

ISSN 2415-3060 (Print)
ISSN 2522-4972 (Online)

УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ МЕДИЦИНИ, БІОЛОГІЇ ТА СПОРТУ

Український
науково-практичний журнал
заснований у липні 2016 р.

Засновники:

Чорноморський національний
університет імені Петра Могили
(м. Миколаїв)

Харківська медична академія
пслядипломної освіти

Херсонський державний університет

Львівський державний університет
фізичної культури
імені Івана Боберського

Том 5, № 5 (27)

Журнал виходить 6 разів на рік

Медичні, біологічні науки,
фізичне виховання і спорт

Рекомендовано до друку
Вченою радою Чорноморського
національного університету
імені Петра Могили

Протокол № 13
від 08.10.2020 р.

Журнал включений до Переліку наукових фахових видань України (біологічні науки; медичні науки – Додаток 9 до наказу Міністерства освіти і науки України від 22.12.2016 № 1604; Додаток 6 до наказу Міністерства освіти і науки України від 11.07.2017 № 996; фізичне виховання та спорт – Додаток 9 до наказу Міністерства освіти і науки України від 04.04.2018 № 326).

Журнал входить в Групу Б: спеціальності – 017 Фізична культура і спорт; 091 Біологія; Медицина: 221 Стоматологія, 222 Медицина, 224 Технології медичної діагностики та лікування, 226 Фармація, промислова фармація, 227 Фізична терапія, ерготерапія, 228 Педіатрія, 229 Громадське здоров'я (Додаток 8 до наказу Міністерства освіти і науки України від 15.10.2019 № 1301).

Журнал включений до Міжнародних наукометричних баз даних: CrossRef, Ulrichs Web, Google Scholar, WorldCat, ResearchBib, World Catalogue of Science Journals, Index Copernicus, Electronic Journals Library (Germany), Polska Bibliografia Naukowa.

Адреса редакції:

кафедра медико-біологічних основ
спорту і фізичної реабілітації
Чорноморського національного університету
імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв,
54003, Україна
med.biol.sport@gmail.com

© Чорноморський національний університет
імені Петра Могили (м. Миколаїв)
Підписано до друку 14.10.2020 р.
Замовлення № 1505-1.
Тираж – 200 прим.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор: Чернозуб А. А. (Миколаїв)
Редактор рубрики «Медицина»: Хвисьок О. М. (Харків)
Редактор рубрики «Біологія»: Павлов С. Б. (Харків)
Редактор рубрики «Фізичне виховання і спорт»:
Пристапа Є. Н. (Львів)
Науковий редактор: Климченко М. О. (Миколаїв)
Голова редакційної ради: Кочина М. Л. (Миколаїв)
Відповідальний секретар: Данильченко С. І. (Миколаїв)

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Медичні науки: Багмут І. Ю. (Харків), Більченко О. В. (Харків), Борисенко В. Б. (Харків), Коваленко О. С. (Київ), Михайлов Б. В. (Харків), Петренко О. В. (Київ)

Біологічні науки: Вовканич Л. С. (Львів), Гуніна Л. М. (Київ), Коваленко С. О. (Черкаси), Редька І. В. (Харків), Фалалеева Т. М. (Київ), Федота О. М. (Харків)

Фізичне виховання і спорт: Бріскін Ю. А. (Львів), Задорожна О. Р. (Львів), Ольховий О. М. (Миколаїв), Передерій А. В. (Львів), Пітин М. П. (Львів), Семеряк З. С. (Львів)

РЕДАКЦІЙНА РАДА:

Astvatsatryan Armen V. (Yerevan, Armenia)
Bejga Przemyslaw (Poznań Poland)
Bichescu Andrade-Ionut (Reșița, Romania)
Curby David G. (Chicago, USA)
Grigore Vasilica (Bucharest, Romania)
Ionescu Anca Mirela (Bucharest, Romania)
Ivasenko Anzhelika (Roseau, Dominica)
Khryshchanovich Vladimir Ya. (Minsk, Belarus)
Lukas Kober (Ružomberok, Slovakia)
Manolachi Veaceslav (Chisinau, Moldova)
Mihaila Ion (Pitesti, Romania)
Milašius Kazys (Vilnius, Lithuania)
Niżnikowski Tomasz (Biała Podlaska, Poland)
Oliinyk Serhii A. (Seoul, South Korea)
Poskus Tomas (Vilnius, Lithuania)
Potop Vladimir (Bucharest, Romania)
Pokhodenko-Chudakova Iryna O. (Minsk, Belarus)
Razdaybedin Vitaliy N. (St. Cloud, USA)
Romanowski M. W. (Poznań, Poland)
Skugarevsky Oleg A. (Minsk, Belarus)
Shalimova Anna (Gdansk, Poland)
Stančiak Jaroslav (Bratislava, Slovakia)
Stanescu Marius (Bucharest, Romania)
Timnea Olivia Carmen (Bucharest, Romania)
Trok Katarzyna (Stockholm, Sweden)
Zavialov Volodymyr P. (Turku, Finland)

