

УДК 611.817.18:572.087

*Д.Н. Шиян*

*Харківський національний медичинський університет*

## **ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ЯДЕР МОЗЖЕЧКА НА СКТ ПО ІХ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКИМ КООРДИНАТАМ**

На языке программирования Borland Delphi v. 7.0 с использованием API OpenGL разработано программное обеспечение, позволяющее осуществлять визуализацию воксельной модели. Разработан алгоритм мультипланарной реконструкции ядер мозжечка по аксиальным томографическим срезам мозжечка, что позволяет выполнять общепринятые хирургические расчеты без использования традиционных методов контрастной рентгенографии.

**Ключевые слова:** *томограф, стереотаксис, мозжечок.*

Неврологическая клиника, а также стремительно развивающаяся нейрохирургия нуждаются в дальнейших исследованиях морфологических структур головного мозга [1–4].

Метод МРТ основан на исследовании распределения плотности ядер водорода (протонной плотности). С помощью данного метода возможно достаточно подробное изучение структуры мягких тканей, особенно при дифференциации опухолевых процессов от реактивного отека тканей и т. д. [5–9]. Костные структуры (из-за малого количества ядер водорода) визуализируются с меньшей точностью, например, чем при использовании рентгеновских методов интроскопии, таких как традиционная рентгенография, КТ и СКТ. Пространственное разрешение низкопольных и среднепольных методов МРТ составляет 1,5–3,0 мм, тогда как у стандартных СКТ в плоскости среза тот же показатель равен 0,4 мм. На основании сказанного можно утверждать, что на сегодняшний день пригодным для нейрохирургического планирования и задач нейронавигации принято считать метод СКТ [10–15].

Цель исследования – разработать метод визуализации ядер мозжечка на снимках, сделанных с помощью СКТ.

**Материал и методы.** Использованы данные об индивидуальной анатомической

изменчивости стереотаксических координат ядер мозжечка, а также их топографо-анатомических особенностях строения, полученные и описанные в наших ранних работах, которые были проведены на 460 препаратах мозжечка людей, умерших в возрасте от 20 до 99 лет вследствие заболеваний, не связанных с поражением центральной нервной системы и сосудов головного мозга. В ходе работы использованы 10 снимков исследования головного мозга и мозжечка с помощью СКТ (из архивного материала КУОЗ «ОКБ – ЦЭМП и МК», г. Харьков), методы морфометрии и определения стереотаксических координат. Полученные результаты проанализированы статистически.

**Результаты и их обсуждение.** Рассмотрим подробно этапы стереотаксических расчетов координат ядер мозжечка. Исходными данными являются наборы томографических срезов, полученных методом СКТ. Томограммы представляют собой реконструированные изображения срезов головного мозга в аксиальной проекции и образуют структурированные массивы плотностей тканей, выраженных в единицах Хаунсфилда. Данный тип интроскопической визуализации выбран, исходя из критерия наиболее детализированного отображения костных структур для привязки координат к области хирургического вмешательства при наведении

© Д.Н. Шиян, 2015

стереотаксического инструмента. Томографическое исследование выполняют при стандартной томографической укладке в процессе изготовления срезов параллельно плоскости основания черепа – вдоль орбитомеатальной линии (o-m), соединяющей центры орбиты и наружного слухового прохода (рис. 1, а).

Область мозжечка, подлежащая хирургическому воздействию, характеризуется изоденсивными состояниями и контрастно (с высокой степенью детализации субструктур) не визуализируется на СКТ-изображениях. В этом случае применяется метод косвенной визуализации области оперативного вмешательства с помощью привязки к опорным точкам – ориентирам внутри мозга,

льным через область максимального удлинения IV желудочка.

