

УДК 611.817.18:572.087

ДЕНИС НИКОЛАЕВИЧ ШИЯН, ВЛАДИМИР ДМИТРИЕВИЧ МАРКОВСКИЙ

*Харьковский национальный медицинский университет*

## **СПОСОБ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЯДЕР МОЗЖЕЧКА НА СНИМКАХ СПИРАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

Для нейрохирургического планирования и задач нейронавигации используется метод спирального компьютерного томографа (СКТ).

**Цель работы.** Визуализировать ядра мозжечка на снимках СКТ по их стереотаксическим координатам.

**Материал и методы.** Исследование проведено на 430 препаратах мозжечка людей от 20 до 99 лет, 10 снимках СКТ головного мозга и мозжечка, а также статистического анализа.

**Результаты.** Разработан алгоритм мультипланарной реконструкции ядер мозжечка по аксиальным томографическим срезам мозжечка, который 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.

**Выводы.** На языке программирования Borland Delphi v.7.0 с использованием API OpenGL разработано программное обеспечение, позволяющее осуществлять визуализацию воксельной модели.

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

Развитие новых направлений в современной оперативной хирургии и разработка новых оперативных вмешательств требуют их глубокого анатомического обоснования с использованием современных методов исследования. В настоящее время особый интерес приобретает изучение индивидуальной изменчивости в топографии коры и подкорковых структур мозжечка в связи с разработкой новых методов нейрохирургических вмешательств и неврологических заболеваний этого органа [1, 3, 8].

Метод магнитно-резонансной томографии (МРТ) основан на исследовании распределения плотности ядер водорода (протонной плотности) и с помощью него возможно достаточно подробное изучение структуры мягких тканей, особенно при дифференциации опухолевых процессов от реактивного отека тканей и т. д. [2, 7, 9]. Костные структуры (из-за малого количества ядер водорода) визуализируются с меньшей точностью, например, по сравнению с рентгеновскими методами интроскопии, такими как традиционная рентгенография, компьютерная томография (КТ) и метод спирального компьютерного томографа (СКТ). Пространственное разрешение низкочастотных и среднечастотных методов МРТ составляет 1,5–3,0 мм, тогда как у стандартных СКТ в плоскости среза тот же показатель составляет 0,4 мм. На основании вышесказанного можно утверждать, что на сегодняшний день пригодным для нейрохирургического планирования и задач нейронавигации принято считать метод СКТ [4–6, 10].

Цель исследования — визуализировать ядра мозжечка на снимках спирального компьютерного томографа по их стереотаксическим координатам.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследование проведено на 430 препаратах мозжечка людей, умерших в возрасте от 20 до 99 лет вследствие заболеваний, не связанных с поражением сосудистой и центральной нервной систем, 10 снимках исследования головного мозга и мозжечка с помощью СКТ (из архивного материала КУОЗ ОКБ «ЦЭМП и МК», г. Харьков), статистического анализа.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

При проведении операций на ядрах мозжечка для визуализации их на снимках СКТ по их стереотаксическим координатам исходными данными являются наборы томографических срезов. Томографическое исследование выполняется при стандартной томографической укладке при выполнении срезов параллельно плоскости основания черепа — вдоль орбитомеатальной линии (o-m), соединяющей центры орбиты и наружного слухового прохода (рис. 1 а).

Томограммы представляют собой реконструированные изображения срезов головного мозга в аксиальной проекции и образуют структурированные массивы плотностей тканей, выраженные в единицах Хаунсфилда. Данный тип интроскопической визуализации выбран исходя из критерия наиболее детализированного отображения костных структур для привязки координат области хирургического

