

© Бурых М.П., Ворощук Р.С.

УДК 611.9.001.57

ВОКСЕЛЬНОЕ АНАТОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА

М.П.Бурых, Р.С.Ворощук

Кафедра общей хирургии с курсом оперативной хирургии и топографической анатомии (зав. – проф. С.И.Шевченко) Харьковского государственного медицинского университета

Резюме. *Воксельне анатомічне моделювання внутрішніх органів людини.* Створені на основі воксельного анатомічного моделювання віртуальні моделі внутрішніх органів людини можна застосувати для вивчення індивідуальної клінічної анатомії, планування та імітування хірургічних операцій, розробки хірургічних тренажерів.

Ключові слова: внутрішні органи, воксельне анатомічне моделювання.

Возможности получения срезов тела живого человека с помощью ультразвукового исследования (УЗИ), компьютерной (КТ) и ядерно-магнитно-резонансной (ЯМР) томографии привели к расширению области исследований в клинической анатомии. В настоящее время исследования сосредоточены на создании виртуальных трехмерных моделей внутренних органов человека на основании серий двухмерных срезов. Среди наиболее известных международных проектов являются Visible Human Project (США), Voxel MAN (Germany), Chinese Visible Human Project (Китай) [1, 2].

Применение компьютерных тренажеров уже широко зарекомендовало себя как мощный инструмент в обучении. Так, например, компьютерные имитаторы летательного аппарата с успехом используются при подготовке пилотов. Допустимо предположение, что при использовании хирургических тренажеров возможно достигнуть аналогичного успеха. По аналогии с имитатором самолета, хирурги и врачи других специальностей могут отрабатывать практические навыки на виртуальных пациентах перед осуществлением хирургической операции или врачебной манипуляции.

Хирурги г. Манчестера (Англия) отрабатывают свое мастерство на виртуальной печени, изображение которой выводится на экран диа-

гонально 1,8 м [3]. Разработана программа трехмерной реконструкции изображений на основании топографических данных. Хирурги наглядно могут видеть, как лучше удалить, например, злокачественную опухоль, не причиняя вреда всему организму.

До внедрения этой разработки хирургу Рою Макклою приходилось брать в операционную подборку рентгеновских снимков и производить операции на трехмерном органе, имея в своем распоряжении лишь его двухмерные изображения. Он, в частности, сказал: "Всю свою жизнь мне приходилось составлять целостную картину, используя по 60 кусочков ... "салями". Я делал операции на трехмерном органе, имея в своем распоряжении лишь его двухмерные изображения". Теперь врач может вращать печень на гигантском экране одним движением джойстика.

В скором времени хирургов ждет еще одна новинка – виртуальный скальпель. С его помощью до начала настоящей операции он сможет потренироваться, как лучше удалять участок печени, пораженный раковой опухолью. Такие видеообразы уникальны тем, что создаются под каждого конкретного больного.

В былые времена мы бы удивились этому достижению зарубежной медицины, но в этот раз для нас – это не открытие, а приятная неожиданность, свидетельствующая о том, что оте-

чественные исследования отвечают требованиям современной медицины. На кафедре оперативной хирургии и топографической анатомии Харьковского государственного медицинского университета профессором М.П.Бурых ещё в 1990 г. была предложена система топографических координат тела человека, описывающая внутреннее строение органов в пространстве с математической точностью при помощи параллелей и меридианов [4, 5]. Части тела человека рассматриваются в системе координат, расграфка которой выполняется вертикальными параллелями (меридианами), начиная от срединной сагитальной плоскости (Гринвич) с разделением на 30° зоны, и горизонтальными параллелями (широтами) по наружным ориентирам. С использованием данного подхода на кафедре выполнены работы по изучению анатомии печени человека и хвостатого ядра.

Таким образом, создание виртуальных моделей внутренних органов – это актуальная проблема современной топографической анатомии.

В продолжение вышеперечисленных достижений в настоящее время на нашей кафедре для создания виртуальных моделей внутренних органов применяется метод воксельного анатомического моделирования.

