

ОПТИМИЗАЦИЯ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКИХ ДОСТУПОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО АТЛАСА ВНУТРИМОЗГОВЫХ СТРУКТУР

О. Г. АВРУНИН, М. Ю. ТЫМКОВИЧ*

Кафедра биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

*email: maxim_tymkovich@ukr.net

АННОТАЦИЯ У роботі розглядаються питання, що стосуються можливості використання цифрових атласів внутрішньомозгових структур у системах передопераційного планування нейрохірургічних втручань. У роботі, у якості такого атласу використовується оцифрований атлас Талайраха, що міститься у об'ємі 141x172x110. Для урахування нечіткості у точному співставленні внутрішньомозгових структур запропоновано використання модифікованого методу по розрахунку інвазивності хірургічного доступу. При цьому використовується видозміна цифрового атласу, котра отримана шляхом розмиття бінарних даних у різних ризикових модальностях. Також продемонстровано розрахунок ризику хірургічного доступу на використовуваному атласі.

Ключові слова: нейрохірургія, атлас мозку, атлас Талайраха, стереотаксис, комп'ютерне планування

АННОТАЦИЯ В работе рассматриваются вопросы, которые касаются возможности использования цифровых атласов внутримозговых структур в системах предоперационного планирования нейрохирургических вмешательств. В работе, в качестве такого атласа используется оцифрованный атлас Талайраха, который содержится в объеме 141x172x110. Для учета нечеткости в точном сопоставлении внутримозговых структур предложено использование модифицированного метода по расчету инвазивности хирургического доступа. При этом используется измененная версия цифрового атласа, которая получена путем размывания бинарных данных на разных ризиковых модальностях. Также показан расчет риска хирургического доступа на используемом атласе.

Ключевые слова: нейрохирургия, атлас мозга, атлас Талайраха, стереотаксис, компьютерное планирование

OPTIMIZATION OF NEUROSURGICAL ACCESS USING THE DIGITAL ATLAS OF INTRACEREBRAL STRUCTURES

O. AVRUNIN, M. TYMKOVYCH

Department of Biomedical Engineering, Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT Stereotactic brain surgery is the main method used in minimally invasive neurosurgery, especially in biopsy destruction or stimulation of deep brain structures. In combination with a variety of research methods such as tomography, stereotaxis effectively determines the trajectory of surgical approach and makes minimally invasive interventions. The aim of this paper is to examine the principles of the use of atlases of intracerebral structures with regard to the planning system. Namely, when calculating the risk of the surgery. The work deals with issues that relate to the possibility of using the digital brain atlas in neurosurgical systems of preoperative planning. In this paper, used digitized Talairach atlas stored in the volume of 141x172x110. Talairach atlas is one of the most used atlases in stereotactic procedures. To account for the fuzziness of intracerebral structures proposed the use of a modified method for the calculation of invasiveness of surgical access. It uses a modified version of a digital atlas, which is obtained by fuzzification of the binary data in different modalities risk. Blur simulates the ambiguity of the position of the intracerebral brain structures. Also showed the calculation of the risk of surgical access based on fuzzified digital atlas. The next step is the calculation of the standard surgical approaches of risk maps based on the atlas in relation to access to typical intracerebral structures. This should allow the identification of the most appropriate surgical access and demonstrate their low invasiveness. Outlook of work are the inclusion of the method in neurosurgical system of preoperative planning of surgical intervention on the human brain. This should reduce the risk of surgical intervention, and therefore increase the length and quality of life of patients.

Keywords: neurosurgery, brain atlas, Talairach atlas, stereotaxy, computer aided planning

Введение

Стереотаксическая хирургия головного мозга является основным, используемым малоинвазивным методом в нейрохирургии, особенно при биопсии,

деструкции или стимуляции глубоких структур головного мозга [1].

В сочетании с различными интроскопическими методами исследования, стереотаксис позволяет эффективно определить траекторию хирургического

доступа и произвести малоинвазивное вмешательство [2].

Актуальность

Атласы внутримозговых структур применяются повсеместно как в обучении, так и в практической хирургии [3]. Их использование должно повысить как качество обучения, так и проведения оперативного вмешательства. Кроме того, перспективным направлением является виртуальная хирургия, которая позволяет обеспечить определенными практическими навыками хирурга без реального оперативного вмешательства.

Анализ последних исследований и литературы

Исследователи всего мира активно занимаются разработкой и внедрением атласов внутримозговых структур [4-5]. Кроме того, разрабатываются методы сегментации данных интроскопических исследований с использованием деформируемых атласов [6]. Также ведутся работы по разработке систем виртуальной хирургии на головном мозге, с использованием цифровых атласов внутримозговых структур [7-8].