РЕДАКЦІЙНО-ЕКСПЕРТНА РАДА

Антоненко М. Ю. (Київ)
Аравіцька М. Г. (Івано-Франківськ)
Бабкіна О. П. (Київ)
Бруслова К. М. (Київ)
Гасюк О. М. (Херсон)
Германчук С. М. (Київ)
Гонтова Т. М. (Харків)
Срьоменко Р. Ф. (Харків)
Завгородній І. В. (Харків)
Литвинова О. М. (Харків)
Лихман В. М. (Харків)
Лоскутов О. А. (Київ)
Мельник В. О. (Львів)
Мішина М. М. (Харків)
Міщенко О. Я. (Харків)
Морозенко Д. В. (Харків)
Недзвецька О. В. (Харків)
Некрасова Н. О. (Харків)
Одинець Т. Є. (Львів)
Просоленко К. О. (Харків)
П'ятикоп В. О. (Харків)
Репін М. В. (Харків)
Романчук С. В. (Львів)
Россіхін В. В. (Харків)
Сокільник С. В. (Чернівці)
Сорокіна І. В. (Харків)
Стеланенко О. Ю. (Харків)
Тіткова А. В. (Харків)
Хіменес Х. Р. (Львів)
Хмара Т. В. (Чернівці)
Цодікова О. А. (Харків)
Шиян О. І. (Львів)

Український журнал медицини, біології та спорту

Свідоцтво про Державну реєстрацію:
КВ № 22699-12599 ПР від 26.04.2017 р.

Порядковий номер випуску
та дата його виходу в світ
Том 5, № 5 (27) від 22.10.2020 р.

Мова видання: українська, російська, англійська
Відповідальний за випуск: Чернозуб А. А.

Технічний редактор: Данильченко С. І.

Коректор з української, російської,
англійської мов: Шерстюк Л. В.

Секретар інформаційної служби: Данильченко С. І.
(+38)095 691 50 32, (+38)098 305 25 77

Зміст

Contents

МЕДИЧНІ НАУКИ		
Огляди літератури		
Валецкий Н. И., Зак М. Ю., Чернышов О.В., Свердлова М.В., Поточняк В. С. Хронический вирусный гепатит С: эволюция научных взглядов	9	Valetskiy M. I., Zak M. U., Chernyshov O.V., Sverdlova M.V., Potochniak V. S. Chronic Viral Hepatitis C: The Evolution of Scientific Views
Дмитренко І. А. провідні фактори ризику порушень здоров'я порожнини рота населення Івано-Франківської області	19	Dmitrenko I. A. Leading Risk Factors of the Oral Cavity Health Violations in the Population of Ivano-Frankivsk Region
Kordiyak Olena J. Periodontal Destruction and Regeneration in Experimental Models: Combined Research Approaches	28	Кордіяк Олена Й. Руйнування та регенерація пародонта в експериментальних моделях: поєднані підходи наукових досліджень
Корж Н. А., Куценко В. А., Перфильев А. В., Попов А. И. Обзор оценочных шкал и классификаций метастатических поражений позвоночника, используемых при оперативном лечении	35	Korzh M., Kutsenko V., Perfiliev O., Popov A. Review of Classifications and Scoring Systems for Metastatic Spine Tumors Used in Surgical Treatment
Павлюк Р. П. Серологічно слабкий D-фенотип: огляд та інтерпретація групи крові RhD	45	Pavliuk R. P. Serologically Weak D-phenotype: Review and Interpretation of Blood Group RhD
Експериментальна медицина і морфологія		
Демкович А. Е., Мачоган В. Р. Динамика изменений митохондриального трансмембранного потенциала в моноцитах крови в условиях развития и течения экспериментального пародонтита и влияние на них корвитина	53	Demkovych A. Ye., Machogan V. R. Dynamics of Mitochondrial Transmembrane Potential Changes in Blood Monocytes in Conditions of Development and Course of Experimental Periodontitis and the Effect of Korvityn on it
Лопушняк Л. Я., Хмара Т. В., Олійник І. Ю., Стельмах Г. Я., Лека М. Ю., Бернік Н. В. Особенности развития та ембриотопографії щитоподібної та прищитоподібних залоз у зародковому періоді людини	60	Lopushniak L. Ya., Khmara T. V., Oliinyk I. Yu., Stelmakh G. Ya., Leka M. Yu., Bernik N. V. Peculiarities of Development and Embryotopography of the Thyroid and Parathyroid Glands in the Fetal Period of Human Development
Мар'єнко Н. І. Кластерний аналіз фрактальної розмірності мозочка людини	66	Maryenko N. I. Cluster Analysis of Human Cerebellum Fractal Dimension
Хмара Т. В., Григор'єва П. В., Лека М. Ю., Попович А. І. Метод препарування передньої стегнової ділянки для встановлення фетальної анатомічної мінливості судинно-нервових утворень	73	Khmara T. V., Hryhorieva P. V., Leka M. Yu., Popovych A. I. Method of Anterior Femoral Region Preparation for Establishing the Fetal Anatomical Variability of Vasculonervous Formations
Клінічна медицина		
Більченко А. О. Вплив терапії артеріальної гіпертензії в залежності від класів препаратів на рівні нових біомаркерів запалення РФД-15, Р-селектину та галектину-3	82	Bilchenko A. O. Influence of Antihypertensive Therapy depending on the Classes of Drugs on the Level of New Biomarkers of Inflammation GDF-15, P-Selectin and Galectin-3 in Patients with Hypertension in Combination with Type 2 Diabetes

DOI: 10.26693/jmbs05.05.066

УДК 611.817.1:57.086:517:530.191

Мар'єнко Н. І.

КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ФРАКТАЛЬНОЇ РОЗМІРНОСТІ МОЗОЧКА ЛЮДИНИ

Харківський національний медичний університет, Україна

maryenko.n@gmail.com

Мозочок є мультифракталом, який включає кілька фрактальних кластерів, які відповідають різним компонентам тканини мозочка: білій речовині та шарам кори. Для того, щоб визначити складність просторової організації та ступінь заповнення простору різними компонентами тканини мозочка, був проведений фрактальний аналіз способом дилатації пікселів у одній із авторських модифікацій.

Мета дослідження – визначити кластери фрактальної розмірності різних компонентів тканини мозочка людини за даними магнітно-резонансної томографії.

Дослідження проведене на цифрових T2 зважених зображеннях магнітно-резонансних томограм 30 пацієнтів (15 чоловіків та 15 жінок), що не мали патологічних змін головного мозку. Проведений фрактальний аналіз за допомогою методу дилатації пікселів. Визначений фрактальний індекс тканини мозочка для його компонентів у діапазоні значень яскравості від 0 до 255. Обчислювалась різниця приросту ФІ на різних ділянках діапазону яскравості.

Установлено, що приріст фрактального індексу не рівномірний та має чотири зони найбільш вираженого приросту значень: 70-80, 85-90, 95-105 та 110-120. Ці зони можна виокремити у окремі кластери, що відповідають основним компонентам тканини мозочка. Перший кластер із найінтенсивнішим приростом фрактального індексу відповідає білій речовині мозочка, яка має найбільшу щільність та найменші значення яскравості, другий – зернистому шару кори, третій – молекулярному шару кори. Четвертий, найменш виражений кластер відповідає пікселям зображення із найбільшим рівнем яскравості, що відповідають м'якій мозковій оболонці.

Визначені три кластери значень фрактального індексу, що відповідають основним компонентам тканини мозочка та середні значення яскравості, що їм відповідають: біла речовина мозочка ($70,684 \pm 0,473$), зернистий шар кори ($84,263 \pm 0,475$), молекулярний шар кори ($96,263 \pm 0,449$). Відсутність певних кластерів, які наявні у інтактної тканини, та наявність додаткових, патологічних кластерів можуть бути критеріями діагностики стану мозочка за допомогою фрактального аналізу магнітно-резонансних томограм головного мозку.

Ключові слова: фрактальний аналіз, кластерний аналіз, мозочок, магнітно-резонансна томографія.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дана робота є фрагментом науково-дослідної роботи кафедри гістології, цитології та ембріології Харківського національного медичного університету «Розробка нових методів оцінки морфофункціонального стану клітин, тканин та органів у нормі та патології», № державної реєстрації 0119U002911.

Вступ. Магнітно-резонансна томографія (МРТ) є одним із найпоширеніших діагностичних методів нейровізуалізації, що використовується для діагностики стану різних структур головного мозку, у тому числі й мозочка. Основними критеріями, що враховуються при аналізі томограм, є наявність або відсутність патологічних осередків (пухлин, ділянок порушення кровообігу, гліозу та ін.) [1, 2].

Мозочок є неоднорідною структурою, що включає білу речовину та три шари кори, які на магнітно-резонансних (МР) томограмах мають різну щільність та різні значення яскравості. У різних дослідженнях, які базуються на даних МРТ, для того, щоб охарактеризувати стан різних компонентів тканини мозочка, використовується визначення об'ємів та площі різних компонентів тканини мозочка: кори та білої речовини (voxel-based morphometry, воксельна морфометрія) [3-8]. Ці дослідження виявили зміни (зменшення або збільшення) об'ємів сірої та білої речовини часточок мозочка при різних психічних та неврологічних захворюваннях: дислексії [4], аутизмі [5, 6], синдромі гіперактивності з дефіцитом уваги [7], алкогольний залежності [8], шизофренії [9], біполярних розладах [10], хворобі Альцгеймера [11], розсіяному склерозі [12], порушеннях сну [13].

Окреме дослідження багатокомпонентних структур, до яких належить і мозочок, потребує розробки різних алгоритмів сегментації зображень для диференційованого морфометричного дослідження різних компонентів. Для цифрових томографічних зображень головного мозку та мозочка використовують різні алгоритми комп'ютерної сегментації зображень із виявленням сірої та білої речовини [14-16].

В останні роки у морфології все частіше в якості морфометричного методу використовують фрактальний аналіз, що дозволяє оцінити ступінь складності організації різних біологічних структур. У деяких дослідженнях цей морфометричний метод використовується також і для дослідження мозочка. У цих дослідженнях мозочок розглядається як монофрактал і оцінюється лише певний його компонент – біла речовина або скелетовані зображення основних гілок білої речовини мозочка [17-19].

Мозочок є мультифракталом, який включає кілька фрактальних кластерів, які відповідають різним компонентам тканини мозочка. Для того, щоб визначити складність просторової організації та ступінь заповнення простору різними компонентами тканини мозочка, був проведений фрактальний аналіз способом дилатації пікселів у одній із авторських модифікацій [20].

Мета дослідження – визначити кластери фрактальної розмірності різних компонентів тканини мозочка людини за даними магнітно-резонансної томографії.

Матеріал та методи дослідження. Дослідження проведено на цифрових T2 зважених зображеннях магнітно-резонансних томограм 30 пацієнтів (15 чоловіків та 15 жінок), що не мали патологічних змін головного мозку.

