

УДК 611.133.3-0.31.26-053
DOI: 10.26435/UC.V013(40).752

Ю.В. Довгялло

ГОО ВПО «Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького», Донецк

ЛАКУНАРНОСТЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТНОГО АРТЕРИАЛЬНОГО РУСЛА БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Уменьшение частоты осложнений и неблагоприятных исходов хронических нарушений мозгового кровообращения зависит не только от ранней диагностики, но, в большей мере, от профилактики. Современные достижения медицины позволяют уже на ранних этапах диагностировать состояния, при которых потребности нервной ткани не полностью обеспечиваются кровотоком через мозговые артерии, в том числе поверхностные. Морфологической основой нарушений мозгового кровоснабжения может служить неравномерное распределение артерий среднего и мелкого калибра на поверхности больших полушарий головного мозга, разная плотность поверхностной артериальной сети в различных долях [1-2]. Поверхностное артериальное русло (ПАР) верхнелатеральной поверхности больших полушарий представляет собой фрактальную или самоподобную структуру, а значит оценить плотность распределения артерий количественно, то есть, объективно возможно при помощи мультифрактального анализа, а именно, при помощи таких переменных, как фрактальный индекс или фрактальная размерность и индекс лакунарности [3].

Свойства и характеристики фрактального или мультифрактального множества не полностью определяются его фрактальной размерностью. На самом деле, существует семейство фракталов, имеющих одинаковую фрактальную размерность, но резко отличающихся друг от друга внешне. Следовательно, для описания фрактальной геометрии ПАР недостаточно использовать лишь фрактальный индекс. Лакунарность – это понятие, отличное и независимое от фрактальной размерности, которое характеризует наличие и величину лакун (пространств) между элементами артериального русла [4-6]. Использование одновременно и индекса лакунарности, и фрактальной размерности позволит уточнить и расширить представления о пространственной геометрии ПАР больших полушарий.

Отсутствие количественного эталона нормы индекса лакунарности ПАР больших полушарий головного мозга, в том числе, у представителей разного пола и разных возрастных групп открывает возможности для исследований в этой области, что и определило цель настоящей работы.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Установить величины показателя индекса лакунарности, которые могут быть использованы в качестве количественного эталона нормы для определения характеристик фрактальной геометрии ПАР верхнелатеральной поверхности больших полушарий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Был определен индекс лакунарности 48 человек обоего пола зрелого возраста (29-54 лет). Расчет индекса лакунарности включал фотографирование поверхностного артериального русла верхнелатеральной поверхности больших полушарий при помощи зеркального фотоаппарата Nikon 3110 в боковой проекции с использованием морфометрического маркера для дальнейшего определения абсолютных размеров исследуемых структур (в качестве инструмента определения абсолютных размеров использовалась экранная пиксельная линейка SPRuler). Далее при помощи компьютерной программы Adobe Photoshop на изображении выбирались 4 квадрата со стороной 4 см, соответствующие лобной, теменной, височной и затылочной долям больших полушарий. В полученных квадратах по цветовому диапазону выделяли элементы сосудистой сети и переводили полученное изображение в черно-белый формат.

Затем изображение разбивалось последовательно морфометрической сеткой на 4, 16, 64,

256, 1024 равных квадрата, при этом размер стороны вновь полученных квадратов оказывался в 2, 4, 8, 16, 32 раза меньше, чем у исходного (см. рис.). На каждом этапе разбиения на квадраты определялась степень заполненности изображения элементами сосудистого русла. Для этого в каждом квадрате при помощи компьютерной утилиты ImageMagick вычислялось количество пикселей черного цвета – элементов сосудистого русла.

С помощью статистической программы MedStat определяли среднее количество пикселей и среднее квадратичное отклонение на каждом этапе для квадратов конкретного размера. Рассчитывали меру лакуарности для каждого этапа по формуле:

$$L = \left(\frac{\sigma}{\mu} \right)^2$$

где L – мера лакуарности для каждого этапа, σ – среднее квадратичное отклонение единичных элементов сосудистой сети в ячейках заданного размера, μ – среднее значение единичных элементов сосудистой сети в ячейках заданного размера [7].