Цель работы

При разработке нейрохирургических комплексов, программное обеспечение, которое обеспечивает расчет оптимальной траектории хирургического доступа, является важной задачей. Выбор такой траектории, кроме опыта врача, должен основываться на анатомическом строении мозга человека.

В то же время, принадлежность конкретного элемента объема мозга определенной структуре является весьма “размытым” понятием, а, следовательно, и риск вмешательства в данный объем является не таким однозначным процессом. Поэтому целью данной работы является изучение процесса определения и оптимизации хирургического доступа с использованием цифрового атласа внутримозговых структур.

Цифровой атлас внутримозговых структур

Атласы человеческого тела имеют давнюю историю, беря своё начало из рисунков анатомов эпохи Возрождения, и заканчивая работами Пирогова Н. И. по топографической анатомии. В настоящее время, основными атласами, используемыми при стереотаксисе, являются: атлас Талайраха, а также MNI атлас [9].

В работе использовались данные оцифрованного атласа Талайраха [4-5]. На рис. 1 представлен пример среза. Используемые данные представляют собой объем размером 141x172x110 вокселей. Каждый элемент объема представляет

собой 16-битное целое, указывающее на анатомическую структуру (табл. 1).



Рис. 1 – Срез из атласа Талайраха

Таблица 1 – Пример анатомических структур в атласе Талайраха

Индекс	Величина
0	Пустота
1	Left Cerebellum.Posterior Lobe.Inferior Semi-Lunar Lobule.Gray Matter
69	Right Cerebellum.Sub-lobar.Fourth Ventricle.Cerebro-Spinal Fluid
71	Left Brainstem.Pons
191	Left Cerebrum.Frontal Lobe.Inferior Frontal Gyrus.Gray Matter.Brodmann area
273	White Matter.Optic Tract
438	Right Brainstem.Midbrain.Thalamus.Gray Matter.Medial Geniculum Body

Визуализация интактной поверхности [10] данного атласа представлена на рис. 2.



Рис. 2 – Трехмерная визуализация интактной поверхности атласа

Риск хирургического доступа

Имеющийся атлас можно использовать в системе планирования, при расчете риска хирургического вмешательства сопоставив [11] каждой структуре определенное значение инвазивности с помощью функции преобразования (1).

$$R(x, y, z) = f(S(x, y, z)), \quad (1)$$

где x, y, z – координаты вокселя;

R – индекс инвазивности (индекс риска);

S – структура;

f – функция преобразования.

Но, следует принять во внимание, что данный подход в некоторой степени эффективен для специализированного расчета данных пациента полученных при интроскопическом исследовании. В случае хирургического атласа присутствует ошибка, которая связана с неоднозначностью (нечеткостью) при сопоставлении каждому элементу объема анатомической структуры, а значит и индекса инвазивности. Таким образом, говорить о наличии значения риска в определенной точке не совсем возможно (рис. 3).

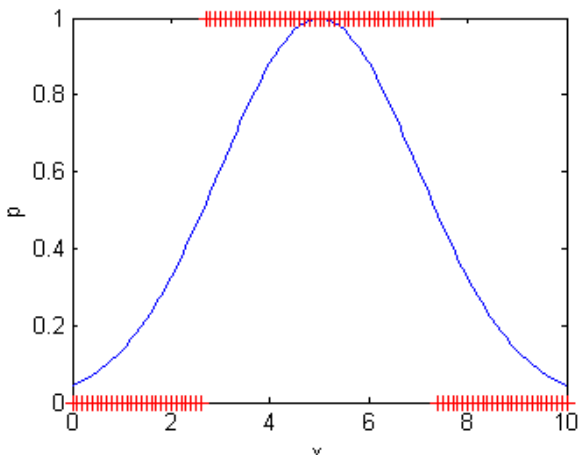


Рис. 3 – Графическое представление нечеткого значения

Поэтому, следуя данным рассуждениям, анатомический атлас следует преобразовывать в атлас, который все это учитывает (рис. 4).

Построение такого “размытого” атласа хирургических рисков состоит из нескольких этапов. На первом этапе весь атлас разделяется на N объемов, где N – количество коэффициентов инвазивности. Каждому объему (V_B) соответствует определенное значение риска, а наличие в элементе объема значения равное единице, свидетельствует о наличии риска. Разбиение происходит исходя из (1). На данном этапе данное представление является идентичным вышеизложенному, и не привносит

никаких различий при определении риска хирургического вмешательства.