Для нахождения соответствующих ориентиров необходимый шаг сканирования должен быть 1–2 мм, при пространственном разрешении срезов в аксиальной плоскости – не более 0,5 мм. Исходя из конфигурации IV желудочка и пространственной ориентации томографических срезов, целесообразно нахождение ориентиров проводить на томограммах сверху-вниз (рис. 1, а), для визуализации срезов аксиальной плоскости до тех пор, пока не будет достигнута максимальная длина IV желудочка (рис. 1, б) с обозначением точки  $p_1$  у переднего края IV желудочка. Далее на срезе 3 (рис. 1, г) на уровне значительного уменьшения длины IV желудочка у его пе-

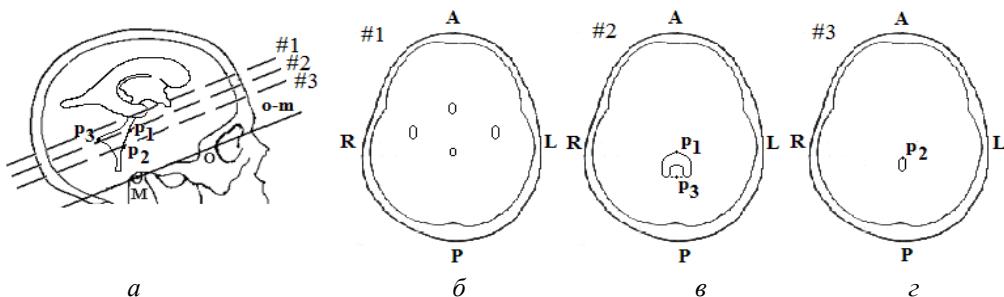


Рис. 1. Схема томографического исследования при выполнении срезов параллельно плоскости основания черепа – вдоль орбитомеатальной линии (o-m)

построения внутримозговой системы координат и определения локализации зоны воздействия по усредненным данным. В качестве таких ориентиров при воздействиях на структурах мозжечка применяют характерные точки IV желудочка головного мозга. При этом нулевая фронтальная плоскость ( $\Phi$ ) проходит через передний край (дно) IV желудочка, нулевая горизонтальная ( $\Gamma$ ) – перпендикулярно ей через область максимального удлинения IV желудочка, а срединная сагиттальная ( $Cg$ ) – перпендикулярно оста-

рьного края обозначают точку  $p_2$ . Точку  $p_3$  на срезе 2 (рис. 1, в) обозначают как центр отрезка, соединяющего наиболее удаленные точки заднего края IV желудочка. Через эти точки ( $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ) проводят срединно-сагиттальную плоскость ( $Cg$ ). Нулевую фронтальную плоскость ( $\Phi$ ) проводят через точки  $p_1$  и  $p_2$  с нормалью, расположенной в срединно-сагиттальной плоскости. Горизонтальная плоскость ( $\Gamma$ ) проходит перпендикулярно  $\Phi$  и  $Cg$ , что в совокупности образует прямоугольную систему внутримозговых координат (рис. 2).

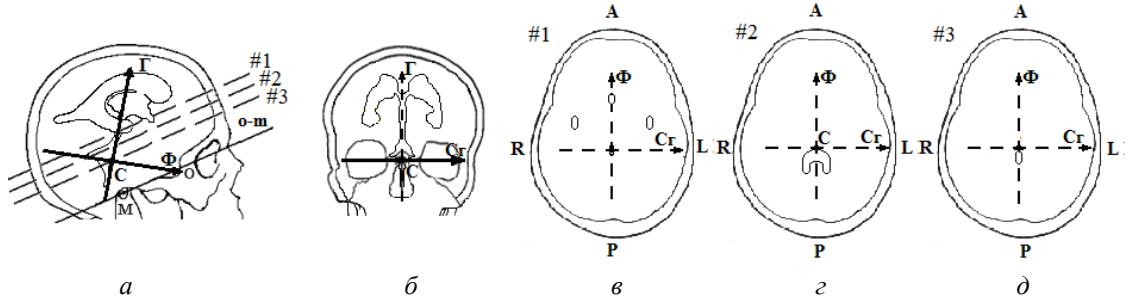


Рис. 2. Схема построения системы внутримозговых координат

За центр (С) цієї системи координат приймають точку пересечення нулевих площин ( $\Phi$ , Г і Сг), розташовану у переднього края IV желудочка (рис. 2 а, б), отображену в сагіттальній і фронтальній площині, а також проекції цієї точки на аксиальних томографіческих срезах (рис. 2, в–д). Следует учитывать, что система координат томографического сканирования и внутримозговая не совпадают, а повернуты во фронтальной плоскости относительно друг друга на угол, близкий к  $45^\circ$ . В связи с этим из-за сравнительно высокой дискретности шага томографического сканирования и уменьшения погрешностей реконструкции необходимо стремиться выполнять построение системы внутримозговых координат таким образом, чтобы центр системы координат точно визуализировался на одном из аксиальных срезов. В таком случае возможен наглядный визу-

альный контроль за процедурой построения системы внутримозговых координат.

