Проблемы разработки стереотаксических систем наведения хирургического инструмента на примере биопсии головного мозга

12, декабрь 2012

DOI: 10.7463/0113.0486770

Богданова Ю.В., Гуськов А.М., Жидких И.В., Нарайкин О.С.,
Шурхай В.А.

УДК 531, 53.072, 62-5, 617-089, 617-7

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

bogdanova.bmstu@gmail.com

gouskov_am@mail.ru

ivan.v.zhidkikh@gmail.com

naraiкин_os@nrcki.ru

vash.nsi@gmail.com

Введение

Биопсия – обязательный метод подтверждения диагноза при подозрении на наличие онкологических заболеваний, при котором проводится прижизненный забор клеток или тканей из организма. В современной нейрохирургии самым распространенным способом доставки инструмента точно к назначенной цели является малоинвазивный метод стереотаксического наведения, основанный на использовании пространственной схемы по заранее рассчитанным координатам в трехмерной декартовой системе координат [4].

Биопсия головного мозга требует исключительной точности попадания инструментом в точку цели [5, 8]. Для этого необходимо минимизировать погрешность позиционирования инструмента. Кроме того, важно знание роли отдельных структур в мозге человека, понимание их взаимодействия для определения безопасной траектории подведения инструмента [5]. Поэтому, чем большей информацией (визуальной, тактильной) будет обладать хирург для удобного проведения операции, тем безопаснее процедура для пациента.

Решение вопроса точности позиционирования инструмента систем высокоточной нейрохирургии является одним из важнейших для обеспечения безопасного и результативного хирургического вмешательства. В доступной литературе [1-12], связанной с наведением инструмента, не встречалось общего исследования широко применяемых в мировой медицине комплексов в анализе и сравнении.

Для изучения процесса позиционирования инструмента рассматриваем реальную операцию – биопсию головного мозга. Операция проведена в НИИ нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко РАМН. В разделе 1 изложена процедура проведения стереотаксической биопсии мозга с указанием особенностей метода. На основе данных операции проведен анализ стереотаксического метода наведения инструмента. В разделе 2.1 приведены основные недостатки традиционного стереотаксиса. В разделе 2.2 рассмотрен другой вид наведения инструмента – роботизированный стереотаксис. Показаны преимущества данного вида систем и сформулированы основные требования к точности позиционирования инструмента, безопасности проведения операции и к системе автоматизированного сопровождения операции.

Цель исследования. Работа посвящена изучению процесса позиционирования инструмента на примере биопсии головного мозга с целью выявления недостатков существующих систем стереотаксического наведения и формулирования основных задач, требующих решения при разработке роботов-манипуляторов.

1 Проведение операции

Существует два вида стереотаксических систем: рамочные (Frame-Based) и безрамочные (Frameless). Основной задачей обеих систем является предоставление нейрохирургу точного координатного местоположения целевой точки воздействия относительно структур головного мозга человека. Отличие безрамочного стереотаксиса от классического рамочного состоит в отсутствии жесткой координатной рамы, роль которой выполняет виртуальное трехмерное пространство, реализованное программой компьютера, связанного с пациентом при помощи антенны двустороннего действия. Явным преимуществом использования безрамных систем является отсутствие рамы на этапе расчетного предоперационного исследования. Однако по причине ручной манипуляции инструментами на сегодня такая система не является предпочтительной среди нейрохирургов. Рука хирурга имеет микротремор, который во время манипуляций может достигать большой амплитуды из-за отсутствия ограничителя.

Операцию проводят с помощью рамочной стереотаксической системы Cosman-Roberts-Wells (CRW) [7], состоящей из следующих основных частей: головного кольца (Head Ring), специальных винтов (Screws), локализатора ("локалайзера"), фантомного устройства (Phantom Base), дуги с направляющей. Рабочим инструментом является биопсийная игла.

1.1 Методика проведения биопсии головного мозга с применением рамочной стереотаксической системы

Установка головного кольца стереотаксической системы. Как представлено на рисунке 1.1 головное кольцо устанавливают на операционном столе, оснащенном специальным креплением, для дальнейшей фиксации на голове пациента.

Рисунок 1.1 – Крепление головного кольца к операционному столу

Локальная анестезия в точках, соответствующих месту постановки винтов крепления головного кольца стереотаксической системы к голове пациента. Установку головного кольца производят под местной анестезией.