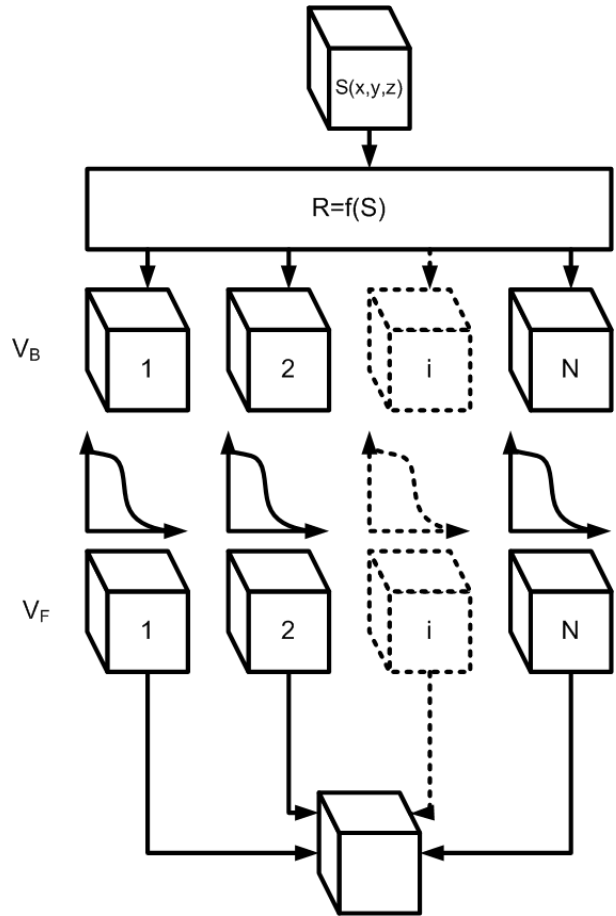


Рис. 4 – Схема построения атласа с учётом вариальности

На следующем этапе производится размытие бинарных объемов (V_B) в размытый объем (V_F). Размытие может осуществляться с использованием трехмерного фильтра Гаусса.

На рис. 5 представлен пример размытия бинарных данных синтетического объема.

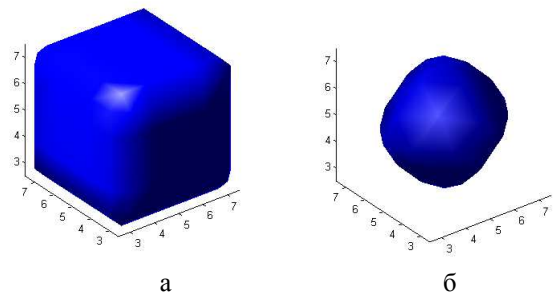


Рис. 5 – Пример трехмерного размытия бинарных данных

Следующий этап заключается в нормализации значений сквозь размытые объемы, а именно должна удовлетворяться зависимость (2).

$$\sum_{i=1}^N V_F^i(x, y, z) = 1, \quad (2)$$

где i – номер объема.

Обеспечение равенства данной зависимости осуществляется с помощью выражения (3).

$$\left\{ \begin{array}{l} V_F^1(x, y, z) = \frac{V_F^1(x, y, z)}{\sum_{i=1}^N V_F^i(x, y, z)}; \\ V_F^2(x, y, z) = \frac{V_F^2(x, y, z)}{\sum_{i=1}^N V_F^i(x, y, z)}; \\ \dots \\ V_F^N(x, y, z) = \frac{V_F^N(x, y, z)}{\sum_{i=1}^N V_F^i(x, y, z)}, \end{array} \right. \quad (3)$$

Следует принять во внимание одно исключение (4).

$$V_F(x, y, z) = 0 \quad \text{if} \quad \sum_{i=1}^N V_F^i(x, y, z) = 0. \quad (4)$$

В случае расчета риска хирургического вмешательства по однозначным данным следует воспользоваться выражением (5).

$$F(m) = \sum_{n=1}^L L^{R(x(n), y(n), z(n))}, \quad (5)$$

где L – количество разбиений хирургического доступа;
 m – траектория, для которой рассчитывается значение риска.

В случае размытого значения, расчет риска хирургического вмешательства рассчитывается исходя из выражения (6).

$$F(m) = \sum_{n=1}^L L^{\sum_{i=1}^N i \times V_F^i(x(n), y(n), z(n))}. \quad (6)$$

В случае использования однозначного объема, выражение (6) преобразовывается в (5). Что свидетельствует о более полной форме (6).

Выбор наименее травматичного хирургического доступа осуществляется как путем

поиска минимального значения из рисковой карты, так и путем наглядного выбора наиболее удобного хирургу доступа.

