

# Виртуальные нейрохирургические операции

Д.И. Пицхелаури

НИИ нейрохирургии имени акад. Н.Н. Бурденко РАМН

Dav@nsi.ru

В.В. Галатенко, Ю.М. Баяковский

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

vgalat@castle.nmd.msu.ru, ymb@graphics.cs.msu.ru

Д.Я. Самборский

Дизайн студия Биосарт

ambidekstor@mail.ru

## Аннотация

В последнее десятилетие вычислительная нейроанатомия стала одной из главных дисциплин в нейронауках. Эта новая область использует как классические методы, так и последние достижения информатики, математики, теории обработки сигналов, механики, статистики. Вычислительная нейроанатомия стимулирует развитие медицинских исследований, биологии, хирургической практики.

В настоящей работе обсуждается вопрос создания нейрохирургического тренажера – это одна из наиболее актуальных задач современной вычислительной нейроанатомии. В качестве основных этапов выделены (1) создание нейроанатомического атласа на основе среднестатистических данных, (2) разработка методов персонализации атласа, (3) разработка “динамических” методов, оценивающих изменения структур при внешних воздействиях, (4) создание аппаратных и программных интерфейсов.

**Ключевые слова:** вычислительная нейроанатомия, нейрохирургический тренажер, нейроанатомический атлас, атлас мозга.

## 1. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ НЕЙРОАНАТОМИЯ

Стремительное развитие методов томографии с одной стороны и компьютерных технологий с другой стороны сделали в последние десятилетия вычислительную нейроанатомию одной из главных дисциплин в нейронауках. Вычислительная нейроанатомия использует классические и новейшие методы информатики, математики, обработки сигналов, статистики, механики. Эта новая область науки стимулирует развитие медицинских исследований, биологии, клинической практики. Вычислительная нейроанатомия открывает новые, недостижимые ранее горизонты в обучении нейрохирургов, сравнительной диагностике, планировании нейрохирургических вмешательств. Одной из наиболее актуальных задач современной вычислительной нейроанатомии, превратившейся из фантастической мечты в достижимую цель, в настоящее время является создание нейрохирургического тренажера.

## 2. НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКИЙ ТРЕНАЖЕР

Создание реалистичного тренажера, позволяющего проводить виртуальные операции на головном мозге, является в настоящее время крайне актуальной задачей. Такой тренажер может использоваться как студентами-медиками для приобретения необходимых навыков, так и опытными нейрохирургами при выборе стратегии операции и проработке отдельных ее деталей. Как и тренажеры для летчиков, тренажеры для нейрохирургов позволяют отрабатывать действия в нестандартных, критических условиях, не подвергая при этом опасности жизнь и здоровье реальных людей. Тщательное планирование, оптимальный выбор стратегии и проведение виртуальных операций, моделирующих предстоящее реальное хирургическое вмешательство, может значительно уменьшить риски.

В настоящей работе излагается подход, который предлагается использовать при создании нейрохирургического тренажера.

Ключевой компонентой нейрохирургического тренажера является нейроанатомический атлас. Именно полнота и достоверность этого атласа во многом определяют реалистичность и функциональные возможности нейрохирургического тренажера.

### 3. НЕЙРОАНАТОМИЧЕСКИЙ АТЛАС

Нейроанатомический атлас (атлас головного мозга) человека представляет собой сущность, объединяющую, во-первых, разнотипную информацию о головном мозге и, во-вторых, набор методов (в частности, интерфейсов) для работы с этой информацией. Атласы головного мозга естественным образом позволяют интегрировать геометрическую, физическую, физиологическую информацию, получаемую из различных источников, предоставляя пользователям возможность работать сразу со всей совокупностью данных.

Каждый мозг, в той или иной степени, отличен от другого. Для сравнения необходим общий анатомический субстрат. Тогда каждый «персональный» мозг можно сравнить со «стандартным» или пространственно нормировать его, чтобы отнести к той или иной группе.

Объем информации, хранимой в нейроанатомическом атласе, может быть колоссальным, и поэтому эффективность интерфейсов является крайне важным параметром атласа – не менее важным, чем сама информация о мозге.