Дослідження проведено з дотриманням основних біоетичних положень Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 04.04.1997 р.), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1964–2008 рр.), а також наказу МОЗ України № 690 від 23. 09. 2009 р.. Висновок комісії з питань етики та біоетики Харківського національного медичного університету підтверджує, що дослідження проведене з дотриманням прав людини, відповідно до діючого в Україні законодавства, відповідає міжнародним етичним вимогам і не порушує етичних норм у науці та стандартів проведення біомедичних досліджень (протокол засідання комісії з питань етики та біоетики ХНМУ №10 від 07.11.2018).

Томографія була проведена за допомогою магнітно-резонансного томографа Siemens Magnetom Symphony зі значенням магнітної індукції 1,5 Тл. Із цифрового зображення томограми, що містить серединний сагітальний або один із парасагітальних зрізів мозочка, копіювали відповідний фрагмент та для подальшого фрактального аналізу проводили його сегментацію за допомогою програми Adobe Photoshop GS5. Для сегментації використовували інструмент «поріг», який забарвлює усі пікселі, що відповідають заданому діапазону значень яскравості, у чорний колір, решту – у білий (рис. 1).

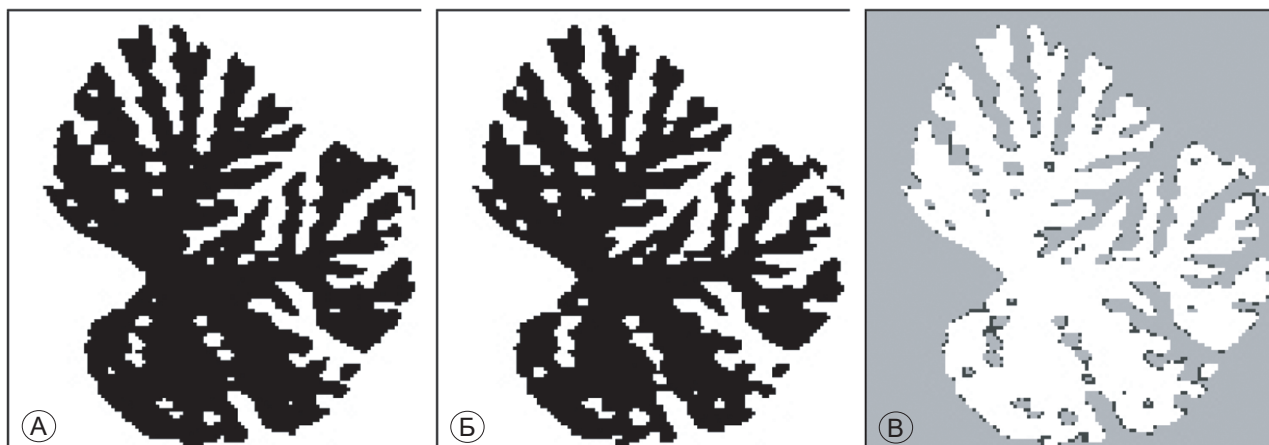


Рис. 1. Сегментація зображення МР томограми черв'яка мозочка для проведення фрактального аналізу.

Сегментовані пікселі забарвлені чорним кольором. А – пікселі сегментовані у діапазоні 0-105,

Б – пікселі сегментовані у діапазоні 0-100, В – пікселі сегментовані у діапазоні 101-105

(чорним показана різниця між зображенням А і Б)

Різні компоненти тканини мозочка мають різну щільність, і, відповідно, різну яскравість пікселів цифрового зображення, що їм відповідають. Зважаючи на це, для виділення різних компонентів тканини мозочка проводили сегментацію зображення із виділенням пікселів, що мають яскравість у діапазоні 5 суміжних значень (рис. 1, В). Наприклад, для

значення яскравості 80 сегментували усі пікселі, що мають значення яскравості 78, 79, 80, 81 та 82, для значення яскравості 81 – 79, 80, 81, 82 та 83 і т.д. (рис. 2). На основі цього методу сегментації визначали діапазональний фрактальний індекс (ФІ), що дозволяє визначити фрактальну розмірність лише структури із певним діапазоном яскравості.

Фрактальний аналіз проводили за допомогою методу дилатації пікселів у авторській модифікації, описаній раніше [20].

Для того, щоб визначити рівномірність чи нерівномірність наростання або зменшення ФІ на різних ділянках діапазону яскравості, обчислювалася різниця значень ФІ на різних ділянках діапазону яскравості – приріст діапазонального ФІ, що показує, наскільки відрізняється ФІ структур мозочка із кожним наступним значенням яскравості від ФІ структур із попереднім значенням яскравості. Для цього від ФІ структур із певним діапазоном значень яскравості відіймали попередній ФІ, що відповідає структурам із діапазоном значень яскравості, які менші за значення попереднього діапазону на одиницю. Наприклад, від $\Phi I_{(80)}$ відіймали $\Phi I_{(79)}$, від $\Phi I_{(81)}$ відіймали $\Phi I_{(80)}$ і т.д. (рис. 2).

Результати та їх обговорення. Теоретично можливі значення яскравості пікселів цифрових зображень магнітно-резонансних томограм варіюють від 0 до 255. Як видно із даних на рис. 3, значення яскравості структур мозочка зосереджені переважно у діапазоні від 60 до 170. У діапазоні значень яскравості від 70 до 80 ФІ наростає, що разом із піковим значенням відповідає більш щільній білій речовині, наступна зона поступового зменшення ФІ (80-100) відповідає менш щільним компонентам тканини мозочка – трьом шарам кори.

