

А. Ю. Степаненко, Н. И. Мар'яненко
Харьковский национальный медицинский университет, г. Харьков

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАК МЕТОД МОРФОМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОГО ВЕЩЕСТВА МОЗЖЕЧКА ЧЕЛОВЕКА

Фрактальный анализ используется для описания структур, обладающих свойствами фрактала – самоподобием и масштабной инвариантностью. Предлагается алгоритм применения фрактального анализа для исследования белого вещества червя мозжечка человека. Приводится методика определения фрактального индекса способом разбиения на квадраты. Различия структуры белого вещества отражаются на величине его фрактального индекса. Исследование белого вещества мозжечка с помощью фрактального индекса может стать основой для разработки объективных критериев диагностики возрастных изменений и дегенеративных заболеваний мозжечка.

Ключевые слова: человек, мозжечок, фрактал, фрактальный индекс

Фрактальный анализ – сравнительно новый метод морфометрии, появившийся практически в последние два десятилетия [1]. Он применяется для комплексного морфометрического исследования объектов, обладающих свойствами фракталов – самоподобием и масштабной инвариантностью: фрактал в целом в точности или приближенно совпадает с частью себя самого; увеличение масштаба изображения фрактала не ведет к упрощению его структуры [6, 7]. Фрактальным может считаться любой объект, обладающий сложной структурой, если он имеет такую же форму, как и одна или более составляющих его частей. Природные объекты, обладающие фрактальными свойствами, как правило, не имеют математически точной закономерности, характеризующей свойства их формы, то есть не являются истинно фракталами, поэтому их называют квазифрактальными [1].

Биологические объекты, обладающие фрактальными свойствами, имеют разветвленную форму, древовидную структуру. В организме человека к фрактальным объектам относятся дендритное дерево нейронов, сосудистое русло сетчатки и другие [2, 4, 5, 9]. Исследования мозжечка как фрактального объекта до настоящего времени единичны [5].

Фрактальные структуры могут быть описаны с помощью фрактального индекса – меры сложности пространственной организации фрактальной структуры, показателя заполнения ею пространства. Для определения фрактального индекса используется несколько методов. Наиболее простым в применении и удобным для исследования анатомических объектов является метод разбиения на квадраты, или box-counting [8, 10].

Целью работы было разработать алгоритм применения фрактального анализа для исследования белого вещества мозжечка человека.

Материал и методы исследований. Исследовали белое вещество червя мозжечка человека.

Срединное сагиттальное сечение червя мозжечка фотографируют вместе с наложенной на него калибровочной линейкой с помощью зеркального цифрового фотоаппарата. Полученные цифровые изображения обрабатывают и анализируют с помощью компьютерной программы Adobe Photoshop CS5. Проводится калибровка увеличения и из изображения вырезается квадрат размерами 4×4 см, содержащий срединный сагиттальный срез червя мозжечка.

На изображение накладывают морфометрическую сетку, содержащую четыре квадрата (ячейки) со сторонами размерами 1/2×1/2 стороны квадрата поля зрения и подсчитывают количество ячеек, в которых находятся фрагменты белого вещества (рис. 1). Затем последовательно накладывают сетки, в которых сторона ячейки в два, четыре, восемь раз меньше, чем в первой. Количество ячеек в каждой следующей сетке, следовательно, в четыре раза больше, чем в предыдущей (табл. 1).

Таблица 1

Структура фрактальной сетки

Этап исследования	Box Size*	Кол-во квадратов сетки	Площадь одного квадрата, см×см**
1	1/2	4	2,0×2,0
2	1/4	16	1,0×1,0
3	1/8	64	0,5×0,5
4	1/16	256	0,25×0,25
5	1/32	1024	0,125×0,125

Примечание: *Box Size – отношение длины стороны ячейки к длине стороны исследуемой области (принимаемой за 1,0); ** площадь срединного сечения мозжечка, покрываемая одной ячейкой сетки.

Как видно из данных табл.1, с увеличением количества квадратов сетки пропорционально уменьшается площадь поверхности мозжечка, покрываемая одним квадратом сетки. Результаты подсчета количества ячеек, содержащих фрагменты белого вещества, заносят в таблицу (табл.2).