Далее рассчитывался натуральный логарифм двух чисел: числа, обратного значению Box Size (количеству квадратов морфометрической сетки на данном этапе подсчета), и числа L (меры лакуарности для элементов сосудистого русла на конкретном этапе подсчета) и с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel строился график зависимости $\ln(L)$ от $\ln(1/\text{Box-Size})$. Далее строилось уравнение линейной регрессии. Коэффициент перед переменной представляет собой индекс лакуарности.

Определение величин статистических переменных осуществлялось при помощи лицензионной программы MedStat [8]. Выбор того или иного статистического критерия определялся законом распределения частот величин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе работы определялись параметры описательной статистики величин показателя индекса лакуарности ПАР верхнелатеральной поверхности полушарий головного мозга в зависимости от доли полушарий. Наибольшая медиана значений индекса лакуарности оказалась в лобной доле и составила $0,6362 \pm 0,02797$, наименьшее среднее значение – в височной доле и составило $0,5282 \pm 0,01079$. Наибольшее максимальное значение индекса лакуарности оказалось в лобной доле – 0,9789, наименьшее минимальное значение – в теменной доле (0,2715). Наибольший размах вели-

чин изучаемого показателя оказался в теменной доле, он составил 0,6211, наименьший – в височной доле, здесь он составил 0,3041. Параметры описательной статистики, характеризующие индекс лакуарности ПАР разных долей больших полушарий, представлены в таблице (см. табл.).

Особый интерес представлял вопрос о наличии или отсутствии достоверных отличий между величинами показателя индекса лакуарности ПАР верхнелатеральной поверхности различных долей полушарий. Для оценки достоверности отличий использовался параметрический критерий Стьюдента или непараметрический критерий Вилкоксона, в зависимости от того, соответствовало ли распределение частот величин индекса лакуарности нормальному закону или было отлично от него. При проведении попарных сравнений не было обнаружено достоверных отличий между величинами исследуемого показателя в теменной и затылочной долях ($p^*=0,114$, где p^* – коэффициент достоверности отличий Вилкоксона, здесь и далее по тексту), затылочной и височной долях ($p=0,104$, где p – коэффициент достоверности отличий Стьюдента, здесь и далее по тексту). Значения индекса лакуарности оказались достоверно больше в лобной доле, чем в теменной ($p^*=0,040$), височной ($p^*<0,001$) и затылочной ($p^*<0,001$) долях. Также индекс лакуарности в теменной доле оказался достоверно больше, чем в височной

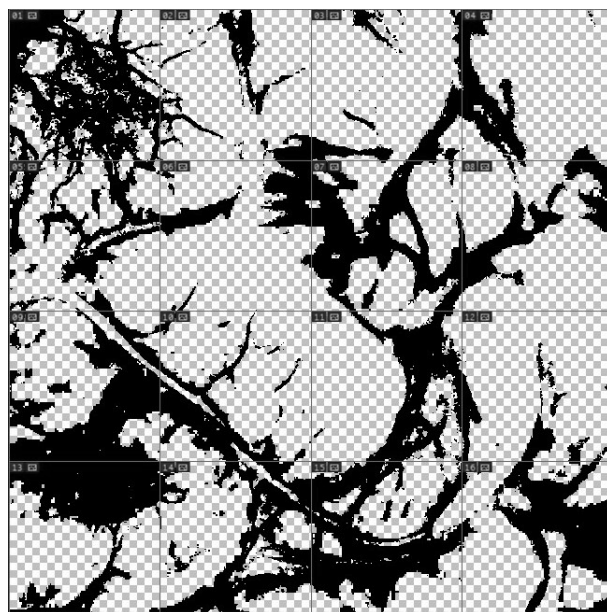


Рис. Методика определения индекса лакуарности поверхностного артериального русла конвексимальной поверхности головного мозга. Разбиение черно-белого изображения элементов поверхностного сосудистого русла на квадраты

Таблица.
 Параметры описательной статистики величин показателя индекса лакунарности
 в зависимости от доли полушария головного мозга
 по результатам мультифрактального анализа (n=48)