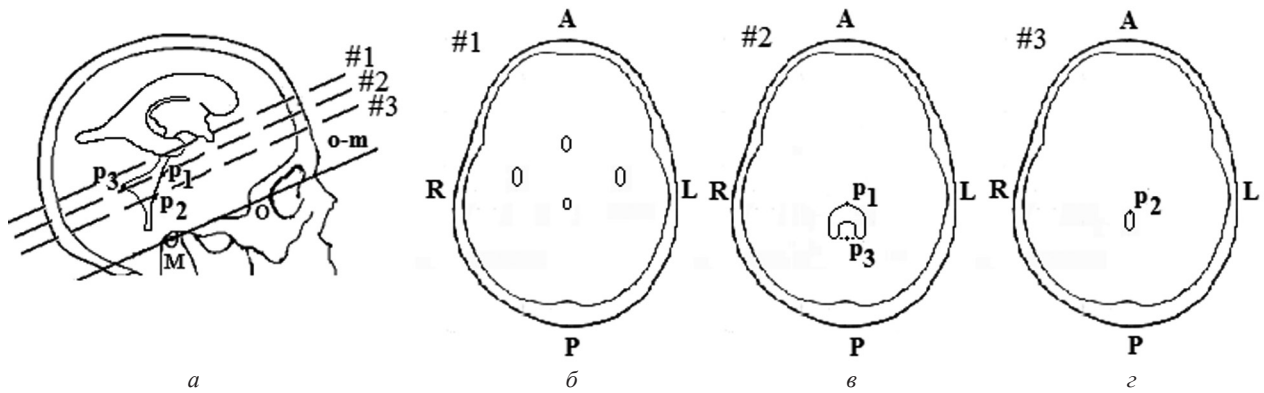


Рис. 1. Томографическое исследование при выполнении срезов параллельно плоскости основания черепа — вдоль орбито-меатальной линии (o-m)

вмешательства при наведении стереотаксического инструмента.

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, 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 (Ф) проходит через передний край (дно) IV желудочка, нулевая горизонтальная (Г) — перпендикулярно ей через область максимального удлинения IV желудочка, а срединная сагиттальная (Сг) — перпендикулярно остальным, 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 оценивая аксиальные томограммы (рис. 1, б–г) до тех пор, пока не будет достигнута максимальная длина IV желудочка (рис. 1 в) с обозначением точки P1 у переднего края IV желудочка. Далее на срезе №3 (рис. 1 г) на уровне значительного уменьшения

длины IV желудочка у его переднего края обозначается точка P2. Точка P3 на срезе №2 (рис. 1 в) обозначается как центр отрезка, соединяющего наиболее удаленные точки заднего края IV желудочка. Через эти 3 точки (P1, P2, P3) проводится срединно-сагиттальная плоскость (Сг). Нулевая фронтальная плоскость (Ф) проводится через точки P1 и P2 с нормалью, расположенной в срединно-сагиттальной плоскости. Горизонтальная плоскость (Г) проходит перпендикулярно Ф и Сг, что в совокупности образует прямоугольную систему внутримозговых координат (рис. 2).

Центром (С) этой системы координат принимается точка пересечения нулевых плоскостей (Ф), (Г), (Сг), расположенная у переднего края IV желудочка (рис. 2 а, б, отображаемая в сагиттальной и во фронтальной плоскостях соответственно, а также проекции этой точки на аксиальных томографических 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°. Поэтому 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. Тогда возможен наглядный визуальный контроль за процедурой построения системы внутримозговых координат.

Далее, относительно построенной системы внутримозговых координат (рис. 3) по статистическим данным с учетом возрастной, гендерной и индивидуальной