Обсуждение результатов

С целью проверки работы данного метода, с использованием цифрового атласа был рассчитан риск хирургического вмешательства для одного из элементов объема (рис. 6).

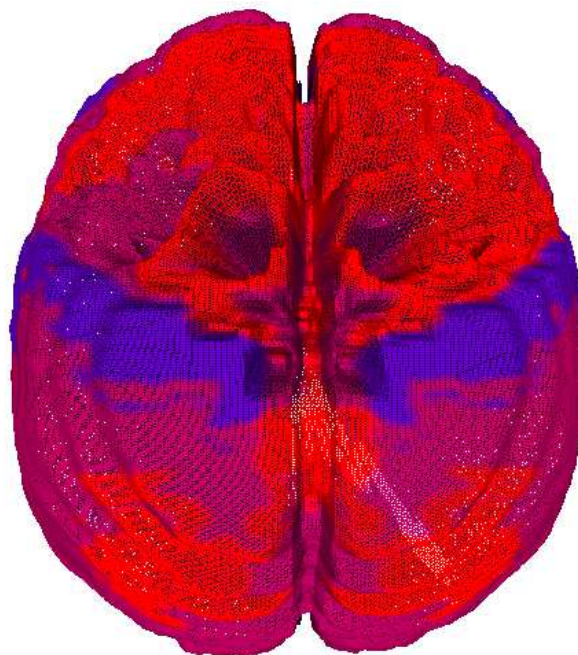


Рис. 6 – Моделирование расчета рисковой карты хирургических доступов по цифровому атласу

Выводы

В работе проводилась разработка метода определения и оптимизации хирургического доступа с использованием цифрового атласа внутримозговых структур. В качестве базового был использован нейрохирургический атлас Талайраха, ориентиры и система координат которого являются общепринятыми в нейрохирургической практике по всему миру.

Показан пример расчета риска хирургического вмешательства с использованием цифрового атласа головного мозга человека. Дальнейшим шагом в работе является расчет стандартных рисковых карт хирургических доступов на основе данного атласа применительно к доступам к типовым внутримозговым структурам. Это должно позволить выявить наиболее оптимальные

хирургические доступы и наглядно продемонстрировать их малую инвазивность.

Перспективой работы является включение данного метода в нейрохирургическую систему предоперационного планирования хирургических вмешательств на головном мозге человека. Это позволит сократить риск возникновения осложнений при проведении нейрохирургических вмешательств, и, соответственно, повысить продолжительность и качество жизни пациентов.

Список литературы

- 1 **Brontë-Stewart, H.** Clinical motor outcome of bilateral subthalamic nucleus deep-brain stimulation for Parkinson's diseases using image-guided frameless stereotaxy / **H. Brontë-Stewart, S. Louie, J. M. Henderson** // *J. Neurosurgery*. – 2010. – V. 67, № 4. – P. 1088-1093.
- 2 **Raza, S. M.** Minimally Invasive Trans-Portal Resection of Deep Intracranial Lesions / **S. M. Raza, P. F. Recinos, J. Avendano, H. Adams, G. I. Jallo, A. Ouinones-Hinojosa** // *Minim Invas Neurosurg J.* – 2011. – V 54. – P. 5-11.
- 3 **Mazziotta, J. C.** A Probabilistic Atlas of the Human Brain: Theory and Rationale for Its Development / **J. C. Mazziotta, A. W. Toga, A. Evans, P. Fox, J. Lancaster** // *Neuroimage*. – 1995. – V. 2, № 2. – P. 89-101.
- 4 **Lancaster, J. L.** Automated Talairach Atlas labels for functional brain mapping / **J. L. Lancaster, M. G. Woldorff, L. M. Parsons, M. Liotti, C. S. Freitas et al.** // *Human Brain Mapping*. – 2000. – № 10. – P. 120-131.
- 5 **Lancaster, J. L.** Automated labeling of the human brain: A preliminary report on the development and evaluation of a forward-transform method / **J. L. Lancaster, L. H. Rainey, J. L. Summerlin, C. S. Freitas et al.** // *Human Brain Mapping*. – 1997. – № 5. – P. 238 - 242.
- 6 **Linguraru, M. G.** Segmentation Propagation from Deformable Atlases for Brain Mapping and Analysis / **M. G. Linguraru, T. Vercauteren, M. Reyes-Aguirre, M. A. G. Ballester, N. Ayache** // *Brain Research Journal*. – 2007. – V. 1, – № 4. – P. 1-18.
- 7 **Poston, T.** The Brain Bench: virtual stereotaxis for rapid neurosurgery planning and training / **T. Poston, W. L. Nowinski, L. Serra, C. B. Choon, N. Hern** // *Visualization in Biomedical Computing*. – 1996. – P. 491 - 500.
- 8 **Wittek, A.** Computing Reaction Forces on Surgical Tools Robotic Neurosurgery and Surgical Simulation / **A. Wittek, J. Laporte, K. Miller, R. Kikins, S. K. Warfield** // *Proc of Australasian Conference on Robotics and Automation ACRA*. – 2004. P. 1-8.
- 9 **Lancaster, J. L.** Bias Between MNI and Talairach Coordinates Analyzed Using the ICBM-152 Brain Template / **J. L. Lancaster D. Tordesillas-Gutierrez M. Marinez F. Salinas et al.** // *Human Brain Mapping*. – 2007. – № 28. – P. 1194-1207.
- 10 **Тымкович, М. Ю.** Способ реконструкции интактной поверхности хирургических доступов / **М. Ю. Тымкович, О. Г. Аврунин, Х. И. Фарук** //

Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – V. 4. – №9 (70). – С. 37-41.

- 11 **Аврунин, О. Г.** Определение степени инвазивности хирургического доступа при компьютерном планировании оперативных вмешательств / **О. Г. Аврунин, М. Ю. Тымкович, Х. И. Фарук** // *Бионика интеллекта*. – 2013. – Вып. 2 (81). – С. 101-104.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Brontë-Stewart, H., Louie S., Batya, S., Henderson, J. M.** Clinical motor outcome of bilateral subthalamic nucleus deep-brain stimulation for Parkinson's diseases using image-guided frameless stereotaxy. *J. Neurosurgery*. – 2010. – № 4(67). – P. 1088-1093.
- 2 **Raza, S. M., Recinos, P. F., Avendano, J., Adams, H., Jallo, G. I., Ouinones-Hinojosa, A.** Minimally Invasive Trans-Portal Resection of Deep Intracranial Lesions. *Minim Invas Neurosurg J.* – 2011. – № 54. – P. 5-11.
- 3 **Mazziotta, J. C., Toga, A. W., Evans, A., Fox, P., Lancaster, J.** A Probabilistic Atlas of the Human Brain: Theory and Rationale for Its Development. *Neuroimage*. – 1998. – № 2(2). – P. 89-101.
- 4 **Lancaster, J. L., Woldorff, M. G., Parsons, L. M., Liotti, M., Freitas, C. S., Rainey, L., Kochunov, P. V., Nickerson, D., Mikiten, S. A., Fox, P. T.** Automated Talairach Atlas labels for functional brain mapping. *Human Brain Mapping*. – 2000. – № 10. – P. 120-131.
- 5 **Lancaster, J. L., Rainey, L. H., Summerlin, J. L., Freitas, C. S., Fox, P. T., Evans, A. C., Toga, A. W., Mazziotta, J. C.** Automated labeling of the human brain: A preliminary report on the development and evaluation of a forward-transform method. *Human Brain Mapping*, 1997, № 5, P. 238-242.
- 6 **Linguraru, M. G., Vercauteren, T., Reyes-Aguirre, M., Ballester, M. A. G., Ayache, N.** Segmentation Propagation from Deformable Atlases for Brain Mapping and Analysis. *Brain Research Journal*, 2007, № 4(1), P. 1-18.
- 7 **Poston, T., Nowinski, W. L., Serra, L., Choon, C. B., Hern, N.** The Brain Bench: virtual stereotaxis for rapid neurosurgery planning and training. *Visualization in Biomedical Computing*. – 1996. – P. 491-500.
- 8 **Wittek, A., Laporte, J., Miller, K., Kikins, R., Warfield, S. K.** Computing Reaction Forces on Surgical Tools Robotic Neurosurgery and Surgical Simulation. *Proc of Australasian Conference on Robotics and Automation ACRA*. – 2004. – P. 1-8.
- 9 **Lancaster, J. L., Tordesillas-Gutierrez, D., Marinez, M., Salinas, F., Evans, A., Zilles, K., Mazziotta, J. C., Fox, P. T.** Bias Between MNI and Talairach Coordinates Analyzed Using the ICBM-152 Brain Template. *Human Brain Mapping*. – 2007. – № 28. – P. 1194-1205.
- 10 **Tymkovych, M. Y., Avrunin, O. G., Farouk, H. I.** Reconstruction method of the intact surface of surgical accesses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2014. – № 9(70). – P. 37-41.
- 11 **Avrunin, O. G., Tymkovych, M. Y., Farouk, H. I.** Determining the degree of invasiveness of surgical access for planning surgery. *Bionics of Intelligense*. – 2013. – № 2(81). – P. 101-104.

Поступила (received) 20.06.2015