

позитивных клеток и отрицательно с общим количеством нейронов на единицу площади.

3. Распространенность Fas-индуцированного апоптоза как нейронов, так и астроцитов зависит от концентрации sFasL и соотношения sFasL к sFas.

### *Литература*

1. Сергеева С. П., Савин А. А., Литвицкий П.Ф. Роль Системы Fas в патогенезе ишемического инсульта// Журнал неврологии и психиатрии. – 2016. - №116(3-2). – С. 3-8.
2. Broughton B.R.S., Reutens D.C., Sobey C.G. Apoptotic Mechanisms After Cerebral Ischemia// Stroke. – 2009. - №40. – P.E331-E339.
3. Hoke M., Schillinger M., Zorn G. et al. The prognostic impact of soluble apoptosis-stimulating fragment on mortality in patients with carotid atherosclerosis// Stroke. – 2011. - №42. – P.2465-2470.
4. Loyd-Jones D., Adams R., Carnethon M. et al. Heart disease and stroke statistics—2009 update a report from the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee// Circulation. – 2009. - №119(3). – P.e21-e181.
5. Ramos-Fernandez M., Bellolio M. F., Stead L. G. Matrix metalloproteinase-9 as a marker for acute ischemic stroke: a systematic review// Journal of stroke and cerebrovascular diseases. – 2011. - №20(1). – P.47–54.
6. Roger V. L., Go A. S., Lloyd-Jones D. M. et al. Heart disease and stroke statistics—2012 update a report from the American heart association// Circulation. – 2012. - №125(1). - P.e2-e220.

## **ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАК МЕТОД МОРФОМЕТРИИ В НЕЙРОМОРФОЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОГО ВЕЩЕСТВА МОЗЖЕЧКА ЧЕЛОВЕКА**

*Степаненко А.Ю., Марьенко Н.И.*

Харьковский национальный медицинский университет, Харьков,  
Украина (stepanenko@3g.ua)

Многие структуры человеческого организма имеют сложную разветвленную древовидную форму: кровеносное русло, бронхиальное дерево, дендритное дерево нейронов, «дерево жизни» мозжечка и другие. Такие структуры достаточно тяжело оценить с помощью традиционных морфометрических методов. В последние годы для количественной оценки характеристик природных объектов

со сложной структурой стали применять фрактальный анализ. Фракталом может называться предмет, который обладает сложной структурой на всех масштабах, а увеличение масштаба не ведет к упрощению структуры; фрактал является самоподобным или приближенно самоподобным; фрактал обладает дробной метрической размерностью или метрической размерностью, превосходящей топологическую [1, 2].

Фрактальный анализ используется для определения степени заполнения фрактальным объектом пространства и сложности его организации. Для определения фрактального индекса используется несколько методов: box-подсчет, метод дилатации пикселей, метод caliper, метод радиального энергетического спектра и другие. Наиболее простым в применении и удобным для исследования анатомических объектов является метод box-подсчета или метод подсчета квадратов (box-counting) [1, 6, 7]. Фрактальный анализ в современной морфологии используется для изучения дендритного дерева нейронов, сосудистого русла органов, подкорковых ядер головного мозга, поверхности коры и белого вещества головного мозга [1, 6]. Мы рассматриваем применение фрактального анализа на примере изучения белого вещества мозжечка человека.

Цель исследования – установить фрактальную размерность белого вещества мозжечка человека в норме и при синдроме Арнольда-Киари.

Материал и методы. Исследование проведено на 100 объектах – мозжечках трупов людей обоего пола, умерших от причин, не связанных с патологией мозга, в возрасте 20–95 лет. Изучали серийные парасагитальные срезы мозжечка, проведенные с пошаговым интервалом 5 мм (от 0 до 40 мм). Также были исследованы 5 магнитно-резонансных томограмм пациентов с синдромом Арнольда-Киари. Определение фрактального индекса производилось методом подсчета квадратов (box-counting) по оригинальной методике, описанной ранее [7].

Результаты. Среднее значение фрактального индекса белого вещества (ФИ БВ) мозжечка, полученное в результате данного исследования составило  $1,372 \pm 0,006$ . Значения ФИ БВ мозжечка распределены по нормальному закону. Разница значений ФИ БВ червя и полушарий, парасагитальных сечений полушарий, расположенных на разном расстоянии от срединной сагитальной

плоскости, а также симметричных срезов правого и левого полушарий незначительна и статистически не достоверна.