На основі підрахунку приросту діапазонального ФІ визначали інтенсивність та рівномірність або нерівномірність зміни значень ФІ у різних ділянках діапазону із різними значеннями яскравості (рис. 4). Такий підрахунок дозволяє визначити на діапазоні значень яскравості ділянки інтенсифікації приросту ФІ, що обумовлені наявністю великих груп пікселів (кластерів) із близькими значеннями яскравості, що відповідають певному компоненту тканини мозочка. Якщо зображення містить відносно велику кількість пікселів з близькими значеннями

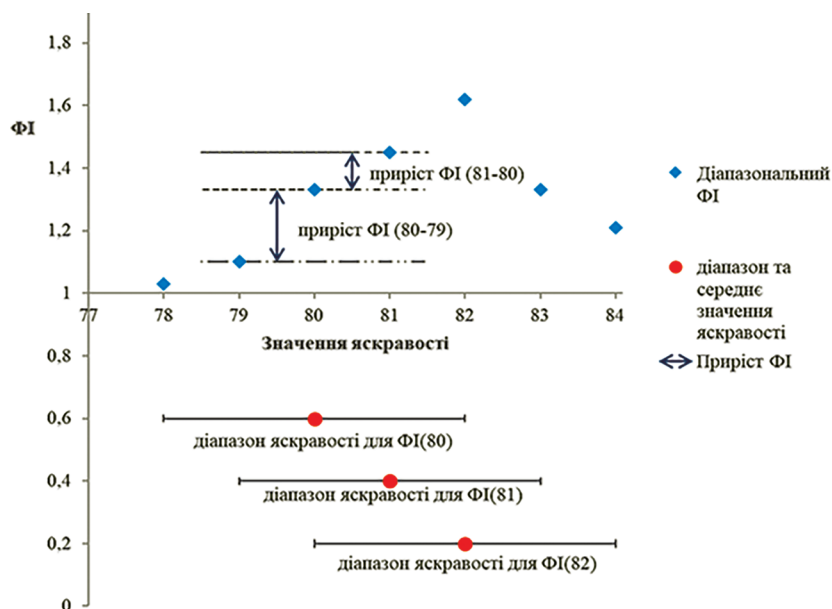


Рис. 2. Методика визначення діапазону значень яскравості для підрахунку діапазонального ФІ та визначення приросту ФІ. Пояснення у тексті

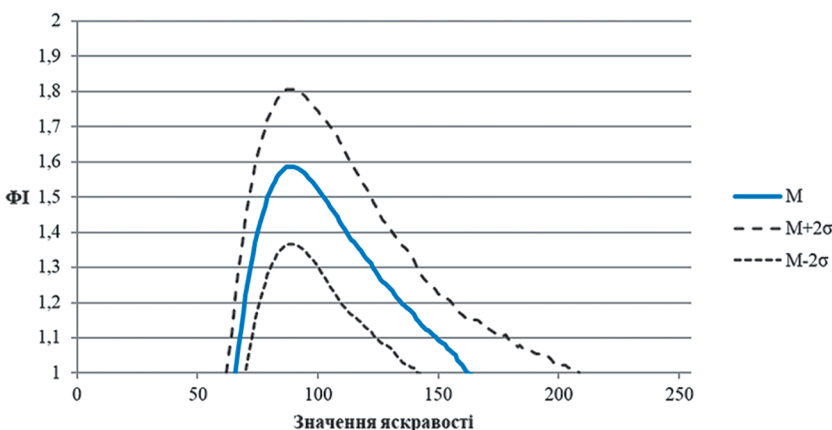


Рис. 3. Статистичний розподіл та довірчий інтервал значень ($M \pm 2\sigma$) діапазонального ФІ тканини мозочка із різними значеннями яскравості



Рис. 4. Значення приросту діапазонального ФІ₂ на різних ділянках діапазону значень яскравості

яскравості (кластер), значення діапазонального ФІ на певній ділянці діапазону значень яскравості наростають інтенсивніше, ніж на інших ділянках і перевищують значення попереднього діапазону, що відображується у збільшенні різниці між суміжними значеннями ФІ та у інтенсифікації приросту ФІ (рис. 2), що в результаті формує «хвилю» підйому на діаграмі. Таким чином, якщо зображення містить кластер пікселів, що відповідає певному діапазону значень яскравості, різниця суміжних (за яскравістю) значень ФІ на цьому фрагменті діапазону буде наростати. У проміжних зонах (між вираженими кластерами), що мають меншу кількість пікселів у цьому діапазоні яскравості, спостерігається зниження приросту ФІ.

Як видно із даних прикладу такого підрахунку, показаного на рис. 4, приріст ФІ не рівномірний та має чотири зони найбільш вираженого приросту значень: 70-80, 85-90, 95-105 та 110-120. Ці зони можна виокремити у окремі кластери, що відповідають основним компонентам тканини мозочка. Перший кластер із найінтенсивнішим приростом ФІ відповідає білій речовині мозочка, яка має найбільшу щільність та найменші значення яскравості, другий – зернистому шару кори, третій – молекулярному шару кори. Четвертий, найменш виражений кластер відповідає пікселям зображення із найбільшим рівнем яскравості, що відповідають м'якій мозковій оболонці.

У різних випадках, не зважаючи на різні значення ФІ, зберігаються чотири основні кластери пікселів, що відповідають білій речовині, зернистому та молекулярному шарам кори та м'якій мозковій оболонці мозочка. Висота «хвиль» кластерів залежить від середнього значення ФІ мозочка у цілому, а кількість та діапазон – від наявності певних компонентів тканини мозочка та наявності або відсутності можливих змін у них.