Таблица 2

Количество ячеек морфометрической сетки, содержащих фрагменты белого вещества (N)

Этап исследования	Количество квадратов сетки	
	всего	N
1	4	4
2	16	16
3	64	56
4	256	165
5	1024	392

Как видно из данных рис.1 и табл. 2, на 1-м и 2-м этапах подсчета все ячейки содержат фрагменты белого вещества. Начиная с 3-го этапа подсчета количество ячеек, содержащих фрагменты белого вещества, не совпадает с общим количеством ячеек, так как имеются пустые ячейки. Для дальнейшего исследования первый и второй этапы исследования пропускают, а учитывают данные подсчета на 3-м, 4-м и 5-м этапах.

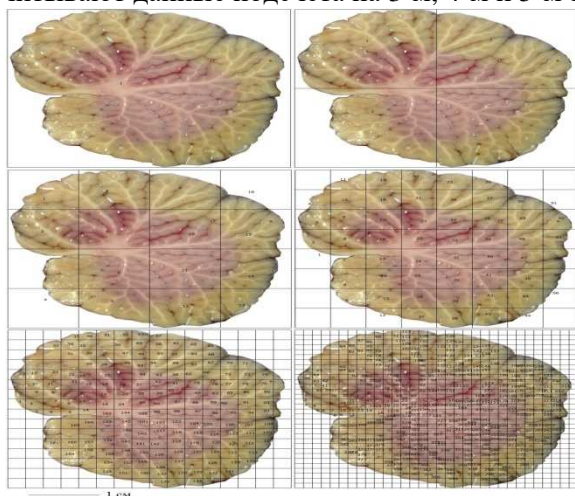


Рис. 1. Пример подсчета фрактального индекса белого вещества червя мозжечка методом box-counting в программе Adobe Photoshop CS5. Описание в тексте.

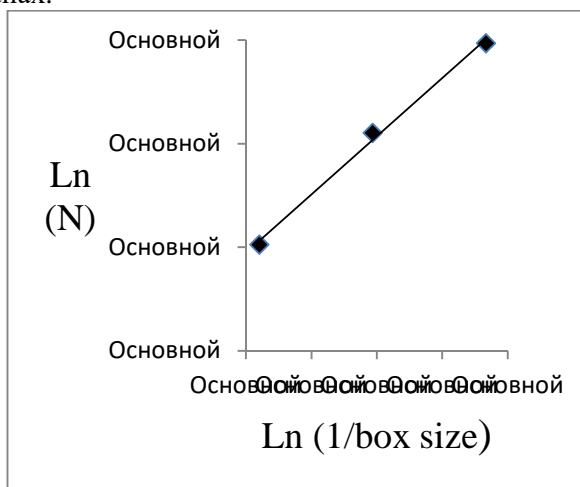


Рис. 2. График линейной зависимости Ln(N) от Ln(1/boxsize).

Далее рассчитывают натуральный логарифм двух чисел: числа, обратного значению Box Size (то есть 1/(Box Size)) и N (табл.3).

Таблица 3

Величина натурального логарифма контрольных чисел

Этап исследования	BoxSize	N	Ln(1/box size)	Ln(N)
1	1/2	4	0,69	1,39
2	1/4	16	1,39	2,77
3	1/8	53	2,08	4,03
4	1/16	162	2,78	5,11
5	1/32	427	3,47	5,97

Далее строится график зависимости Ln(N) от Ln(1/boxsize) (рис. 2) и рассчитывается уравнение линейной регрессии. Коэффициент перед переменной в уравнении линейной регрессии, определяющий угол наклона графика к оси X, и представляет собой фрактальный индекс.

Линейную зависимость, представленную на рис. 2, с высокой точностью (коэффициент достоверности аппроксимации, R2=0,996) описывает уравнение $y=1,4031x+1,1434$, следовательно, фрактальный индекс округленно равен 1,4.

Результаты исследования и их обсуждение. Фрактальный индекс колеблется от 1,0 до 2,0 [7]. Объект с фрактальным индексом, равным 1,0, является простой прямой или кривой линией, практически не заполняющей пространство. Объект с фрактальным индексом, равным 2,0, заполняет все доступное пространство (см. рис.3). Среднее значение фрактального индекса белого вещества мозжечка на срединном сагиттальном срезе составляет $1,36 \pm 0,01$ и варьирует от 1,20 до 1,48 в зависимости от возраста, массы мозжечка и структуры ветвления белого вещества.

На рис. 3 представлені об'єкти дослідження, у яких величина фрактального індекса знаходиться в області малих, середніх і великих значень.



Рис. 3. Вариабельність фрактального індекса білого речовини червя мозжечка людини. Примечание: для сравнения показаны объекты с крайними значениями фрактального индекса (объяснение – в тексте).