Переменная	Лобная доля	Теменная доля	Височная доля	Затылочная доля
Me	0,6362	0,5688	–	–
M	–	–	0,5282	0,5547
Ошибка медианы	0,02797	0,02642	–	–
Ошибка среднего	–	–	0,01079	0,01207
С.к.о.	–	–	0,07475	0,08364
I квартиль	0,5489	0,5211	–	–
III квартиль	0,77235	0,66335	–	–
min	0,3903	0,2715	0,3812	0,4034
max	0,9789	0,8926	0,6853	0,7685
Левый ДИ (95%)	0,5892	0,5538	0,5065	0,5304
Правый ДИ (95%)	0,7431	0,6393	0,5499	0,579

Примечание: Me – медиана, M – среднее, С.к.о. – среднее квадратичное отклонение, min – минимальное значение, max – максимальное значение, n – количество исследованных полушарий с каждой стороны.

доле ($p^*=0,007$). Таким образом, можно говорить о том, что в лобной доле существуют несколько большие по размеру «лакуны» или пространства между элементами поверхностного артериального русла, чем в остальных.

Индекс лакунарности – величина численная, а значит, наряду с показателем фрактальной размерности, позволяет не только визуально, но и количественно определить характеристики пространственной геометрии ПАР верхнелатеральной поверхности больших полушарий, изменение которой может привести к несоответствию потребностям ткани мозга в кислороде и метаболитах и его перфузии, и, как следствие, к хроническим нарушениям мозгового кровообращения. Показатель индекса лакунарности ПАР имеет достоверно большие значения в лобной доле по сравнению с верхнелатеральными поверхностями других долей, указанный индекс в теменной доле также оказался достоверно больше аналогичных значений в височной доле. Вероятно, выявленные изменения обусловлены особенностями функциональной активности различных участков головного мозга. Величины индекса лакунарности в теменной и затылочной, затылочной и височной долях достоверно не отличались, что можно объяснить отсутствием четкой анатомической границы между областями поверхностного кровоснабжения указанных долей из систем средней мозговой и задней мозговой артерий.

В дальнейшем, основными задачами изучения данного метода могут явиться: определение зависимости значений индекса лакунарности от пола, возрастной группы и стороны исследования, типа телосложения, а также автоматизация процесса. При этом важно определить эталонные значения показателя индекса лакунарности поверхностного артериального русла для различных отделов головного мозга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стремительное развитие цифровых методов прижизненной визуализации артериального русла требует применения и обоснования новых методов оценки его пространственной геометрии. Мультифрактальный анализ ПАР больших полушарий позволяет объективно оценить распределение артерий на поверхности мозга, диагностировать нарушения перфузии еще на доклиническом этапе, предотвратить возникновение ишемических инсультов, а значит снизить смертность от этого грозного состояния.

Обоснование количественного эталона нормы величины показателя индекса лакунарности ПАР конвексимальной поверхности разных долей больших полушарий позволит использовать этот показатель, наряду с фрактальным индексом, для оценки структурной организации поверхностного артериального кровоснабжения головного мозга, возможно, и в автоматическом режиме.

Ю.В. Довгялло

ГОО ВПО «Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького», Донецк

ЛАКУНАРНОСТЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТНОГО АРТЕРИАЛЬНОГО РУСЛА БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Морфологической основой нарушений мозгового кровоснабжения может служить неравномерное распределение артерий среднего и мелкого калибра на поверхности больших полушарий головного мозга, разная плотность поверхностной артериальной сети в различных долях. Лакунарность – это понятие, отличное и независимое от фрактальной размерности, которое характеризует наличие и величину лакун (пространств) между элементами артериального русла. Использование одновременно и индекса лакунарности, и фрактальной размерности позволит уточнить и расширить представления и пространственной геометрии поверхностного артериального русла больших полушарий.

Целью работы явилось определение нормальных величин показателя индекса лакунарности поверхностного артериального русла верхнелатеральной поверхности различных долей больших полушарий, которые могут быть использованы в качестве эталона нормы при определении количественных характеристик фрактальной геометрии поверхностного артериального русла верхнелатеральной поверхности больших полушарий.

