgaard и соавт., 2002)
Fig. 2. Transducer position during intraoperative sonography (from Unsgaard G et al., 2002).

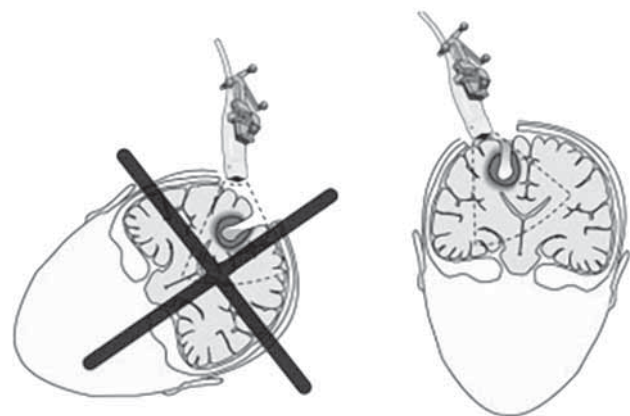


Рис. 3. Положение головы пациента во время операции (по G. Unsgaard и соавт., 2006)
Fig. 3. Положение головы пациента во время операции (from G. Unsgaard et al., 2006).

ляциями, положением инструментов в операционной ране и оценки степени резекции опухоли [18]

Используются три основных варианта положения датчика в зависимости от плоскости резекции кости и локализации объемного образования в головном мозге (рис. 2).

1. Краниотомия в пределах образования, после чего датчик устанавливают в образовавшееся трепанационное окно. Недостатком данной методики является то, что датчик закрывает операционное поле. Поэтому проводить одновременно манипуляции и УЗ-контроль в режиме реального времени невозможно.
2. Расширенная краниотомия, позволяющая установить датчик на небольшом расстоянии от места манипуляций.
3. Дополнительная микрокраниотомия диаметром 2–3 см для установки датчика.

Наличие дополнительного трепанационного окна или расширенной трепанации оправдывается уменьшением травмы нормальной ткани головного мозга во время операции [13].

Если ИС проводится после вскрытия ТМО, то на мозг может помещаться небольшое количество стерильного геля, а датчик помещается так, чтобы исключить повреждение коры головного мозга при проведении исследования, особенно если приходится работать в функционально значимых областях.

Наилучшее качество изображения получается при использовании двух краниотомий или расширенной краниотомии, чтобы угол сканирования составлял 10–50° по отношению к плоскости резекции. При использовании данных методик датчик не мешает при доступе к опухоли и позволяет свободно манипулировать в ране, производя аккуратное удаление объемного образования. Сканирование сквозь полость резекции (0°) искажает изображение за счет шумов и теней от стенок полости, что делает УЗ-навигацию сложной. По данным G. Unsgaard (2002), наилучшее качество изображения было получено, когда угол плоскости сканирования по отношению к плоскости резекции составлял 60–90° [17].

Положение пациента

Положение головы пациента во время операции является еще одним важным параметром для получения изображения хорошего качества. От положения пациента зависят угол операционного подхода, количество воздуха, попадающего в полость операционной раны, удобство проведения операции и УЗ-контроля и, как следствие, качество полученного изображения. Рекомендуемое положение пациента — когда операционная плоскость перпендикулярна плоскости пола, что предотвращает попадание воздуха в полость резекции после заполнения ее физиологическим раствором, а это, в свою очередь, способствует получению хорошего изображения (рис. 3). Также данное положение уменьшает необходимость в использовании шпателей и ватников.

