

А.Ю.Степаненко

Харьковский национальный
медицинский университет

Ключевые слова: человек,
мозжечок, сосуды, индивиду-
альная изменчивость.

Надійшла: 26.04.2017

Прийнята: 12.06.2017

УДК 611.817.1 (043.3)

АСИММЕТРИЯ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СОСУДИСТОГО РУСЛА МОЗЖЕЧКА ЧЕЛОВЕКА

Исследование проведено в рамках научно-исследовательской работы "Строение и закономерности индивидуальной анатомической изменчивости головного мозга человека" (номер государственной регистрации 0115U000231).

Реферат. Цель исследования – установить различия структуры поверхностной сосудистой сети верхней и нижней поверхностей мозжечка и их связь с величиной и формой мозжечка. У пропорциональных по форме мозжечков значения фрактального индекса верхней и нижней поверхности совпадают практически функционально, и масса мозжечка не влияет на это соотношение. Отклонение формы мозжечка от пропорциональной увеличивает различия структуры сосудистой сети на верхней и нижней поверхности. Ширина мозжечка влияет на структуру сосудистой сети на обеих его поверхностях. Длина мозжечка больше влияет на структуру сосудистой сети нижней поверхности, чем верхней. Высота одинаково влияет на обе поверхности мозжечка.

Morphologia. – 2017. – Т. 11, № 2. – С. 46-51.

© А.Ю.Степаненко, 2017

✉ stepanenko@3g.ua

Stepanenko A.Yu. Asymmetry of the structure of the superficial vascular bed of the human cerebellum.

ABSTRACT. Background. Development of methods for diagnosing the risk of developing acute cerebral circulation disorders and their prevention requires a deep understanding of the patterns of the structure of the vascular networks of different departments of the central nervous system. **Objective.** To establish differences in the structure of the superficial vascular network of the upper and lower surfaces of the cerebellum and their relationship to the size and shape of the cerebellum. **Methods.** The study was conducted on 100 cerebellums of people of both sexes, who died of causes unrelated to brain pathology (20–95 years old). The morphometric study was carried out by the method of fractal analysis. The dependence of the fractal index values on the mass and linear dimensions of the cerebellum was studied by statistical methods: regression and correlation analysis. **Results.** In cerebellum with proportional shape the values of the fractal index of the upper and lower surfaces coincide practically functionally, and the mass of the cerebellum does not affect this ratio. The deviation of the shape of the cerebellum from proportional increases the differences in the structure of the vasculature on the upper and lower surface. The width of the cerebellum influences the structure of the vasculature on both its surfaces. The length of the cerebellum affects the structure of the vascular network of the lower surface more than the upper one. The height affects both surfaces of the cerebellum equally. **Conclusions.** The use of fractal analysis as a morphometric method and a fractal index as a morphometric criterion makes it possible to objectively characterize the structure of the cerebellar superficial vascular bed.

Key words: man, cerebellum, vessels, individual variability.

Citation:

Stepanenko AYu. [Asymmetry of the structure of the superficial vascular bed of the human cerebellum]. *Morphologia*. 2017;11(2):46-51. Russian.

Введение

Острые нарушения мозгового кровообращения представляют собой важную медицинскую и медико-социальную проблему. Только в Украине ежегодно диагностируют более 130 тысяч случаев острых нарушений мозгового кровообращения, смертность от которых составляет 30 % [1]. Разработка методов их профилактики и диагностики риска их развития требует глубокого понимания закономерностей строения сосудистых сетей разных отделов ЦНС.

Среди ишемических инфарктов головного

мозга 5,7 % приходится на инфаркты мозжечка [2]. Кровоснабжение мозжечка осуществляется тремя парами артерий: верхней (ВМА), передней нижней (ПНМА) и задней нижней (ЗНМА) мозжечковыми артериями [3, 4]. ВМА кровоснабжают верхние ножки мозжечка, верхние отделы червя и полушарий мозжечка, а также его зубчатое ядро; ПНМА – клочок, верхнюю и нижнюю полулунные дольки, двубрюшную, нижнюю поверхность квадратной дольки, латеральную часть миндалины; ЗЗМА – нижнюю поверхность червя и полушарий мозжечка. Наблюдается выражен-

ная изменчивость анатомии этих сосудов: удвоение ВМА с одной стороны, одностороннее или двустороннее отсутствие одной или обеих нижних ветвей, а также значительная вариабельность зон их кровоснабжения. В любом случае на поверхности мозжечка имеется разветвленная сосудистая сеть.