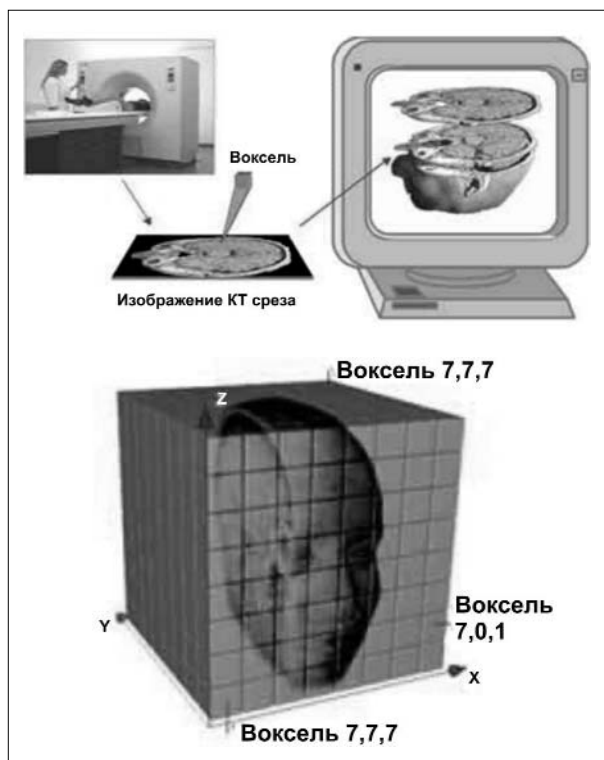


Рис. 1. Создание воксельной анатомической модели головы человека по изображениям серии КТ срезов (схематично).

ческого моделирования. С этой целью разработан компьютерный комплекс Virtual Anatomist, позволяющий создавать трехмерные компьютерные анатомические модели на основании изображений плоскопараллельных срезов. Суть метода состоит в создании цифровой трехмерной матрицы, единичным элементом которой является воксель. Термин воксель по аналогии с пикселем (одна точка двухмерного изображения) представляет точку в трехмерном пространстве (рис. 1). Использование аппаратных и программных средств современных персональных компьютеров позволяет визуализировать данную объемную воксельную матрицу и осуществлять интерактивные манипуляции над ней. Каждый воксель хранит данные об его размерности, цвете, степени прозрачности изображения, а также несет дополнительную информацию, назначаемую исследователем, например, о принадлежности к определенному органу, типу ткани, патологическому очагу и др.

Основным преимуществом данного метода создания виртуальных моделей внутренних органов, в отличие от применявшегося ранее трехмерного моделирования поверхностей органов, осуществляемого по сериям контуров границ органов, является то, что воксельная анатомическая модель содержит информацию обо всей структуре органа и реалистично отображает индивидуальную анатомию человека.

Создание воксельных анатомических моделей требует предварительного определения границ между всеми органами и тканями, видимыми на изображении анатомического среза. Каждому пикселю изображения двухмерного среза присваивается идентификационный номер, соответствующий определенному органу либо типу ткани. Данный процесс обработки медицинских изображений известен как сегментация, поскольку при этом цельное изображение разделяется на составляющие его сегменты. Однако сегментация изображений занимает значительное время. С учетом большого количества изображений срезов, необходимых для создания воксельной анатомической модели, данный процесс может оказаться очень длительным. По оценке японских авторов, для создания воксельной модели всего тела человека на процесс сегментации ручным методом может уйти более трех лет [6]. На помощь приходят современные методы цифровой обработки изображений

графических редакторов (Adobe Photoshop, Corel Photo Paint) либо специализированное программное обеспечение, разработанное для сегментации медицинских изображений, которые позволяют данный процесс сделать интерактивным или полуавтоматическим [7].

Использование данного метода в медицине и клинической анатомии позволит в дальнейшем разрабатывать виртуальные трехмерные модели различных внутренних органов, создавать интерактивные анатомические атласы, моделировать планирование и выполнение хирургических операций, радиотерапию и т. д. Возможность осуществления над воксельной анатомической моделью почки виртуальных резекций и получения топографических срезов в любой интересующей плоскости и сечения разрабатывается нами с целью изучения топографии почечных пирамид человека в онтогенезе [8, 9]. Для создания воксельных анатомических моделей почек человека использовали изображения серий плоскопараллельных срезов почек живого человека, полученных методом компьютерной томографии с контрастным усилением коркового и мозгового вещества почек и методом плоскопараллельных макроскопических срезов криопрепаратов почек трупов людей обоого по-

ла, не имевших в анамнезе почечной и сердечно-сосудистой патологии (рис. 2, 3).

Широкое внедрение в современную клинику УЗД и КТ выдвигает перед клиническими анатомами новую проблему – изучение строения человека на срезах (истинно топографическая анатомия). Появление новых компьютерных технологий привело к развитию перспективного направления лучевой диагностики – виртуальной хирургии. Это связано с возможностью получения при помощи объемного моделирования зоны поражения данных, которые позволяют индивидуализировать выбор способа хирургического вмешательства. Получаемые с помощью спиральной компьютерной томографии изображения с их последующей трехмерной реконструкцией предоставляют возможность виртуальных хирургических действий [10-12].