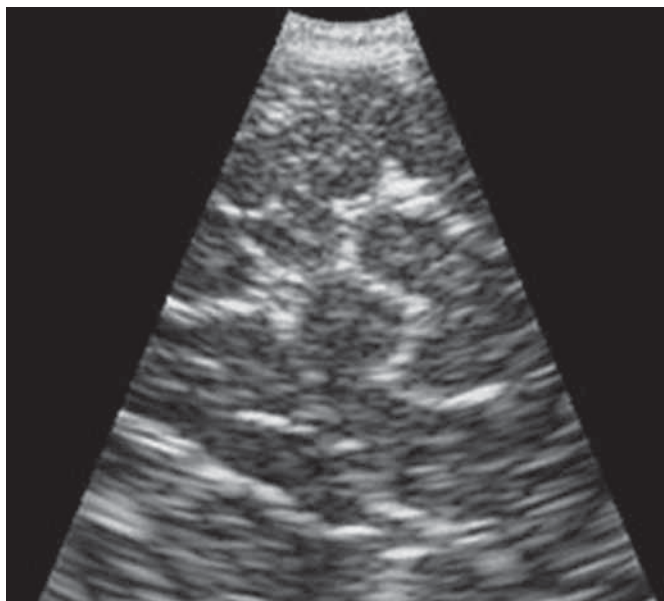


Рис. 4. Ультразвуковая картина конвексальной поверхности нормального головного мозга. Множественные гиперэхогенные борозды (светлого цвета), чередуются с гипоэхогенными извилинами (темного цвета)
 Fig. 4. Ultrasound image of convex surface of normal brain. Multiple light-coloured hyperechoic sulci are interchanged with hypoechoic gyri (dark-coloured).

Другие особенности

Хлопковые салфетки, находящиеся в полости удаляемого образования, сгустки крови, шпатели и другие инородные тела могут затруднять проведение исследования и значительно снижать его качество [19].

Этапность исследования

Во время удаления опухолей следует использовать методику поэтапного сканирования:

1-й этап — ИС до вскрытия ТМО;

2-й этап — ИС после вскрытия ТМО (на этих этапах производят локализацию образования, оценку связи его с окружающими анатомическими структурами, оценку четкости и ровности контуров, наличие перифокального отека, степени кровоснабжения и планируют доступ к образованию);

3-й этап — этапная ИС, при которой оценивают степень удаления объемного образования, уточняют его взаимоотношения с соседними анатомическими структурами;

4-й этап — контрольная ИС, при которой производят контроль резекции объемного образования, проходимость магистральных сосудов, связанных с объемным образованием.

Нормальная УЗ-картина головного мозга

Для того чтобы лоцировать объемное образование при ИС, необходимо понимание ультразву-

ковых характеристик «нормальной» паренхимы мозга и его сосудов.

Ультразвуковой рисунок коры больших полушарий головного мозга представлен чередующимися бороздами и извилинами. Центральная часть извилин, представленная белым веществом, более эхогенна, чем периферия, состоящая из серого вещества. Эхогенность участков патологической ткани сравнивают с эхогенностью белого вещества мозга. Отмечают разнообразие конфигурации и толщины извилин в зависимости от анатомической области мозга и плоскости сканирования. Яркие, гиперэхогенные борозды, покрытые мягкой мозговой оболочкой с проходящими в ней сосудами, контурируют извилины мозга. Ширина борозды при ИС зависит от плоскости сканирующего луча: на поперечном срезе ширина составляет 0,2—0,5 см, на продольном достигает 2,0 см, что в ряде случаев затрудняет навигацию поверхностно расположенных объемных образований, размерами до 1,5 см. Паренхима мозга выглядит однородной мелкозернистой структурой (рис. 4). Внутримозговые кровеносные сосуды имеют гиперэхогенную структуру и могут быть легко визуализированы с помощью доплерографии.

Нейросонографию необходимо проводить в двух взаимоперпендикулярных плоскостях, так как отображение поверхностных извилин в одной плоскости может напоминать небольшое поверхностное объемное образование.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Васильев С.А. — канд. мед. наук, заведующий нейрохирургическим отделением Российского научного центра хирургии им. акад. Б.В. Петровского РАМН.

Зуев А.А. — канд. мед. наук, научный сотрудник отделения нейрохирургии Российского научного центра хирургии им. акад. Б.В.Петровского РАМН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bernays R.L.* Intraoperative imaging in neurosurgery. MRI, CT, ultrasound. Introduction //Acta Neurochir Suppl. — 2003. — № 85. — P. 1—3.
2. *Bucholz R.D., Yeh D.D., Trobaugh J. et al.* The correction of stereotactic inaccuracy caused by brain shift using an intraoperative ultrasound device, in Proceedings of the Joint Conference of Computer Vision, Virtual Reality, and Robotics in Medicine and Medical Robotics and Computer Assisted Surgery (CVRMed-MRCAS'97), Grenoble, France, March 19—22, 1997, in Troccas J., Grimson E., Musges R. (eds). //Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Springer-Verlag. — 1997. — № 1205. — P. 459—466.
3. *Chandler K.L., Prados M.D., Malec M., Wilson C.B.* Long-term survival in patients with glioblastoma multiforme // Neurosurgery. — 1993. — № 32. — P. 716—720.
4. *Dempsey R.J., Moftakhar R., Pozniak M.* Intraoperative Doppler to measure cerebrovascular resistance as a guide to complete resection of arteriovenous malformations // Neurosurgery. — 2004. — № 55. — P. 155—160.
5. *Gaab M.R.* Intraoperative ultrasound imaging in neurosurgery // Ultraschall Med. — 1990. — № 11. — P. 62—71.
6. *Gronningsaeter A., Unsgard G., Ommedal S., Angelsen B.A.J.* Ultrasound-guided neurosurgery: a feasibility study in the 3—30 MHz frequency range // British Journal of Neurosurgery. — 1996. — № 10(2). — P. 161—168.
7. *Hammoud M.A., Ligon B.L., ElSouki R et al.* Use of intraoperative ultrasound for localizing tumors and determining