Многообразие вариантов строения поверхностной сосудистой сети (ПСС) мозжечка может быть описано с помощью трех традиционных типов строения: магистрального, промежуточного и рассыпного [5, 6]. Несмотря на достаточно четкие критерии, применяемые для характеристики поверхностного сосудистого русла, конкретный выбор варианта ветвления достаточно субъективен. Объективная же оценка базируется на количественных данных, полученных в результате морфометрии [7]. Мы предложили использовать *фрактальный анализ* для исследования структуры сосудистого русла поверхности мозжечка и *фрактальный индекс* – в качестве морфометрического критерия разветвленности сосудистой сети [8]. Все теоретически возможные значения фрактального индекса (ФИ) лежат в интервале от 1,0 до 2,0. Промежуточному типу ПСС соответствуют значения ФИ, лежащие в диапазоне $(M \pm \sigma)$, то есть от 1,421 до 1,619; *магистральному* – от (\min) до $(M - \sigma)$, то есть от 1,360 до 1,420; *рассыпному* – от $(M + \sigma)$ до (\max) , то есть от 1,620 до 1,816 [7].

Особенность анатомии мозжечка можно считать наличие у него двух поверхностей – верхней и нижней [3]. Величина и форма обеих поверхностей определяется, с одной стороны, шириной мозжечка, с другой – его длиной и высотой. Причем, высота мозжечка больше влияет на его верхнюю поверхность, а длина – на нижнюю [9].

Цель исследования – установить различия структуры поверхностной сосудистой сети верхней и нижней поверхностей мозжечка и их связь с величиной и формой мозжечка.

Материалы и методы

Исследование проведено на базе Харьковского областного бюро судебно-медицинской экспертизы на 100 объектах – мозжечках трупов

людей обоего пола, умерших от причин, не связанных с патологией мозга, в возрасте 20–95 лет. Мозжечок фиксировали в течение месяца в 10 %-м растворе формалина. Поверхность мозжечка фотографировали с помощью зеркального цифрового фотоаппарата, после чего проводили анализ оцифрованных изображений. Определение фрактального индекса производилось по оригинальной методике, описанной ранее [8].

Для количественной оценки асимметрии структуры поверхностной сосудистой сети мозжечка были разработаны и применены следующие критерии: вектор асимметрии, модуль асимметрии и коэффициент асимметрии.

Вектор асимметрии показывает направленность асимметрии. Он рассчитывался как разница значений фрактального индекса левой и правой поверхностей: $FI_{л} - FI_{пр}$. Вектор асимметрии положительный, если величина фрактального индекса слева больше, чем справа, и наоборот.

Модуль асимметрии показывает саму величину асимметрии. Он рассчитывался по формуле $[\sqrt{(FI_{л} - FI_{пр})^2}]$. Модуль асимметрии – величина всегда положительная. Чем больше модуль, тем асимметричнее объект.

Коэффициент асимметрии оценивает величину модуля асимметрии так же, как коэффициент вариации – величину среднего квадратического отклонения. Он рассчитывается по формуле (модуль асимметрии/среднее значение ФИ).

Характер статистического распределения значений фрактального индекса оценивали методами вариационной статистики. Строили графики линейной зависимости и рассчитывали уравнения регрессии, точность которых оценивали по коэффициенту достоверности аппроксимации (R^2). Силу корреляционной связи между значениями ФИ разных участков коры оценивали по величине коэффициента корреляции r (Пирсона). Сравнение уравнений линейной регрессии проводили по критериям Стьюдента (коэффициент наклона и коэффициент сдвига) и Фишера (в целом).