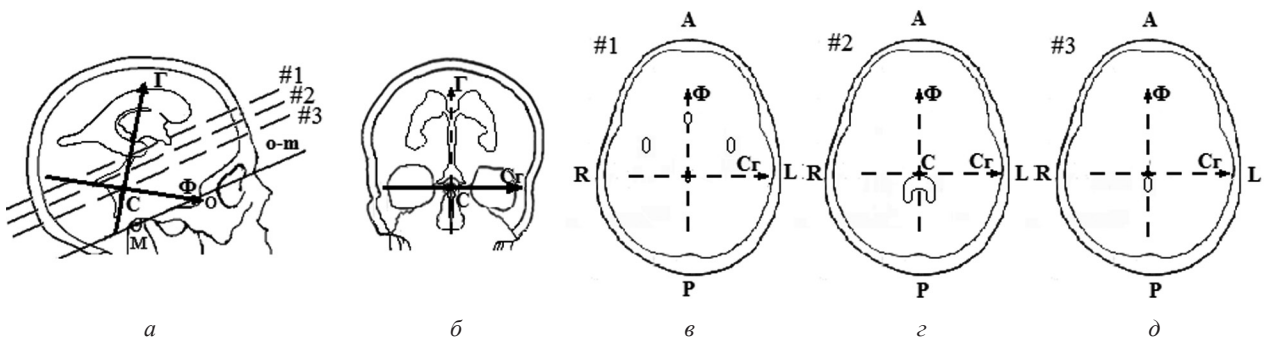
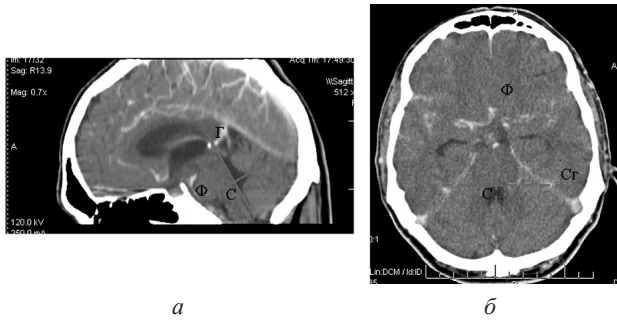
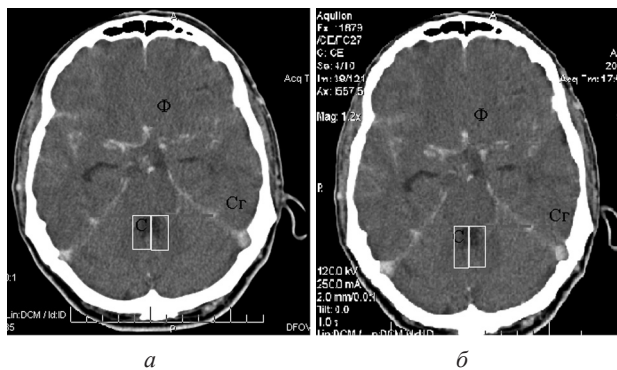


Рис. 2. Схематическая иллюстрация построения системы внутримозговых координат



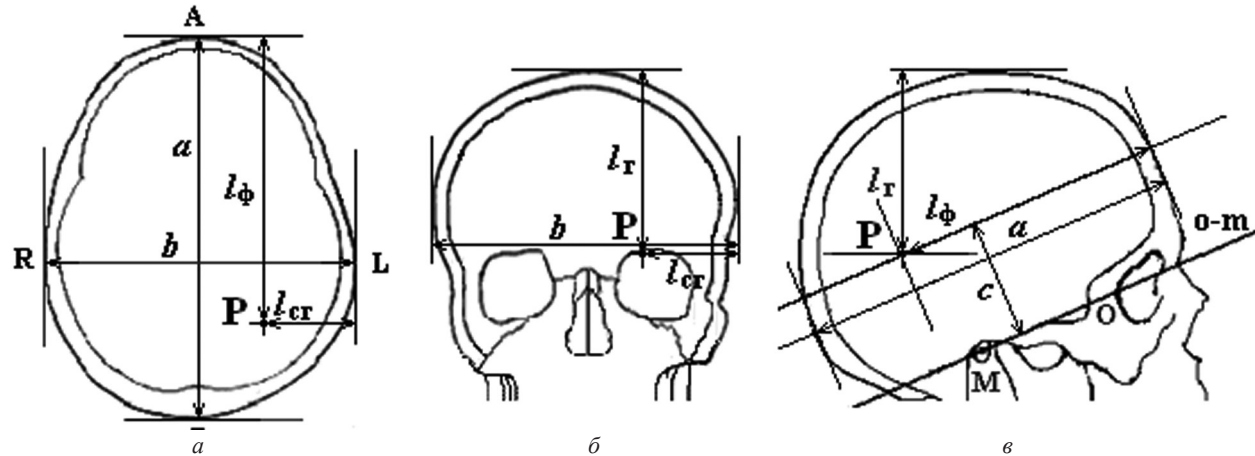
**Рис. 3.** Построение системы внутримозговых координат; *a* — на мультипланарной реконструкции в сагиттальной плоскости обозначены основные плоскости; *b* — проекции осей координат на аксиальных срезах