Таким образом, применение ЯМРТ, КТ, УЗИ и других методов диагностики в клинике стимулирует прогресс Анатомии человека, потому что перед врачом возникает практическая необходимость определения положения органа в пространстве, т. е. в системе прямоугольных плоскостных и пространственных координат; выполнения специальных измерений; составле-

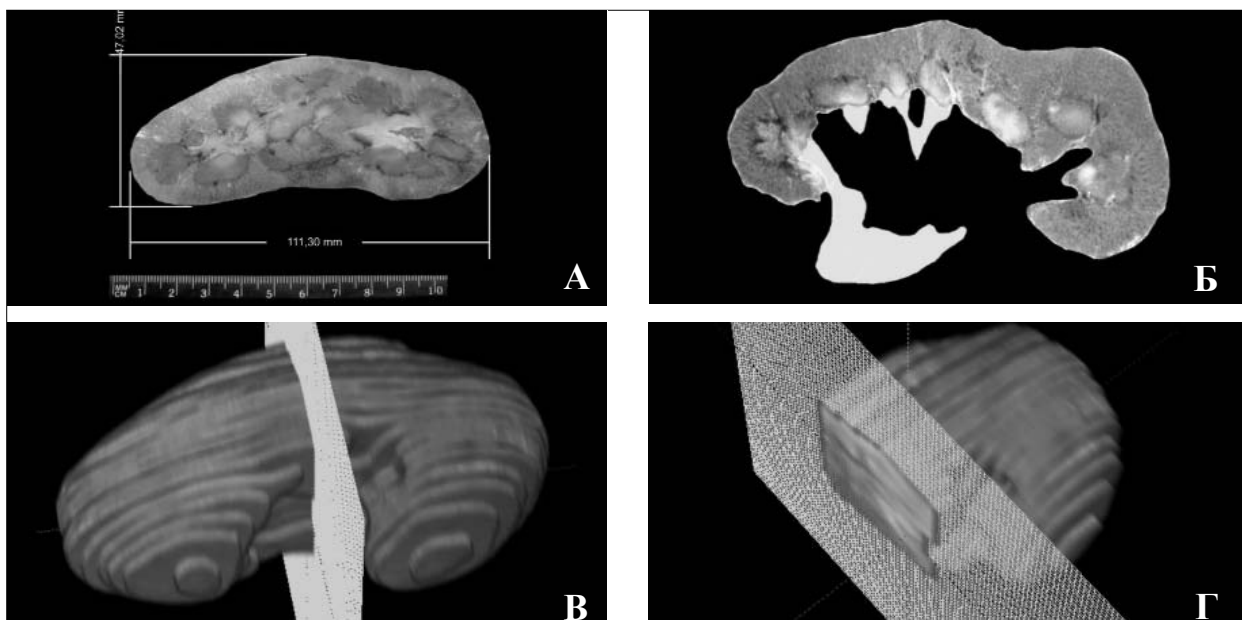


Рис. 2. Воксельная анатомическая модель почки человека по данным криомакроскопических срезов: А – макротомный срез криопрепарата почки; Б – сегментированное изображение среза криопрепарата почки с выделением почечных пирамид и чашечно-лоханочного комплекса; В – воксельная анатомическая модель почки с координатной сеткой, проведенной через ворота почки параллельно её полюсам; Г – виртуальная резекция верхнего полюса почки.