Также были определены значения ФИ БВ мозжечка при синдроме Арнольда-Киари. Учитывая то, что при этом синдроме на срединном срезе мозжечка кроме червя присутствует одна миндалина мозжечка, подсчитаны три значения ФИ для срединного среза: ФИ БВ только червя, ФИ только миндалины и ФИ БВ всего срединного среза (червь и миндалина). Среднее значение ФИ БВ червя составило  $1,431 \pm 0,057$ ; среднее значение ФИ БВ миндалины –  $1,164 \pm 0,036$ , ФИ БВ всего сагиттального среза –  $1,384 \pm 0,044$ . Таким образом, при синдроме Арнольда-Киари значение ФИ БВ превышает среднее значение ФИ БВ в норме. Визуально «древо жизни» мозжечков с синдромом Арнольда-Киари выглядит более компактным, ветви лежат плотнее, меньше промежутков между разными ветками и листками. Такое уплотнение «древа жизни» скорее всего приводит к повышению ФИ белого вещества. Также визуально в большинстве мозжечков с синдромом Арнольда-Киари можно отметить удлинение главного ствола Неocerebellума (VI-VII дольки червя), на парасагиттальных срезах – удлинение главных стволов верхней и нижней полулунных долек полушарий, верхушки которых формируют задние углы полушарий мозжечка.

Полученные нами значения ФИ БВ не соответствует данным ранее проведенных исследований фрактальных свойств мозжечка других авторов [3, 4, 5]. Согласно данным Liu J.Z. и др. [3] среднее значение ФИ мозжечка составляет  $2,57 \pm 0,01$ . Разница результатов связана с отличиями методики определения ФИ. Фрактальный индекс определялся с помощью метода дилатации пикселей. В этой работе исследовались корональные (а не сагиттальные) срезы мозжечка по данным МРТ с достаточно низким разрешением. В работах Акаг Е. и др. [4, 5] определялся ФИ методом заполнения квадратов на срединных сагиттальных срезах мозжечка по данным МРТ. Среднее значение ФИ условно здоровых людей, полученное в результате исследования 16 объектов составило  $1,49 \pm 0,06$ . Также в этих исследованиях выявлено повышение значения ФИ БВ мозжечка у пациентов с синдромом Арнольда-Киари ( $1,57 \pm 0,07$ ), что подтверждает полученные нами данные.

Таким образом, определенный в процессе подсчета фрактальный индекс характеризует степень разветвленности сложности пространственной организации белого мозжечка.

Выявлено, что при синдроме Арнольда-Киари возрастает значение фрактального индекса белого вещества мозжечка. Фрактальный анализ белого вещества мозжечка может стать основой для разработки объективных критериев диагностики заболеваний мозжечка и других структур центральной нервной системы. Фрактальный анализ может быть применен как морфометрический метод для исследования фрактальных свойств биологических квазифрактальных объектов на разных уровнях организации.

#### *Литература*

1. Исаева В. В., Каретин Ю. А., Чернышев А. В., Шкуратов Д. Ю. Фракталы и хаос в биологическом морфогенезе. Владивосток: Институт биологии моря ДВО РАН, 2004. 128 с.
2. Mandelbrot B. B. The fractal geometry of nature. N.Y.: Freeman, 1983. 468 с.
3. Liu J. Z., Zhang L. D., Yue G. H. Fractal dimension in human cerebellum measured by magnetic resonance imaging // Biophys. J. 2003. V. 85 (6). P. 4041–4046.
4. Akar E., Kara S., Akdemir H., Kiris A. Fractal dimension analysis of cerebellum in Chiari Malformation type I // Computers in Biology and Medicine. 2015. № 64. P. 179–186.
5. Akar E., Kara S., Akdemir H., Kiris A. Fractal analysis of MR images in patients with Chiari malformation: The importance of preprocessing // Biomedical Signal Processing and Control. 2017. № 31. P. 63–70.
6. Ristanovic D., Stefanovic B. D., Puskas N. Fractal analysis of dendrite morphology using modified box-counting method // Neurosci. Res. 2014. V. 84. P. 64–67.
7. Степаненко А. Ю., Марьенко Н. И. Фрактальный анализ как метод морфометрического исследования белого вещества мозжечка человека // Світ медицини та біології. 2016. № 4 (58). С. 127–130.

## **ТКАНЕВАЯ РЕГУЛЯЦИЯ В КОЖНОМ ЭПИТЕЛИИ КИШЕЧНОДЫШАЩИХ (ENTEROPNEUSTA, HEMICHOORDATA)**

*Столярова М.В., Валькович Э.И.*

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия (mvstolyarova@yandex.ru)

Механизмы тканевой регуляции и природа регуляторных клеток относятся к актуальным проблемам эволюционной и сравнительной гистологии. Кишечнодышащие (Enteropneusta) – один