- the extent of resection. A comparative study with magnetic resonance imaging // *J. Neurosurg.* — 1996. — № 84. — P. 737–741.
8. *Harrer J.U., Mayfrank L., Mull M., Klotzsch C.* Second harmonic imaging: a new ultrasound technique to assess human brain tumor perfusion // *J. Neurol Neurosurg Psychiatry.* — 2003. — № 74. — P. 333–342.
 9. *Hatfield M.K., Rubin J.M., Gebarski S.S., Silbergleit R.* Intraoperative sonography in low-grade gliomas // *J. Ultrasound Med.* — 1989. — № 8. — P. 131–134.
 10. *Knauth M., Wirtz C.R., Tronnier V.M. et al.* Intraoperative MR imaging increases the extent of tumor resection in patients with high-grade gliomas // *Am J Neuroradiol.* — 1999. — № 20. — P. 1642–1646.
 11. *Lindseth F., Ommedal S., Bang J. et al.* Image fusion of ultrasound and MRI as an aid for assessing anatomical shifts and for improving overview and interpretation in ultrasound guided neurosurgery // *CARS 2001: Proceedings of the 15th International Congress and Exhibition in Computer Assisted Radiology and Surgery.* — Berlin. — 2001. — June 27–30. — P. 523–525.
 12. *Lunn K.E., Hartov A., Hansen E.W. et al.* A quantitative comparison of edges in 3D intraoperative ultrasound and preoperative MR images of the brain // *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI 2001.* 4th International Conference. Utrecht, The Netherlands, October 14–17, 2001. Proceedings. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. — P. 1081–1090.
 13. *Maiuri F., Iaconetta G., de Divitiis O.* The role of intraoperative sonography in reducing invasiveness during surgery for spinal tumors // *Minim Invasive Neurosurg.* — 1997. — № 40. — P. 8–12.
 14. *Mogami T., Dohi M., Harada J.* A new image navigation system for MR-guided cryosurgery // *Magn Reson Med Sci. (Japan).* — 2002. — Dec. 15;1(4):191–7.
 15. *Mursch K., Vogelsang J., Zimmerer B., Markakis E.* Transcranial color-coded real time ultrasound. An improvement in patient monitoring in the neurosurgical intensive care unit? // *Ultraschall Med.* — 1995. — № 16. — P. 65–69.
 16. *Roberts D.W., Miga M.I., Hartov A. et al.* Intraoperatively updated neuroimaging using brain modeling and sparse data // *Neurosurgery.* — 1999. — № 45. — P. 1199–1207.
 17. *Unsgaard G., Ommedal S., Muller T. et al.* Neuronavigation by intraoperative three-dimensional ultrasound: Initial experience during brain tumor resections. // *Neurosurgery.* — 2002. — № 50. — P. 804–812.
 18. *Unsgaard G., Gronningsaeter A., Ommedal S. et al.* Brain operations guided by real-time two-dimensional ultrasound: new possibilities as a result of improved image quality // *Neurosurgery.* — 2002. — № 51. — P. 402–412.
 19. *Unsgaard G., Rygh O.M., Selbekk T., Muller T.B. et al.* Intraoperative 3D ultrasound in neurosurgery // *Acta Neurochir (Wien).* — 2006. — № 148. — P. 235–253.
 20. *Wirtz C.R., Albert F.K., Schwaderer M. et al.* The benefit of neuronavigation analyzed by its impact on glioblastoma surgery // *Neurol Res.* — 2000. — № 22. — P. 354–60.
 21. *Woydt M., Krone A., Soeren N. & K. Roosen.* Ultrasound-guided neuronavigation of deep-seated cavernous haemangiomas: clinical results and navigation techniques // *Br. J. Neurosurgery.* — 2001. — № 15(6). — P. 485–495.