В медицине атласы мозга находят самые различные применения: они используются при обучении студентов-медиков, при планировании нейрохирургических операций, при автоматическом сегментировании [1]; на их основе разрабатываются методы для предсказания изменения патологий [2], тренажеры, позволяющие проводить виртуальные операции на головном мозге.

### 4. ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ

Первым этапом создания нейрохирургического тренажера является непосредственная *разработка и реализация атласа головного мозга человека*. Важно, что этот атлас должен содержать не только геометрические, но также физические и физиологические свойства структур головного мозга. Хранящейся в атласе информации должно быть достаточно для того, чтобы оценивать не только статические характеристики, но и динамические, в частности, характеристики, связанные с деформациями, возникающими при воздействии медицинских инструментов, в первую очередь, ретрактора [3], [4].

Атлас строится на основе *среднестатистических характеристик* мозга. При создании атласа используются, во-первых, данные реальных обследований (МРТ, КТ), во-вторых, информация из уже имеющихся атласов головного мозга, как бумажных, так и электронных. Так как этот атлас является центральной составляющей тренажера, критичной является его точность и полнота, поэтому созданию этого атласа требуется уделить большое внимание, в частности, постоянно использовать знания и контроль экспертов.

Важным является структурный подход к информации в атласе: информация о каждой структуре (группе структур) формально независима от информации о других структурах (группах структур), хотя и дополняет их. Такой подход позволяет работать не со всей совокупностью данных, а только с информацией об одной или нескольких структурах или группах структур (например, учитывать или не учитывать некрупные сосуды). Это обстоятельство позволяет за счет выбора детализации и игнорирования “мелких объектов” (то есть, как раз за счет работы только с частью структур) достигать равновесия между точностью и информативностью: с одной стороны, в данных высокого уровня детализации даже несмотря на контроль экспертов

возможны погрешности (здесь также следует учитывать вариативность многих параметров, ведущую к тому, что среднестатистические значения отдельных характеристик могут значительно отличаться от значений этих характеристик для конкретных индивидов); с другой, столь высокий уровень детализации для многих практических целей не является необходимым.

Следует еще раз отметить, что подробный атлас головного мозга содержит очень большой объем информации. Кроме того, что для разных приложений эту информацию удобнее представлять в разных форматах (например, для визуализации часто удобнее работать с поверхностями структур, в то время как для оценки характеристик деформации зачастую удобнее использовать воксельное представление). Эти соображения показывают важность тщательной проработки форматов хранения (кодирования) данных и выбора того, какие данные являются базовыми, а какие будут производными, то есть получаться на основе этих базовых данных.

Помимо атласа среднестатистического мозга предполагается разработать и реализовать *метод персонализации атласа*, в основе которого лежит непрерывное преобразование (“деформация”) атласа среднестатистического мозга, направленное на совмещение с данными обследования реального мозга [5]. Результатом применения метода персонализации является атлас мозга конкретного человека. Применяться этот метод может как при планировании реальных операций (при этом анализируется атлас готовящегося к операции пациента), так и для всесторонней визуализации структур головного мозга по результатам обследования, в частности, для получения 3D-изображений структур мозга по нескольким плоским сечениям [6] или по легко измеряемым “инвариантам” (например, размерам черепа).

Следующим шагом создания тренажера является разработка и реализация *“динамических методов”*, более конкретно, *методов, оценивающих изменения структур головного мозга при определенных воздействиях, в частности, при воздействиях ретрактора и других хирургических приборов*. Эти методы должны быть, с одной стороны, быстрыми, чтобы можно было проводить имитации операций в реальном масштабе времени; с другой, методы должны быть достаточно точными, чтобы реалистично отражать происходящие изменения.

Наконец, финальным шагом создания тренажера является *разработка интерфейса*, то есть схемы взаимодействия пользователя с тренажером. Здесь речь идет как о *программных*, так и *аппаратных схемах*. В частности, интерес представляет разработка устройства, позволяющего тренировать усилие при работе с ретрактором [3].

### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенную схему создания нейрохирургического тренажера планируется реализовать в рамках совместного проекта НИИ Нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН и МГУ им. М.В. Ломоносова.