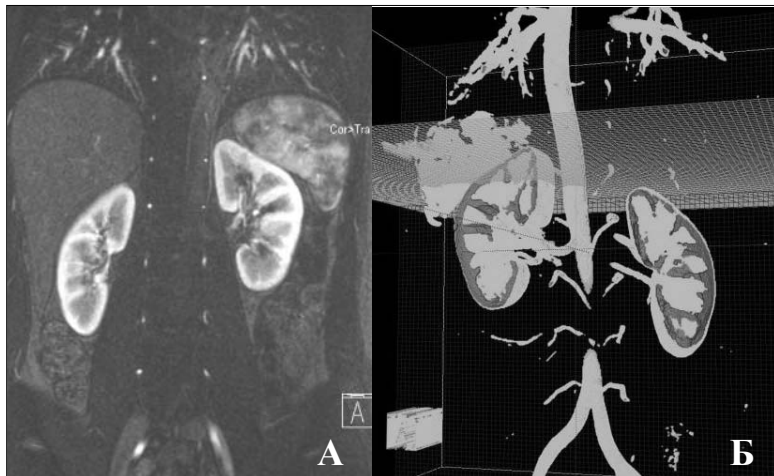


Рис. 3. Воксельная анатомическая модель почки человека и крупных сосудов по данным компьютерной томографии: А – КТ срез области живота во фронтальной плоскости (контрастное усиление коркового вещества гадолинием); Б – интерфейс программы Virtual Anatomist с визуализацией воксельной анатомической модели поверхности почек, почечных пирамид и некоторых крупных сосудов.

ния карт и планов разнообразного назначения применительно к лучевой терапии; осуществления чрескожных пункций, биопсий и т. д.

Вывод и перспективы дальнейших исследований. Использование воксельного анатомического моделирования является перспективным в изучении истинной топографической анатомии внутренних органов и тела человека. Созданные на его основе виртуальные анатомические модели могут быть использованы в изучении индивидуальной клинической анатомии, при планировании и имитировании хирургических операций, разработке хирургических тренажеров.

Литература

1. Lamade W., Glombitza G., Demir M.A. et al. Virtuelle Operationsplanung in der Leberchirurgie // *Chirurg.* – 1999. – V. 70. – P. 239-245.
2. Ohkava M. et al. The role of three-dimensional computer tomography in the management of maxillofacial bone fractures // *Acta Med. Okayama.* – 1997. – V. 51, N 4. – P. 219-225.
3. Nature, Macmillan Magazines Ltd, 2002 (online: <http://www.nature.com>).
4. Бурых М.П., Горяинова Г.В., Шкляр С.П., Лучишев П.А. Система топографических координат в картографии и графической реконструкции поверхности печени человека // *Вісн. морфології.* – 1998. – Т. 4. – № 1. – С. 14-15.
5. Бурых М.П., Горяинова Г.В., Шкляр С.П. и др. Истиннотопографический подход в клинической анатомии // *Клин. информатика и телемедицина.* – 2004. – № 2. – С. 245-248.
6. Nagaoka T., Watanabe S., Sakurai K. et al. Development of realistic high resolution whole-body voxel models of Japanese adult male and female of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry // *Phys. Med. Biol.* – 2004. – N 49. – P. 1-15.
7. Caon M., Mohyla J. Automating the segmentation of medical images for the production of voxel tomographic computational models // *Australas Phys. Eng. Sci. Med.* – 2001. – N 24. – P. 166-172.
8. Ворошук Р.С. Топография почечных пирамид человека: контент-анализ и клинические аспекты // *Медицина и...* – 2006. – № 1 (12). – С. 24-29.
9. Ворошук Р.С. Воксельное анатомическое моделирование топографии почечных пирамид человека // *Медицина и...* – 2006. – № 2 (13). – С. 38-41.
10. Федоров В.Д., Кармазановский Г.Г., Цвиркун В.В. и др. Виртуальные хирургические операции на основе использования спиральной компьютерной томографии // *Хирургия.* – 2003. – № 2. – С. 12-17.
11. Федоров В.Д., Кармазановский Г.Г., Цвиркун В.В. и др. Новые возможности спиральной компьютерной томографии – виртуальная хирургия // *Мед. визуализация.* – 2000. – № 2. – С. 15-19.
12. Кармазановский Г.Г., Гузеева Е.Б. Спиральная КТ в хирургии – роль трехмерной реконструкции (3D) // *Georgian J. of Radiology.* – 1998. – № 2. – С. 57-60.

ВОКСЕЛЬНОЕ АНАТОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА

М.П.Бурых, Р.С.Ворошук

Резюме. Созданные на основе воксельного анатомического моделирования виртуальные модели внутренних органов человека могут быть использованы для изучения индивидуальной клинической анатомии, планирования и имитации хирургических операций, разработки хирургических тренажеров.

Ключевые слова: внутренние органы, воксельное анатомическое моделирование.

VOXEL ANATOMIC MODELING OF HUMAN INTERNAL ORGANS

М.Р.Вурыкх, Р.С.Ворошчук

Abstract. Created on the basis of voxel anatomic modeling, virtual models of human internal organs may be used for a study of individual clinical anatomy, planning and imitating surgical operations, designing surgical training simulators.

Key words: internal organs, voxel anatomic modeling.

State Medical University (Khar'kov)

Надійшла 09.07.2006 р.