Результаты и их обсуждение

Значения ФИ ПСС верхней и нижней поверхностей представлены в таблице 1.

Таблица 1
Значения фрактального индекса поверхностной сосудистой сети мозжечка человека и их статистическая оценка

Поверхность	M	m_m	σ	$C_v, \%$	min	max
Верхняя	1,532	0,011	0,11	7,1	1,316	1,832
Нижняя	1,507	0,010	0,10	6,9	1,328	1,880

Как видно из данных таблицы 1, различия значений ФИ ПСС незначительны и статистически не значимы ($p > 0,05$). Одинакова и частота встречаемости трех типов строения ПСС: промежуточный тип является наиболее распростра-

ненным (58 %), а крайние в этом ряду – магистральный и рассыпной – встречаются реже, но с одинаковой частотой (по 21 %). Однако нет полного совпадения значений ФИ ПСС на верхней и нижней поверхностях (рис. 1).



Рис. 1. Взаимосвязь значений фрактального индекса поверхностной сосудистой сети верхней и нижней поверхностей мозжечка человека.

Как видно из данных рисунка, связь величин фрактального индекса на верхней и нижней поверхностях мозжечка достаточно точно ($R^2 = 0,6$) может быть описана уравнением линейной регрессии $y = 0,8x + 0,3$. Корреляционный анализ позволяет охарактеризовать силу этой связи как высокую ($r=0,73$ ($p<0,05$)). Тип строения сосудистого русла на верхней и нижней поверхностях мозжечка, таким образом, совпадает как правило (в 58 % наблюдений), но не всегда (рис. 2). Встречаются также варианты строения: магистральный – на одной поверхности, промежуточный – на другой, или рассыпной – на одной, промежуточный – на другой. Сочетания крайних вариантов (магистральный – на одной поверхности, рассыпной – на другой) не встречаются.

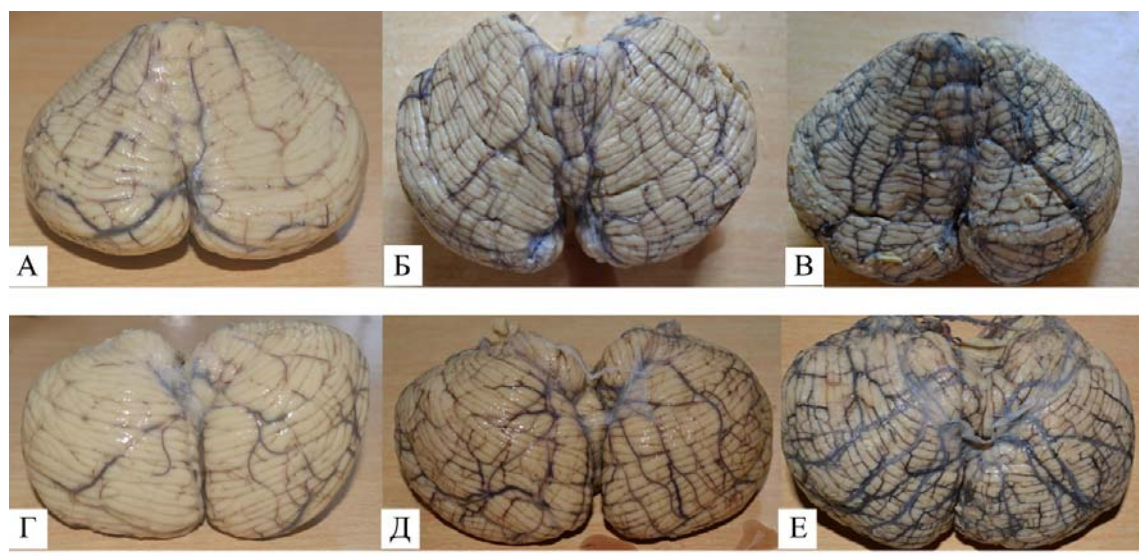


Рис. 2. Индивидуальная изменчивость строения сосудистой сети на верхней (верхний ряд) и нижней (нижний ряд) поверхностях мозжечка: а, г – магистральный тип (жен., 37 лет); б, д – промежуточный тип (муж., 44 года); в, е – рассыпной тип (жен., 47 лет).