Следует отметить, что в предложенной схеме *практическую ценность имеет не только весь комплекс, образующий нейрохирургический тренажер, но и отдельные его составляющие*. В настоящее время доступны различные атласы головного мозга (в частности, многие из них доступны только как коммерческие продукты), но пока они

отличаются недостаточной полнотой и детализацией и/или недостаточной точностью. Методы персонализации атласов мозга позволяют более эффективно анализировать данные обследований мозга, облегчают сравнительную диагностику, дают возможность в автоматическом или полуавтоматическом режиме осуществлять сегментацию, то есть разбиение на структуры [7]. Методы, оценивающие деформации структур при внешних воздействиях, полезны для анализа вероятных последствий развития патологий, для проработки деталей при планировании нейрохирургических вмешательств.

## 6. ССЫЛКИ

- [1] P. Kikinis et al., *A digital brain atlas for surgical planning, model-driven segmentation, and teaching* // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2(3), 1996, 232-241.
- [2] H. Delingette et al., *Computational models for image-guided robot-assisted and simulated medical interventions* // Proceedings of the IEEE, 94(9), 2006, 1678-1688.
- [3] R.V. Hansen et al., *Modeling of interaction between a spatula and a human brain* // Medical image analysis, 8, 2004, 23-33.
- [4] T. Koyama et al., *Computer-generated surgical simulation of morphological changes in microstructures: concept of "virtual retractor"* // J. Neurosurg., 90, 1999, 780-785.
- [5] G.E. Christensen et al., *Individualizing neuro-anatomical atlases using a massively parallel computer* // IEEE Computer, 29(1), 1996, 32-38.
- [6] Y. Zhu, S. Belkasim *A 3D Reconstruction Algorithm Based on 3D Deformable Atlas* // Proceedings of the Third International Conference on Information Technology and Applications (ICITA'05), IEEE Computer Society, 2005, 607-612.
- [7] F.L. Seixas et al., *Automatic segmentation of brain structures based on anatomic atlas* // Proceedings of the Seventh International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, IEEE Computer Society, 2007, 328-334.

## VIRTUAL NEUROSURGERY

### Abstract

The computational neuroanatomy is currently one of the main fields of neuro-sciences. This new field uses the classical methods as well as the modern achievements of computer sciences, mathematics, image processing, mechanics, statistics. The computational neuroanatomy advances medical research, basic biological sciences, clinical practice.

In this paper a scheme for the development of a neurosurgical simulator is discussed – it is one of the most actual problems of modern neuroanatomy. The main stages of this scheme are (1) the creation of a virtual neuro-anatomical atlas based on average statistical characteristics, (2) the development of a method for atlas personalization, (3) the development of “dynamical” methods that estimate the changes of structures induced by external forces, (4) the creation of hardware and software interfaces.

**Keywords:** *Computational neuroanatomy, neurosurgical simulator, neuro-anatomical atlas, brain atlas.*

### Об авторах / About the authors

Давид Ильич Пицхелаури – нейрохирург, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник НИИ Нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН. Адрес электронной почты: Dav@nsi.ru.

David I. Pitskhelauri is a neurosurgeon, Ph.D., M.D., a leading researcher at Burdenko Neurosurgery Institute of the Russian Academy of Medical Sciences. His contact e-mail is Dav@nsi.ru.

Владимир Владимирович Галатенко – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического анализа механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Адрес электронной почты: vgalat@castle.nmd.msu.ru.

Vladimir V. Galatenko is a Ph.D., an associate professor at Moscow State University, the Department of Mechanics and Mathematics. His contact e-mail is vgalat@castle.nmd.msu.ru.

Юрий Матвеевич Баяковский – кандидат физико-математических наук, доцент факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова, заведующий лабораторией компьютерной графике ВМиК МГУ. Адрес электронной почты: ymb@graphics.cs.msu.ru.

Yuri M. Bayakovski is a Ph.D., an associate professor at Moscow State University, Department of Computational Mathematics and Cybernetics, a head of the laboratory of computer graphics at dep. CS MSU. His contact email is ymb@graphics.cs.msu.ru.

Дмитрий Ярославович Самборский – художник-дизайнер, Дизайн студия Биосарт. Адрес электронной почты: ambidekstor@mail.ru

Dmitry Ya. Samborski – artist-designer, Studio BiosArt. His contact email is ambidekstor@mail.ru