Біле речовина червя мозжечка утворена вісьмома гілками, кожна з яких має свої варіанти гілок вторинних гілок [3]. Від них, в свою чергу, залежить структура сірої речовини. Як видно з рис. 3, величина фрактального індекса відображає різницю структури білого речовини.

Заключення

Таким чином, визначений в процесі підрахунку фрактальний індекс є кількісним показником ступеня розгалуженості білого речовини червя мозжечка. Дане дослідження може стати основою для розробки об'єктивних кількісних критеріїв вікових змін і діагностики дегенеративних захворювань мозжечка.

Перспективи дальніших досліджень. Даний алгоритм може бути застосований для дослідження фрактальних властивостей інших біологічних об'єктів, що мають фрактальні властивості.

Список літератури

1. Isaeva V. V. Fraktaly i haos v biologicheskom morfogeneze / V. V. Isaeva, Yu. A. Karetin, A. V. Chernyishev [i dr.] // – Vladivostok: Institut biologii morya DVO RAN, -2004. – 128 s.
2. Molchatskiy S. L. Fraktalnyy analiz strukturyi ventromedialnogo yadra gipotalamusa mozga cheloveka v pre- i postnatalnom ontogeneze / S. L. Molchatskiy, V. F. Molchatskaya // Novyye issledovaniya. – 2010. – No.24. – S. 60–67.
3. Stepanenko A. Yu. Strukturnaya organizatsiya i variantnaya anatomiya belogo veschestva chervya mozhechka cheloveka / A. Yu. Stepanenko // Meditsina sodogndi i zavtra. – 2011. – No. 3 (52). – S. 1–6.
4. Fractal-based image texture analysis of trabecular bone architecture / C. Jiang, R. E. Pitt, J.E. Bertram [et al.] // – Med. Biol. Eng. Comput. – 1999. – Jul. – Vol. 37 (4). – P. 413–418.
5. Liu J. Z. Fractal dimension in human cerebellum measured by magnetic resonance imaging / J. Z. Liu, L. D. Zhang, G. H. Yue // Biophys J. -2003, Vol.85(6). P. 4041-4046.
6. Mandelbrot B. B. The fractal geometry of nature / Mandelbrot // – N.Y.: Freeman, -1983. – 468 c.
7. Mandelbrot B. B. Form, chance and dimension / B. B. Mandelbrot // – San Francisco: W. H. Freeman, -1977. – 365 p.
8. Modified Richardson's method versus the box-counting method in neuroscience / I. Zaletel, D. Ristanovic, B. D. Stefanovic [et al.] // J. Neurosci Methods. – 2015. – Mar 15. – Vol. 242. – P. 93–96.
9. Puskas N. Fractal dimension of apical dendritic arborization differs in the superficial and the deep pyramidal neurons of the rat cerebral neocortex / N. Puskas, I. Zaletel, B. D. Stefanovic [et al.] // – Neurosci. Lett. – 2015. – Mar 4. – Vol. 589. – P. 88–91.
10. Ristanovic D. Fractal analysis of dendrite morphology using modified box-counting method / D. Ristanovic, B. D. Stefanovic, N. Puskas // – Neurosci Res. – 2014. – Jul. – Vol. 84. – P. 64–67.
11. Talu S. Fractal analysis of normal retinal vascular network / S. Talu // Oftalmologia. – 2011. – Vol. 55 (4). – P.6–11.

Реферати

ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯК МЕТОД МОРФОМЕТРИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ БІЛОЇ РЕЧОВИНИ МОЗОЧКА ЛЮДИНИ

Степаненко А. Ю., Мар'єнко Н. І.

Фрактальний аналіз використовується для опису структур, що мають властивості фрактала – самоподібність і масштабну інваріантність. Пропонується алгоритм застосування фрактального аналізу для дослідження білої речовини червя мозочка людини. Наводиться методика визначення фрактального індексу способом розбиття на квадрати.

Відмінності структури білої речовини відображаються на величині її фрактального індексу. Дослідження білої речовини за допомогою фрактального індексу може стати основою для розробки об'єктивних критеріїв діагностики

FRactal ANALYSIS AS A METHOD OF MORPHOMETRIC STUDY OF THE HUMAN CEREBELLUM WHITE MATTER

Stepanenko A. Y., Maryenko N. I.

Fractal analysis is used to describe the structures with fractal properties – self-similarity and scale invariance. An algorithm for the use of fractal analysis for the study of the white matter of the vermis of the human cerebellum is described. The box counting method for the fractal dimension is used.