Следующим этапом относительно построенной системы внутримозговых координат (рис. 3) по статистическим данным с учетом возрастной, гендерной и индивидуальной анатомической изменчивости определяют координаты локалізації и размеров області оперативного вмешательства и их визуалізацію (рис. 4).

Ввод данных, касающихся локалізації ядра-мишени, осуществляется інтерактивним указанием пространственных координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (полученных по данным статистических исследований) относительно центра выбранной системи стереотаксических координат, что предусмотрено как стандартным программным обеспечением для просмотра томографических данных (CT-dataset), например: E-film, E-film-lite, Dicom-view, Easy

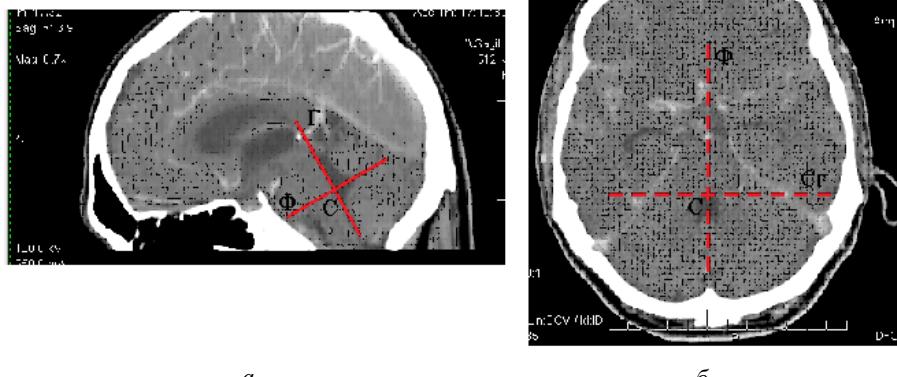


Рис. 3. Система внутримозговых координат: а – на мультипланарной реконструкции в сагиттальній площині обозначені основні площини; б – проекції осей координат на аксиальних срезах

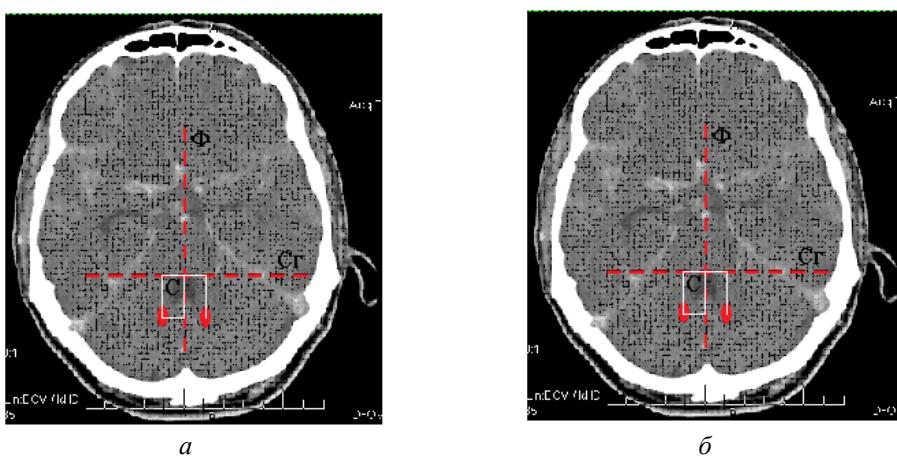


Рис. 4. Система внутримозговых координат на томографических срезах

Dicom, так и программным обеспечением, входящим в состав навигационных систем Easy Guide, Stealth-Station и др.

При выполнении стереотаксического наведения с использованием современных нейронавигационных систем полученные расчетным путем координаты области оперативного вмешательства относительно внутримозговой системы координат необходимо связать с костными черепными ориентирами, контрастно визуализируемыми с помощью обзорных рентгенографических снимков (рис. 5).

надлежности элементов объема конкретной структуре мозга. Визуализация воксельной модели осуществляется с помощью матричных преобразований в однородных координатах. Предварительным этапом визуализации воксельной модели являются преобразования систем координат, включающие представление модели в локальных внутримозговых координатах, отображение модели в системе координат операционного поля и проектирование в систему координат экрана (области вывода).