анатомической изменчивости, выполняется определение координат локализации и размеров области оперативного вмешательства и ее визуализация (рис. 4).



**Рис. 4.** Построение системы внутримозговых координат на томографических срезах

Ввод данных о локализации ядра-мишени осуществляется интерактивным указанием пространственных координат *x*, *y*, *z* (полученных по данным статистических исследований) относительно центра выбранной системы стереотаксических координат, что предусмотрено стандартным программным обеспечением для просмотра томографических данных (CT-dataset), например E-film, E-film-lite, Dicom-view, Easy Dicom или программным обеспечением, входящим в состав навигационных систем Easy Guide, Stealth-Station и др.



**Рис. 5.** Стереотаксическое наведение; *a* — проводятся расчеты фронтальной  $\Phi$  и сагиттальной  $C\Gamma$  стереотаксических координат; *b* — горизонтальная координата  $\Gamma$  определяется по обзорному снимку в сагиттальной проекции; *c* — визуализация сагиттального  $C\Gamma$  смещения точки  $P$  проводится на обзорном снимке во фронтальной проекции

Для выполнения стереотаксического наведения при использовании 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).

Параметры  $l_\phi$ ,  $l_\gamma$ ,  $l_\epsilon$  определяют расстояния от точки  $P$  до опорных костных ориентиров (внешних костных стенок, границы которых визуализируются с наибольшей резкостью), что облегчает привязку координат.

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 принадлежности 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 проецирование в систему координат экрана (области вывода).

**ВЫВОДЫ**

Разработан алгоритм мультипланарной реконструкции ядер мозжечка по аксиальным томографическим срезам мозжечка, который позволяет выполнять общепринятые хирургические расчеты без использования традиционных методов контрастной рентгенографии.

По результатам работы на языке программирования Borland Delphi v.7.0 с использованием API OpenGL разработано программное обеспечение, позволяющее осуществлять визуализацию воксельной модели.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Аврунин О. Г.* Принципы компьютерного планирования функциональных оперативных вмешательств / О. Г. Аврунин // *Технічна електродинаміка*. — 2011. — Ч. 2. Тематичний випуск : Силова електроніка та енергоефективність. — С. 293–298.
2. *Ситицкий В. И.* Особенности применения методик 2D и 3D компьютерной томографии при моделировании имплантатов для краниопластики фронтоорбитальных костных дефектов / В. И. Ситицкий, Ю. А. Бабалян, О. Г. Аврунин // *Медицина сегодня и завтра*. — 2007. — № 4. — С. 60–63.
3. *3D visualization of deep cerebellar nuclei using 7T MRI* / S. Maderwald, M. Küper, M. Thürling [et al.] // *Neuroimage*. — 2006. — Vol. 30. — P. 12–25.
4. *A 7TfMRI study of cerebellar activation in sequential finger movement tasks* / M. R. Stefanescu, M. Thürling, S. Maderwald [et al.] // *Exp. Brain Res.* — 2013. — Vol. 228, N 2. — P. 243–254.
5. *Age-related changes of the dentate nuclei in normal adults as revealed by 3D fast low angle shot (FLASH) echo sequence magnetic resonance imaging* / M. Maschke, J. Weber, A. Dimitrova [et al.] // *J. Neurol.* — 2004. — Vol. 251, N 6. — P. 740–746.
6. *Grimaldi G.* Topography of cerebellar deficits in humans / G. Grimaldi, M. Manto // *Cerebellum*. — 2011. — Vol. 11, N 2. — P. 336–351.
7. *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 // 42nd 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.b
8. *Involvement of the cerebellar cortex and nuclei in verbal and visuospatial working memory: A 7T fMRI* / M. Thuerling, H. Hautzel, M. Kueper [et al.] // *Neuroimage*. — 2012. — Vol. 62, N 3. — P. 1537–1550. — DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.05.037.
9. *Probabilistic 3D MRI atlas of the human cerebellar dentate/interposed nuclei* / A. Dimitrova, D. Zeljko, F. Schwarze [et al.] // *Neuroimage*. — 2006. — Vol. 30, N 1. — P. 12–25.
10. *Three-dimensional microsurgical anatomy of cerebellar peduncles* / P. Perrini, G. Tiezzi, M. Castagna, R. Vannozzi // *Neurosurg. Rev.* — 2013. — Vol. 36, N 2. — P. 224–225.