Сравнение значений фрактального индекса мозжечка позволяет дать количественную оценку «вертикальной» асимметрии – асимметрии

значений ФИ ПСС верхней и нижней поверхностей мозжечка (табл. 2).

Таблица 2
Значения индексов асимметрии поверхностной сосудистой сети верхней и нижней поверхностей мозжечка человека и их статистический анализ

Показатель	Статистические критерии				
	M	m_m	σ	min	max
Вектор асимметрии	0,005	0,008	0,082	-0,285	0,214
Модуль асимметрии	0,061	0,006	0,055	0,002	0,285
Коэффициент асимметрии	0,040	0,004	0,037	0,001	0,194

Как видно из данных таблицы, в целом имеется незначительная асимметрия строения сосудистого русла верхней и нижней поверхностей.

Вектор асимметрии позволяет оценить направленность асимметрии, т.е. ответить на во-

прос: какие объекты встречаются чаще – у которых сосудистая сеть более разветвленная сверху (положительное значение вектора асимметрии) или снизу (отрицательное значение вектора асимметрии). Среднее значение вектора асим-

метрии верхней и нижней поверхностей – 0,005 – близко к «0» и составляет всего 0,35% среднего значения ФИ, следовательно, асимметричные объекты, у которых разветвленность сосудистой сети больше сверху, встречаются одинаково часто, как и объекты, у которых разветвленность сосудистой сети выше снизу.

Модуль асимметрии позволяет оценить величину асимметрии, и ее распределение, так же, как среднее квадратическое отклонение – разброс значений случайной величины. *Коэффициент асимметрии* оценивает величину модуля асимметрии относительно среднего значения ФИ так же, как *коэффициент вариации* оценивает среднее квадратическое отклонение относительно средней величины. Изменчивость какого-либо признака считается малой, если коэффициент вариации меньше 10 %. Точно так же асимметричность объекта можно считать малой при величине коэффициента асимметрии, меньшей 10 %. 94% мозжечков имеют значения коэффициента асимметрии менее 10 %, что позволяет считать их симметричными.

Форма мозжечка определяет величину асимметрии значений ФИ его ПСС (рис. 3).

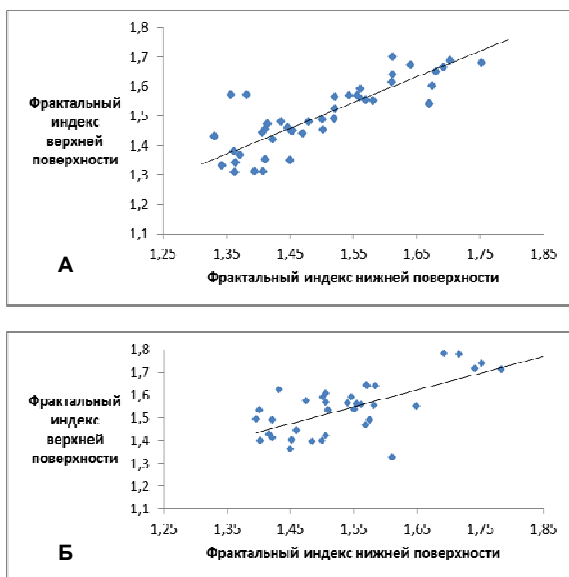


Рис. 3. Соотношение значений фрактального индекса поверхностной сосудистой сети мозжечка у пропорциональных (а) и непропорциональных (б) мозжечков.

Как видно из данных рис. 3, наименьшая асимметрия наблюдается у пропорциональных мозжечков: тип строения ПСС на верхней и нижней поверхности совпадает в 68,5 % наблюдений. Взаимосвязь величин ФИ ПСС верхней и нижней поверхности близка к линейной зависимости ($R=0,85$, $p<0,05$) и может быть описана уравнением $y=0,9x + 0,19$ ($R^2 = 0,75$).