Материал и методы. Был определен индекс лакунарности 48 человек обоего пола зрелого возраста (29-54 лет). Расчет индекса лакунарности включал фотографирование поверхностного артериального русла верхнелатеральной поверхности больших полушарий при помощи зеркального фотоаппарата Nikon 3110 в боковой проекции с использованием морфо-

метрического маркера для дальнейшего определения абсолютных размеров исследуемых структур (в качестве инструмента определения абсолютных размеров использовалась экранная пиксельная линейка SPRuler), компьютерную обработку цифровых изображений в программе Adobe Photoshop и подсчет пикселей утилитой ImageMagick. Статистическая обработка полученных результатов проводилась при помощи лицензионной компьютерной программы MedStat.

Результаты. В ходе статистической обработки полученных результатов было установлено, что показатель индекса лакунарности поверхностного артериального русла принимает достоверно большие значения в лобной доле по сравнению с участками других долей, указанный индекс в теменной доле также оказался достоверно выше аналогичных значений в височной доле. Показатели индекса лакунарности в теменной и затылочной, затылочной и височной долях достоверно не отличались.

Заключение. Мультифрактальный анализ поверхностного артериального русла больших полушарий позволяет объективно оценивать распределение артерий на поверхности мозга, диагностировать нарушения перфузии еще на доклиническом этапе, предотвращать возникновение ишемических инсультов, а значит снизить смертность от этого грозного состояния.

Ключевые слова: головной мозг, поверхностное кровоснабжение, артериальное русло, индекс лакунарности, мультифрактальный анализ

Yu.V. Dovgyallo

SEI HPE «M. Gorky Donetsk National Medical University», Donetsk

LACUNARITY AS AN INDICATOR OF SPATIAL GEOMETRY OF THE LARGE HEMISPHERES SUPERFICIAL ARTERIAL BED

The morphological basis of cerebral blood supply disorders can be the uneven distribution of arteries of medium and small caliber on the surface of the cerebral hemispheres, different density of the superficial arterial network in different lobes. Lacunarity is a concept that is different and independent of fractal dimension, which characterizes the presence and size of lacunae (spaces) between the elements of the arterial bed. The use of both the lacunarity index and the fractal dimension will make it possible to clarify and expand the representations and spatial geometry of the superficial arterial bed of the cerebral hemispheres.

The purpose of the work was to determine the normal values of the index of lacunarity of the superficial arterial bed of the upper-lateral surface of cerebral hemispheres various lobes, which can be used as a standard in determining of the quantitative characteristics of the fractal geometry of the superficial arterial bed.

Material and methods. The lacunarity index was determined for 48 people of both sexes of mature age (29-54

years). The calculation of the lacunarity index included photographing of the superficial arterial bed of the cerebral hemispheres upper-lateral surface using a Nikon3110 reflex camera in lateral projection using a morphometric marker to determine the absolute dimensions of the structures (the SPRuler screen pixel ruler was used as a tool for determining the absolute dimensions), computer processing of digital images in Adobe Photoshop and pixel counting utility ImageMagick. Statistical processing of the results was carried out using the MedStat licensed computer program.

Results. It was determined that the index of the lacunarity of the superficial arterial bed takes significantly higher values in the frontal lobe compared to the corresponding areas of other lobes, the indicated index in the parietal lobe also turned out to be significantly higher than the same values in the temporal lobe. The indices of the lacunarity index in the parietal and occipital, occipital and temporal lobes did not differ significantly.

Conclusion. Multifractal analysis of the superficial

arterial bed of the cerebral hemispheres makes it possible to objectively assess the distribution of arteries on the surface of the brain, diagnose perfusion disorders at the preclinical stage, prevent the occurrence of ischemic

strokes, and therefore reduce mortality from this formidable condition.