Статья поступила в редакцию 25.04.2016.

Д. М. ШИЯН, В. Д. МАРКОВСЬКИЙ

*Харківський національний медичний університет*

**СПОСІБ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЯДЕР МОЗОЧКА НА ЗНІМКАХ СПІРАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА ПРИ ПРОВЕДЕННІ СТЕРЕОТАКСИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ**

Для нейрохірургічного планування та завдань нейронавігації використовується метод спірального комп'ютерного томографа (СКТ).

**Мета дослідження.** Візуалізувати ядра мозочка на знімках СКТ за їх стереотаксичними координатами.

**Матеріали і методи.** Дослідження проведено на 430 препаратах мозочка людей віком від 20 до 99 років, 10 знімках СКТ головного мозку та мозочка, а також статистичного аналізу.

**Результати.** Розроблений алгоритм мультипланарної реконструкції ядер мозочка за аксіальними томографічними зрізами мозочка, який дозволяє виконувати загальноприйняті хірургічні розрахунки без використання традиційних методів контрастної рентгенографії. Точність реконструкції при цьому залежить від кроку сканування і становить величину порядку 1 мм при значно більш високій інформативності, пов'язаній із принципом отримання томографічних зображень.

**Висновки.** На мові програмування Borland Delphi v.7.0 з використанням API OpenGL розроблено програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати візуалізацію воксельної моделі.

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

D. N. SHYIAN, V. D. MARKOVSKIY

*Kharkiv National Medical University*

**METHOD OF VISUALIZATION OF CEREBELLUM NUCLEI IN SPIRAL CT IMAGES IN STEREOTACTIC OPERATIONS**

**Abstract.** Method of visualization of cerebellum nuclei in spiral CT images in stereotactic operations. For neurosurgical planning and neuronavigation tasks the method of spiral computer tomography (SCT) is used.

**Purpose.** to visualize cerebellum nuclei in SCT images according to their stereotactic coordinates.

**Material and methods.** The study was performed on 430 specimens of the cerebellum of people aged from 20 to 99, 10 SCT images of the brain and cerebellum with the use of statistical analysis methods.

**Results.** In the course of the study the algorithm of multilane reconstruction of cerebellum nuclei on the axial tomographic slices of the cerebellum, which makes it possible to perform common surgical calculations without the use of traditional methods of contrast radiography, has been elaborated. Wherein the accuracy of reconstruction

depends on scan step and it is of 1 mm order in higher information content associated with the principle of obtaining tomographic images.

In the programming language Borland Delphi v.7.0 using API OpenGL the software allowing to visualize the voxel model has been developed.

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

**Контактная информация:**

Шиян Денис Николаевич

канд. мед. наук, доцент кафедры анатомии человека

Харьковского национального медицинского университета

пр. Науки, 4, г. Харьков, 61022, Украина

тел.: +38 (099) 658-61-87, (063) 853-25-67

e-mail: den.doctor@rambler.ru