У непропорциональных объектов значения ФИ ПСС на верхней и нижней поверхностях

совпадают меньше. Одинаковый тип строения встречается только в 43 % наблюдений. Взаимосвязь величин ФИ ПСС верхней и нижней поверхности также близка к линейной зависимости ($R=0,50$, $p<0,05$) и может быть описана уравнением $y=0,7x + 0,41$ ($R^2 = 0,50$).

Масса органа – прямой показатель его величины. Анализ зависимости ФИ ПСС от массы у мозжечков, пропорциональных по форме, позволяет исследовать влияние величины мозжечка на асимметрию его ПСС (рис. 4).

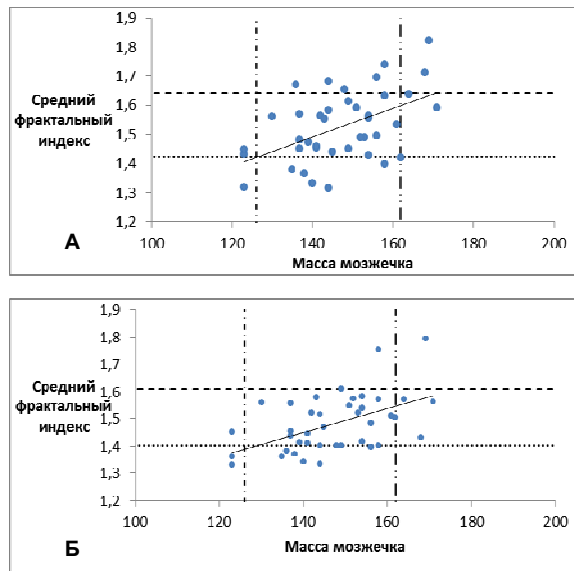


Рис. 4. Зависимость значений фрактального индекса поверхностной сосудистой сети верхней (а) и нижней (б) поверхностей мозжечка от его массы.

Как видно из данных рис. 4, у пропорциональных мозжечков зависимость значений ФИ ПСС верхнего и нижнего полушарий от массы одинакова и описывается уравнениями $y = 0,006x + 0,67$ ($R^2 = 0,3$) на верхней поверхности и $y = 0,005x + 0,73$ ($R^2 = 0,3$) на нижней. И коэффициенты наклона этих двух прямых, и коэффициенты сдвига значимо не различаются, так же, как не различаются прямые в целом. Сила корреляционной связи также равна ($r=0,54$, $p<0,05$).

У асимметричных мозжечков прослеживается влияние факторов формы – соотношений линейных размеров на структуру ПСС. Влияние соотношения ширины и длины мозжечка на ФИ ПСС верхней и нижней поверхности отличается заметно (рис. 5). Линии регрессии для ФИ ПСС верхней и нижней конечности имеют вид: $y = -0,36x + 2,15$ ($R^2 = 0,08$) и $y = -0,84x + 2,99$ ($R^2 = 0,41$) соответственно. Коэффициенты наклона (-0,36 и -0,84) значимо отличаются друг от друга ($p<0,05$). И так же отличается и сила корреляционной связи: $r=0,3$ ($p<0,05$) – для верхней поверхности и $r=0,6$ ($p<0,05$) – для нижней.

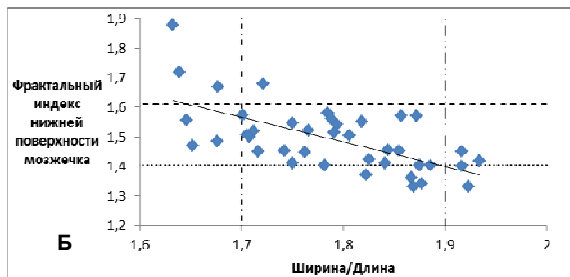
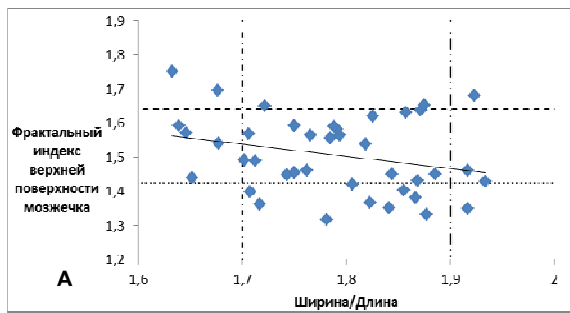


Рис. 5. Зависимость значений фрактального индекса поверхностной сосудистой сети верхней (а) и нижней (б) поверхностей мозжечка от соотношения его ширины и длины.

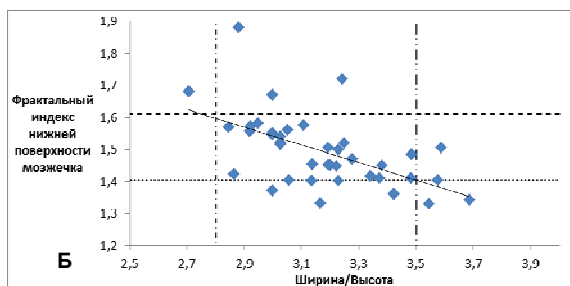
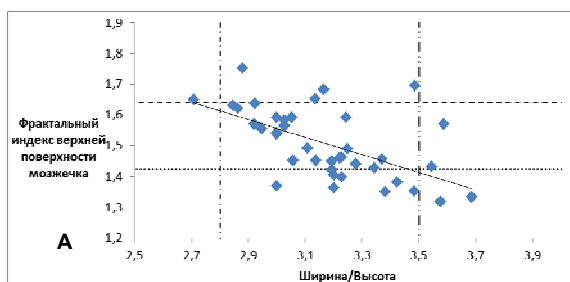


Рис. 6. Зависимость значений фрактального индекса поверхностной сосудистой сети верхней (а) и нижней (б) поверхностей мозжечка от соотношения его ширины и высоты.

Влияние соотношения ширины и высоты мозжечка на ФИ ПСС верхней и нижней поверхностей заметно не отличается (рис. 6). Линии регрессии для ФИ ПСС верхней и нижней конечности имеют вид: $y = -0,29x + 2,4$ ($R^2 = 0,33$); $y = -0,28x + 2,37$ ($R^2 = 0,31$). Линии мало различаются, что говорит о том, что высота и ширина одинаково влияют на обе поверхности мозжечка. Не отличается и сила корреляционной связи ($r = 0,6$ ($p < 0,05$)).

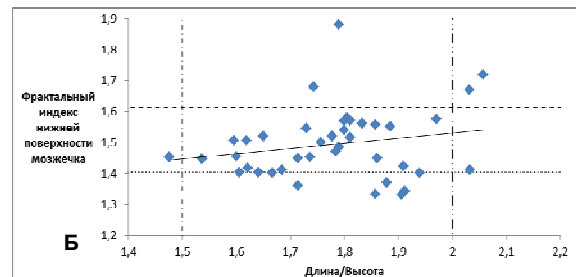
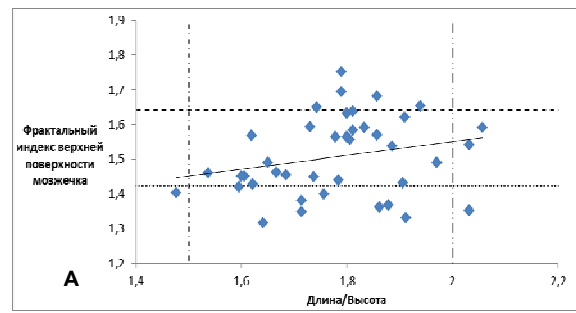


Рис. 7. Зависимость значений фрактального индекса поверхностной сосудистой сети верхней (а) и нижней (б) поверхностей мозжечка от соотношения его длины и высоты.

Влияние соотношения длины и высоты мозжечка на ФИ ПСС верхней и нижней поверхностей заметно не отличается (рис. 7). Линии регрессии для ФИ ПСС верхней и нижней конечности имеют вид: $y = 0,15x + 1,25$ ($R^2 = 0,03$), $y = 0,0018x + 1,49$ ($R^2 = 5E-06$). Высота в равной степени влияет на оба полушария, а длина – больше на нижнее, где их действие уравновешивается.

Выводы

Применение фрактального анализа как морфометрического метода, а фрактального индекса – как морфометрического критерия позволяет охарактеризовать структуру поверхностной сосудистой сети мозжечка количественно, следовательно, объективно.

У пропорциональных по форме мозжечков значения фрактального индекса верхней и нижней поверхности совпадают практически функционально, и масса мозжечка не влияет это соотношение.

Отклонение формы мозжечка от пропорциональной увеличивает различия структуры сосудистой сети на верхней и нижней поверхности. Ширина мозжечка влияет на структуру сосудистой сети на обеих его поверхностях. Длина мозжечка больше влияет на структуру сосудистой сети нижней поверхности, чем верхней. Высота одинаково влияет на обе поверхности мозжечка.

Перспективы дальнейших исследований

Установленные закономерности объясняют разную частоту возникновения инсультов верхней и нижней поверхностей мозжечка.

Литературные источники References

1. Voloshin PV, Taitslin VI. Lechenie sosudistyh zabolevaniy golovnoy i spinnoy mozga [Treatment of vascular diseases of the brain and spinal cord]. Moscow: Znanie; 2005. 557 p. Russian.
2. Krylov VV, Dashyan VG, Murashko AA, Burov SA. [Surgical treatment of hypertensive cerebellar hemorrhages]. Nevrologicheskiy zhurnal. 2008;13(3):26-32. Russian.
3. Kalinichenko SG, Motavkin PA. [Cerebellar cortex]. Moscow: Nauka; 2005. 320 p. Russian.
4. Sinelnikov RD, Sinelnikov YaR. Atlas anatomii cheloveka, T. 4 [Atlas of human anatomy, Vol. 4]. Moscow: Novaya volna; 2010. 311 p. Russian.
5. Dyachenko AP. [Interrelations of an arteries and veins of a cerebellum in a brachimorphic shape of a skull]. Ukrainskyi morfolohichnyi almanakh. 2008;6(4):36-8. Ukrainian.
6. Dyachenko AP. [Arteriovenous interrelations of cerebellum in mesocephals]. Ukrainskyi morfolohichnyi almanakh. 2009;7(1):31-3. Ukrainian.
7. Avtandilov GG. Meditsynskaya morfometriya: rukovodstvo [Medical morphometry: guide]. Moscow: Meditsina; 1990. 350 p. Russian.
8. Stepanenko AYU, Maryenko NI. [Fractal analysis as a method of morphometric study of the superficial vascular network of human cerebellum]. Medytsyna siohodni i zavtra. 2015;4:50-5. Russian.
9. Stepanenko AYU. [Individual variation of the shape and appearance of human cerebellum]. Medytsyna siohodni i zavtra. 2012;3-4:42-6. Russian.

Степаненко А.Ю. Асиметрія структури поверхневого судинного русла мозочка людини.

Реферат. Мета дослідження - встановити відмінності структури поверхневої судинної мережі верхньої і нижньої поверхонь мозочка і їх зв'язок з величиною і формою мозочка. У пропорційних за формою мозочків значення фрактального індексу верхньої і нижньої поверхні збігаються практично функціонально, і маса мозочка не впливає на це співвідношення. Відхилення форми мозочка від пропорційної збільшує відмінності структури судинної мережі на верхній і нижній поверхні. Ширина мозочка впливає на структуру судинної мережі на обох його поверхнях. Довжина мозочка більше впливає на структуру судинної мережі нижньої поверхні, ніж верхньої. Висота однаково впливає на обидві поверхні мозочка.

Ключові слова: людина, мозочок, судини, індивідуальна мінливість.