Key words: brain, superficial blood supply, arterial bed, lacunarity index, multifractal analysis.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокерия Л.А., Асланиди И.П., Сергуладзе Т.Н., Дарвиш Н.А., Качеишвили М.Ю., Трифонова Т.А., Есенева М.Ф. Методы диагностики мозговой гемодинамики и уровня церебральной перфузии у больных с окклюзирующими поражениями брахиоцефальных артерий. Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. 2012; 13 (1): 5-17.
2. Иванцов О.А. Нарушение мозгового кровообращения как медико-социальная проблема. Проблемы здоровья и экологии. 2018; 4 (58): 4-8.
3. Zhu T. Ma J., Li J. et al. Multifractal and lacunarity analyses of microvascular morphology in eyes with diabetic retinopathy: A projection artifact resolved optical coherence tomography angiography study. Microcirculation. 2019; 26 (3): e12519. doi: 10.1111/micc.12519
4. Popovic N., Radunovic M., Badnjar J., Popovic T. Fractal dimension and lacunarity analysis of retinal microvascular morphology in hypertension and diabetes. Microvasc Res. 2018; 118: 36-43. doi: 10.1016/j.mvr.2018.02.006
5. Smitha K.A., Gupta A.K., Jayasree R.S. Fractal analysis: fractal dimension and lacunarity from MR images for differentiating the grades of glioma. Phys Med Biol. 2015; 60 (17): 6937-6947. doi: 10.1088/0031-9155/60/17/6937
6. Kim S., Park Y.W., Park S.H., Ahn S.S., Chang J.H., Kim S.H., Lee S.K. Comparison of Diagnostic Performance of Two-Dimensional and Three-Dimensional Fractal Dimension and Lacunarity Analyses for Predicting the Meningioma Grade. Brain Tumor Res Treat. 2020; 8 (1): 36-42. doi: 10.14791/btrt.2020.8.e3
7. Изотов А. Фракталы: делимость вещества как степень свободы в материаловедении: монография. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та; 2011. 128.
8. Лях Ю.Е., Гурьянов В.Г., Хоменко В.Н., Панченко О.А. Основы компьютерной биostatистики: анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом MedStat. Донецк: Папакица Е.К.; 2006. 214.

REFERENCES

1. Bokeriya L.A., Aslanidi I.P., Serguladze T.N., Darvish N.A., Kacheishvili M.Yu., Trifonova T.A., Eseneva M.F. Metody diagnostiki mozgovoi gemodinamiki i urovnya tserebral'noi perfuzii u bol'nykh s okklyuziruyushchimi porazheniyami brakhiocefal'nykh arterii. Byulleten' NTSSKh im. A.N. Bakuleva RAMN. 2012; 13 (1): 5-17 (in Russian).
2. Ivantsov O.A. Narushenie mozgovogo krovoobrashcheniya kak mediko-sotsial'naya problema. Problemy zdorov'ya i ekologii. 2018; 4 (58): 4-8 (in Russian).
3. Zhu T. Ma J., Li J. et al. Multifractal and lacunarity analyses of microvascular morphology in eyes with diabetic retinopathy: A projection artifact resolved optical coherence tomography angiography study. Microcirculation. 2019; 26 (3): e12519. doi: 10.1111/micc.12519
4. Popovic N., Radunovic M., Badnjar J., Popovic T. Fractal dimension and lacunarity analysis of retinal microvascular morphology in hypertension and diabetes. Microvasc Res. 2018; 118: 36-43. doi: 10.1016/j.mvr.2018.02.006
5. Smitha K.A., Gupta A.K., Jayasree R.S. Fractal analysis: fractal dimension and lacunarity from MR images for differentiating the grades of glioma. Phys Med Biol. 2015; 60 (17): 6937-6947. doi: 10.1088/0031-9155/60/17/6937
6. Kim S., Park Y.W., Park S.H., Ahn S.S., Chang J.H., Kim S.H., Lee S.K. Comparison of Diagnostic Performance of Two-Dimensional and Three-Dimensional Fractal Dimension and Lacunarity Analyses for Predicting the Meningioma Grade. Brain Tumor Res Treat. 2020; 8 (1): 36-42. doi: 10.14791/btrt.2020.8.e3
7. Izotov A. Fraktaly: delimost' veshchestva kak stepen' svobody v materialovedenii: monografiya. Samara: Izd-vo Samar. gos. aerokosm. un-ta; 2011. 128 (in Russian).
8. Lyakh Yu.E., Gur'yanov V.G., Khomenko V.N., Panchenko O.A. Osnovy komp'yuternoii biostatistiki: analiz informatsii v biologii, meditsine i farmatsii statisticheskim paketom MedStat. Donetsk: Papakitsa E.K.; 2006. 214 (in Russian).