Були визначені ключові точки діаграм із динамі-

кою приросту ФІ: пікові значення трьох основних кластерів (значення приросту ФІ та яскравості) та найменші значення приросту ФІ зі значеннями яскравості, що відповідають пограничним зонам, які відділяють кластери один від одного. Значення координат ключових точок кластерів фрактальної розмірності досить сильно варіюють. Статистичний розподіл значень наведений у табл. 1.

На основі цих даних були визначені межі довірного діапазону значень (рис. 5), який може бути використаний у якості критерію норми для діагностики стану мозочка за даними МРТ.

Таким чином, використання фрактального аналізу цифрових зображень МР томограм дозволяє об'єктивно оцінити властивості різних компонентів тканини мозочка та оцінити його морфофункціональний стан [17-20]. При дослідженні

Таблиця 1 – Статистичний розподіл значень координат ключових точок кластерів фрактальної розмірності тканини мозочка

Ключова точка	Показник	M	m _m	σ	min	max
Кластер 1	Яскравість	70,684	0,473	4,726	54	79
	Приріст ФІ	0,060	0,003	0,029	0,014	1,117
Проміжна зона 1	Яскравість	80,158	0,498	4,981	69	91
	Приріст ФІ	0,014	0,002	0,017	-0,013	1,057
Кластер 2	Яскравість	84,263	0,475	4,747	76	96
	Приріст ФІ	0,019	0,002	0,021	-0,004	1,087
Проміжна зона 2	Яскравість	91,421	0,430	4,299	86	100
	Приріст ФІ	-0,006	0,001	0,008	-0,018	1,012
Кластер 3	Яскравість	96,263	0,449	4,495	89	105
	Приріст ФІ	-0,001	0,001	0,007	-0,011	1,015
Проміжна зона 3	Яскравість	101,895	0,461	4,605	94	112
	Приріст ФІ	-0,014	0,001	0,006	-0,023	0,998

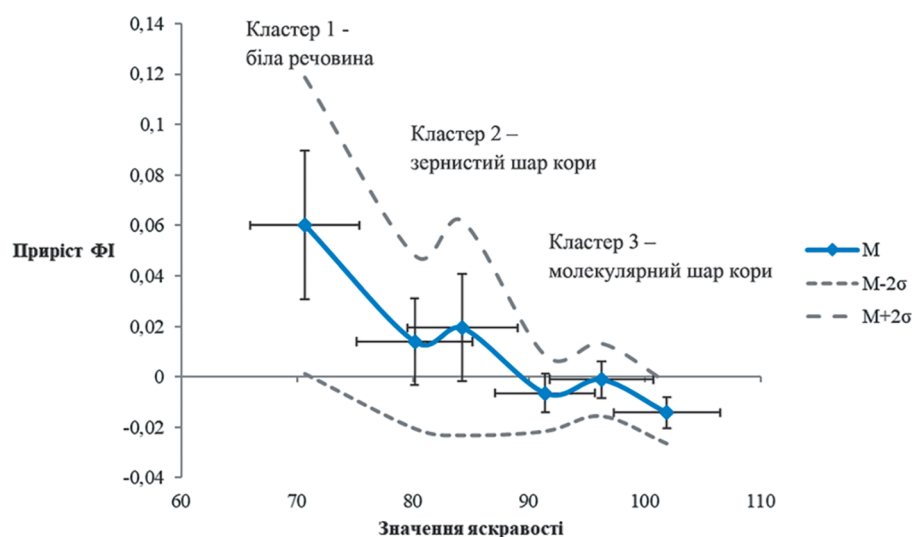


Рис. 5. Значення координат ключових точок трьох основних кластерів фрактальної розмірності (M±σ) та довірчий діапазон значень цих координат (M±2σ)

магнітно-резонансних томограм за допомогою фрактального аналізу мозочок у більшості випадків розглядається як однорідна фрактальна структура (монофрактал) та визначається лише одне значення фрактальної розмірності, що характеризує або білу речовину мозочка у цілому [17], або основні гілки білої речовини [19].

Проте патологічні зміни, що потребують діагностики, можуть залучати не лише білу речовину мозочка, але й інші компоненти його тканини [3-8], що потребує комплексного підходу до фрактального аналізу мозочка. Враховуючи мультифрактальну організацію мозочка, доцільно диференційовано визначати стан окремих компонентів тканини мозочка. На відміну від методик визначення об'ємів різних компонентів тканини мозочка (voxel-based morphometry, воксельна морфометрія) [3-8], що наразі широко використовуються для оцінки МР томограм головного мозку, фрактальний аналіз дозволяє визначати не тільки питому площу, але й ступінь складності організації певних компонентів тканини мозочка.

Для диференційованого визначення стану різних компонентів зображення використовуються різні алгоритми комп'ютерної сегментації томографічних зображень [14-16], проте ці алгоритми орієнтовані переважно на проведення воксельної морфометрії. Виявлені у даному дослідженні кластери фрактальної розмірності, що відповідають різним компонентам тканини мозочка, можуть стати критеріями для автоматизованої сегментації цифрових зображень МР томограм мозочка для проведення диференційованого фрактального аналізу.