Крепление головного кольца стереотаксической системы к голове пациента при помощи специальных винтов. Крепление осуществляют на уровне чуть ниже слухового канала пациента. Винты крепят в четырех точках жестко, с небольшим ввинчиванием в кость черепа как показано на рисунке 1.2, [4].

Рисунок 1.2 – Крепление головного кольца к голове пациента

Транспортировка пациента с установленным головным кольцом на компьютерный томограф (КТ). Пациенту проводят процедуру сканирования головы (КТ) с контрастным усилением (толщина срезов 1.0 – 1.5 мм).

Крепление локализатора к головному кольцу и проведение КТ. Локализатор позволяет проводить расчет координат по снимкам КТ (либо по снимкам магнитно-резонансной томографии МРТ).

Рисунок 1.3 – Крепление локализатора к голове пациента

Расчет координат точки цели по ориентирам от локализатора. По полученным снимкам КТ осуществляют анализ информации о внутримозговом образовании (опухоль, гематома), его местоположении относительно критических структур, оценивают форму и

размеры. По ориентирам от локализатора рассчитывают координаты точки цели в пространстве с помощью специальной компьютерной программы, в которую сначала заводят координаты локализатора, а потом координаты точки цели в выбранном срезе головного мозга.

Проверка полученных координат точки цели на фантоме. В соответствии с координатами в пространстве, рассчитанными по ориентирам от локализатора, на фантомном устройстве выставляют точку цели по трем осям: верх-низ, вперед-назад, лево-право как показано на рисунке 1.4.

Рисунок 1.4 – Фантомное устройство стереотаксической системы

Настройка рамы - аппарата, осуществляющего доступ к точке цели. На раме по трем направляющим выставляют те же, посчитанные по ориентирам от локализатора координаты. На раме крепят направляющую - проводниковую втулку, через которую проводят рабочий инструмент – биопсийную иглу. Итогом является настройка рамы таким образом, чтобы центр окружности ее дуги приходился точно на точку цели, как представлено на рисунке 1.5. В этом заключается особенность стереотаксической системы - не приходится привязываться к точке входа. К тому же появляется больше возможностей для выбора траектории. Хирург еще до операции проверяет точность попадания инструмента в выбранную мишень.

Рисунок 1.5 – Окончательная настройка рамы стереотаксической системы

Подготовка головы пациента для входа рабочего инструмента. В месте входа иглы на голове пациента хирург сбривает волосы и обеззараживает кожу.

Крепление стереотаксической рамы с установленными координатами к головному кольцу пациента.

Локальная анестезия и разрез кожи головы. Под местной анестезией проводят разрез кожи головы скальпелем и подводят направляющую втулку к черепу как показано на рисунке 1.6.

Рисунок 1.6 – Подготовка головы пациента к входу инструмента

Трепанация. С помощью стандартного сверла осуществляют трепанацию черепа как представлено на рисунке 1.7. На сверло одевают ограничитель для исключения возможности входа глубже необходимого расстояния.

Рисунок 1.7 – Трепанация черепа

Прокол оболочки головного мозга. Хирург прокалывает оболочку головного мозга иглой.

Проведение биопсии. Биопсийные иглы имеют в своем составе мандрен, выполняющий функцию стилета [8]. На конце иглы располагается биопсийное окно. Когда вырез мандрена и иглы совпадают – окно открыто. Иглу, соединенную со шприцем, устанавливают в проводниковую втулку в точку цели на длину, полученную при проверке координат точки цели в пространстве на фантоме. С помощью шприца происходит забор материала внутрь иглы, а при помощи поворота мандрена его отсечение как показано на рисунке 1.8, а. Размер образца ткани в соответствии с размером биопсийного окна приведен на рисунке 1.8, б. Процедуру повторяют несколько раз с целью взятия большего количества материала, что повышает результативность исследования. Возникающее по ходу процедуры кровотечение иногда может носить достаточно выраженный характер. В этом случае процедуру прекращают, даже если материал получить не удалось.. Задача: набрать материала много, но безопасно. Взятая в процессе операции ткань отправляется на дальнейшее исследование под микроскопом для определения ее патоморфологических характеристик и определения объема дальнейшего лечения.

а)

б)

Рисунок 1.8 – а) Забор материала; б) объем образца

Зашивание раны. По окончании операции выводят инструмент из головы пациента и ушивают рану.