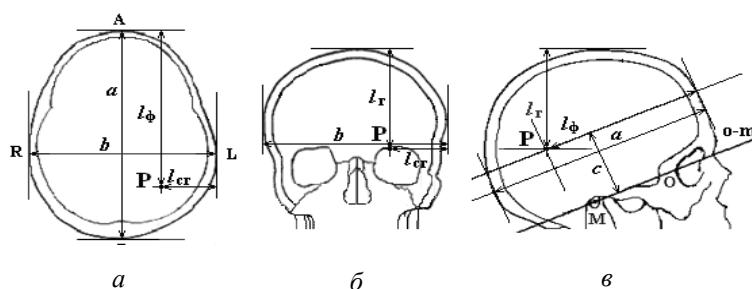


Рис. 5. Стереотаксическое наведение: *а* – расчеты фронтальной ( $\Phi$ ) и сагиттальной (Сг) стереотаксических координат; *б* – определение горизонтальной координаты ( $\Gamma$ ) по обзорному снимку в сагиттальной проекции; *в* – визуализация сагиттального (Сг) смещения точки Р на обзорном снимке во фронтальной проекции

Для задач, связанных с хирургическим планированием, необходимо непосредственное отображение объемных данных на основе воксельной модели, позволяющей с высокой точностью визуализировать внутренние структуры мозга. Кроме того, необходимо использование методов сегментации для преобразования простой полутоновой воксельной модели в обобщенную воксельную модель, содержащую информацию о при-

длее проводят аффинные преобразования внутримозговых координат расположения точки-мишени в координаты томографических изображений с помощью параллельного переноса и поворота осей координат (рис. 6). Параметры  $l_{\Phi}$ ,  $l_{Сг}$ ,  $l_{\Gamma}$  – расстояния от точки Р до опорных костных ориентиров (внешних костных стенок, границы которых визуализируются с наибольшей резкостью), что облегчает привязку координат.

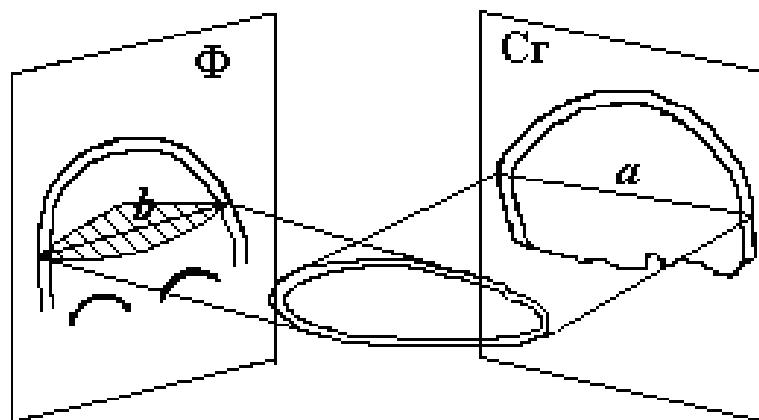


Рис. 6. Схема получения расчетного томографического среза

**Выводы**

1. По результатам работы на языке программирования Borland Delphi v. 7.0 с использованием API OpenGL разработано программное обеспечение, позволяющее осуществлять визуализацию воксельной модели.
2. Разработанный алгоритм мультипланарной реконструкции ядер мозжечка по аксиальным томографическим срезам моз-

жечка позволяет выполнять общепринятые хирургические расчеты без использования традиционных методов контрастной рентгенографии. Точность реконструкции при этом зависит от шага сканирования и составляет величину порядка 1 мм при значительно более высокой информативности, связанной с принципом получения томографических изображений.

**Список литературы**

1. Хейнс Д. Нейроанатомия: атлас структур, срезов и систем / Д. Хейнс. – М. : Логосфера, 2008. – 344 с.
2. The dentate nucleus and its projection system in the human cerebellum: the dentate nucleus microsurgical anatomical study / A. Akakin, M. Peris-Celda, T. Kilic [et al.] // Neurosurgery. – 2014. – V. 74, № 4. – P. 401–424.
3. Козлова Г. П. Нейрохирургические аспекты топографии ядер мозжечка : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. мед. наук : спец. 14.00.28 «Топографическая анатомия», 14.00.02 «Нормальная анатомия» / Г. П. Козлова. – Ленинград, 1981. – 16 с.
4. Stoodley C. J. Functional topography of the cerebellum for motor and cognitive tasks: an fMRI study / C. J. Stoodley, E. M. Valera, J. D. Schmahmann // Neuroimage. – 2012. – V. 59, № 2. – P. 1560–1570.
5. High resolution MRI anatomy of the cat brain at 3Tesla / H. L. Gray-Edwards, N. Salibi, E. M. Josephson [et al.] // J. Neurosci. Methods. – 2014. – V. 227. – P. 10–17.
6. Hamodeh S. Dendritic specialization within the mammalian cerebellar nuclei revealed by 3D-reconstruction and an unbiased population-based analysis / S. Hamodeh, I. Sugihara, F. R. Sultan // 42<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Society-for-Neuroscience : Conference, New Orleans, LA, USA, October 13–17, 2012 // Society for Neuroscience. – New Orleans, 2012. – Poster N : 477.22/LL11.
7. Digit somatotopy in the human cerebellum: a 7 T fMRI study / W. van der Zwaag, R. Kusters, A. Magill [et al.] // Neuroimage. – 2013. – V. 67. – P. 354–362.
8. Activation of the cerebellar cortex and the dentate nucleus in a prism adaptation fMRI study / M. Küper, M. J. Wünnemann, M. Thürling [et al.] // Hum. Brain Mapp. – 2014. – V. 35, № 4. – P. 1574–1586.
9. A 7T fMRI study of cerebellar activation in sequential finger movement tasks / M. R. Stefanescu, M. Thürling, S. Maderwald [et al.] // Exp. Brain Res. – 2013. – V. 228, № 2. – P. 243–254.
10. Аврунин О. Г. Определение степени инвазивности хирургического доступа при компьютерном планировании оперативных вмешательств / О. Г. Аврунин, М. Ю. Тимкович, Х. И. Фарук // Бионика интеллекта. – 2013. – № 3 (81). – С. 101–104.
11. Тымкович М. Ю. Способ реконструкции интактной поверхности хирургических доступов / М. Ю. Тымкович, О. Г. Аврунин, Х. И. Фарук // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 4/9 (70). – С. 37–41.
12. The surgical navigation system with optical position determination technology and sources of errors USA / O. G. Avrunin, M. Alkhoraef, Hustam Farouk Ismail Saied, M. Y. Tymkovich // Journal of Medical Imaging and Health Informatics. – 2015. – V. 5. – P. 1–8.
13. Козаченко А. В. Метод определения стереотаксических координат мишени головного мозга человека по данным рентгеновской компьютерной томографии : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.11.01 «Приборы и методы измерения (по видам измерений)» / А. В. Козаченко. – Санкт-Петербург, 2007. – 21 с.
14. Stereotaxic model of cerebellar nucle / C. Schindle, P. Nadvornik, S. Nemecek, E. Kubiasova // Cesk. Neurol. – 1964. – V. 27. – P. 370–371.
15. MRI atlas of the human cerebellar nuclei / A. Dimitrova, J. Weber, C. Redies [et al.] // Neuroimage. – 2002. – V. 17, № 1. – P. 240–255.

---

**Д.М. Шиян****ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ЯДЕР МОЗОЧКА НА СКТ ПО ЇХ СТЕРЕОТАКСИЧНИХ КООРДИНАТАХ**

На мові програмування Borland Delphi v. 7.0 з використанням API OpenGL розроблено програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати візуалізацію воксельної моделі. Розроблено алгоритм мультипланарної реконструкції ядер мозочка за аксіальними томографічними зрізами мозочка, що дозволяє виконувати загальноприйняті хірургічні розрахунки без використання традиційних методів контрастної рентгенографії.

**Ключові слова:** *томограф, стереотаксис, мозочок.*

**D.N. Shyian****VISUALIZATION OF CEREBELLAR NUCLEI ON THE SCT ACCORDING TO THEIR STEREOTACTIC COORDINATES**

In the programming language Borland Delphi v. 7.0 the software allowing visualizing the voxel model with the use of API OpenGL was developed. The algorithm of multilane reconstruction of the nuclei of the cerebellum on the axial topographic slices of the cerebellum that allows performing common surgical calculations without the use of traditional methods of contrast radiography.

**Keywords:** *tomograph, stereotaxis, cerebellum.*

*Поступила 26.10.15*