Отже, для визначення стану мозочка доцільно визначати не тільки окремі значення ФІ, але й проводити аналіз динаміки приросту ФІ на різних ділянках діапазону значень яскравості. Оцінку морфофункціонального стану мозочка можна проводити, співставляючи якісні характеристики цієї динаміки (наявність основних кластерів та відсутність патологічних кластерів) та кількісні характеристики (значення координат ключових точок кластерів фрактальної розмірності тканини мозочка), що мають відповідати діапазону довірчих значень.

Висновки

1. Мозочок є мультифрактальною структурою, що має кілька кластерів, які відповідають різним компонентам його тканини із різною щільністю – білій речовині, зернистому та молекулярному шарам кори.
2. Були визначені три основні кластери значень ФІ, що відповідають основним компонентам тканини мозочка: біла речовина, зернистий та молекулярний шари кори.
3. Відсутність певних кластерів, які наявні у інтактної тканини, та наявність додаткових, патологічних кластерів можуть бути критеріями діагностики стану мозочка за допомогою фрактального аналізу магнітно-резонансних томограм головного мозку.

Перспективи подальших досліджень. На основі отриманих даних планується проведення фрактального аналізу мозочка людини на цифрових зображеннях магнітно-резонансних томограм із диференційованим визначенням фрактальної розмірності основних компонентів тканини мозочка: білої речовини, зернистого та молекулярного шарів кори.

References

1. Park MT, Pipitone J, Baer LH, Winterburn JL, Shah Y, Chavez S, et al. Derivation of high-resolution MRI atlases of the human cerebellum at 3T and segmentation using multiple automatically generated templates. *Neuroimage*. 2014 Jul 15; 95: 217-31.
2. Diedrichsen J, Balsters JH, Flavell J, Cussans E, Ramnani N. A probabilistic MR atlas of the human cerebellum. *Neuroimage*. 2009 May 15; 46(1): 39-46.
3. Spulber G, Niskanen E, Macdonald S, Kivipelto M, Padilla DF, Julkunen V, et al. Evolution of global and local grey matter atrophy on serial MRI scans during the progression from MCI to AD. *Curr Alzheimer Res*. 2012 May; 9(4): 516-24.
4. Kibby MY, Fancher JB, Markanen R, Hynd GW. A quantitative magnetic resonance imaging analysis of the cerebellar deficit hypothesis of dyslexia. *J Child Neurol*. 2008 Apr; 23(4): 368-80.
5. D'Mello AM, Crocetti D, Mostofsky SH, Stoodley CJ. Cerebellar gray matter and lobular volumes correlate with core autism symptoms. *Neuroimage Clin*. 2015 Feb 20; 7: 631-9.
6. Riva D, Annunziata S, Contarino V, Erbetta A, Aquino D, Bulgheroni S. Gray matter reduction in the vermis and CRUS-II is associated with social and interaction deficits in low-functioning children with autistic spectrum disorders: a VBM-DARTEL Study. *Cerebellum*. 2013 Oct; 12(5): 676-85.
7. Montes LG, Ricardo-Garcell J, De la Torre LB, Alcántara HP, García RB, Acosta DA, et al. Cerebellar gray matter density in females with ADHD combined type: a cross-sectional voxel-based morphometry study. *J Atten Disord*. 2011 Jul; 15(5): 368-81.
8. Benegal V, Antony G, Venkatasubramanian G, Jayakumar PN. Gray matter volume abnormalities and externalizing symptoms in subjects at high risk for alcohol dependence. *Addict Biol*. 2007 Mar; 12(1): 122-32.

9. Rasser PE, Schall U, Peck G, Cohen M, Johnston P, Khoo K, et al. Cerebellar grey matter deficits in first-episode schizophrenia mapped using cortical pattern matching. *Neuroimage*. 2010 Dec; 53(4): 1175-80.
10. Womer FY, Wang F, Chepenik LG, Kalmar JH, Spencer L, Edmiston E, et al. Sexually dimorphic features of vermis morphology in bipolar disorder. *Bipolar Disord*. 2009 Nov; 11(7): 753-8.
11. Lin CY, Chen CH, Tom SE, Kuo SH; Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. Cerebellar Volume Is Associated with Cognitive Decline in Mild Cognitive Impairment: Results from ADNI. *Cerebellum*. 2020 Apr; 19(2): 217-225.
12. Lazzarotto A, Margoni M, Franciotta S, Zywicki S, Riccardi A, Poggiali D, et al. Selective Cerebellar Atrophy Associates with Depression and Fatigue in the Early Phases of Relapse-Onset Multiple Sclerosis. *Cerebellum*. 2020 Apr; 19(2): 192-200.
13. Jung KI, Park MH, Park B, Kim SY, Kim YO, Kim BN, et al. Cerebellar Gray Matter Volume, Executive Function, and Insomnia: Gender Differences in Adolescents. *Sci Rep*. 2019 Jan 29; 9(1): 855.
14. Yang Z, Ye C, Bogovic JA, Carass A, Jedynak BM, Ying SH, et al. Automated cerebellar lobule segmentation with application to cerebellar structural analysis in cerebellar disease. *Neuroimage*. 2016 Feb 15; 127: 435-444.
15. Weier K, Fonov V, Lavoie K, Doyon J, Collins DL. Rapid automatic segmentation of the human cerebellum and its lobules (RASCAL)--implementation and application of the patch-based label-fusion technique with a template library to segment the human cerebellum. *Hum Brain Mapp*. 2014 Oct; 35(10): 5026-39.
16. Carass A, Cuzzocreo JL, Han S, Hernandez-Castillo CR, Rasser PE, Ganz M, et al. Comparing fully automated state-of-the-art cerebellum parcellation from magnetic resonance images. *Neuroimage*. 2018 Dec; 183: 150-172.
17. 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: 63-70.
18. Wu YT, Shyu KK, Jao CW, Wang ZY, Soong BW, Wu HM, et al. Fractal dimension analysis for quantifying cerebellar morphological change of multiple system atrophy of the cerebellar type (MSA-C). *Neuroimage*. 2010; 49(1): 539-551.
19. Liu JZ, Zhang LD, Yue GH. Fractal dimension in human cerebellum measured by magnetic resonance imaging. *Biophys J*. 2003; 85(6): 4041-4046.
20. Maryenko NI, Stepanenko OYu. [Fractal analysis as a morphometric method in morphology: a pixel dilatation technique in the study of digital images of anatomical structures]. *Medytsyna syohodni i zavtra*. 2019; 1(82): 8-15. [Ukrainian]