2 Анализ полученных данных

2.1 Проблемы стереотаксических систем наведения

Описанная выше методика проведения операции является стандартной для рамочного стереотаксиса. Несмотря на простоту конструкции, стереотаксическая система наведения имеет ряд серьезных недостатков [2]:

- 1)погрешность попадания в точку цели составляет ± 1 мм, что ограничивает использование системы в функциональной хирургии, где точность попадания находится на уровне $\pm 0,1$ мм;
- 2)отсутствие зрительного контроля траектории введения хирургических инструментов в мозг, что ограничивает возможности выбора минимально травматического доступа к точке цели;
- 3)отсутствие возможности выполнения контроля эффективности хирургического воздействия на структуру – мишень, и возможности выявить возникающие внутричерепные осложнения (кровоотечения, западения мозга и др.);
- 4)большая продолжительность операции, связанная с длительным подготовительным этапом транспортировки пациента для проведения КТ/МРТ;
- 5)повторные транспортировки пациента или операции в случае нескольких структур-мишеней;

- б) необходимость проведения повторного КТ/МРТ сканирования для выявления осложнений.

Выше перечисленные недостатки стереотаксических систем условно можно классифицировать на три основные группы:

- проблемы, связанные с точностью позиционирования инструмента;
- проблемы, связанные с безопасностью проведения процедур;
- проблемы, связанные с продолжительностью проведения операции.

Ниже сформулированы требования к системам роботизированной ассистенции в высокоточной хирургии.

2.2 Роботизированный стереотаксис. Основные требования к системам высокоточной хирургии

Рассмотренные стереотаксические конструкции не предполагают автоматизацию процесса. На сегодняшний день уже известны роботизированные системы, направленные на улучшение результата выполняемых хирургических вмешательств. В отличие от классического варианта рамочного стереотаксиса, когда направляющий блок принимает заданное направление путем выставления рассчитанных координат на раме вручную, роботизированные системы устанавливают направляющую автоматически. Преимущества таких систем очевидны: они быстрее, точнее, исключают случайную ошибку и не требуют снятия и повторной установки системы для изменения координат [10]. Новейший французский робот-ассистент «ROSA» компании Medtech располагает хирургический инструмент с точностью 0.05 мм, прокладывает наиболее безопасную траекторию, отслеживает ход биопсийной иглы в режиме реального времени и позволяет хирургу «чувствовать» оперируемую ткань за счет системы тактильной обратной связи [11].

В соответствии с задачами и возможностями роботизированные комплексы можно разделить на несколько типов. Глава робототехнической лаборатории факультета машиностроения в Технионе (Израиль) профессор Шохам относит биопсию мозга к задаче роботов, которые выполняют заранее запрограммированные процессы в соответствии с предоперационной программой, основанной на компьютерной томографии [12]. Таким образом, помимо стандартных физико-механических требований к созданию такого рода робота-ассистента, необходимо обеспечить наличие:

- устройства очувствления, предназначенного для определения усилий, действующих на хирургический инструмент;
- стойки манипулятора, предназначенной для перемещения манипулятора в операционной и фиксации его около операционного стола;

- поста управления, предназначенного для управления всеми системами робота-манипулятора;
- системы видеонаблюдения, предназначенной для визуализации и видео-фиксации этапов операции;
- сменных приспособлений для установки на манипуляторе хирургических инструментов;
- дополнительного оборудования, предназначенного для удобства работы хирурга, управляющего комплексом с пациентом;
- устройства для фиксации частей тела пациента.

Кроме того, следует обеспечить высокую точность позиционирования инструмента. Сюда относится система манипуляции робота. Необходимо наличие навигационной системы, для проведения «закрытых» операций. Во время биопсии мозга нет возможности подвести камеры к месту манипуляций рабочего инструмента. Поэтому необходима навигационная система, функционирующая как виртуальная GPS, которая в совокупности с роботом-ассистентом с предельной точностью позволит работать в любой части мозга. Необходимо наличие системы обратной связи, в идеале, позволяющей получать не только кинестетическую информацию (обратная связь по усилию), но и тактильную (осознание: распознавание форм, размеров, текстуры).

Заключение и выводы

Основой стереотаксиса являются математическое обеспечение и точные приборы, позволяющие осуществлять прицельное погружение в мозг тонких инструментов. Проведенный анализ наиболее распространенных на сегодняшний день нейрохирургических систем позиционирования инструмента на примере биопсии головного мозга позволяет сделать вывод, что роботизированные комплексы получают все большее распространение в медицине ввиду своих преимуществ по сравнению с традиционной хирургией. Несмотря на простоту конструкции, проблемами «классических» стереотаксических систем является недостаточно высокая точность позиционирования инструмента, безопасность проведения операции функциональной нейрохирургии, продолжительность процедуры и необходимость проведения нескольких КТ/МРТ сканирований при наличии нескольких точек цели. Манипуляции при помощи робота-ассистента идентичны движению хирурга, но отличаются большей точностью, позволяют значительно сократить время проведения операции, сделать процедуру более результативной - повысить уровень безопасности для пациента и комфорта для хирурга.

Благодарность

Данная работа проведена при содействии НИИ нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко РАМН. Авторы хотели бы поблагодарить команду врачей 7-ого клинического отделения «Нейроонкология», в частности, нейрохирурга д.м.н. Кобякова Григория Львовича за возможность присутствия на операции и помощь в понимании медицинской стороны вопроса.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках федеральной целевой научно - технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно – технологического комплекса России» на 2007 – 2012 годы, номер контракта 16.523.11.3011.

Список литературы

1. Абраков Л.В. Основы стереотаксической нейрохирургии. Л.: Медицина, 1975. 232 с.
2. Иова А.С., Гармашев Ю.А. Способ стереотаксического наведения : пат. 2121296 С1 Российская Федерация, МПК 6 А61В5/103, А61В17/00.; заявитель и патентообладатель А.С. Иова, Ю.А. Гармашев. 95105181/14; заявл. 10.04.1995; опубл. 10.11.1998.
3. Stereotaxis: консультативный портал. Конструкция Lucia Zamorano. Режим доступа: <http://www.stereotaxis.ru/zamorano.html> (дата обращения 06.12.2012).
4. Ситников А.Р. Биопсия. Режим доступа: <http://www.dr-sitnikov.ru/sitnikov58/> (дата обращения 03.11.2012).
5. Медведев С.В. Книга к десятилетию Института мозга человека. Режим доступа: <http://www.scorcher.ru/neuro/science/base/mem9.htm> (дата обращения 06.12.2012).
6. Безрамочный стеретаксис. Режим доступа: <http://www.stereotaxis.ru/bezramochnyj-steretaksis.html> (дата обращения 03.11.2012).
7. Ширшов А.В. Конструкция Cosman-Roberts-Wells. Режим доступа: <http://www.stereotaxis.ru/crw.html> (дата обращения 03.11.2012).
8. Moore J.Z. Tissue Cutting in Needle Biopsy: Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy. University of Michigan, Mechanical Engineering, 2011.
9. Стереотаксическая система Stereotaxy (Стереотаксис). Режим доступа: <http://www.8a.ru/print/2268.php> (дата обращения 03.11.2012).
10. Роботизированный стереотаксис. Режим доступа: <http://www.stereotaxis.ru/robotizirovannyj-steretaksis.html> (дата обращения 06.12.2012).

11. ООО «Евраз Медикал Групп». ROSA. Режим доступа:
<http://evrazmed.ru/catalog/robot-assistent/> (дата обращения 30.10.2012).
12. Медицинский центр Рамбам. Роботы на службе медицины. Режим доступа:
<http://www.rambam-health.org.il/urology-department-robots.aspx> (дата обращения 03.11.2012).
13. Безрамная расчетная магнитно-резонансная томография со стереотаксическими манипуляторами класса «Ореол». Режим доступа:
http://www.neuro.neva.ru/ru/Articles_2009_2/parfenov.shtml (дата обращения 06.12.2012).
14. Ashwini D.Sh. Stereotactic Frames: Technical Considerations. Режим доступа:
<http://www.stereotaxis.ru/kakaja-sistema-luchshe.html> (дата обращения 06.12.2012).

Problems of development of stereotaxic guidance systems designed to control surgical instruments, illustrated by brain biopsy

12, December 2012

DOI: 10.7463/0113.0486770

Bogdanova Yu.V., Gus'kov A.M., Jidkih I.V., Naraikin O.S., Shurhai V.A.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

bogdanova.bmstu@gmail.com

gouskov_am@mail.ru

ivan.v.zhdkikh@gmail.com

naraikin_os@nrcki.ru

vash.nsi@gmail.com

A description of carrying out brain biopsy was examined. It is emphasized that one of the major problems is to position the instrument precisely and to maintain a safe trajectory while carrying out the operation. A disadvantage of traditional stereotaxic systems, apart from constructive disadvantages (long preparation and repeated operations have to be carried out in case of multi-target procedures), is that it doesn't have the ability to observe the effectiveness of surgical manipulation in the target object in real time and, therefore, to reveal ongoing intracranial complications. Modern technologies which use robotic-manipulators allow to increase accuracy, speed and safety in high-precision operations simultaneously. The need for accuracy in positioning the instruments and automated support system are discussed in detail.

Publications with keywords: [stereotaxis](#), [stereotaxic guidance](#), [brain biopsy](#), [neurosurgery](#), [robotized stereotaxis](#), [instrument positioning](#)

Publications with words: [stereotaxis](#), [stereotaxic guidance](#), [brain biopsy](#), [neurosurgery](#), [robotized stereotaxis](#), [instrument positioning](#)

References

1. Abrakov L.V. *Osnovy stereotaksicheskoy nejrohirurgii* [Basis of a stereotactic neurosurgery]. Leningrad, Medicina, 1975. 232 p.
2. Iova A.S., Garmashev Iu.A. *Sposob stereotaksicheskogo navedeniia* [The method of stereotactic guidance]. Pat. RF, no. 2121296, 1998.

3. *Stereotaxis: konsul'tativnyi portal. Konstruktsiia Lucia Zamorano* [Stereotaxis: consultation portal. Construction of the Lucia Zamorano]. Available at: <http://www.stereotaxis.ru/zamorano.html> , accessed 06.12. 2012.
4. Sitnikov A.R. *Biopsiia* [Biopsy]. Available at: <http://www.dr-sitnikov.ru/sitnikov58/> , accessed 03.11. 2012.
5. Medvedev S.V. *Kniga k desiatiletiiu Instituta mozga cheloveka* [The book by a decade of human brain institute]. Available at: <http://www.scorcher.ru/neuro/science/base/mem9.htm> , accessed 06.12. 2012.
6. *Bezramochnyi steretaksis* [Frameless stereotaxy]. Available at: <http://www.stereotaxis.ru/bezramochnyj-steretaksis.html> , accessed 03.11. 2012.
7. Shirshov A.V. *Konstruktsiia Cosman-Roberts-Wells* [Construction Cosman-Roberts-Wells]. Available at: <http://www.stereotaxis.ru/crw.html> , accessed 03.11. 2012.
8. Moore J.Z. *Tissue Cutting in Needle Biopsy: Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy*. University of Michigan, 2011.
9. *Stereotaksicheskie sistema Stereotaxy (Stereotaksis)* [Stereotactic system Stereotaxy]. Available at: <http://www.8a.ru/print/2268.php> , accessed 03.11. 2012.
10. *Robotizirovannyi stereotaksis* [Robotic stereotaxy]. Available at: <http://www.stereotaxis.ru/robotizirovannyj-stereotaksis.html> , accessed 06.12. 2012.
11. *ООО «Evraz Medikal Grupp». ROSA* [“Evraz Medical Group Ltd”. ROSA]. Available at: <http://evrazmed.ru/catalog/robot-assistent/> , accessed 30.10. 2012.
12. *Meditsinskii tsentr Rambam. Roboty na sluzhbe meditsiny* [Medical Center RamBam. Robots on medicine service]. Available at: <http://www.rambam-health.org.il/urology-department-robots.aspx> , accessed 03.11. 2012.
13. *Bezramnaia raschetnaia magnitno-rezonansnaia tomografiia so stereotaksicheskimi manipulatorami klassa «Oreol»* [Frameless settlement magnetic resonance imaging with stereotactic manipulator of the class “Oreol”]. Available at: http://www.neuro.neva.ru/ru/Articles_2009_2/parfenov.shtml , accessed 06.12. 2012.
14. Ashwini D.Sh. *Stereotactic Frames: Technical Considerations*. Available at: <http://www.stereotaxis.ru/kakaja-sistema-luchshe.html> , accessed 06.12. 2012.