Differences of white matter structure affect the value of the fractal index. A study of the white matter using fractal index can serve as a basis for the development of objective criteria for the diagnosis of age-dependent changes and atrophic diseases of the

вікових змін та атрофічних захворювань мозочка.

Ключові слова: людина, мозочок, судини, фрактал, фрактальний індекс.

cerebellum.

Key words: human, cerebellum, vessels, fractal, fractal index.

Стаття надійшла 18.09.2016 р.

Рецензент Гунас І.В.

УДК [577.15+611.37]:616 – 001.17 – 092.9

С. В. Харченко

ВДІЗ України «Українська медична стоматологічна академія», м. Полтава

АКТИВНІСТЬ АМІЛАЗИ У ТКАНИНАХ ПІДШЛУНКОВОЇ ЗАЛОЗИ ТА СИРОВАТЦІ КРОВІ ПРИ ОПІКОВІЙ ХВОРОБИ

При опіковій хворобі на 1-у добу після опіку активність α -амілази у тканинах підшлункової залози щурів підвищується, а у сироватці крові не змінюється, порівняно з контролем. На 7-у добу після опіку активність α -амілази у тканинах підшлункової залози щурів знижується, а у сироватці крові – спостерігається незначне підвищення, порівняно з контролем.

Ключові слова: експериментальна опікова хвороба, підшлункова залоза, сироватка крові, активність α -амілази.

Робота є фрагментом НДР «Біохімічні та патофізіологічні механізми ушкодження внутрішніх органів при опіковій хворобі», державний реєстраційний № 0111U005142.

На моделі експериментальної опікової хвороби проводяться дослідження пошкоджень внутрішніх органів та їх корекції [4, 6, 7].

Але недостатньо вивчені при опіковій хворобі зміни у підшлунковій залозі, яка утворює ферменти, що володіють протеолітичною, амیلітичною та ліполітичною дією.

Підшлункова залоза – це орган, в якому утворюються неактивні проферменти, що виділяються в кишечник. У порожнині дванадцятипалої кишки проферменти активуються і беруть участь у травленні білків, жирів та вуглеводів. Якщо дія чинників викликає пошкодження клітин підшлункової залози, то правомірно припустити, що із зруйнованих панкреоцитів ферменти витікатимуть у кров, а не надходитимуть у кишечник. Крім того, при дії різних несприятливих факторів білкова структура ферментів може змінюватися, що призводитиме до підвищення або зниження їх активності.

Фермент α -амілаза підшлункової залози розщеплює вуглеводи гомополісахариди крохмаль і глікоген за участю води. Ці гомополісахариди утворені із залишків глюкози. Молекули полісахаридів мають такі фракції: амілозу та амілопектин. Амілоза – це лінійна фракція, утворена із залишків глюкози, що з'єднані α -1,4-глікозидними зв'язками.

Фермент α -амілаза розщеплює α -1,4-глікозидні зв'язки в молекулах амілози. Кінцевий продукт реакції – дисахарид мальтоза, що утворена з 2-х залишків глюкози.

Досліджено активність α -амілази у тканинах підшлункової залози щурів при гострому стресі. Відмічено підвищення активності α -амілази при стресі в 1,5 рази, порівняно з контролем [1].

Досліджено, що активність α -амілази у сироватці крові щурів при гострому стресі підвищується у 1,5 рази, порівняно з контролем [1].

Досліджено, що активність α -амілази в дуоденальній рідині кишечника щурів при гострому стресі знижується в 1,5 рази, порівняно з контролем [1].

Виявлені морфологічні зміни – деструкцію тканин підшлункової залози при гострому стресі [1].

Можливо, фермент α -амілаза витікає із пошкодженої підшлункової залози у кров і не поступає в кишечник.

Зміна активності ферментів підшлункової залози може призводити до порушення обміну речовин в умовах стресу, в тому числі при опіковій хворобі.

Визначення активності α -амілази в сироватці крові – найбільш поширений тест діагностики гострого панкреатиту. При гострому панкреатиті активність ферменту в сироватці крові зростає через 3 – 12 год після болювого нападу, досягає максимуму через 20 – 30 годин і повертається до норми в межах чотирьох днів за сприятливого перебігу. Активність α -амілази (діастази) в сечі зростає через 6 – 10 годин після підвищення її активності в сироватці крові і повертається до норми найчастіше через три дні після підвищення.