УДК 611.817.1:57.086:517:530.191

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ МОЗЖЕЧКА ЧЕЛОВЕКА

Марьенко Н. И.

Резюме. Мозжечок является мультифракталом, который включает несколько фрактальных кластеров, которые соответствуют различным компонентам ткани мозжечка: белому веществу и слоям коры. Для того чтобы определить сложность пространственной организации и степень заполнения пространства различными компонентами ткани мозжечка, был проведен фрактальный анализ способом дилатации пикселей в одной из авторских модификаций.

Цель исследования – определить кластеры фрактальной размерности различных компонентов ткани мозжечка человека по данным магнитно-резонансной томографии.

Исследование проведено на цифровых T2 взвешенных изображениях магнитно-резонансных томограмм 30 пациентов (15 мужчин и 15 женщин), не имевших патологических изменений головного мозга. Проведен фрактальный анализ с помощью метода дилатации пикселей. Определен фрактальный индекс ткани мозжечка для его компонентов в диапазоне значений яркости от 0 до 255. Исчислялась разница прироста фрактального индекса на разных участках диапазона яркости. Установлено, что прирост фрактального индекса не равномерен и имеет четыре зоны наиболее выраженного прироста значений: 70-80, 85-90, 95-105 и 110-120. Эти зоны можно выделить в отдельные кластеры, соответствующие основным компонентам ткани мозжечка. Первый кластер с интенсивным приростом фрактального индекса соответствует белому веществу мозжечка, которое имеет наибольшую плотность и наименьшие значения яркости, второй – зернистому слою коры, третий – молекулярному слою коры. Четвертый, наименее выраженный кластер соответствует пикселям изображения с наибольшим уровнем яркости, которые соответствуют мягкой мозговой оболочке.

Определены три кластера значений фрактального индекса, соответствующих основным компонентам ткани мозжечка и средние значения яркости, им отвечают: белое вещество мозжечка ($70,684 \pm 0,473$), зернистый слой коры ($84,263 \pm 0,475$), молекулярный слой коры ($96,263 \pm 0,449$). Отсутствие определенных кластеров, которые имеются в интактной ткани, и наличие дополнительных, патологических кластеров

могут быть критериями диагностики состояния мозжечка с помощью фрактального анализа магнитно-резонансных томограмм головного мозга.

Ключевые слова: фрактальный анализ, кластерный анализ, мозжечок, магнитно-резонансная томография.

UDC 611.817.1:57.086:517:530.191

Cluster Analysis of Human Cerebellum Fractal Dimension

Maryenko N. I.

Abstract. The cerebellum is a multifractal that includes several fractal clusters that correspond to different components of the cerebellar tissue: white matter and layers of the cortex. A fractal analysis (pixel dilation method in one of the author's modifications) was used to determine the complexity of spatial organization and the degree of filling of space with different components of cerebellar tissue.

The purpose of the study was to determine clusters of fractal dimension of various components of human cerebellar tissue according to magnetic resonance imaging.

Material and methods. The study was performed on digital T2 weighted images of magnetic resonance images of 30 patients (15 men and 15 women) who did not have pathological changes of the brain. Fractal analysis was performed using the pixel dilation method. The fractal dimension of cerebellar tissue for its components in the range of brightness values from 0 to 255 was determined. The difference in fractal dimension increase at different parts of the brightness range was calculated.

Results and discussion. The study showed that the increase in fractal dimension is not gradual and has four zones of the most pronounced increase in values: 70-80, 85-90, 95-105 and 110-120. These areas can be separated into distinct clusters that correspond to the main components of the cerebellar tissue. The first cluster with the most intense increase of fractal dimension corresponds to the white matter of the cerebellum, which has the biggest density and the lowest values of brightness, the second – the granular layer of the cortex, the third – the molecular layer of the cortex. The fourth, least pronounced cluster corresponds to the pixels of the image with the highest brightness level, which correspond to the meninges.

Conclusion. Three clusters of fractal dimension values corresponding to the main components of cerebellar tissue and average brightness values corresponding to them were determined: cerebellar white matter (70.684 ± 0.473), granular layer of cortex (84.263 ± 0.475), and molecular layer of cortex (96.263 ± 0.449). The absence of certain clusters present in intact tissue and the presence of additional, pathological clusters may be criteria for diagnosing of the cerebellum using fractal analysis of magnetic resonance imaging of the brain.

Keywords: fractal analysis, cluster analysis, cerebellum, magnetic resonance imaging.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.

Стаття надійшла 05.09.2020 р.

Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування